



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS UNI-ANHANGUERA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO  
POR ENCAMISAMENTO**

**DANIEL MORAIS SANTOS  
DYONE DE SOUZA AVELAR**

GOIÂNIA  
Novembro/2018

**DANIEL MORAIS SANTOS  
DYONE DE SOUZA AVELAR**

**REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO  
POR ENCAMISAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – UNI-ANHANGUERA, sob orientação do Professor Mestre Ivo Carrijo Andrade Neto, como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Civil.

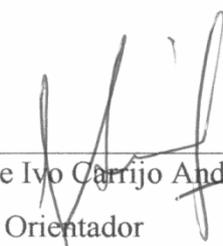
GOIÂNIA  
Novembro/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTORES: DANIEL MORAIS SANTOS E DYONE DE SOUZA AVELAR

REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO POR  
ENCAMISAMENTO

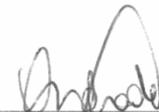
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás - UNIHANGUERA, defendido e aprovado em 12 de Novembro de 2018 pela banca examinadora constituída por:



---

Professor Mestre Ivo Carrijo Andrade Neto

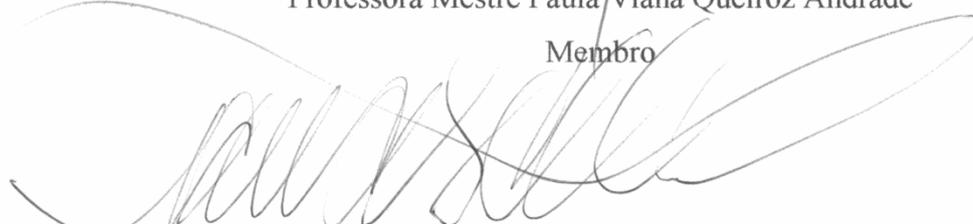
Orientador



---

Professora Mestre Paula Viana Queiroz Andrade

Membro



---

Professor Especialista Paulo Roberto de Souza

Membro

Dedicamos este trabalho à Deus que nos manteve de pé durante todos os momentos que necessitamos dele e em quem depositamos toda nossa fé. Que com seu sopro de vida nos fez homens capazes de suportar as adversidades de todos estes anos de estudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus por nossas motivações nesta jornada, aos nossos familiares pelo apoio durante todos estes períodos de faculdade, aos nossos amigos que nos deram forças com palavras de incentivo nas horas mais difíceis e aos professores por partilharem seus conhecimentos estimulando nossa criatividade.

## RESUMO

O campo da engenharia civil vem se tornando cada vez mais tecnológico e fez do avanço da ciência um dos seus principais aliados para garantir a estabilidade e segurança de suas construções. Entretanto, a tecnologia ainda não é capaz de evitar que algumas situações deixem de acontecer como, por exemplo, o surgimento de patologias devido a vícios construtivos ou até mesmo mudanças de utilização devido a alterações arquitetônicas. Todas essas situações são drásticas e exigem uma revisão estrutural da obra em questão a fim de garantir a segurança da mesma. O objetivo do estudo de caso foi analisar a execução de um reforço estrutural em concreto armado de uma obra que passou alterações na arquitetura, alterando a laje de cobertura para laje de piso, acarretando no acréscimo de carga, o que gerou a necessidade de reforçar alguns dos pilares da estrutura existente. A técnica utilizada para o reforço estrutural é denominada por encamisamento, que consiste no aumento da seção transversal da peça a ser reforçada. Ainda não existem normas gerais ou específicas a respeito do reforço estrutural, sendo utilizado, na maioria das vezes, o conhecimento empírico dos construtores para realização destes. Para definir as novas dimensões dos pilares reforçados e a nova área de aço necessária para o projeto, foi utilizado como base o trabalho de Adilson Roberto Takeuti, que consiste na formulação de uma tabela de dimensionamento que relaciona o novo esforço inserido com as dimensões existentes na estrutura, e através disso é possível determinar se ela suporta ou não os novos carregamentos, caso não suporte é possível determinar a nova seção da estrutura. Apesar de não existirem normas específicas para a execução do reforço estrutural, foram observados os preceitos contidos na NBR 6120:1980 que relacionam os valores das cargas verticais nas construções e na NBR 6118:2014 que discorre a respeito das construções em concreto armado, não dispensando a observação de profissionais competentes para avaliação dos processos envolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cargas Verticais. Dimensionamento. Estabilidade. Estrutura. Reforço.

