

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS –
FATECS CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

NATÁLIA GUEDES MADUREIRA

MATRÍCULA: 21607877

**SISTEMA DE REFORÇO EM PAINÉIS DE CONCRETO
ARMADO PRÉ-MOLDADOS PARA VIABILIZAÇÃO DE
PROJETOS ARQUITETÔNICOS**

Brasília

2017

NATÁLIA GUEDES MADUREIRA

**SISTEMA DE REFORÇO EM PAINÉIS DE CONCRETO
ARMADO PRÉ-MOLDADOS PARA VIABILIZAÇÃO DE
PROJETOS ARQUITETÔNICOS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do Uniceub - Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.º. Civil Jocinez Nogueira Lima, M.Sc.

Brasília

2017

NATÁLIA GUEDES MADUREIRA

**SISTEMA DE REFORÇO EM PAINÉIS DE CONCRETO
ARMADO PRÉ-MOLDADOS PARA VIABILIZAÇÃO DE
PROJETOS ARQUITETÔNICOS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia Civil
do UniCEUB - Centro Universitário de
Brasília

Orientador: Eng.º Civil Jocinez
Nogueira Lima, M.Sc.

Brasília, 01 de Dezembro de 2017.

Banca Examinadora

Eng.º Civil: Jocinez Nogueira Lima, M.Sc.

Orientador

Arquiteto: Stefano Galimi, M.Sc.

Examinador Interno

Eng.º Civil: Guilherme de Sousa Fernandes.

Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Ao longo da jornada universitária, me deparei com diversos momentos; dificuldades, duvidas, medo, instabilidade... momentos que foram vividos e superados. Mas o maior aprendizado adquirido foi, sem dúvida, pessoal. A engenharia me ensinou muito mais do que dimensionamentos ou cálculos. Me ensinou sobre determinação, superação, respeito e admiração por pessoas que antes de colegas ou professores, são seres humanos. E é por esse motivo que eu agradeço ao curso, à instituição e à Deus

Agradeço aos meus pais e irmão, Marco Aurélio Madureira Ribeiro, Wany de Cassia de Carvalho Guedes e Heider Marconi Guedes Madureira. Pelo investimento feito em mim, pela paciência nas noites viradas de estudo em grupo, e pelo incentivo constante e incessável. Agradeço ainda aos demais membros da minha família, pelo acolhimento e estímulo dado em tantos momentos.

Agradeço ao professor Jairo Furtado Nogueira, pela compreensão em momentos tão difíceis, e por toda a ajuda fundamental para a continuação e conclusão do curso, e também pelo aprendizado acadêmico, profissional e pessoal.

Agradeço à professora Maruska Tatiana Nascimento da Silva Bueno, por toda a assistência e paciência durante a formulação deste trabalho e por conselhos cuidadosamente dados ao longo desse semestre.

Ao professor Jocinez Nogueira Lima, agradeço por uma rotina tranquila e agradável durante o semestre, além das risadas e tantos momentos de descontração que ajudaram a aliviar as tensões de trabalho e estudo.

Agradeço especialmente ao Professor e amigo João da Costa Pantoja, por desde cedo ter percebido perspicácia em mim, por ter me dado tantas oportunidades, por toda a orientação dada nesse trabalho, por acreditar no meu potencial profissional, por mesmo estando tão distante, ter dedicado tempo à mim e ao meu trabalho, por ter me feito virar tantas noites, por ter me capacitado com excelência nas matérias por ele lecionadas e por ter se tornado modelo de professor e profissional.

Agradeço à colega de setor e amiga Diana Benedito, por compartilhar comigo situações de vida, por me ensinar que sou, assim como ela, muito mais forte do que as dificuldades que enfrentamos diariamente.

Agradeço ao colega de curso e amigo, Daniel Blanco, pelas tardes e noites de estudo, por se fazer sempre presente, pelo cuidado e paciência em tantas situações, por todo o auxílio na formulação desse trabalho que sem o qual seria muito mais difícil concluí-lo e por, acima de tudo, ter se tornado amigo para a vida.

À colega de curso e grande amiga Bárbara Cicuto, por ter sido colega, amiga e companheira desde o primeiro instante. Por todas as tardes de estudo no laboratório do bloco 11, por ter tornado mais leve cada momento de angustia, por todos os concelhos e conversas e por toda a ajuda que me ofereceu para a formulação deste trabalho.

Aos amigos de curso, que sem os quais tantas matérias teriam sido muito mais difíceis: André Del Negro, Andrei Bacelar, Guilherme Fernandes, Matheus Gomes, Pedro Paulo e Rafael Cardoso.

E por fim, agradeço aos melhores amigos de vida: Ana Catarina Gertrudes, Eduardo L'Orican, Fellype Cartaxo, Rafaela Albo, Diego Henrique José Carlos Filho e Felipe Miranda, por serem sempre a minha fuga, meu castigo e minhas broncas, meu colo e acima de tudo, meus companheiros de tantos anos.

Obrigada.

RESUMO

O objeto de estudo desse trabalho, são métodos de reforço com uso do aço em placas pré-moldadas de concreto estrutural.

O sistema pré-moldado, é uma ótima escolha na concepção de edificações quando é preciso ganhar em tempo e diminuição de resíduos, porém, por se tratar de um modelo estrutural, algumas exigências são fundamentais para o seu perfeito funcionamento. Deve haver continuidade das placas entre os pavimentos e a abertura de vãos deve ser solicitada de fábrica, pois, abrir vãos em placas prontas, demanda métodos de redistribuição de tensões.

Estudos de caso são relatados no trabalho a fim de demonstrar métodos de reforço em estruturas desse modelo pois, situações onde existam necessidade de reforço estrutural, por manifestações patológicas, ou por necessidades de adaptação da arquitetura para um novo fim, são uma realidade no meio da construção civil. Usando diversos perfis metálicos, combinados a técnicas de redistribuição de tensões, é possível viabilizar de forma segura, a arquitetura solicitada.

Palavras-chave: reforço estrutural, redistribuição de tensões, pré-moldado, perfis metálicos,

ABSTRACT

In this work, the object of study are reinforcement methods with the use of steel in precast concrete structural plates.

The precast system is a great choice in the buildings' design when it is necessary to save time and reduce waste, but because it is a structural model, there are some requirements for its perfect functioning. There must be plates' continuity between the floors and the opening of spans must be requested from the factory because, opening openings in ready plates, demand methods of strain's redistribution.

Case studies are reported in this paper in order to demonstrate reinforcement methods in this model's structures situations where there is a need for structural reinforcement, because of pathological manifestations, or the need to adapt architecture to a new purpose, are a reality in the civil construction. Using different metal shapes, combined with straining redistribution techniques, it is possible to implement the requested architecture in a safely way.

