

ASSOCIAÇÃO VITORIENSE DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA - AVEC
CENTRO UNIVERSITÁRIO FACOL - UNIFACOL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - BACHARELADO

ANTONIO BARBOSA DA SILVA FILHO

REFORÇO ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO-PE

2021

ANTONIO BARBOSA DA SILVA FILHO

REFORÇO ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FACOL - UNIFACOL como requisito parcial para como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Fábio Astrogildo

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO - PE
2021



**ASSOCIAÇÃO VITORIENSE DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E CULTUI
CENTRO UNIVERSITÁRIO FACOL - UNIFACOL
COORDENAÇÃO DE TCC DO CURSO DE ENGENHARIA C**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ATA DE DEFESA**



AGRADECIMENTOS

“Quem me dera compreender os segredos e mistérios dessa vida, esse arranjo de chegadas e partidas; essa trama de pessoas que se encontram, se entrelaçam e misturadas ganham outra direção.”

(PE. FÁBIO DE MELO, 2012)

RESUMO

Dado o grande crescimento de obras da construção civil, onde em alguns casos, não ocorrem com o devido acompanhamento para a melhoria das técnicas construtivas, no aperfeiçoamento dos projetos estruturais e também a falta de manutenção, reflete em edificações que passam por deterioração precoce, falhas estruturais e até mesmo acidentes. Entretanto, o fato de uma estrutura, em dado momento, demonstrar um desempenho abaixo do requerido, não quer dizer que a mesma está inapta ou que se encerrou sua vida útil. Em determinados casos a estrutura pode sim voltar a ter um desempenho satisfatório, desde que passe por tipo correções ou reforços estruturais. O emprego dos diferentes tipos de reforços estruturais possibilita que estruturas que antes comprometidas sejam recuperadas. Diante do exposto, o presente trabalho tem como intuito apresentar como ocorre reforços estruturais por meio das principais as técnicas de reforço com encamisamento de Concreto Armado. As técnicas são apresentadas através de cálculo, com as aplicações adequadas por meio de exemplos de dimensionamento fundamentadas nos conceitos do estado limite último. Podendo concluir que a descrição dos procedimentos de cálculo possibilita a compreensão do passo a passo para os projetos de reforços.

Palavras-Chaves: Reforços estruturais. Adequações. Encamisamento.

ABSTRACT

Given the great growth of civil construction works, where in some cases, they do not occur with the proper monitoring to improve construction techniques, in the improvement of structural projects and also the lack of maintenance, reflects in buildings that undergo early deterioration, failures structural and even accidents. However, the fact that a structure, at any given time, demonstrates a performance below that required, does not mean that it is unsuitable or that its useful life has ended. In certain cases, the structure can return to have a satisfactory performance, as long as it undergoes corrections or structural reinforcements. The use of different types of structural reinforcement enables structures that were previously compromised to be recovered. Given the above, the present work aims to present how structural reinforcement occurs through the main reinforcement techniques with Reinforced Concrete Jacking. The techniques are presented through calculation, with the appropriate applications through design examples based on the concepts of the ultimate limit state. It can be concluded that the description of the calculation procedures makes it possible to understand the step by step for the reinforcement projects.

Keywords: Structural reinforcements. Adaptations. Lining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	degradação por Tensões térmicas	13
Figura 2	Deformação por retração e fluência	14
Figura 3	Desgaste por abrasão	15
Figura 4	Ataque de sulfatos	16
Figura 5	Reação álcali-agregado	17
Figura 6	Carbonatação.	18
Figura 7	Biodeterioração do concreto	18
Figura 8	Corrosão das armaduras no concreto armado	20
Figura 9	Corrosão Generalizada/Uniforme	21
Figura 10	Corrosão localizada	21
Figura 11	Corrosão sob tensão	22
Figura 12	Apicoamento do Concreto: Reforço do Pilar e Reforço da Viga	24
Figura 13	Reforço do pilar original envolvido por concreto armado em todas suas faces	25
Figura 14	Reforço por encamisamento de concreto	27
Figura 15	Reforço de laje com chapas metálicas com adesivo e parabolts	29
Figura 16	Reforço com perfis metálicos	29
Figura 17	Reforços ao cisalhamento	30
Figura 18	Armação com ferragem de 10mm	36
Figura 19	Localização da v7 no projeto (cypecad).	37
Figura 20	Diagramas de momento fletor e esforço cortante	40
Figura 21	Perfil I	42
Figura 22	Tabela gerdau	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	CONCRETO	12
2.1	DURABILIDADE	12
2.2	DEGRADAÇÃO DO CONCRETO	13
2.2.1	Fatores Mecânicos e Físicos	13
2.3	CAUSAS ELETROQUÍMICAS DE DEGRADAÇÃO	19
2.3.1	Fundamentos da corrosão	19
2.4	OS PRINCIPAIS REFORÇOS ESTRUTURAIIS	22
2.4.1	Tratamento do Substrato	23
2.4.2	Encamisamento de concreto ou aumento da seção transversal	25
2.4.3	Vantagens e desvantagens do reforço de estrutura por meio de encamisamento de concreto	28
2.4.4	Perfis metálicos exteriores	28
3	METODOLOGIA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	ANALISE HIPOTÉTICA: VIGA MAL DIMENSIONADA	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O grande crescimento de obras da construção civil, que em muitos casos ocorre sem o devido acompanhamento na melhoria das técnicas construtivas, no aperfeiçoamento dos projetos estruturais e a utilização adequada dos planos de manutenção, reflete em edificações que são atingidas com deterioração precoce, falhas estruturais e acidentes (BEBER, 1999).

Conforme apresenta Campos (2000), entre as possíveis causas de danos que podem ocorrer pode-se citar o envelhecimento natural da estrutura, a escassa ou nula manutenção, os erros de profissionais e uso dos materiais, as falhas de projeto, a baixa qualidade da mão de obra, etc. Logo, o estudo das origens, meios de manifestação, mecanismos de desenvolvimento das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas, e de seus danos, possibilitam ao processo de engenharia desenvolver e criar formas de lidar com esse problema.

Vale ressaltar que se deve levar em consideração o desempenho esperado para a obra, observando todos os níveis de agressividade no local e entorno da construção, a soma dos carregamentos possíveis na estrutura, sem deixar de considerar que os materiais tem vida útil e requerem manutenções no decorrer de sua vida (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007).

Garcez (2007) relata em seus trabalhos que as estruturas podem se deteriorar, e em alguns casos, pode ser irreversível, mesmo com a presença regular da manutenção. O ponto em que cada estrutura se encontra com os níveis de desempenho insatisfatórios, devido a deterioração, varia conforme o tipo e uso da estrutura. Determinadas estruturas já iniciam as suas vidas de modo insatisfatório, seja por falhas de projeto ou mesmo de execução, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis de projeto mantendo um desempenho bastante satisfatório.

O fato de uma estrutura, em um certo momento, demonstrar um desempenho insatisfatório e até com risco, não quer dizer que ela tenha chegado ao fim de sua vida útil, em determinados casos a estrutura pode voltar a apresentar bom desempenho, desde que seja realizado algum tipo de correção ou reforço estrutural (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007).

Conforme Souza e Ripper (1998), os motivos pelos quais são fundamentais a realização de reforço em uma estrutura de concreto são: a correção de falhas de

projeto ou de execução; aumento das cargas na estrutura, possibilitar modificações em seu uso; regeneração da capacidade portante, redução de acidentes (choques, incêndios), desgaste ou deterioração e modificação da concepção estrutural, como o corte ou perfurações de uma viga, por exemplo (GARCEZ, 2007).

O uso dos diferentes tipos de reforços estruturais abre margem para que estruturas comprometidas possam ser recuperadas, ou mesmo que estruturas inicialmente idealizadas para diversos fins possam ser reforçadas e usadas com outras finalidades (SOUZA, 1998).

Diante do exposto, pode-se justificar a relevância do estudo proposto face às dificuldades de se encontrar bibliografias que analisem de modo prático este tema, que mesmo sendo um tema bastante recorrente e importante, é pouco tratado durante a graduação. Esse trabalho tem como objetivo abordar o reforço de estruturas em laje com chapas metálica e suas fixações em parabolte, viga com reforço e aumento de seção ou com perfil metálico e pilares por meio de encamisamento de concreto ou aumento da seção transversal.