## **Abstract**

The field of civil engineering has become increasingly technological and has made the advancement of science one of its main allies to ensure the stability and safety of its constructions. However, technology is still not able to prevent certain situations from happening, such as the appearance of pathologies or the change of use of these works. Some of these situations are drastic and require a structural revision of the work in question in order to ensure the safety of the work. The objective of the case study was to analyze the execution of a structural reinforcement in reinforced concrete of a work that underwent a change of use of the place and suffered an increase of load, which generated the need to reinforce some of the pillars of the existing structure. This technique is referred to as structural reinforcement by casing, which consists of increasing the cross section of the piece to be reinforced. There are still no general or specific norms regarding structural reinforcement, and most of the time the empirical knowledge of the constructors is used. In order to define the new dimensions of the reinforced abutments and the new steel area required for the project, the work of Adilson Roberto Takeuti was used as a basis, which consists in the formulation of a dimensioning table that relates the new effort inserted with the existing dimensions in the structure, and through this it is possible to determine whether or not it supports the new loads, if it does not support it, it is possible to determine the new section of the structure. Although there are no specific norms for the execution of the structural reinforcement, the precepts contained in NBR 6120 that relate the values of the vertical loads in the constructions and in the NBR 6118 that talks about the constructions in reinforced concrete, were observed, not dispensing the observation of professionals the processes involved.

**KEY WORDS:** Vertical Loads. Sizing. Stability. Structure. Reinforcement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe do reforço nos pilares e adição de laje pré-moldada.....	14
Fonte: Andrade Neto (2012).....	14
Figura 2 e 3 – Detalhe do tubulão escavado.....	15
Fonte: Andrade Neto (2012).....	15
Figura 4 – Planta de Forma Pavimento Térreo – Projeto de Ampliação.....	17
Fonte: Andrade Neto (2012).....	17
Figura 5 – Escarificação do pilar.....	19
Fonte: <a href="http://www.etu.ufrj.br/files/fotos/1529505319.png">http://www.etu.ufrj.br/files/fotos/1529505319.png</a> .....	19
Figura 6: Sulcos na Superfície do Pilar.....	19
Fonte: Próprio Autor, (2018).....	19
Figura 7 – Limpeza da superfície com ar comprimido.....	20
Fonte: Andrade Neto (2012).....	20
Figura 8 – Saturação do Concreto.....	20
Fonte: <a href="http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-2.aspx">http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-2.aspx</a> .....	20
Figura 9 - Armadura de Ligação – Pilar existente x Pilar reforçado.....	21
Fonte: Andrade Neto (2012).....	21
Figura 10 – Pilar pronto para concretagem.....	21
Fonte: Andrade Neto (2012).....	21
Figura 11 – Pilar “A” Reforçado na Forma.....	22
Fonte: Andrade Neto (2012).....	22
Figura 12 – Pilar “B” Reforçado Concretado.....	22
Fonte: Andrade Neto (2012).....	22

## LISTA DE SIGLAS

Ac – V:	Área de Concreto Velho
Ac Novo:	Área de Concreto Novo
Ac Ref:	Área de Concreto Reforçado
As – V:	Área de Aço Velho
As Novo:	Área de Aço Novo
As Total:	Área de Aço Total
BW – V:	Base do Pilar Velho
Bw Novo:	Base do Pilar Novo
CS:	Coefficiente de Segurança
F – As:	Força Resistente do Aço
Fcd Novo:	Resistência de Dimensionamento de Compressão do Concreto Novo
Fcd Velho:	Resistência de Dimensionamento de Compressão do Concreto Velho
Fcon – V:	Força Resistente do Concreto Velho
Fcon Novo:	Força Resistente do Concreto Novo
Fu Resistente:	Força Última Resistente
Fy As:	Resistencia de Escoamento à Tração do Aço
H – V:	Largura do Pilar Velho
H Novo:	Largura do Pilar Novo
Nsd:	Carga de Cálculo