Key words: structural reinforcement, strain's redistribution, precast, metal shape

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	10
2 – OBJETIVO.....	11
2.1 – OBJETIVO GERAL	11
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 – SISTEMA ESTRUTURAL EM PRE-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO.....	12
3.1.1 – PAREDES ESTRUTURAIS PRÉ-MOLDADAS	14
3.2 – REFORÇO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO.....	15
3.2.1 – REFORÇO COM USO DE PERFIS METALICOS E ADIÇÃO DE CHAPAS	17
3.2.2 – TECNICAS DE EXECUÇÃO DE REFORÇO EM CHAPAS PRE-MOLDADAS.....	18
4 – METODOLOGIA.....	21
5 – ANÁLISE DE RESULTADOS.....	24
5.1 – CASA RESIDENCIAL LAGO SUL	24
5.1.1 – EXECUÇÃO DO LAUDO TÉCNICO.....	25
5.1.1.1 – PATOLOGIAS DAS PLACAS PRE-FABRICADAS	27
5.1.2 – DETALHES DE REFORÇO NAS PLACAS PRE-MOLDADAS.....	30
5.1.2.1 - LAJES.....	30
5.1.2.2 – PLACAS / PAREDES	33
5.1.3 – RESULTADO E REGISTRO FOTOGRAFICO.....	33
5.2 – APARTAMENTO RESIDENCIAL ASA SUL.....	34
5.2.1 – PROJETO ARQUITETONICO.....	35
5.2.2 – DETALHES DE REFORÇO	35

5.2.4 – EXECUÇÃO DA OBRA	38
5.2.5 – RESULTADOS E REGISTRO FOTOGRAFICO.....	39
6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
6.1 – CONCLUSÃO	41
6.2 – SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	41
7 – BIBLIOGRAFIAS	43

1 – INTRODUÇÃO

O layout de uma edificação é um dos pontos mais críticos na concepção do sistema estrutural a ser adotado pois, rotineiramente, encontra-se desafios no posicionamento de peças de modo a viabilizar a arquitetura solicitada. Tal desafio ocorre na locação dos pilares e vigas que devem, preferencialmente, ficar totalmente embutidos nas paredes, já as lajes, muitas vezes devem vencer grandes vãos sem pilares de apoio. Algumas precauções devem ser adotadas de modo a garantir um mínimo de segurança ao colapso e aos estados limites de serviço, sendo esse objetivo principal dos códigos normativos.

A arquitetura e a engenharia trabalham em conjunto na formulação das edificações, garantindo ambientes favoráveis ao uso e seguros. Complicações provenientes de mudança de layout se tornam mais complexas no período posterior à conclusão da edificação. Muitas vezes a abertura de um vão, seja uma porta, uma cozinha americana ou a ampliação de um cômodo pode comprometer a estrutura caso haja um pilar ou uma viga no caminho.

Quando falamos em estruturas pré-moldadas, devemos levar em consideração que além de definir o layout, as peças a serem utilizadas têm função estrutural. Dessa forma, uma vez que uma parede estrutural é instalada, ela funciona como a separação do ambiente e também como caminho de cargas da edificação. Por esse motivo a redefinição de layout em estruturas pré-moldadas torna-se ainda mais complexa.

Este trabalho abordará possíveis soluções para viabilização de projetos arquitetônicos e redistribuição de cargas em estruturas de modelo pré-moldado, com o uso de perfis metálicos.

2 – OBJETIVO

2.1 – OBJETIVO GERAL

O uso de chapas e vigas metálicas ajuda a possibilitar o redirecionamento de cargas solicitantes em paredes estruturais ou pré-moldadas tendo em vista proporcionar a mudança de layout em edificações.

O objetivo geral desse trabalho é analisar a utilização de perfis metálicos como solução para reforço por manifestações patológicas e por mudança de layout em edificações executadas com concreto estrutural pré-moldado, visando apenas o foco construtivo.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar dois estudos de caso executados no Distrito Federal com concreto estrutural
- Analisar solução com chapa metálica para a viabilização de alteração de projeto arquitetônico em apartamento residencial no Distrito Federal – estudo de caso 1;
- Analisar a utilização de diferentes perfis metálicos para redirecionamento de tensões em projeto executado com concreto pré-moldado estrutural no DF – estudo de caso 2
- Apresentar as principais considerações feitas e pontos analisados para execução dos projetos de reforço propostos.
- Monstrar os resultados finais obtidos nas edificações.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – SISTEMA ESTRUTURAL EM PRE-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO

Os elementos pré-moldados são uma boa opção para aumentar a facilidade no processo executivo das construções, proporcionando o aumento da velocidade da execução, melhoria no controle de qualidade e coordenação modular e, além disso, a produção torna-se mais organizada. (BRUMATTI, 2008)

Segundo EL DEBS (2000), a pré-moldagem está presente na história do concreto armado desde o início do uso desse material. Exemplos como o barco de Lambot em 1849 e os vasos de Monier, em 1849 podem ser citados como elementos pré-moldados.

A primeira possível construção com uso desse modelo estrutural foi a cassino de Biarritz, na França em 1891 (figura 1), onde as vigas usadas eram pré-moldadas.

Figura 1 – Cassino de Biarritz, França



Le blog do Pérol, 2015

Segundo ACKER (2002), os sistemas pré-fabricados, são uma forma industrializada de construção. Quando comparados aos demais métodos construtivos, assim como quando o concreto comparado aos demais materiais de construção, apresentam muitas características positivas e vantagens.

- Produtos feitos na fábrica

A industrialização do setor da engenharia civil, é uma boa solução para o aumento da eficiência da produção pois conta com profissionais especializados, controle de qualidade e repetição de tarefas. Industrializar o setor é uma forma efetiva de transferir o trabalho feito nos canteiros de obra para fabricas modernas e especializadas. Fatores sociais e econômicos têm forçado a indústria da construção a se atualizar constantemente, exigindo melhoras nas condições de trabalho mediante a utilização a tecnologia a favor de melhorar a eficiência nos sistemas construtivos.

- Uso otimizado de materiais

Com a supervisão técnica e o uso de equipamentos modernos das fabricas, os materiais pré-fabricados, possuem maior durabilidade e desempenho estrutural do que as construções moldadas no local e, além disso também tem grande potencial econômico. Otimizando todo o desempenho da obra

Considerando a indústria de elementos pré-moldados, apesar de existirem soluções técnicas variadas, todas elas fazem parte de um sistema estrutural básico e simples onde os princípios de projetos são similares:

- Estruturas aporricadas, consistindo em pilares e vigas de fechamento, que são utilizadas em construções industriais, armazéns, construções comerciais, etc.
- Estruturas em esqueleto, consistindo de pilares, vigas e lajes, para edificações de alturas médias e baixas, e com um número pequeno de paredes de contraventamento para estruturas altas. As estruturas em esqueletos são utilizadas principalmente para construções de escritórios, escolas, hospitais, estacionamentos, etc.
- Estruturas em painéis estruturais, consistindo de componentes de painéis portantes verticais e de painéis de lajes, as quais são usadas extensivamente para a construção de casas e apartamentos, hotéis, escolas, etc.
- Estruturas para pisos, consistindo de vários tipos de elementos de laje montados para formar uma estrutura do piso capaz de distribuir a carga concentrada e transferir as forças horizontais para os sistemas de contraventamento. Os pisos pré-moldados são muito usados em conjunto com todos os tipos de sistemas construtivos e materiais.
- Sistemas para fachadas, consistindo de painéis maciços ou painéis sanduíche, com ou sem função estrutural. Apresentam-se em todos os tipos de formato e execuções, desde

o simples fechamento até os mais requintados painéis em concreto arquitetônico para escritórios e fachadas.

- Sistemas celulares, consistindo de células de concreto pré-moldado e, algumas vezes, utilizados para blocos de banheiros, cozinhas, garagens, etc. (ACKER, 2002)

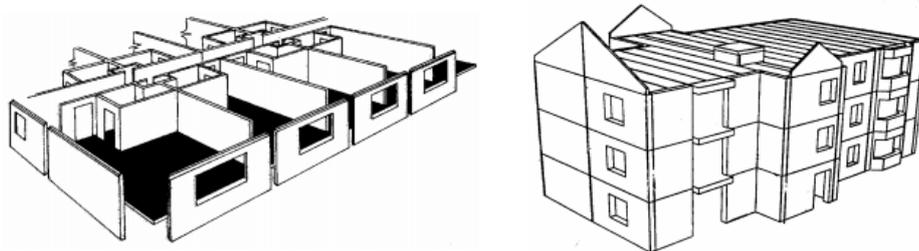
Segundo EL DEBS (2000):

“Para o elemento pré-moldado devem ser consideradas, além da situação final, situações transitórias correspondentes às fases de desmoldagem, transporte, armazenamento e montagem, que podem apresentar solicitações mais desfavoráveis que aquelas correspondentes à situação definitiva. Também a estrutura antes da efetivação das ligações definitivas deve ser objeto de verificações dessa situações transitórias”

3.1.1 – PAREDES ESTRUTURAIS PRÉ-MOLDADAS

Eficientes em vários critérios, os painéis pré-fabricados são utilizados para fechamentos internos e externos, caixas de elevadores, núcleos centrais e etc. por esse motivo, são muito usados em construções residenciais, tanto para casas quanto para apartamentos (ACKER, 2002). Podendo ser portantes ou de fechamento os painéis pré-fabricados contam com superfície lisa de ambos os lados, pronta para receber pintura. Os painéis também oferecem vantagens como isolamento acústico e de resistência ao fogo, além de anularem a presença de formas na construção ganhando assim, em velocidade construtiva e diminuição de resíduos descartáveis (figura 2).