2 CONCRETO

2.1 Histórico do concreto no Brasil

Podemos analisar que concretos utilizados há um tempo maior, normalmente, possuem uma duração maior que os realizados mais recente. Na década 60, para produzir o concreto com resistência à compressão de 30 MPa era necessário um consumo de cimento muito alto, variando entre 400 e 500 kg/m³. Com a evolução da atividade da construção em meados dos 70 e o aparecimento da indústria do concreto pré-pronto, observou-se uma melhoria das características dos concretos, buscando-se alcançar concretos mais firmes com uma quantidade cada vez menor de cimento (FERREIRA, 2000).

Ainda conforme o autor Ferreira (2000), mesmo que o concreto seja o material de construção mais utilizado no mundo, o entendimento e disseminação das atividades construtivas apropriadas não acompanharam o desenvolvimento dessa atividade, ocorrendo contínuo desleixo nas obras, e restringindo a função do concreto em proteger as armaduras das corrosões. Ao passar dos anos, a tecnologia de fabricação do concreto foi se desenvolvendo, com o melhoramento das propriedades dos aditivos, adições e ligantes, promovendo assim uma diminuição bastante expressiva nas seções das peças de concreto armado diante da elevação das resistências mecânicas, e permitindo o lançamento do concreto em peças cada vez mais estreitas e mais armadas, fazendo uso de concretos mais fluidos e compostos com materiais mais finos, ocasionado um produto final de melhor qualidade (VASCONCELOS,2005).

Dessa forma, está acontecendo uma degradação mais célere nas estruturas de concreto armado, impelindo a área que trabalha com este material a estabelecer novos critérios, de modo a assegurar a seu desempenho (FERREIRA, 2000).

Sendo assim, deve-se exercer em todos os estágios: projeto (arquitetônico e estrutural), execução da obra, fiscalização e manutenção. Incluindo os cuidados com a estruturação do traço do concreto, é fundamental aderir processos apropriados para o lançamento, adensamento e cura do concreto. Porém, também deve-se ter cautela com a manutenção das obras prontas. Aparece então uma definição até

então pouco divulgada e quase nunca usada: a durabilidade do concreto. Este novo padrão refere-se à capacidade do concreto de resistir às intempéries e aos outros processos de degradação.

2.2 DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

2.2.1 Fatores Mecânicos e Físicos

As Tensões térmicas, ocorrem quando a variação de temperatura ocasiona uma alteração no volume das estruturas de concreto. Se as contrações e expansões são limitadas, e as tensões de tração consequentes forem maiores que a resistência do concreto, pode vir a acontecer frestas. (FERREIRA, 2000).

Grandes variações de temperatura ocasionam danos nas estruturas, uma vez que a temperatura da superfície se adequa com maior rapidez, enquanto a do interior se ajusta com lentidão. Os resultados são destacamentos do concreto causados pelos choques térmicos, como apresentado na figura abaixo.

Figura 1: degradação por Tensões térmicas



Fonte: Cánovas, 2012.

Acerca da deformação por retração e fluência, sabe-se que o concreto pode se sujeitar as circunstâncias de secagem ambiental como a carregamentos contínuos. Estas circunstâncias refletem em oscilações de volume do concreto e estão associadas à extração de água da massa de cimento. Se a umidade do ambiente for abaixo do nível de saturação, o concreto pode ter uma alteração chamada de retração por secagem. Se o carregamento for preservado ao longo do tempo, acontece a perda de água fisicamente sorvido, acontecendo uma deformação chamada fluidez. Abaixo pode-se ver uma deformação por retração e fluência.

Figura 2: Deformação por retração e fluência.



Fonte: Ferreira, 2000.

O fenômeno da retração está relacionado a deformações em pastas de cimento, argamassas e concretos, e independem do carregamento, tendo como principal causa a perda de água da pasta de cimento. A retração acontece no concreto em seu estado plástico ou endurecido (FERREIRA, 2000).

Sobre o desgaste por abrasão, erosão e cavitação, compreende que a abrasão consiste em desgaste superficial no concreto por fricção contínua sendo especialmente relevante no estudo de ação de pisos industriais, pavimentos rodoviários e de pontes. A resistência superficial e a dureza do concreto interferem na corrosão por abrasão. O uso de agregados grãos mais resistentes e a elevação da resistência à compressão, aumentando a sua resistência à abrasão (BAUER,2002). Na figura 3, tem um exemplo clássico de abrasão no concreto.

Figura 3: Desgaste por abrasão.



Fonte: Bauer,2002.

Andrade (1992) relata em seus estudos que o processo de erosão que se instala em virtude do carreamento de partículas finas pela água, também é causador de desgaste nas estruturas, tendo em vista a abrasão dessas partículas em passagem no concreto. Define ainda que esse processo se difere da cavitação, onde a degradação da superfície do concreto se dá pela implosão de bolhas de vapor de água, quando a velocidade ou direção do escoamento sofre uma mudança brusca.

Outro mecanismo capaz de causar danos às estruturas de concreto é chuva ácida, que mesmo sendo pouco comum, tem seu espaço, especialmente em grandes centros ou em áreas industriais. Os ácidos em contato com o concreto agem destruindo seu sistema poroso e resultando numa alteração total na pasta de cimento curtida. Como consequência destas ações é a extinção de massa e uma diminuição da parte do concreto. A eliminação ocorre em níveis consecutivos, desde a superfície exposta, tendo a velocidade da degradação correspondente tanto a quantidade do ácido junto do concreto (ANDRADE, 2003).

Os fluidos adentram nos poros do concreto de três maneiras:

- a) difusão, que é a diferença de concentrações iônicas entre os fluidos externos e internos;
- b) pressão hidrostática, resultado da divergência de pressão dos fluidos; e
- c) forças capilares, se apresenta por mecanismos capilares (FERREIRA, 2000).

Os ataques de sulfatos se originam nos materiais que o constitui o concreto ou no contato do concreto com áreas abundantes com este agente. O ataque realizado por sulfatos é resultado de sua atividade expansiva, que ocasiona tensões que tem a capacidade de rachá-lo. Os sulfatos são encontrados na água de amassamento, nos agregados e até no cimento (SILVA, 1998). Acompanha-se os sulfatos solúveis, em especial o sódio, cálcio e magnésio, sendo comum em atividades de minas e indústrias químicas. Se o sódio e cálcio são mais comuns nos solos, águas e processos industriais, já os sulfatos de magnésio são mais incomuns, no entanto, tem poder maior de destruição. Vale ressaltar que ambos têm altas capacidades de danos ao concreto, reagindo com o cimento hidratado. Na figura 4 abaixo, pode-se verificar esse ataque.

Figura 4: Ataque de sulfatos.



Fonte: Silva, 1998.

A reação álcali-agregado origina dilatação e expressivas fissuras na estrutura do concreto. O processo dessa atuação não é totalmente compreendido. Sabe-se que determinados agregados, como formas reativas de sílica, reagem com o

potássio, sódio e hidróxido de cálcio do cimento, e compõe um gel ao redor dos agregados reativos, ao ser exposto à umidade ele amplia, surgindo tensões internas resultando em rachaduras (ANDRADE, 2005).

O concreto diante de tal reação álcali-agregado apresenta na superfície inúmeras fendas, aumentando a quantidade de umidade, aumentando mais a reação, e assim vai passando sem atenção devida no decorrer do tempo. Vale ressaltar que a sua confirmação se dá através de investigação utilizando o microscópio eletrônico (EMMONS, 1993). Na figura a seguir, tem-se uma reação álcali-agregado.

Figura 5: Reação álcali-agregado.



Fonte:Emmons,1993.

A carbonatação, consiste quando o CO_2 , encontrado na atmosfera tem uma tendência perceptível para associar com as bases do cimento hidratado, decorrendo compostos com pH menores. A ação do CO_2 sobre os compostos do cimento hidratado é complexa, pois não é restrita ao hidróxido de cálcio, mas atinge e compromete todos os produtos da hidratação do cimento. O concreto é um material poroso e o CO_2 do ar penetra pelos seus poros. Abaixo, tem uma figura que retrata a carbonatação.