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo dos Tubulões para Carregamento de Projeto.....	15
Fonte: Andrade Neto (2012).....	15
Tabela 2 – Novos Carregamentos – Pilares e Tubulões .....	15
Fonte: Andrade Neto (2012).....	15
Tabela 3 – Dimensões Finais Tubulões.....	17
Fonte: Andrade Neto (2012).....	17
Tabela 4 – Dimensionamento do Reforço dos Pilares.....	18
Fonte: Takeuti (1999) .....	18

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	13
3.1 Reforço Estrutural dos Pilares .....	17
3.2 Execução do Reforço.....	18
3.2.1 Preparo do Substrato.....	18
3.2.2 Limpeza da Superfície .....	19
3.2.3 Saturação do Concreto.....	20
3.2.4 Furação dos Pilares.....	21
3.2.5 Montagem das Fôrmas e Concretagem .....	22
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	23
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	24
<b>ANEXO A – DECLARAÇÕES E AUTORIZAÇÕES</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

Com os avanços da Construção Civil nas últimas décadas, vários foram os benefícios trazidos para ela através de reformas e ampliações, dentre eles podemos citar o reforço em estruturas de concreto, visto que, muitas construções começam a apresentar problemas em suas estruturas com o passar dos anos. De acordo com Oliveira (2010) os edifícios antigos construídos nas mais diversas partes do mundo ficam sujeitos as patologias conseqüentes de abalos sísmicos, precipitações pluviais e inundações, além da umidade excessiva provenientes destas precipitações.

Pilar se define pela ABNT NBR 6118:2014 como uma estrutura linear de eixo reto e vertical que após consolidação passa a ser constantemente solicitado por forças de compressão exercidas por cargas a ele impostas, neste caso não se pode desconsiderar também os esforços horizontais e momentos exercidos sobre os mesmos.

Com a ação do tempo ou mudança no tipo de utilização dos locais, podem surgir patologias que acometem as estruturas de concreto como os pilares, vigas, paredes e lajes, por exemplo, sendo necessários procedimentos para manutenção de sua estrutura ou até mesmo a ampliação dessa estrutura com o objetivo de impedir o surgimento ou agravamento de patologias.

As intervenções realizadas na estrutura vão desde a superposição de novas camadas de concreto com fibras metálicas até mesmo a substituição de grande parte do concreto, com a finalidade de dar maior força para suportar os novos esforços solicitantes. Para Cánovas (1988) e Takeuti (1999) é certo que os métodos utilizados no reforço estrutural devem interferir na arquitetura da seção modificando a geometria original da mesma.

Durante o processo construtivo através de uma boa execução é possível minimizar problemas estruturais que possam aparecer durante a obra e mesmo após sua finalização.

De acordo com França & Kimura (2006) durante a concepção de um edifício deve se observar que seus pilares podem estar submetidos a ação de torção na sua extensão, exigindo avaliação mais aprofundada da estrutura para que se possa realizar recuperação mais adequada do mesmo.

Partindo da premissa que todo projeto construtivo deve estar em conformidade com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) de acordo com Couto (2015) fica a construção sujeita a observação de profissionais competentes para avaliação de todo processo construtivo, uma vez que não há uma norma específica sobre reforço estrutural.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo de caso sobre técnicas de reforço estrutural em estruturas de concreto armado foi realizado em uma obra realizada pela empresa Threeway Construções Ltda., com sede na cidade de Goiânia-GO. Os dados utilizados para realização do trabalho foram obtidos através do engenheiro projetista bem como dos relatórios utilizados para avaliação da estrutura no pré-projeto e relatórios de execução da obra. Também foram utilizados artigos científicos e normas relacionadas ao tema.

Todas as condições de carregamento da estrutura existente devem ser avaliadas mediante a ampliação e/ou mudança do tipo de uso do local e constatando-se a necessidade de rearranjo das estruturas existentes, o mesmo deve ser realizado após minucioso estudo da estrutura frente aos novos carregamentos nela inseridos, a fim de garantir a estabilidade da estrutura e segurança do mesmo.

No estudo de caso, mediante a mudança de utilização da estrutura, observou-se o acréscimo de carga em relação à estrutura existente, que se baseou na implantação de mais um pavimento na edificação, implicando a adição de uma laje pré-fabricada, deixando clara a necessidade do reforço dos pilares de sustentação existentes, a fim de redistribuir eficientemente o acréscimo de carga imposta à estrutura.