Figura 2- Estrutura de painéis pré-moldados



ACKER, 2002

Inconveniências estão associadas a menor flexibilidade de projeto, pois dificultam adaptações futuras. Uma vez que as placas tem função estrutural, deve ser mantida a continuidade das placas entre os pavimentos. Soluções inteligentes contam com modernos

sistemas chamados pelo autor citado a cima de construções abertas. A ideia é construir espaços livres, amplos vãos entre as paredes portantes, deixando assim a arquitetura livre para que o projeto seja criado de acordo com as necessidades do cliente. Usando materiais com gesso acartonado ou outras divisórias leves, possíveis mudanças futuras de layout serão mais fáceis e de menor custo.

Apesar das limitações em modelo de concreto estrutural, as placas pré-fabricadas ganham mercado pela agilidade de montagem e economia de tempo, tornando-se assim, uma solução construtiva atrativa.

Segundo ARCKER (2002):

“Residências e edifícios de apartamentos pré-fabricados são geralmente projetados com sistemas estruturais com painéis, onde uma parte dos painéis são estruturais e outra parte possui apenas função de fechamento. Esses sistemas são muito utilizados nos países do Norte Europeu. As fachadas são executadas com painéis sanduíches, com uma camada interna estrutural, com uma camada intermediária de isolamento entre 50 a 150 mm de espessura e com uma camada externa não portante de concreto arquitetônico.”

3.2 – REFORÇO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

A recuperação estrutural em estruturas de concreto armado vem ganhando espaço no mercado da construção civil por muitos fatores, erros no dimensionamento ou falhas na execução de peças de concreto ou até mudanças no uso da estrutura são situações corriqueiras. Por esse motivo a execução do reparo ou reforço nas estruturas se faz necessária. (PEREIRA, 2005)

Ao dimensionar uma estrutura de painéis de concreto armado, deve-se levar em consideração fatores como movimento de fundações, assimetria geométrica e até função da mesma pois, o aumento do carregamento vertical ou horizontal pode causar necessidade de reforço.

Edificações concebidas em modelo de concreto estrutural pré-fabricado podem ser reforçados com uso do aço, através de diferentes técnicas e tipos de intervenção, situações como proteção, reparação e reforço ou até total modificação estrutural se tornam possíveis.

Sugestões de métodos para aumento da resistência ao carregamento vertical

- Inserção de novas colunas de aço. Podendo ser instaladas externamente à parede a ser reforçada ou em cavidades apropriadas
- Restauração da resistência da parede em torno das aberturas, usando vigas de aço instaladas acima das aberturas ou, de pórticos instalados em torno da abertura (CAMPOS, 2006)

O reforço estrutural vem sendo utilizado na construção civil muitas vezes por manifestações patológicas ou para viabilização de arquiteturas em reformas.

Segundo SILVA (2006), os danos das estruturas de concreto são resultantes de vários fatores:

- Má concepção do projeto, ou seja, definição incorreta dos materiais, considerações equivocadas de carregamento, má avaliação do solo, erros no dimensionamento, entre outros;
- Utilização incorreta de materiais como, concreto com fck inferior ao especificado, aço com características diferentes das especificadas, quer em termos de categorias, quer em termos de bitola, utilização de agregados reativos que podem gerar reações expansivas no concreto, potencializando a desagregação e fissuração do mesmo
- Falhas decorrentes da construção, ou seja, má execução, falta de condições locais de trabalho (cuidados e motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, uso de materiais e componentes de má qualidade, irresponsabilidade técnica entre outras falhas;
- Uso incorreto da estrutura, ou seja, quando ela é utilizada com carga maior que a considerada no projeto.

O correto dimensionamento, a execução realizada com todos os controles de qualidade, o uso correto da estrutura e sua manutenção periódica, são as condições ideais para prolongar sua vida útil.

Porém, se houver alguma falha em alguma dessas etapas e decorrer de algum processo de degradação da estrutura, deve-se então proceder a sua recuperação ou o seu reforço.

Todos os materiais utilizados em uma edificação estão propensos a danificar-se ou deteriorar-se após um longo período de uso podendo ser necessário, entretanto, empreender ações corretivas de reforço das estruturas enfraquecidas. As mudanças de uso e ocupação da edificação podem exigir um aumento de sua resistência para suportar os novos carregamentos. Em muitas situações o aço pode ser usado para reforçar estruturas existentes (CAMPOS, 2006).

3.2.1 – REFORÇO COM USO DE PERFIS METÁLICOS E ADIÇÃO DE CHAPAS

O aço é produzido em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações. Esta variedade decorre da necessidade contínua de adequar o produto às exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas ou ainda na forma final (chapas, perfis, tubos, barras, etc.). Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos vinte anos (CAMPOS, 2006).

Após a análise de vários tipos de intervenção estrutural, nota-se que a escolha do aço está baseada, principalmente, em seu elevado desempenho mecânico, e, principalmente, na flexibilidade do sistema construtivo.

Quando a edificação a sofrer intervenção, for de interesse histórico, sua restauração representa uma operação mais delicada, e o uso de estruturas de aço tem suas vantagens. As operações de restauração são fundamentadas na conservação de edificações existentes além de atender às novas solicitações, assegurando seu funcionamento adequado. Essas operações devem ter características modernas, ser claramente distinguíveis, e reversíveis, através do uso de tecnologias e materiais que podem ser a qualquer tempo removidos sem danificar a estrutura existente.

Uma aplicação lógica destes princípios mostra sem dúvida nenhuma, que o aço, com suas características e sua tecnologia, tem as vantagens necessárias para ser um material moderno, com características de reversibilidade, proporcionando uma perfeita harmonia entre os materiais do passado além de dar forma a sistemas estruturais integrados.

O uso de vigas de aço com enrijecedores é muito eficaz para reforçar estruturas de concreto armado abaladas por terremotos. Eles permitem o uso de paredes compartilhadas com gradeados de aço, que tem dupla finalidade: aumentar a resistência da estrutura a esforços

horizontais e ao mesmo tempo, equilibrar a distribuição da rigidez interna com relação ao centro de massa além de minimizar os efeitos torsionais de vibração (CAMPOS, 2006).

Segundo GALVEZ (2003), o reforço feito com a colagem de chapa de aço a viga pode solucionar problemas como a interferência arquitetônica e o tempo de execução, quando comparado ao método de reforço com adição de barras de aço e concreto, uma vez que as chapas têm pequena espessura e este tipo de reforço tem execução relativamente rápida. No entanto, um grande inconveniente deste método é o problema da corrosão do aço, que pode ocorrer durante a fase de utilização do elemento reforçado.

Diversas atividades de restauração, de reabilitação e de extensão usando estruturas metálicas, podem ser encontradas pelo mundo inteiro, principalmente na Europa, em construções industriais antigas, que foram transformadas em apartamentos ou em escritórios. Edifícios tombados foram inteiramente restaurados, mantendo-se as fachadas originais e substituindo completamente os seus interiores por uma estrutura de aço (CAMPOS, 2006).