Figura 6: Carbonatação.



Fonte: Andrade, 1992.

Sobre a biodeterioração do concreto, compreende-se que se apresenta como uma alteração indesejável nas propriedades do material, em consequência à ação de microrganismos. O concreto é um material bioreceptivo ao ataque microbiológico, por causa das situações de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, que associados com as circunstâncias ambientais, estimulando a biodeterioração do concreto, agindo com ações nocivas contra a pasta de cimento e os agregados, influenciando na sua aparência final e diminuindo sua durabilidade, como apresentado uma biodeterioração do concreto em parede na Figura 7.

Figura 7: Biodeterioração do concreto.



Fonte: Andrade, 1992.

2.3 Causas Eletroquímicas de Degradação

2.3.1 Fundamentos da corrosão

Sabe-se que os metais que estão na natureza, normalmente são formados por componentes como óxidos e sulfetos, com demais elementos. Para fazer uso na forma elementar é necessário retirar o metal por meio de um processo de contenção, exigindo aplicação de energia. O mecanismo inverso, a volta do metal ao seu estado natural, é realizado pela diminuição de sua energia, ou seja, localiza-se por meio de uma reação natural. Tal processo, corresponde a uma oxidação, e uma corrosão, e retrata a morosa liquidação do metal (ANDRADE, 1992).

No concreto armado, uma das funções do concreto é proteger a armadura da ação dos agentes externos, criando uma barreira física, uma película fina de óxido de ferro na superfície do aço, conhecida de camada de passivação, com pH alcalino, que mantém o aço quimicamente estável por um tempo indefinido. Quando o concreto perde essa função, em virtude do desgaste com o tempo por exemplo, o pH cai, e pode se instalar um processo de corrosão, onde se observa a a oxidação do aço e a movimentação de íons por meio do eletrólito. Essa corrosão pode

acontecer pela ausência de uniformidade dos variados aços e soldas, do contato com metais com menor potencial eletroquímico, bem como da heterogeneidade do meio físico e químico que circundam o aço (FERREIRA, 2000). Em exemplo de corrosão das armaduras pode ser avaliado na figura abaixo.

Figura 8: Corrosão das armaduras no concreto armado.



Fonte: Ferreira, 2000.

Quando as circunstâncias de serviço se alteram, e o concreto se modifica por meio da penetração de substâncias agressivas, ocasionando a ruptura da película passivante, inicia o processo de corrosão das armaduras. Os óxidos expansivos, desenvolvidos na corrosão atingem um volume, bem maior que o volume do aço original, acometendo com fissuras e soltura da camada de cobertura, propiciando a entrada dos demais agentes agressivos. O aço em corrosão reduz de seção ou torna-se completamente em óxido, além de diminuir a adesão aço/concreto resultando na perda da capacidade estrutural do elemento de concreto. A seguir serão exemplificados os tipos de corrosão:

Já a corrosão generalizada, também chamada de uniforme acontece pela perda generalizada da película de passivação, como consequência diante da carbonatação no concreto ou existência abundante de cloretos. Também pode ter o efeito de lixiviação do concreto causado pela percolação ou lavagem por águas puras ou ligeiramente ácidas. Abaixo uma corrosão generalizada.

Figura 9: Corrosão Generalizada/Uniforme.



Fonte: Ferreira, 2000.

Sobre a corrosão localizada é formada por dissolução localizada da película de passivação, normalmente é resultado da penetração de íons cloretos no meio, vindos de fora ou de algum elemento que compõe o concreto. Forma-se uma célula de corrosão onde há uma área passivada inalterada, agindo como um cátodo, e uma pequena área como ânodo, que perdeu a película passiva e onde se reduz o oxigênio dissolvendo o aço. As pequenas áreas despassivadas, conhecidas pelo nome de pite, podem gerar condições suficientes para a sua continuidade e crescimento, e decrescem o pH localmente. Na figura 10, pode-se verificar a imagem da corrosão localizada.

Figura 10: Corrosão localizada.



Fonte: Andrade, 1992.

Compreende-se que corrosão sob tensão é caracterizada pela ocorrência em aços postos a altas tensões, onde na superfície é ocasionada uma microfissura que vai avançando com rapidez, estimulando uma ruptura súbita do metal, ainda que a superfície não apresente provas de ataques. Essa corrosão ocorre, especialmente, em concretos protendidos, por ser muito específico está relacionado com a má qualidade do concreto, um exemplo está na imagem a seguir.

Figura 11: Corrosão sob tensão



Fonte: Andrade, 1992.

2.4 Os Principais Reforços Estruturais

Mesmo com o aumento dos reparos de reforços estruturais, os profissionais ainda se deparam com técnicas que são fundamentadas em experimentações, pois são técnicas que englobam um trabalho específico para cada circunstâncias manifestadas nas estruturas, e mesmo que diversos reparos tenham ocorridos com sucesso, ainda é bastante recente, e necessitarão de mais tempo para coleta de dados. Diante disso, percebe-se que a durabilidade, as manifestações patológicas e as técnicas de reforço estrutural são temas bastantes preocupantes tanto na academia como na pratica profissional.

Em determinados casos, o profissional se encontra com cenários desafiadores para a escolha mais a técnica de reforço e do material mais adequado a ser utilizado, pois os edifícios são expostos a diversos agentes agressivos. Assim, devem ser previstos os materiais que possuam os fatores necessários para conferir à estrutura um bom desempenho frente aos atributos a que aquela estrutura servirá, assegurando não só a economia com manutenção mais a longevidade do reparo.

Em muitos casos o método construtivo tradicional em concreto armado se mostra inapropriado, fazendo com que os engenheiros busquem métodos alternativos para solucionar os problemas.

2.4.1 Tratamento do Substrato

Para o bom desempenho de qualquer intervenção, principalmente de recuperação ou reforço, é fundamental que o substrato (superfícies do concreto e do aço existentes) seja convenientemente tratado. São duas as finalidades básicas do tratamento: retirar todo material deteriorado ou contaminado e propiciar as melhores condições de aderência entre o substrato e o material de recuperação ou reforço.

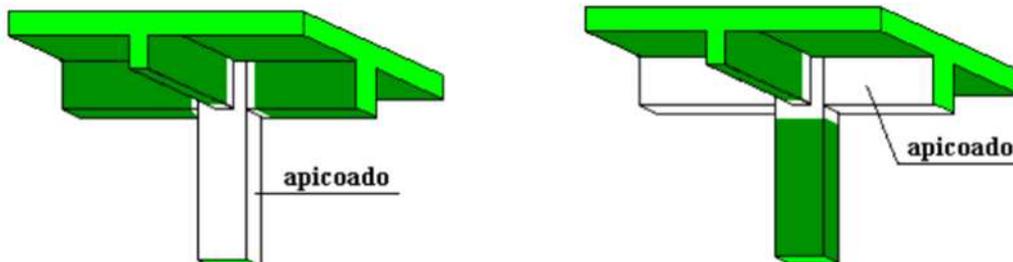
Para o tratamento do substrato, podem ser adotados os seguintes procedimentos:

- Escarificação manual (marreta, talhadeira, ponteiro);

- Escarificação mecânica (martelete, rompedor, fresa);
- Escovamento manual (escova de aço);
- Lixamento manual ou elétrico (lixas para concreto e aço, lixadeira elétrica);
- Hidro demolição (equipamento específico);
- Jateamento de areia (equipamento específico);
- Jateamento de água e areia (equipamento específico);
- Queima controlada com chama (maçarico);
- Corte de concreto (discos ou fios de corte);
- Jateamento de ar comprimido (equipamento específico);
- Jateamento de água fria ou quente (equipamento específico);
- Jateamento de vapor (equipamento específico)
- Lavagem com soluções ácidas (solução de ácido clorídrico, Reebaklens da Fosroc);
- Lavagem com soluções alcalinas (solução de “soda cáustica”);
- Aplicação de removedores de óleos e graxas (Reebexol Super da Fosroc);
- Aplicação de removedores de gordura e ácido úrico - suor -
- (álcool isopropílico, acetona);
- Umedecimento ou saturação da superfície do concreto com água (aspersão, pano ou areia molhados).