Como não foi possível acessar os projetos originais de fundação da estrutura existente, foi necessário realizar escavações “in loco” para uma avaliação tátil-visual das mesmas, com o intuito de levantar as dimensões reais das fundações, profundidade e ensaios do concreto através da retirada de testemunhos para rompimento em laboratório.

Após a análise da estrutura existente constatou-se que alguns dos pilares existentes necessitavam de reforço, bem como suas respectivas fundações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, toda construção possui um tipo de utilização e para cada um dos tipos possui valores de carga diferentes para seu dimensionamento. Caso uma construção necessite mudar seu tipo de utilização, faz-se necessário uma análise minuciosa de sua estrutura mediante os novos carregamentos que serão inseridos nela, seja através de reformas ou ampliações ou até mesmo inserção de equipamentos que possuem peso elevado, para avaliar a necessidade ou não de reforço estrutural, de modo a garantir a estabilidade e segurança da estrutura.

No estudo de caso em questão, o reforço estrutural se fez necessário mediante a mudança de utilização no local da obra, que passaria a contar com uma academia que funcionaria no piso superior que foi agregado à estrutura durante a obra de ampliação do local. Para garantir que a construção suportasse os novos esforços somados a ela, foram realizadas visitas técnicas no local da obra para averiguação e avaliação do estado geral da construção, para que se pudesse dar início à elaboração do projeto. Após as vistorias “in loco”, que foram acompanhadas pela empresa responsável, Threeway Construções Ltda., e seus respectivos engenheiros pôde-se traçar o projeto em questão utilizando os projetos estruturais existentes para elaboração dos novos.

O projeto de ampliação levou em consideração o aproveitamento da estrutura existente, somando-se a ela as modificações arquitetônicas do novo projeto e acrescentando à estrutura novos carregamentos, de acordo com a NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Importante salientar que ainda não possuímos uma norma específica para o reforço estrutural. Para a elaboração do projeto foram observados os critérios de execução recomendados pela CEB - Comité Euro-International du Béton de 1983, para que a técnica alcançasse o melhor resultado possível. Os pontos citados pelo CEB para execução do reforço foram:

- Remover o concreto deteriorado ou desintegrado com ponteiro ou talhadeira. Por razões práticas, o tamanho mínimo da camada a ser adicionada deve ficar em torno de 75 mm a 100 mm, possibilitando que a compactação do novo concreto e o posicionamento da nova armadura possam ser feitos de forma adequada;
- Promover uma superfície rugosa deixando os agregados expostos, e remover, quando necessário, o concreto que envolve as armaduras, eliminando somente o concreto deteriorado;
- Remover a ferrugem das armaduras e óleos do concreto;
- Eliminar os materiais pulverulentos utilizando água sob pressão;
- Saturar o concreto antigo por pelo menos seis horas antes de aplicar o concreto novo. Este procedimento não é recomendado por alguns pesquisadores que acreditam que esse umedecimento pode prejudicar a adesão entre reforço/substrato

ao invés de melhorá-la;

- Evitar bolhas de ar aplicando concreto ou argamassa com uma maior fluidez e a partir de um mesmo lado da fôrma. Muitas vezes, é necessário abrir janelas temporárias na fôrma para lançar o concreto e permitir a passagem do vibrador de imersão;
- Promover a cura com umedecimento da superfície ou cobrindo-a com materiais úmidos tais como areia, espuma, estopa e outros. Este umedecimento deve persistir por dez dias, no mínimo;
- Usar concreto de melhor qualidade, com resistência característica de, no mínimo, 5 MPa a mais do que a do concreto existente;
- Reduzir a quantidade de água com o uso de superplastificante.
- Recomenda-se ainda que o concreto ou a argamassa de reforço tenha resistência mecânica, módulo de elasticidade e coeficiente de dilatação compatível com os do concreto existente. (A. REIS apud CEB 1983, p. 62)

Para o reforço da estrutura foi proposto o acréscimo de uma laje pré-moldada com espessura de 16 cm e enchimento de EPS. Com os novos carregamentos, os pilares foram verificados e constatou-se que apenas os pilares (PV5 a PV10 – Projeto Original) necessitariam de reforço, aumentando sua seção consideravelmente, como mostra a figura 1.