O estudo da técnica de reforço utilizando-se chapa de aço colada surgiu na década de 70 e os trabalhos experimentais realizados para reforço à força cortante mostraram um bom desempenho, proporcionando um aumento na capacidade resistente da viga reforço (PEREIRA, 2005). O reforço por meio de chapa de aço colada vem sendo utilizado por se mostrar eficiente, de fácil execução, baixo custo e outras vantagens quando comparado com o método de reforço através da adição de barras de aço e concreto.

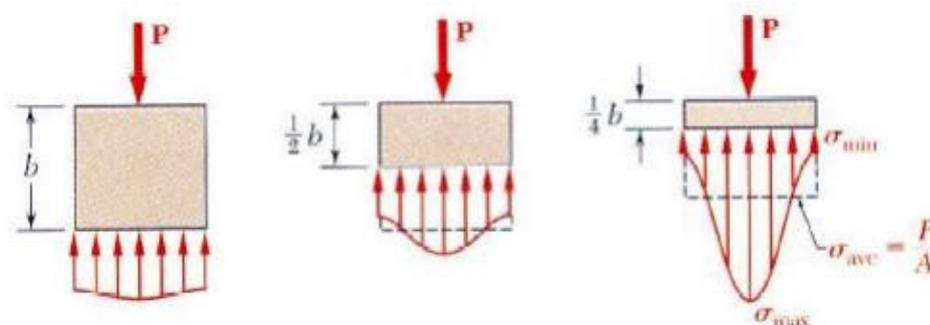
As barras de aço são uma boa escolha para vencer esforços a cortantes, combinadas às chapas de aço coladas e/ou parafusadas à viga, e também com aplicação de polímeros reforçados com de carbono (GALVEZ, 2003). Por diversas vantagens como baixo custo e fácil execução, as chapas de aço colada vem sendo utilizadas e mostram eficiência quando comparadas aos demais sistemas de reforço

3.2.2 – TECNICAS DE EXECUÇÃO DE REFORÇO EM CHAPAS PRE-MOLDADAS

O princípio de Sant-Venant defende que quanto maior for a seção transversal de um elemento à tensão aplicada, maior a tendência de uniformizar o diagrama de tensões e que as tensões e deformações provocadas por essas forças a uma “distância grande” do seu ponto de

aplicação apenas depende da sua resultante e não da forma como estas são aplicadas. (Figura 3) (BEER, 2013)

Figura 3 – Demonstração da deformação pelas tensões



BEER, 2013

O reforço por adição de chapas metálicas coladas é caracterizado pela união da superfície de concreto a chapas de aço através de uma resina com alta capacidade de adesão e resistência mecânica. É uma opção para reforço de elementos de concreto, de rápida e simples execução, recomendada principalmente quando é necessário reforçar a estrutura em um tempo curto ou não é possível fazer grandes alterações na geometria da peça.

Ao final do processo tem-se um elemento estrutural composto por concreto-resina-aço, o que possibilita à estrutura uma resistência maior aos esforços cortantes e aos momentos fletores. Como consequência, tem-se um elemento mais rígido que deforma pouco antes de iniciar o colapso. É de fundamental importância que a resina utilizada para fazer a colagem concreto-aço seja de qualidade comprovada e a superfície do concreto e do aço sejam preparadas. Na figura 4 tem-se um exemplo de reforço com chapa de aço colada. (SANTOS, 2008).

Figura 4 – Reforço com chapa de aço



TECHNIQUES, 2017

4 – METODOLOGIA

O modelo estrutural pré-fabricado foco desse estudo é o modelo em placa, esse modelo usa as placas estruturais com função de parede, então as próprias paredes do layout arquitetônico funcionam como as peças estruturais da edificação.

Uma vez escolhido esse modelo, as placas chegarão à obra já com as dimensões e resistências exigidas pelo projetista (Figura 5). Dessa forma, a obra possivelmente será mais rápida e por esse motivo, pode ser economicamente mais viável, em contrapartida, o uso de estruturas pré-moldadas dificulta remodelagem do layout, uma vez que tem função estrutural.

Figura 5 – Placa de estrutura pré-moldada pronta



Revista Técnica, 2016

As placas são projetadas já com a ferragem e com dutos para instalações elétricas e hidráulicas. Tudo deve ser detalhado pelo projetista antes da solicitação das placas para a fábrica.

O uso de vigas e chapas de aço combinadas aos materiais semi-flexíveis podem viabilizar uma mudança na arquitetura original da edificação pré-fabricada (figura 6), possibilitando abertura de novos vãos e mudando assim o layout original.

Apesar de não ser possível remover totalmente a placa pré-moldada, a adição das vergas e chapas de aço combinada a flexibilidade do material de ligação, possibilita abertura de vãos como portas, janelas e portais, como foi procedido no estudo de caso 2.

Figura 6 – Verga de aço embutida usada para abertura do vão



Ângulo engenharia MG, 2017

Uma vez que a parede tem função estrutural, ela não pode ser completamente removida, quando combinada à verga de aço, o sistema passa a funcionar como se a verga trabalhasse com função de viga bi engastada, e a placa com função de pilar, aplicando o princípio de Sant-Venant, a verga de aço passa a trabalhar como o antigo volume de concreto ocupado na região.

Além do uso das vigas e chapas de aço para mudança de layout, esses materiais também são boas escolhas quando a necessidade é reforçar a estrutura. O reforço é necessário em situações diversas: ampliações da edificação, adição de novos pavimentos, ou até instalação incorreta das placas.

Para manifestações patológicas, o reforço pode ser feito com o uso de malha metálica combinada à chapas de aço (figura 7), como foi realizado no estudo de caso 1

Figura 7 – malha metálica e chapas de aço usadas como reforço



Acervo pessoal

5 – ANÁLISE DE RESULTADOS

O reforço estrutural é uma necessidade em estruturas que apresentam algum tipo de patologia, possibilitando que a estrutura em questão permaneça segura e confortável. Porém a necessidade de reforçar uma estrutura pode acontecer não só por isso. No presente trabalho dois estudos de caso são apresentados, em ambos o sistema pré-moldado é utilizado. Nos dois, um sistema de reforço é utilizado e sua metodologia construtiva descrita. A diferença básica entre os dois consiste na existência ou não de patologias a priori e no tipo de edificação existente. O primeiro estudo de caso apresentado refere-se a uma edificação residencial de dois pavimentos cujo processo de projeto e de construção foram ineficientes levando ao aparecimento de patologias, antes da execução do processo de reforço. No segundo estudo de caso o reforço foi feito num apartamento de uma edificação de múltiplos pavimentos no sentido de viabilizar as modificações do layout original. A seguir serão mostradas as soluções de reforço estrutural escolhidas para cada uma das situações.

5.1 – CASA RESIDENCIAL LAGO SUL

O objeto de estudo do caso 1, é uma casa residencial no lago sul, DF, executada em um modelo estrutural constituído em sua maior parte de estrutura pré-moldadas, utilizado em lajes e paredes, no entanto, partes isoladas como a garagem receberam modelo convencional viga pilar.

A necessidade de reforço se deu por manifestações patológicas devido a erros de execução e de projeto. O estudo de caso foi desenvolvido em duas partes, sendo a primeira o diagnóstico da origem das manifestações patológicas e a segunda etapa, a determinação da solução adequada ao caso.

A análise da edificação permitiu concluir que tais manifestações tiveram origem no processo executivo no qual, cortes foram feitos posteriormente ao recebimento das placas na obra e, a instalação das mesmas não cumpriam a exigência de continuidade.

Usando diferentes perfis metálicos instalados na edificação, a redistribuição de tensões viabilizou a arquitetura de projeto. Na execução de uma edificação em sistema pré-moldado algumas regras devem ser respeitadas. As paredes têm função estrutural, portanto em uma edificação de múltiplos pavimentos, as placas devem ser instaladas exatamente uma sobre a

outra, ou seja, os layouts dos pavimentos devem ser idênticos afim de garantir que as cargas dos pavimentos superiores cheguem de forma homogênea aos pavimentos inferiores.