A superfície do concreto velho que entrará em contato com o material de recuperação ou reforço deverá ser apicoada para a retirada da nata de cimento superficial conforme a figura abaixo.

Figura 12: Apicoamento do Concreto: Reforço do Pilar e Reforço da Viga.



Fonte: PIANCASTELLI, 2015.

Ela deverá apresentar-se seca ou úmida (saturada com superfície seca) em função do material a ser utilizado.

2.4.2 Encamisamento de concreto ou aumento da seção transversal

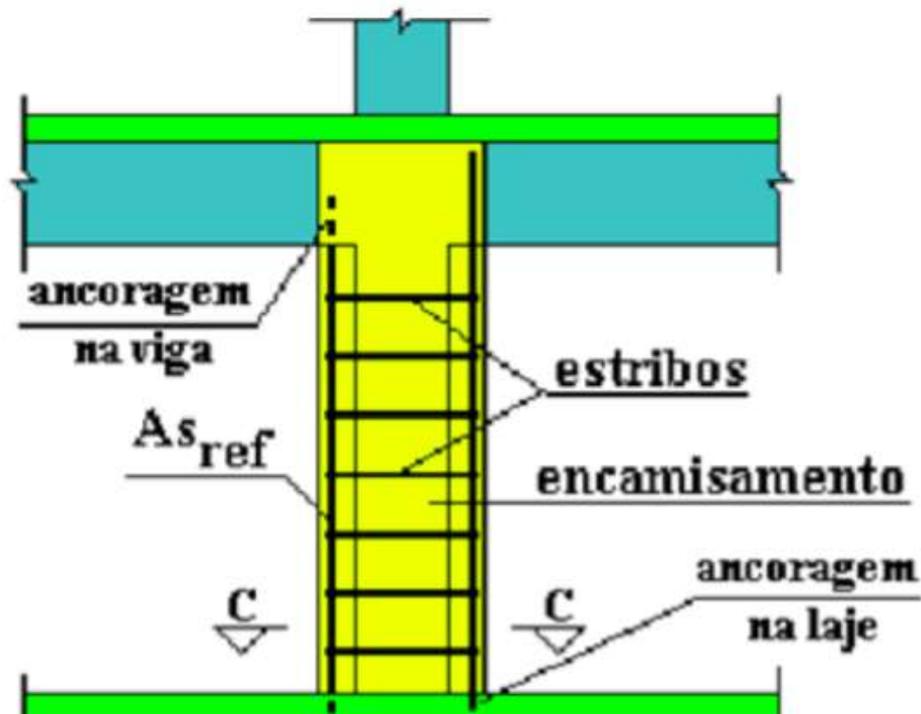
O reforço de elementos estruturais, em especial, os pilares com o aumento da seção com concreto armado é um sistema bastante difundido, devido suas vantagens, sendo a principal a econômica e de fácil execução, acerbados outros sistemas de reforço. Se o reforço a ser executado com concreto for apropriadamente construído, a eficiência e garantia será superior, mas em boa parte dos casos, o reforço é realizado por outros métodos (CANOVAS, 1988).

No entanto, o reforço de pilares na perspectiva do projeto estrutural é sempre o mais complexo, ao ser comparado com o reforço de vigas e lajes. Isso ocorre devido os pilares serem os últimos elementos de sustentação das estruturas, antes das fundações, absorvendo as cargas que vem de outros elementos e vários pavimentos.

A etapa mais complexa consiste no alívio das cargas que agem sobre o pilar avariado, de forma que o reforço seja realizado e possa entrar sem estar recebendo parte das cargas do elemento original. O que se percebe é que o reforço de pilares é realizado em boa parte dos casos sem o descarregamento da estrutura, pois necessitaria de uma estrutura de apoio que fosse dimensionada de forma a receber o carregamento presente, o que por vezes torna o processo inviável.

O reforço realizado nos pilares onde se coloca uma camada adicional de concreto armado em um elemento estrutural já existente pode ser chamado de encamisamento (Fig.13). Esse elemento estrutural pode ter suas dimensões resistentes modificadas para aumentar a sua capacidade resistente, com o intuito de produzir um elemento monolítico entre a estrutura existente e a nova camada.

Figura 13: Reforço do pilar original envolvido por concreto armado em todas suas faces.



Fonte: Helene, 1988, p.88.

Vale ressaltar que, deve-se levar em consideração que o reforço de pilares de concreto pode ser realizado por meio do aumento de sua seção transversal, com o uso de concreto com resistência e armaduras adicionais apropriadas, onde o reforço não precisa ser necessariamente realizado em todo o seu entorno de concreto, podendo ser realizado em algumas das suas faces, conforme as condições da estrutura. O material de reforço deve ter módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação e resistência compatíveis com o do concreto existente.

No caso de vigas, você pode projetar reforço / reparo para resolver esses dois problemas causados por tensões, por momentos de flexão e tensões Devido à força de cisalhamento. O tratamento para cada condição é diferente. E sobre a ação do momento fletor, a falha pode ser devido à existência de um Taxa de reforço de tração insuficiente, resultando em rachaduras no centro da viga E pode destruir esta obra; devido à baixa resistência à compressão do concreto, Devido à má qualidade do material ou reforço insuficiente da área comprimida. No caso de força de cisalhamento insuficiente, a falha pode ser devido à falta de reforço transversal ou colocação inadequada, e por resistência do concreto ser insuficiente.

As peças estruturais geralmente suportam o momento de flexão resultante Sobrecarga por meio de operação e uso permanentes. Por esse motivo, quando se você intervir sem descarregar completamente as peças, você pode exibir um estado descontínuo de deformação. NBR 6118 (2014) e assegurar a presença de estribos na região reforçada, as espessuras mínimas de reforço maiores que 10 cm.

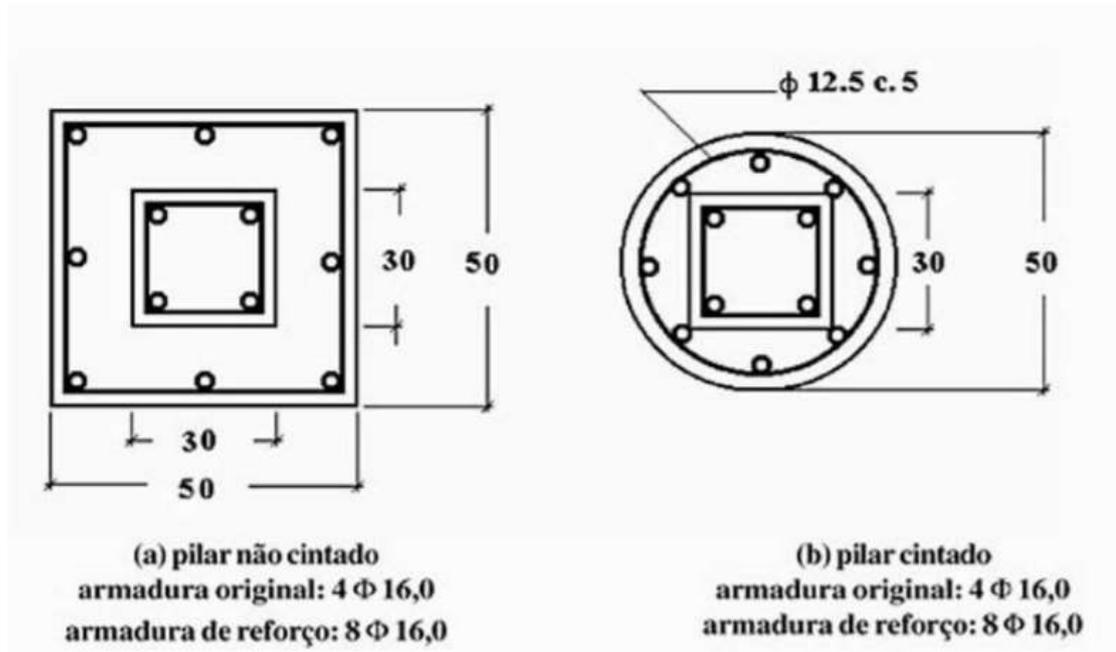
Pode-se fazer o uso de diversas técnicas para o encamisamento de concreto, no caso de grandes volumes, pode-se usar o concreto projetado, e em pequenos volumes o método tradicional com o uso de formas (TAKEUTI, 1999). Antes da realização do reforço deve-se melhorar a aderência do elemento de concreto onde será realizado, e assim, assegurando a união entre os concretos, o novo e o antigo.