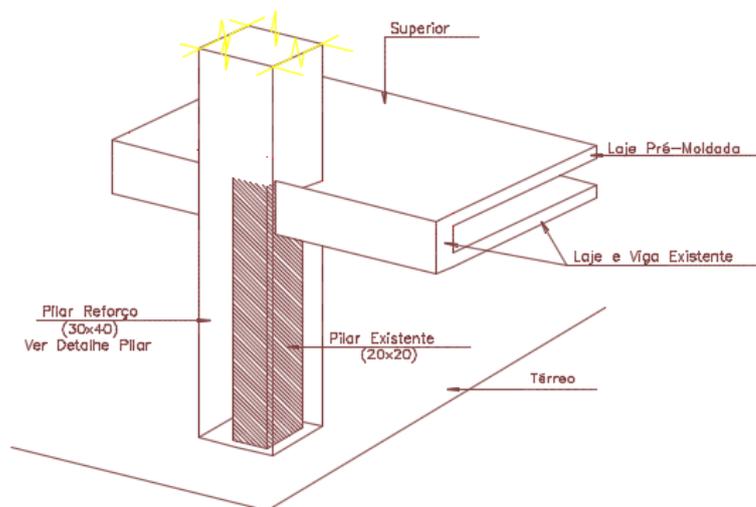


Figura 1 – Detalhe do reforço nos pilares e adição de laje pré-moldada.

Fonte: Andrade Neto (2012)

Para que fossem determinadas as novas dimensões dos pilares e fundações que receberiam o reforço foi utilizada uma tabela de dimensionamento baseado no projeto de estudo científico de TAKEUTI (1999) que consiste em relacionar a nova tensão aplicada à estrutura com a área necessária para a transferência da mesma. Também foram realizados dois furos de sondagem (Tipo SPT) com a emissão dos laudos de sondagem para análise do solo e determinar a tensão por ele suportada. Foram determinadas em projeto as tensões atuantes na estrutura antes do projeto de ampliação. Para tanto foi necessário escavar os tubulões para que suas reais dimensões fossem aferidas.



Figura 2 e 3 – Detalhe do tubulão escavado

Fonte: Andrade Neto (2012)

As medidas encontradas foram:

Tabela 1 – Averiguação das Dimensões dos Tubulões Existentes

<b>Pilar</b>	$\sigma_{\text{solo}}$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi_{\text{Fuste}}$ (cm)	$\phi_{\text{Base}}$ (cm)	$H_{\text{Base}}$ (cm)	$H_{\text{Fuste}}$ (cm)	$H_{\text{Total}}$ (cm)
<b>PV5 - PV10</b>	1,0	70	220	140	170	310

Fonte: Andrade Neto (2012)

A partir do modelo estrutural do novo projeto, são apresentados os esforços verticais nas fundações apenas dos elementos estruturais que sofreram alteração no carregamento, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 – Novos Carregamentos – Pilares e Tubulões

<b>Esforços – Pilares e Fundações</b>	
<b>Pilares</b>	<b>N (Tf)</b>
<b>PV5</b>	42,0
<b>PV6</b>	62,6
<b>PV7</b>	61,2
<b>PV8</b>	59,8
<b>PV9</b>	65,6
<b>PV10</b>	44,4

Fonte: Andrade Neto (2012)

Para os novos esforços nas fundações, foram verificados os tubulões e foi constatado que os tubulões referentes aos pilares PV6, PV7, PV8, PV9, devem ter as bases reforçadas (aumentadas), pois não suportam o novo carregamento. Para determinação de suas novas dimensões foram utilizados métodos empíricos e fórmulas matemáticas relacionando força, tensão do solo e área.