Além disso, as aberturas de portas e janelas devem ser previstas e dimensionadas nas placas utilizadas, devem ser executadas na fábrica, pois a posterior alteração dessa posição só será possível via aplicação de reforço estrutural (mostrado no próximo estudo de caso)

Na edificação residencial de dois pavimentos apresentada nesse primeiro estudo de caso o modelo estrutural é constituído principalmente de uma estrutura em placas pré-moldadas, utilizado em lajes e paredes. Em partes isoladas como a garagem e vigas de bordo da cobertura o modelo convencional viga/pilar foi utilizado.

5.1.1 – EXECUÇÃO DO LAUDO TÉCNICO

Inicialmente, um laudo técnico foi realizado no sentido de avaliar a resistência e estabilidade da estrutura existente. A edificação possui dois pavimentos conforme as figuras 8 e 9

Figura 8 – Fachada frontal



Acervo pessoal

Figura 9 – Fachada inferior



Acervo pessoal

A execução do laudo técnico apresentou uma análise das fundações existentes através de poços de visita feitos no local além da avaliação do laudo de sondagem feito no início da construção. Uma inspeção no local e um registro fotográfico também foram feitos. Com base nas inspeções, as patologias existentes foram identificadas catalogadas e avaliadas para recuperação proposta no projeto de reforço. (Figuras 10 e 11)

Figura 10 – Poço de visita e projeto do poço de visita



PANTOJA, 2015

Figura 11 – Viga mal concretada com armadura exposta



Acervo pessoal

Todas as patologias registradas no laudo técnico foram consideradas e tiveram seus aspectos de segurança avaliados. Em alguns pontos os processos de demolição e posterior concretagem de uma nova estrutura foram necessários (Figura 11). As que apresentaram problemas mais graves foram as relativas as placas pré-moldadas que serão avaliadas a seguir

5.1.1.1 – PATOLOGIAS DAS PLACAS PRE-FABRICADAS

Durante a avaliação da obra, foi possível notar que as exigências de instalação das placas não haviam sido respeitadas. Os layouts do primeiro e segundo pavimentos eram completamente diferentes. Também haviam grandes vãos abertos nas placas entre os cômodos, sem qualquer sinal de verga para redistribuição das cargas.

Haviam fissuras nas placas pré-moldadas, possivelmente geradas pelos cortes feitos nas mesmas, enfraquecendo a estrutura. Algumas armações internas das placas estavam expostas e desprotegidas de corrosão. (figura 12)

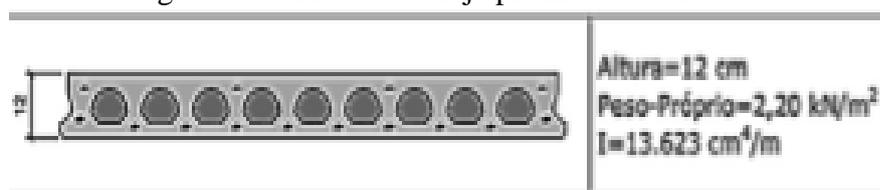
Figura 12 – Placas pré-moldadas danificadas: Fissuras marcadas com giz e armadura exposta



Acervo pessoal

A laje utilizada no projeto é do tipo alveolar, constituída de painéis de concreto protendido, que possuem seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça. Os painéis protendidos utilizados são de largura de 124,5 cm e altura de 12 cm, com concreto de elevada resistência característica à compressão ($f_{ck} \geq 45$ MPa) e aços especiais para protensão conforme figura 13.

Figura 13 – Modelo de laje pré moldada alveolar



PANTOJA 2015

Apesar do procedimento de instalação desse modelo de laje ser simples e repetitivo, alguns cuidados devem ser tomados, o nivelamento dos painéis garante um melhor preenchimento das juntas com graute, o que possibilita que a laje funcione de forma monolítica e não como peças individuais. (figura 14)

Figura 14 – Preenchimento das juntas com graute



PANTOJA 2015

No pavimento superior, as paredes estruturais foram instaladas e apoiadas diretamente na laje do piso devido a diferença de layouts entre os pavimentos. Tradicionalmente as paredes estruturais funcionam como pilares, e assim como eles, necessitam de continuidade. Uma vez que o layout do pavimento superior era diferente do térreo, houve uma descontinuidade na distribuição de cargas verticais, assim, a laje passou a trabalhar como uma grande viga de transição. Isso se mostrou ineficaz uma vez que a mesma não possui inércia suficiente para tal. A laje do piso do pavimento superior, além de desempenhar seu papel de laje, deveria redistribuir as cargas das paredes estruturais do pavimento da cobertura para as paredes do pavimento térreo. Sem continuidade isso não aconteceu ocasionando manifestações patológicas.

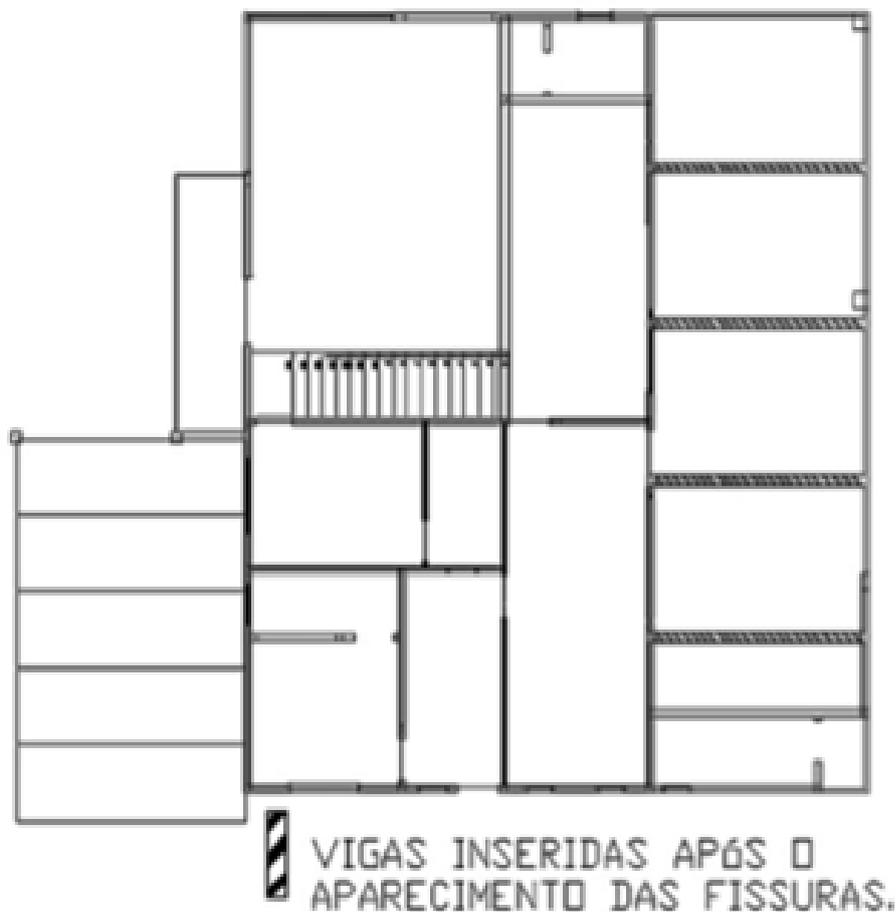
Para solucionar o problema, na construção, nos locais onde surgiram fissuras, foram instaladas vigas de concreto armado com seção transversal de 9x13 cm para ajudar na sustentação. Isso, no entanto, não foi suficiente pois as mesmas não foram devidamente armadas nem ancoradas, conforme mostra a figura 15 e 16.