Takeuti (1999) aconselha que, tendo a possibilidade, o reforço deve ser realizado envolvendo toda a estrutura, fazendo o uso de estribos fechados objetivando uma melhor ductibilidade. Aconselha-se também que o concreto usado no reforço tenha resistência à compressão (f_{ck}) mais elevado do que 20MPa e que tenha 5MPa a mais do que o concreto existente reduzindo dessa forma o surgimento de fissuras por retração.

Outro processo de reforço é o de encamisamento por cintamento, onde se eleva a resistência do pilar original por compressão triaxial, que faz o uso de seções menores (CANOVAS, 1988). O encamisamento por cintamento consiste em recobrir com uma envoltória cilíndrica, que tem a capacidade de contrariar as deformações transversais de concreto, quando for submetido a esforços de compressão, onde pode ocorrer que a armadura ter forma helicoidal contínua de forma a limitar a deformação transversal (TAKEUTI, 1999).

Deve-se observar que a estrutura a ser reforçada normalmente é um pilar de forma quadrada ou retangular, e será transformada em um pilar circular, com o objetivo de uma eficiência maior para o cintamento e uma maior economia de material. A Figura 14 apresenta o reforço por encamisamento de concreto.

Figura 14: Reforço por encamisamento de concreto



Fonte: Souza e Riper (1998, p. 217)

2.4.3 Vantagens e desvantagens do reforço de estrutura por meio de encamisamento de concreto

As principais vantagens sobre os demais tipos de reforços de estrutura seria o menor custo, ao ser comparado com outros mecanismos de reforço, em especial, por não ter a necessidade da exigência de mão-de-obra especializada para sua realização e a utilização de materiais de fácil oferta.

No entanto, uma das principais desvantagens consiste no aumento da seção transversal, do peso próprio, e a necessidade de formas para concretagem, o fato de a peça reforçada ser apenas solicitada depois do concreto ter atingido a sua resistência de projeto e a retração entre o concreto velho e o novo podendo ter a ocorrência de problemas de fissuração e aderência.

Além do mais, tem a necessidade de descarregar os esforços desta estrutura de reforço em outro elemento, ou seja, pode ter a necessidade de realizar uma fundação adicional para o recebimento dos esforços do reforço. Podendo ter o quadro piorado, pois há o comprometimento estético e do uso dos compartimentos que necessitam de reparos.

As recomendações, conforme com Souza e Ripper (1998) acerca da melhoria da adesão e controle à retração consistem em:

- a) Retirar o concreto deteriorado ou desintegra-lo. Por motivações práticas, a espessura mínima da camada a ser adicionada deve ser de aproximadamente de 75 mm a 100 mm, permitindo que a compactação do novo concreto e o posicionamento da nova armadura possam ser feitos de forma apropriada;
- b) Criar uma superfície rugosa permitindo a presença dos agregados expostos e retirar, se necessário, o concreto que no entorno das armaduras, eliminando apenas o concreto deteriorado;
- c) Retirar a ferrugem das armaduras e óleos do concreto;
- d) Banir o pó fazendo o uso água sob pressão;
- e) Fornecer a saturação do concreto antigo pôr no mínimo seis horas antes da aplicação do concreto novo;
- f) Coibir bolhas de ar por meio da aplicação de concreto ou argamassa com maior fluidez e a através de um mesmo lado da fôrma. Em alguns casos, há a necessidade de abrir janelas por um período temporário na fôrma para lançar o concreto e possibilitar a passagem do vibrador de imersão;
- g) Proporcionar a cura com umedecimento da superfície ou com a cobertura com umidade adequada, bem como areia, espuma, estopa e demais produtos. Este umedecimento deve perdurar por no mínimo dez dias;
- h) Fazer uso do concreto de melhor qualidade, com resistência de no mínimo 5 MPa a mais.

2.4.5 Perfis metálicos exteriores

Conhecidos como “reforços com adição de armaduras exteriores”, fazendo o uso de elementos metálicos, chapas (Figura 15) ou perfis (Figura 16), colados com adesivo epóxi, que permitem a união de aço e concreto, ou ainda com auxílio de chumbadores parabolts.

Figura 15: Reforço de laje com chapas metálicas com adesivo e parabolts.



Fonte: <http://www.htecnic.pt/obra.php?id=276>. Acesso em 2/11/2021.

No decorrer de todo o processo de reforço, a estrutura deverá ser analisada de todas as cargas possíveis. O concreto passara por uma preparação, que consistem em: a camada deteriorada deverá ser retirada, e a rugosidade da superfície elevado pelo escarificação, no entanto, a rugosidade não deverá ser excessiva, com o intuito de não ocorrer desperdício de adesivo colante em espessuras elevadas. O uso de adesivo epóxi requer não necessita de umidade na região de aplicação.

Figura 16: Reforço com perfis metálicos.



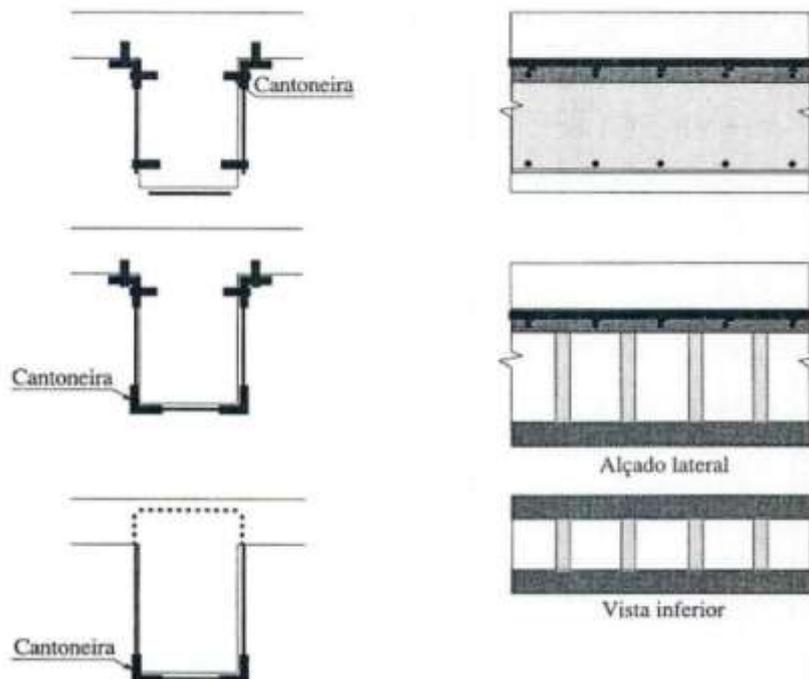
Fonte: <http://www.nucleofix.com.br/imagens/produtos/reforco-estrutural-01.jpg>. Acesso em: 02/11/2021.

Nos casos de aplicação de chapas coladas por injeção de adesivo e adição de chumbadores parabolts, a priori, as chapas são inseridas por meio do parabolts de alta resistência, introduzidas em furos anteriormente realizados, na superfície já preparada. Em seguida, ocorre a selagem do entorno da chapa com adesivo epóxi, deixando-se tubos de pequenos diâmetros para injeção do adesivo e saída do ar, seguida da injeção do adesivo no espaço entre o concreto e a chapa de aço, fazendo o uso de adesivo de baixa viscosidade (APPLETON e GOMES, 1997).

As chapas e perfis de aço devem ser protegidos contra a ação do fogo fazendo o uso de barreiras de proteção ou pinturas que asseguram proteção de, no mínimo, 30 minutos (JUVANDES, 2002).