Dessa forma temos:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde:

$\sigma$  = tensão do solo (kgf/cm<sup>2</sup>)

F = força (tf)

A = área (m<sup>2</sup>)

Para determinação do novo diâmetro da base, a força normal foi majorada em 10%, e através da manipulação da fórmula matemática citada acima chegamos à expressão:

$$\phi_b = \sqrt{\frac{4 \times F \times 1,1}{\pi \times \sigma}}$$

Onde:

$\phi_b$  = novo diâmetro da base

F = força (tf)

$\sigma$  = tensão do solo (kgf/m<sup>2</sup>)

Dessa forma encontramos os novos diâmetros das bases dos tubulões. A altura da base ( $H_b$ ) foi adotada sendo:

$$H_b \begin{cases} 0,866 * (\phi_b - \phi_f) \\ \text{Ou} \\ \leq 2 \text{ m} \end{cases}$$

Onde:

$\phi_b$  = novo diâmetro da base

$\phi_f$  = diâmetro do fuste

Em relação às outras dimensões dos tubulões a altura e o diâmetro do fuste permaneceram os mesmos e a inclinação lateral utilizada foi de 60°. Dessa forma temos as dimensões finais dos tubulões como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões Finais Tubulões

Planilha de Tubulões							
Pilar	N	$\sigma$	$\phi_{Base}$	$\phi_{Fuste}$	$H_{Total}$	$H_{Fuste}$	$H_{Base}$
	(Tf)	(Kgf/cm <sup>2</sup> )	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m)
PV5	42,0	1,0	220	70	3,1	1,7	1,45
PV6	62,6	1,0	300	70	3,1	1,1	2,00
PV7	61,2	1,0	300	70	3,1	1,1	2,00
PV8	59,8	1,0	300	70	3,1	1,1	2,00
PV9	65,6	1,0	300	70	3,1	1,1	2,00
PV10	44,4	1,0	220	70	3,1	1,7	1,45

Fonte: Andrade Neto (2012)

### 3.1 Reforço Estrutural dos Pilares

Para os novos esforços nos pilares, foi necessário o reforço dos mesmos através da aplicação da técnica de reforço estrutural por encamisamento. Essa técnica consiste no aumento da seção transversal da peça reforçada, no caso os pilares, de forma que possam suportar o novo carregamento. Os pilares que necessitavam de reforço estão dispostos na planta de forma do pavimento térreo mostrado na figura 4.

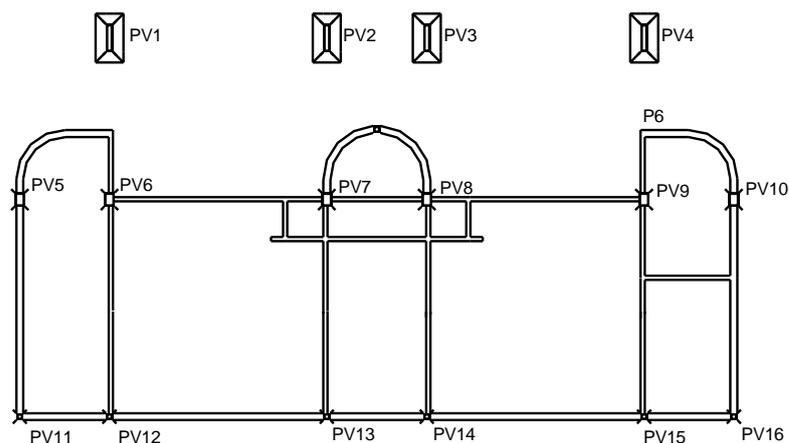


Figura 4 – Planta de Forma Pavimento Térreo – Projeto de Ampliação

Fonte: Andrade Neto (2012)

Para determinar a nova seção foi utilizada uma tabela de dimensionamento baseada no trabalho de Adilson Roberto Takeuti, que relaciona a estrutura existente com a nova em relação à seção transversal de reforço e suas armaduras, bem como analisa o limite último da

estrutura e adiciona coeficientes de segurança ao cálculo, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Dimensionamento do Reforço dos Pilares

Pilar	Bw_V (cm)	H_V (cm)	Ac_V (cm)	Bw_Novo (cm)	H_Novo (cm)	Ac_Novo (cm <sup>2</sup> )	Ac_Ref (cm <sup>2</sup> )	fcd_Velho (kgf/cm <sup>2</sup> )	fcd_Novo (kgf/cm <sup>2</sup> )	As_V	As_Novo	As_total (cm <sup>2</sup> )	fy_As (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fcon_V	Fcon_Novo (tf)	F_As (tf)	Fu_Resistente (tf)	Nsd (tf)	Status	CS
PV5	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,59	42,00	ok	5,04
PV6	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,61	62,60	ok	3,38
PV7	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,62	61,20	ok	3,46
PV8	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,63	59,80	ok	3,54
PV9	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,64	65,60	ok	3,23
PV10	20	20	400	30	40	1200	800	128,57	178,57	3,16	7,9	11,06	4200	43,71	121,43	46,45	211,65	44,40	ok	4,77