Figura 15 – Laje com fissuras marcadas com giz e vigas de reforço



Acervo Pessoal

Figura 16 – Localização das vigas sem ancoragem



PANTOJA, 2015

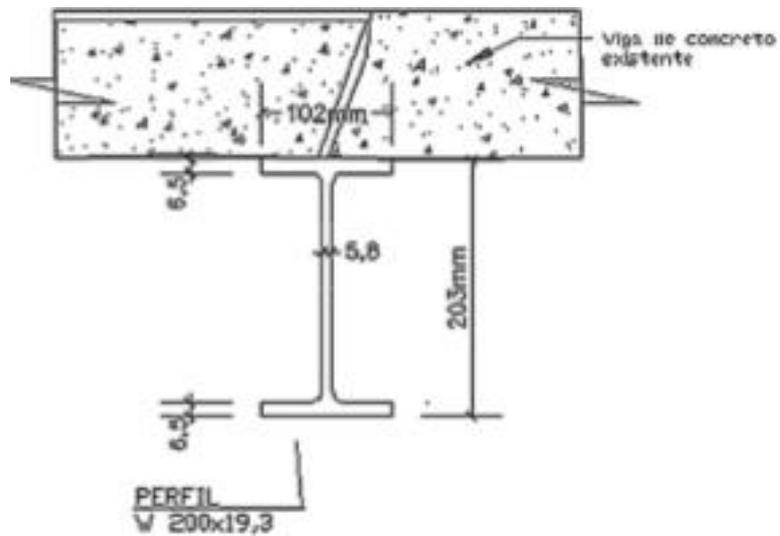
5.1.2 – DETALHES DE REFORÇO NAS PLACAS PRE-MOLDADAS

5.1.2.1 - LAJES

Como explicado anteriormente, a laje entre o primeiro e o segundo pavimento estava sendo solicitada a cargas das quais não havia sido dimensionada para resistir, sofrendo assim flexões excessivas.

Um reforço em grelha metálica, foi projetado e executado em perfil I laminado, ao longo de toda extensão da laje. (figura 17 e 18)

Figura 17 – Reforço da laje



PANTOJA 2015

Figura 18 – Laje reforçada com grelha metálica

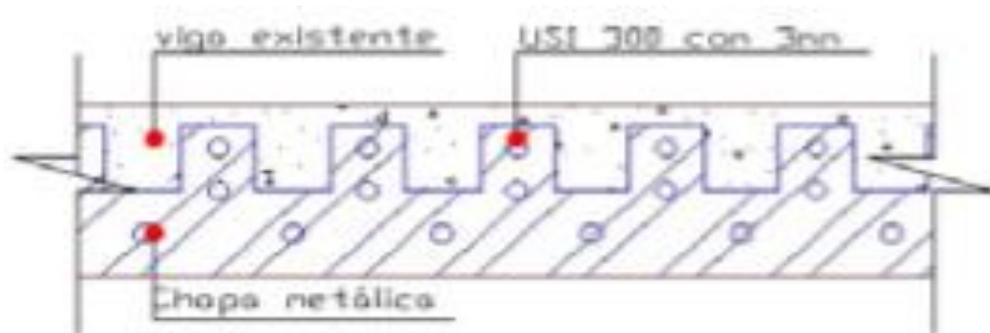


Acervo pessoal

A utilização da grelha metálica promoveu estabilidade e segurança à edificação frente às solicitações estruturais, mediante transferência das cargas recebidas pela laje aos perfis de aço em grelha para as paredes inferiores.

Os esforços de cisalhamento nos painéis de placas pré-moldadas forma combatidos via colagem de chapas metálicas com adesivo epóxi nas laterais da mesma. (Figuras 19 e 20)

Figura 19 – Vista frontal das chapas



PANTOJA, 2015

Figura 20 – Chapas de aço instaladas



Acervo pessoal

5.1.2.2 – PLACAS / PAREDES

Como as placas foram cortadas, perdeu-se a resistência dimensionada em fábrica, dessa forma, precisavam de reforço para receber as cargas e manter a segurança da edificação. As chapas de aço instaladas para vencer o cisalhamento das vigas da grelha metálica, também cumprem essa função, distribuindo nas placas de forma longitudinal, as tensões oriundas das vigas (Figura 20).

Devido ao quadro de fissuração já ocorrente na edificação, optou por tratamento das falhas com um material rígido para preenchimento de fissuras internas, promovendo um acabamento liso e de fácil aplicação.

5.1.3 – RESULTADO E REGISTRO FOTOGRAFICO

Com o reforço estrutural realizado, a arquitetura original de projeto foi viabilizada. Respeitando as condições de segurança e feitos pela norma de desempenho.

Figura 21 – Fachada frontal



Acervo pessoal

Figura 22 – Fachada posterior



Acervo pessoal

5.2 – APARTAMENTO RESIDENCIAL ASA SUL

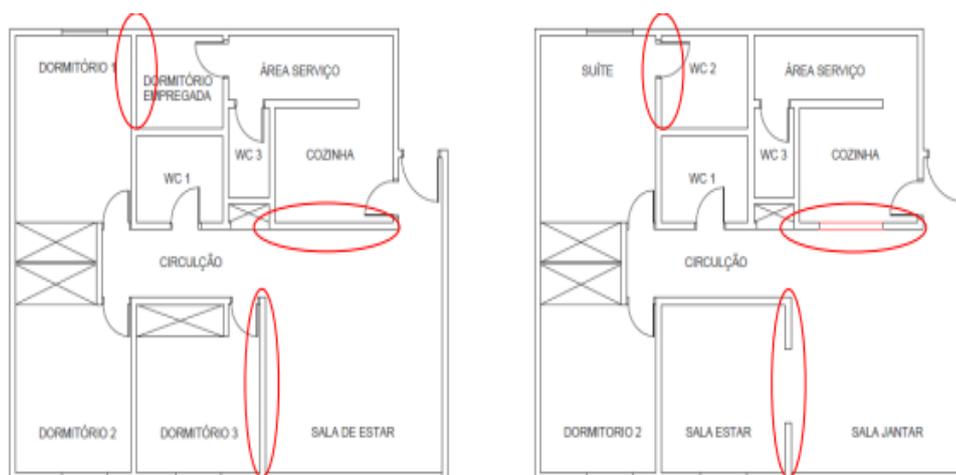
A capital federal foi construída após um projeto aprovado pelo presidente Juscelino Kubitschek chamado, 50 anos em 5. O projeto consistia em desenvolver o país por 5 anos o correspondente à 50, e nesse projeto, a construção da nova capital era o principal foco. Devido aos tais fatores históricos de Brasília, muitas edificações foram construídas em modelos pré-fabricados, escolhidos principalmente em função da velocidade de execução.

Com o passar dos anos, mudanças no layout dos apartamentos construídos nesse modelo se tornaram necessárias, pois com o crescimento desenfreado da cidade e modernização arquitetônica, os habitantes precisavam de um espaço mais funcional. Porém, como já explicado anteriormente, vãos em estruturas pré-fabricadas como portas janelas ou portais, devem vir abertos de fábrica conforme solicitação do projetista. Uma vez que existe necessidade de abertura de vãos após a instalação das placas, deve-se redistribuir as cargas, dessa forma deve-se fazer um projeto de reforço estrutural.