Podem ser realizadas chapas contínuas, que requerem uma maior área de concreto a ser preparada, ou por meio de chapas descontínuas. No caso de chapas contínuas, Appleton e Gomes (1997) recomendam o uso de uma cantoneira fixa por meio de parabolts à face superior, e para chapas descontínuas, é indicada além da cantoneira superior (Figura 12), sejam usadas cantoneiras na zona inferior, ligadas por barras, de forma a assegurar uma amarração eficiente.

Figura 17: Reforços ao cisalhamento.



Fonte: APPLETON e GOMES, 1997.

Conforme os estudos de Silva (2006), deve-se seguir algumas considerações para o reforço com chapas coladas:

- Espessura máxima de cola: 1,5 mm;
- Espessura máxima das chapas de 3 mm, exceto nos casos de uso de dispositivos especiais de ancoragem, como parafusos parabolts.
- Não ultrapassar em 50% de adição nos reforços resistentes, em comparação com a situação antes do reforço.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é explorada por uma sequência de tópicos, os quais têm como objetivo atingir o resultado proposto no estudo.

Desta forma, apresenta-se a metodologia, visando uma melhor compreensão, a qual inicia-se pela análise do ambiente da pesquisa, a definição da natureza da pesquisa, os tipos de pesquisas existentes, o instrumento de coleta e análise dos dados da organização pesquisada, visando atingir o foco principal do estudo.

3.1 Tipo de Estudo

Por meio da revisão de literatura, realizou a fundamentação teórica do estudo, foi realizado um levantamento dos principais problemas estruturais e as principais formas de tratamento. Foram vistos inúmeros problemas, de vários contextos patológicos, no entanto, os problemas levantados aqui são os mais recorrentes em pilares e vigas. Além da identificação serão feitos, empiricamente e com base nos conhecimentos práticos e teóricos adquirimos no curso de engenharia, o dimensionamento de uma viga comercial e a verificação da necessidade de reforço estrutural.

3.1.1 Hipótese adotada

Para aplicação dos conceitos abordados até aqui, adotamos uma situação hipotética, mas de cunho prático. Trata-se da verificação de uma viga, com seção comercial de 20x30 cm², com 2 ferros de 10mm na sua zona mais tracionada e outros dois ferros de 10 mm na zona mais comprimida, com estribo de 4,2mm a cada 20 cm. Essa armação é facilmente encontrada na maioria dos armazéns.

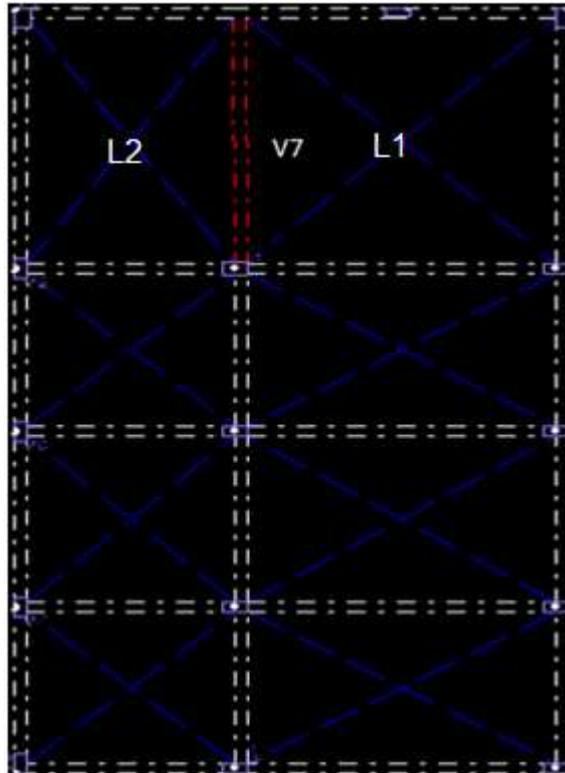
Figura: 18



Figura: <https://casaserralheiro.com.br/product/coluna-pronta/>

A viga em questão foi chamada de “V7”, e é a viga de apoio para duas lajes, uma onde a utilização é um quarto, e outra um banheiro, como se fosse uma viga que separa os ambientes de uma suíte, conforme pode ser observado na figura 18.

Figura 19:Localização da v7 no projeto (cypecad).



Fonte: Autor, 2021.

Em tempo, sobre essa viga, contabilizou-se também o efeito de carregamento gerado por uma alvenaria com altura de 2,8 m. A síntese dos dados foi a seguinte:

- A viga é considerada biapoiada;
- Nome da viga: V7;
- Laje maciça, altura: 12 cm;
- Laje L1 tem 3 metros entre apoios
- Laje L2 tem 1,5 metros entre apoios
- Peso do concreto: 25 KN/m³;
- Dimensões da seção: 20 x 30 cm²;
- Classe do concreto C25;
- Aço CA-50;
- Cobrimento c = 2,5 (Classe I);
- Vão teórico: 3 m;
- Alvenaria, altura: 2,8 m, tijolo de vedação com 9 cm e 2cm de argamassa em cada face;

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise da viga V7

Partindo da situação criada, seguimos com os cálculos para verificação da capacidade resistente da viga comercial, para avaliar a necessidade de reforço, e apresentar o dimensionamento prático desses reforços, utilizando o acréscimo de barras ou a utilização de perfil metálico

Levantamento dos carregamentos

$$\text{Peso próprio da laje} = 0,12 \times 25 = 1,5 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Revestimento} = 100 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ KN/m}^2$$

Carga permanente total sobre cada uma das lajes (L1 e L2)

$$\text{Peso próprio} + \text{revestimento} \rightarrow 1,5 + 1,0 = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

Reação permanente da laje L1 (quarto) sobre a viga V7

$$\frac{p.l}{2} = \frac{2,5 * 3}{2} = 3,75 \text{ KN/m}$$

Reação permanente da laje L2 (banheiro) sobre a viga V7

$$\frac{p.l}{2} = \frac{2,5 * 1,5}{2} = 1,88 \text{ KN/m}$$

Cargas variáveis dos ambientes

$$\text{Sobrecarga de utilização} = 1,5 \text{ KN/m}^2 \text{ (para quarto e banheiro)}$$

Reação variável da laje L1 (quarto) sobre a viga V7

$$\frac{p.l}{2} = \frac{1,5 * 3}{2} = 2,25 = 2,25 \text{ KN/m}$$

Reação variável da laje L2 (banheiro) sobre a viga V7

$$\frac{p \cdot l}{2} = \frac{1,5 * 1,5}{2} = 1,13 \text{ KN/m}$$

Reação permanente total das lajes sobre a viga V7

$$(3,75 + 1,88) \text{ (KN/m)} = 5,63 \text{ KN/m}$$

Reações variáveis sobre a viga V7

$$Q1 = 2,25 \text{ KN/m}$$

$$Q2 = 1,13 \text{ KN/m}$$

Peso próprio da viga

$$0,20 \times 0,30 \times 25 = 1,5 \text{ KN/m}$$

Carga da Alvenaria

$$2,80 \times 1,60 = 4,48 \text{ KN/m}$$

Combinação das ações

$$F_d = 1,4(5,63 + 1,5 + 4,48) + 1,4 \times 2,25 + 1,4 \times 0,5 \times 1,13 = 20,20 \text{ KN/m}$$

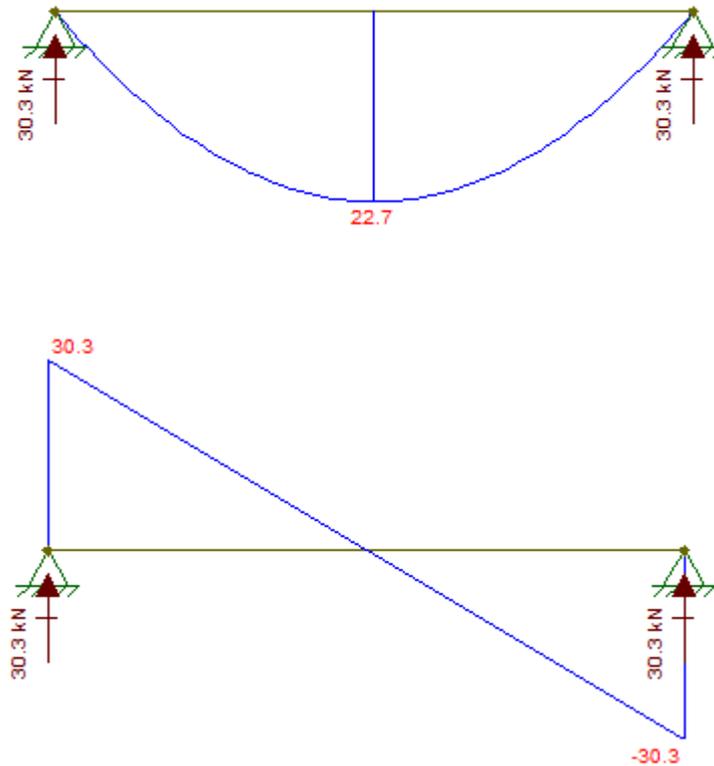
$$M_d = \frac{p * l^2}{8} = \frac{20,20 \cdot 3^2}{8} = 22,73 \text{ KN/m} \approx 23 \text{ KN/m}$$

$$V_{d,eixo} = \frac{p * l}{2} = \frac{20,20 * 3}{2} = 30,30 \text{ kN}$$

$$V_{d,face} = V_{d,eixo} - p * d * \frac{t}{2} = 30,3 - 1,4 \times 23 \times \frac{0,20}{2} = 27,08 \text{ kN}$$

Os diagramas de cálculo obtidos podem ser observados na figura 19

Figura 20: Diagramas de momento fletor e esforço cortante atuantes sobre a viga V7



Fonte: Autor, 2021.

Verificações

A - Altura útil

$$d' = h - d = c + \phi t + \frac{\phi l}{2}$$

onde $c = 2,5\text{cm}$, $\phi t = 0,42$ e $\phi l = 1\text{ cm}$ (ϕt e ϕl valor estimado)

$$d' = 2,5 + 0,42 + 0,5 = 3,4\text{ cm}$$

$$d = 30 - 3,4 = 26,6\text{ cm}$$

B – Verificação à flexão

- Tabela (pinheiro,1993)

$$M_{d,limite} = \frac{b \cdot d^2}{K_{c,limite}} = \frac{20 \cdot 26,6^2}{1,8} = 7861 \text{ KN/m}$$

$$M_{d,max} = 23 \text{ kN} < M_{d,limite} = 78,61 \text{ kN}$$

-Armadura de flexão

$$K_c = \frac{b \cdot d^2}{m d} = \frac{20 \times 26,6^2}{2300} = 6,1$$

$K_c = 6,1$ $K_s = 0,025$ \rightarrow tabela 1.1 (Pinheiro,1993)

$$A_s \geq \frac{K_s * M_d}{d} = \frac{0,025 * 2300}{26,6} \geq 2,2 \text{ cm}^2$$

Considerando que a viga comercial tem $2\phi 10 \text{ mm}$, e que a área de aço de cada bitola é de aproximadamente $0,70 \text{ cm}^2$, temos:

$$n_{\phi} \geq \frac{2,2}{0,7} \geq 3,14$$

Podemos concluir que as duas barras não são suficientes para os esforços conforme a NBR 6118:2014, sendo necessário um mínimo de $4\phi 10 \text{ mm}$

C –Verificação ao cisalhamento

$$V_{rd2} = 0,27 \alpha_v * f_{cd} * b_w * d$$

$$V_{rd2} = 0,27 * \left(1 - \frac{2,5}{25}\right) * \frac{2,5}{1,4} * 20 * 26,6 = 230,8 \text{ kN}$$

$$V_{sd,face} = 27,8 \text{ KN} < V_{rd2} = 230,8 \text{ kN} \rightarrow \text{bielas resistem!}$$

$$V_{sd,min} = V_{sw,min} + V_c$$

$$V_{sw,min} = p_{sw,min} * 0,9 * b * d * f_{ywd}$$

$$V_{sw,min} = \frac{0,150}{100} * 0,9 * 20 * 26,6 * 43,5 = 31,24 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,60 * f_{ctd} * b * d = 0,60 * \frac{\frac{0,21}{1,4} * 25^{2/3}}{10} * 20 * 26,6 = 40,94 \text{ kN}$$

$$V_{sd,min} = 31,24 + 40,94 = 72,16 \text{ kN}$$

$$Vsd_{face} = 31,28 \text{ kN} < Vsd_{min} = 72,18 \text{ kN} \rightarrow \text{Armadura mínima é suficiente!}$$

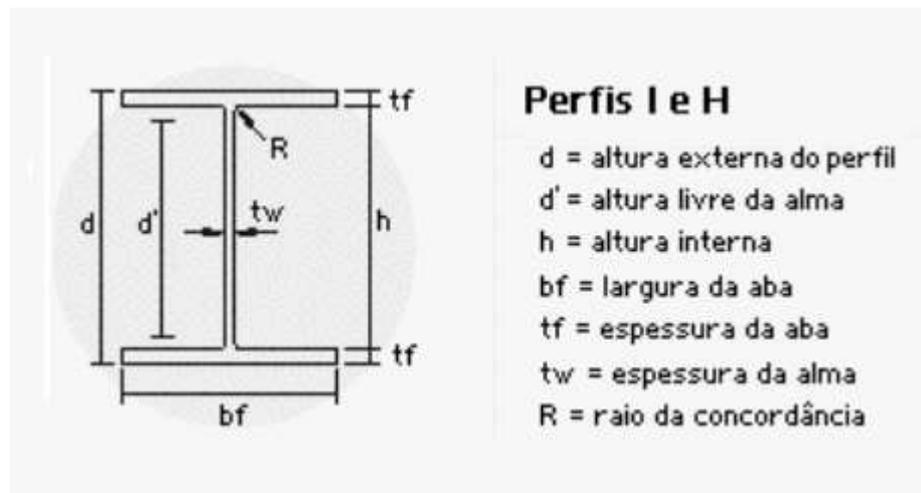
$$\frac{A_{sw,min}}{s} = p_{sw,min} * b_w = \frac{0,150}{100} * 20 = 0,03 \text{ cm}^2/\text{cm} = 3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Utilizando-se estribos de 2 ramos, temos:

$$A_{sw} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

A seção comercial vem com estribos de 4.2 mm a cada 20 cm, resultando em 5 estribos a cada metro, com área de 0,14cm² cada, somando 0,7 cm² a cada metro, valor inferior ao mínimo necessário. Nesse ponto, observamos a necessidade de reforço dessa viga tanto na armadura longitudinal, quanto na armadura transversal. Esse reforço pode ser realizado pelo aumento de seção por encamisamento, acrescentando as duas barras de 10 mm na zona mais tracionada (bordo inferior), e incluindo estribos de 5.0 mm a cada 20 para se alcançar a área mínima de aço exigida na verificação ao esforço cortante

Figura 21: Perfil I.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 22: Dimensionamento.

BITOLA		Massa Linear kg/m	d	b ₁	ESPESSURA				h	d'	Área	EIXO X - Y				EIXO Y - Y				r _x	i _x	ESBELTEZ		C _w	u	BITOLA
mm x kg/m	mm				t _w	t _f	t _l	t _l				I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y			b ₁ /2t _w	d'/t _w			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 150 x 13,0			
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,16	20,48	6,683	0,89	W 150 x 18,0			
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 150 x 22,5 (H)			
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,8	10,3	139	115	31,5	1.364	173,0	6,63	197,6	193	35,9	2,41	55,6	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 150 x 24,0			
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 150 x 29,8 (H)			
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,56	6,64	14,67	39,530	0,91	W 150 x 37,1 (H)			
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 200 x 15,0			
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,58	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 200 x 19,3			
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,6	8,17	226,6	142	27,9	2,22	43,9	2,81	4,18	8,38	37,42	13,868	0,79	W 200 x 22,5			

Fonte: <https://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/2.pdf>, 2021.