5.2.1 – PROJETO ARQUITETONICO

Cabe destacar que no projeto original, o apartamento dispunha de três dormitórios, um banheiro, uma sala de estar, cozinha, área de serviço e dependência completa de empregada. No entanto, com mudança do layout verificou-se a necessidade de se criar uma suíte, ampliar a sala tornando-a estar/jantar, e a cozinha em modelo americano. (Figura 23)

Figura 23 – Planta de comparação original x reforma



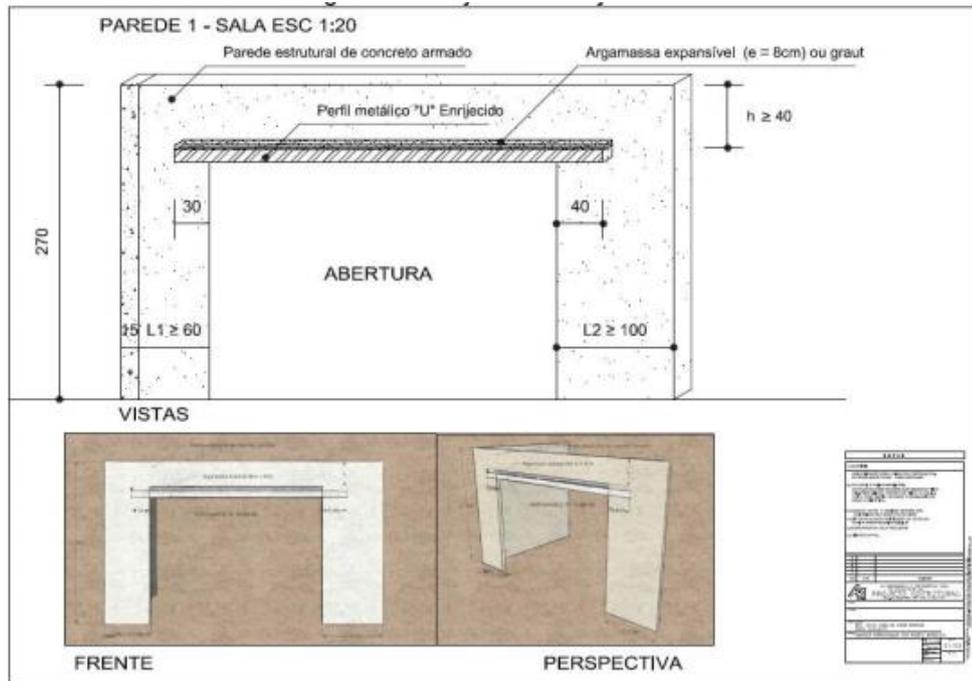
Projeto criado através do Autocad 2016

5.2.2 – DETALHES DE REFORÇO

Para possibilitar a abertura dos vãos, foi feito um estudo de tensões com ensaios como ultrassonografia e esclerometria, ou seja, ensaios não destrutivos. E para a redistribuição das mesmas usou-se uma verga de aço em perfil duplo U combinada com argamassa polimérica, aplicada entre a verga e a placa estrutural original (Figura 28), esse mecanismo combina a resistência e versatilidade do perfil de aço com a aderência e a flexibilidade da argamassa polimérica, que além de semi-flexível possibilita um bom acabamento.

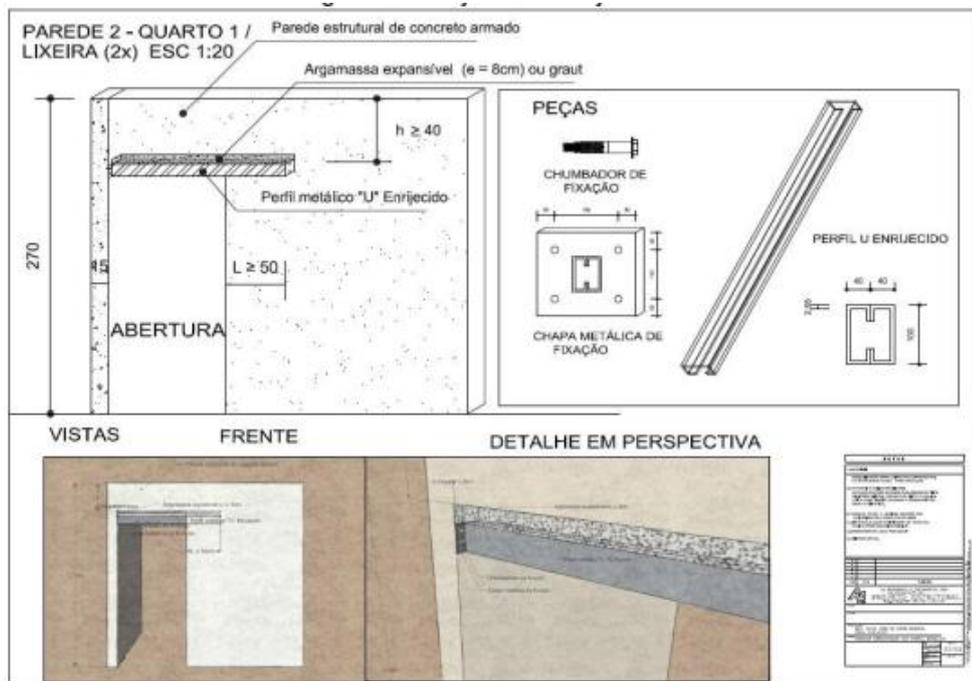
Usando essa solução, as vergas foram implantadas horizontalmente na parte superior de cada vão a ser aberto, assim recebem as tensões que originalmente chegavam à antiga parede e as redirecionam (figuras 24, 25 e 26).

Figura 24 – Projeto de reforço



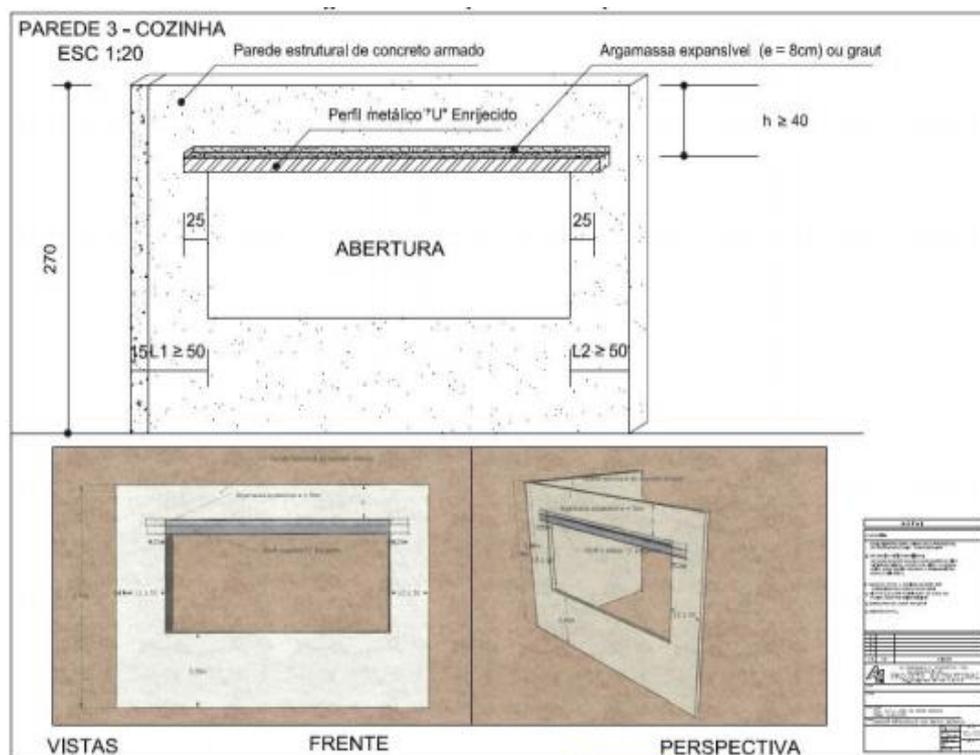
Criado através do Autocad 2016

Figura 25 – Projeto de reforço



Criado através do Autocad 2016

Figura 26 – Projeto de reforço



Criado através do Autocad 2016

Nota-se nas figuras 23 e 24 que a placa pré-moldada entre o dormitório 3 e a sala de estar não foi completamente retirada e que o perfil de aço incorporado tem dimensão mais longa que o vão aberto, essa medida garante a confiabilidade do funcionamento da estrutura.

Levando em consideração o princípio de Sant-Venant explicado anteriormente, o projetista, criou a verga de aço que tem uma seção menor que o volume da placa de concreto e resiste às tensões aplicadas tão bem quanto a estrutura original.