Para efeito de simplificação dos cálculos, considerando que a viga tem metade da armadura necessária para o carregamento observado, consideramos que o resíduo de carregamento a ser resistido pelo perfil selecionado será de 10,1 kN/m

-Parâmetros de projeto

*aço-usi-sac-300

*viga de perfil laminado

*qd = 10,1 kN/m

*vão = 3,0 m

Pré-dimensionamento

$$d_{\text{perfil}} = \text{vão}/20 = 300/20 = 150\text{mm}$$

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{lim}}$$

$$\frac{5}{384} \times \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_x} \geq \frac{l}{350}$$

$$\frac{5}{384} \times \frac{0,101 \cdot 300^4}{20000 \cdot I_x} \geq \frac{300}{350} = \frac{4090500000}{7680000 \cdot I_x} \geq \frac{300}{350}$$

$$\text{logo, } 2304000000 I_x \geq 1,431675 \times 10^{12}$$

$$I_x = \frac{1,431675 \times 10^{12}}{2304000000} = 621,38 \text{ cm}^4$$

Verificação do w_x , cálculo de resistência da viga.

$$M_{rd} \geq M_{sd}$$

$$\frac{f_y \cdot w_x}{\gamma_{a1}} = w_x \geq \frac{m_{sd} \cdot \gamma_{a1}}{f_y}$$

$$W_x \geq \frac{1140 \times 1,10}{30} = 41,8 \text{ cm}^3$$

Logo o perfil adequado para o pré-dimensionamento é o w150 x 18,0 (tabela geral)

- Flambagem local da alma da viga (F.L.A)

$$\gamma = \frac{h}{t_w} = \frac{138}{4,3} = 32,09$$

$$\gamma_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{e}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{20000}{30}} = 97,08$$

Logo $\gamma < \gamma_p$

Formula será:

$$M_{rd} = \frac{m_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{pl} = z_x \times f_y = 96,4 \times 30 = 2892$$

$$M_{rd} = \frac{2892}{1,10} = 2629,09 \text{ KN/cm}$$

- Flambagem local da mesa

DADOS DA PEÇA

$$d = 148 \text{ mm}$$

$$b_f = 100\text{mm}$$

$$t_w = 4,3\text{ mm}$$

$$t_f = 4,9\text{ mm}$$

$$h = 138\text{mm}$$

$$d' = 118\text{mm}$$

$$a_g = 16,6\text{mm}$$

$$I_x = 635\text{mm}^4$$

$$I_y = 82\text{ mm}^4$$

$$W_x = 85,8$$

$$Z_x = 96,4$$

$$R_a = 15,15\text{ Kn/m}$$

$$M_{\max} = 11,4\text{ KN}$$

$$\gamma = \frac{h}{t} = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{100/2}{4,9} = 10,20$$

$$\gamma_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{e}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{20000}{30}} = 9,81$$

Logo, gama é maior que gama p.

Logo, lambida e maior que lambida p

-Flambagem lateral por torção

$$\gamma_p = 1,76 \times \sqrt{\frac{e}{f_y}} = 1,76 \times 1,76 \times \sqrt{\frac{20000}{30}} = 45,44$$

$$M_{pl} = z_x \times f_y = 96,4 \times 30 = 2892$$

Igual a mesa!

$$\gamma = \frac{h}{t_w} = \frac{139}{5,8} = 23,96$$

-Para alma sem enrijecedores o $k_v = 50$

$$\gamma_p = 1,10 \times \sqrt{\frac{k_v \cdot f}{f_y}} = 1,10 \times \sqrt{\frac{50 \cdot 20000}{30}} = 63,51$$

$$\gamma_r = 1,37 \times \sqrt{\frac{e}{f_y}} = 1,37 \times \sqrt{\frac{50.20000}{30}} = 79,10$$

Como $\gamma \leq \gamma_p$, logo $v_{rd} = \frac{m_{pl}}{\gamma_{al}}$

$v_{rd} \frac{v_{pl}}{\alpha_1}$, para lambda menor que lambda p

$$V_{pl} = 0,60 \times a_w \times f_y$$

$$A_w = d \times t_w = 14,8 \times 0,43 = 636 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 \times 6,36 \times 30 = 114,48 \text{ kN}$$

$$V_{rd} = \frac{m_{pl}}{\gamma_{al}} = \frac{159,66}{1,10} = 145,15 \text{ KN}$$

Como $V_{rd} \geq V_{sd}$ não será necessário enrijecedor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método disposto nesta pesquisa consiste em uma das alternativas de reforço de estrutura em concreto armado. O trabalho buscou apresentar de modo simplificado, os principais métodos de execução, vantagens e desvantagens, além da apresentação dos cálculos aplicados a uma viga comercial vastamente encontrada nos armazéns.

Diante da necessidade de reforço, o profissional pode escolher a técnica que melhor se encaixa na solução do problema, escolha que pode ser regida, entre outros parâmetros, pela restrição em realizar escoramento, agressividade do ambiente, dificuldades de acesso ao local de reforço, etc.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, M. S. **Compressive Strength of concrete at temperature to 16000 F. American Concrete.** Detroit, Michigan, 1971

ALMEIDA, I. R. **Influência da resistência à abrasão do agregado na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho.** São Paulo: IBRACON, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Concrete repair manual.** 2nd. ed. Farmington Hills, MI, 2003.

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. **Construção de concreto.** São Paulo: PINI, 1984.

ANDRADE, J.J.O. et al. **Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química.** Vitória - ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005.

ANDRADE, W. P. **Abrasão do concreto de superfícies hidráulicas.** In: Congresso Brasileiro do Concreto. REIBRAC, 34, 1992, Curitiba - PR. Anais. São Paulo: IBRACON, 1992

ARANHA, P. M. F. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado da região da Amazônia.** Porto Alegre: UFRGS, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

BEBER, A. J. **Avaliação do Desempenho de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Lâminas de Fibras de Carbono.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre CPGEC/UFRGS, 108 pg. Rio Grande do Sul, 1999.

BAUER, R. J. F. et al **Influência dos endurecedores de superfícies sobre a resistência ao desgaste por abrasão** In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 44, 2002, Belo Horizonte - MG. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002.

CAMPOS, A. F. **Dimensionamento e verificação de seções poligonais de concreto armado submetidas à flexão composta oblíqua.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul– Escola de Engenharia– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2000.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado.** Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988.

CARNEIRO, A. **Inspeção nas pontes da cidade do Recife. Relatório Técnico** – Prefeitura da cidade do Recife. Recife- PE, 2004.

COSTA, C. N. et al **O fenômeno do lascamento (spalling) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio** – uma revisão crítica. In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 44, 2002, Belo Horizonte - MG. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002 (

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FIGUEIREDO, EnioPazini. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

GRAÇA, Newton G.; BITTENCOURT, Rubens M.; SANTOS, Sérgio B. dos. **Efeitos da Temperatura sobre o Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

SANTOS, Sérgio B. dos. **Deformações por Retração e Fluência**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. V

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231 f. Tese (Livre- Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

LIMA, MaryangelaGeimba. **Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

LIMA, R. C. A. et al **O concreto de alto desempenho em temperaturas elevadas** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo - SP. Anais. São Paulo, 2003

MONTEIRO, Paulo J.M. Concreto: **Estrutura, Propriedades e Materiais**. Tradução de Paulo Helene et al. 1. ed. São Paulo, PINI, 1994.

NEPOMUCENO, Antônio Alberto. **Mecanismos de Transporte de Fluidos no Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Biodeterioração do concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. V

SILVA, Paulo Fernando A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2001.

SOUZA, A. A. A & MORENO Jr., A. L. **Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003.

TEIXEIRA, P. W. G. N. & GONÇALVES, F. D. R. **Avaliação geral do estado 55 de conservação de pontes existentes nas rodovias do Piauí** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JÚNIOR, Renato. **A escola brasileira do concreto armado**. 1. ed. São Paulo: AxisMundi, 2005.

VELASCO, R. V. et al **Comportamento tensão- deformação do concreto de alto desempenho submetido a altas temperaturas** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003.