Ao analisar as figuras 24, 25 e 26 nota-se que o comprimento da verga é maior que o do vão aberto. Essa parcela que está interna à placa de concreto corresponde à parcela de momento positivo do gráfico de momento fletor calculado para cada verga.

As tensões foram concebidas através de ensaios na obra, e o dimensionamento do momento foi calculado através dos resultados dos ensaios.

5.2.4 – EXECUÇÃO DA OBRA

Após os projetos, arquitetônico e estrutural, apresentados e aprovados, deu-se início à obra. O apartamento foi devidamente apoiado com uso de escoras de madeira. Novos vãos foram abertos e também escorados com madeira conforme figura 27.

Figura 27 – Abertura do vão para cozinha americana



Acervo pessoal

As vergas de aço foram instaladas e, entre a verga e a placa pré-moldada aplicou-se a argamassa polimérica possibilitando melhor funcionamento do sistema e acabamento. Conforme figura 28.

Figura 28 – Vergas de aço instaladas aos novos vãos



Acervo pessoal

Para nova porta entre o dormitório e o banheiro da nova suíte usou-se o auxílio de chumbadores, pois conforme a planta arquitetônica (Figura 29), a porta foi instalada perpendicularmente à fachada do prédio, impossibilitando o avanço da armadura.

Figura 29 – Abertura do vão da porta e uso de chumbadores



Acervo pessoal

5.2.5 – RESULTADOS E REGISTRO FOTOGRAFICO

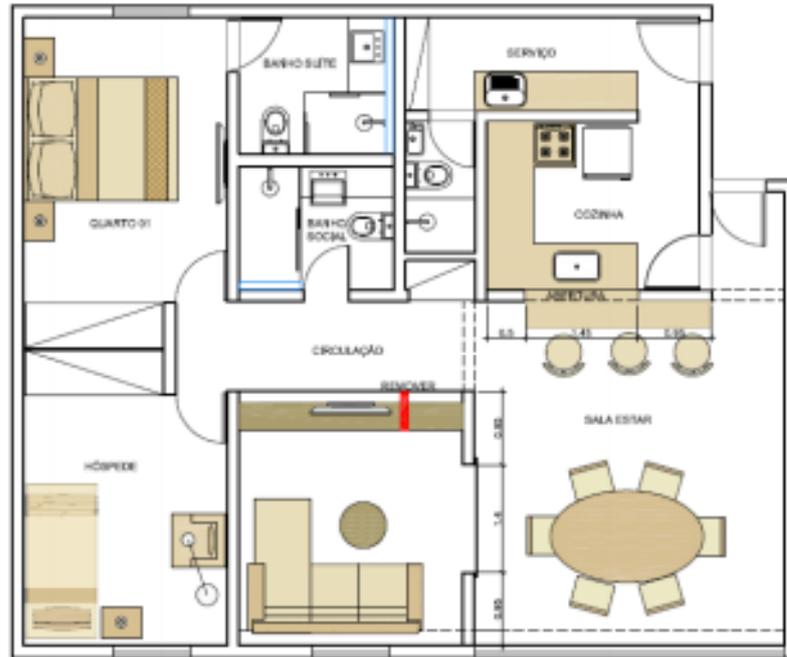
Com o uso da técnica descrita, a nova arquitetura foi viabilizada, o apartamento ganhou um layout mais moderno e satisfatório ao cliente, proporcionando segurança e desempenho estrutural satisfatório.

Figura 31 – Vão da cozinha americana



Acervo pessoal

Figura 30 – Projeto arquitetônico final



Acervo pessoal

Figura 23 – Abertura entre sala de estar e sala de jantar



Acervo pessoal

6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 – CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho definições foram levantadas quanto ao uso de concreto estrutural em perfil pré-moldado. Mesmo enfatizando por várias vezes que uso tem ganho em velocidade de obra e gera poucos resíduos, cuidados quanto às instalações e ao dimensionamento devem ser tomados pois, definição as placas não permitem redimensionamento de aberturas e nem que os pavimentos entre elas tenham layouts diferentes, no entanto, o uso de perfis metálicos possibilita soluções para esse tipo de estrutura evitando patologia.

Ao apresentar os estudos de caso, nota-se que por mais que esses cuidados sejam importantes, é possível manter uma edificação já quase condenada por erro de execução fazendo os reforços adequados. E ainda, é possível uma mudança de layout original com esse perfil estrutural, também usando técnicas de reforço.

A viabilização da abertura dos vãos e o redirecionamento de cargas foi baseado no estudo princípio de Sant-Venant, possibilitando que uma peça de maior esbeltes receba as mesmas tensões de uma peça grossa, uma vez que o material da peça solicitante seja tão resistente às tensões quanto o volume retirado.

6.2 – SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Pesquisas podem ser realizadas referentes a etapa de projetos, levando em consideração quantitativo numérico, esforços, tensões e uso de softwares.
- Outros materiais como fibra de carbono e barras de concreto armado, também são boas medidas para utilização em reforço, pesquisas podem ser feitas afim de viabilizar a arquitetura nesse modelo estrutural usando esses materiais.
- Pode-se ainda fazer um estudo comparativo entre os possíveis materiais de reforço e pesquisar a viabilização orçamentaria para assim escolher o material mais viável.
- Buscar projetos onde fossem realizados ensaios para dimensionamento do reforço nesse modelo estrutural e quais seriam. Uma vez que nas placas pré-moldadas dos estudos de caso apresentados, houveram apenas ensaios não destrutivos – ultrassonografia e esclerometria.

- Estudo de viabilidade de reforço pois, no caso de manifestações patológicas, deve-se estudar se o reforço é viável ou se a demolição da edificação valeria mais apenas. No caso desse trabalho, o valor referente ao reforço era o mesmo da demolição, reforçar foi escolha do cliente.

7 – BIBLIOGRAFIAS

ACKER, Arnold Van. Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto. FIB, 2002.

BEER, F.P. e Johnston Jr., E.R.; Resistência dos Materiais pag 393 a 395. Porto alegre: AMGH, 2013.

BRUMATTI, Dioni O. uso de pré-moldados moldados - estudo e viabilidade. Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CAMPOS, Luiz Eduardo Teixeira. Técnicas de recuperação e reforço estrutural com estruturas de aço. Rio de Janeiro: UERJ, 2006.

EL DEBS, Mounir K. concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Paulo: universidade de São Paulo, 2000.

GALVEZ, Lizette Elena Mazzocato. Reforço estrutural a força cortante em vigas de concreto armado por meio de colagem externa de mantas flexíveis de fibras de carbono (PRFC). Dissertação de Mestrado apresentada a Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2003.

PANTOJA, João da Costa. Recuperação e Reforço de Sistema Estrutural com Placas Pré-Moldadas Alveolares. Revista Paranoá, 2015.

PEREIRA, Bianca Salomão Contardo Silvino. Estudo de reforço externo à força cortante em vigas de concreto armado. Rio de Janeiro: PUC, 2005.

SANTOS, Paulo Mascarenhas. comparação de reforço com chapas de aço e fibras de carbono em vigas de concreto armado submetidas à flexão simples. Trabalho de Final de Curso apresentado à Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008.

SILVA, Erick Almeida. Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006.

SILVA, Fernando Benigno da. Sistemas Construtivos: Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes. **Téchne**, São Paulo, v. 180.

ÂNGULO ENGENHARIA LTDA. Reforço Estrutural. MG, 2017. Disponível em: <http://anguloengenhariamg.com.br/portfolio/reforco-estrutural> acessado em 24 out 2017 as 12:04.

LE BLOG DO PÉROL. Biarritz. RJ 2015. Disponível em: <https://leblogdoperol.com/tag/biarritz>. Acesso em: 20 out 2017 as 10:43.

TECHNIQUES SOLUÇÕES EM ENGENHARIA. Curitiba PR, 2017. Disponível em <http://producao.techniques.com.br/project/reforco-estrutural-com-perfis-e-chapa-de-aco/>. Acesso em 10 nov 2017 as 9:44.