Fonte: Andrade Neto (2012)

Através da avaliação da tabela, nota-se a necessidade de aumentar a seção dos pilares de 20x20 cm para 30x40 cm, assim como incorporar ao reforço o aço necessário para suportar os esforços de tração acrescidos à estrutura.

## 3.2 Execução do Reforço

### 3.2.1 Preparo do substrato

Uma vez determinada a nova seção transversal e a área de aço a ser utilizada no reforço, deu-se início à execução do projeto. De acordo com SOUZA E RIPPER (1998) é necessário escorar toda a estrutura antes do início da execução do reforço. As escoras têm por objetivo descarregar as tensões impostas aos pilares fazendo com que, após o reforço, o concreto existente trabalhe conjuntamente com o concreto novo como uma única estrutura garantindo que as tensões adicionadas sejam distribuídas nos pilares como uma única peça. Ainda de acordo com SOUZA E RIPPER (1998) é necessário preparar os substratos dos pilares existentes para receber o reforço, essa etapa é denominada apicoamento ou escarificação. Essa preparação consiste em realizar uma remoção profunda do concreto existente ou degradado expondo a ferragem existente, a fim de garantir a aderência do concreto novo ao antigo. Assim, foi realizada escarificação de forma manual como mostra a figura 5.



Figura 5 – Escarificação do pilar  
Fonte: <http://www.etu.ufrj.br/files/fotos/1529505319.png>

Além da escarificação em toda a superfície do concreto do pilar original, deve-se também criar reentrâncias (sulcos) ao longo de toda a altura do pilar. Estas reentrâncias devem ter profundidade média de 3 cm e também ter um espaçamento uma da outra de aproximadamente 30 cm, conforme esquematizado na figura 06.

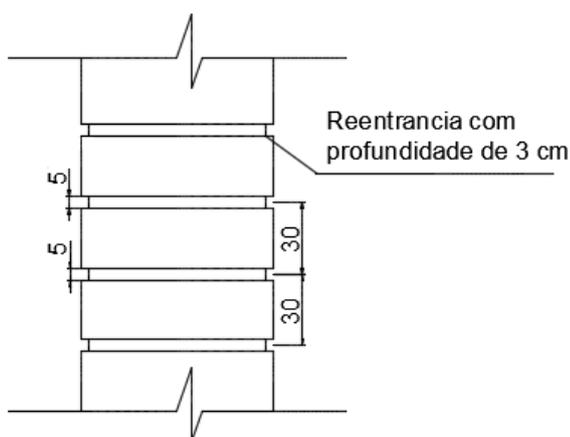


Figura 6: Sulcos na Superfície do Pilar  
Fonte: Próprio Autor, (2018)

### 3.2.2 Limpeza da superfície

A limpeza da superfície do concreto foi realizada garantindo a remoção de todos os materiais (pó, poeiras, substâncias oleosas, tintas, graxas, concretos desagregados, revestimentos diversos e etc.) que possam prejudicar a aderência entre o concreto “novo” e o concreto “velho”. Recomenda-se para esta limpeza a utilização de: ar comprimido, jato de água ou aspiração.



Figura 7 – Limpeza da superfície com ar comprimido  
Fonte: Andrade Neto (2012)

### 3.2.3 Saturação do concreto

Após a limpeza adequada da superfície, o pilar antigo foi saturado e somente após seis horas deu se início à concretagem dos pilares. Nessa etapa atentou se para que a superfície do concreto no momento da concretagem estivesse na condição de superfície saturada seca, jamais encharcada.



Figura 8 – Saturação do Concreto  
Fonte: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-2.aspx>

### 3.2.4 Furação dos pilares

Após a aplicação da ponte de aderência, foi realizada a furação dos pilares para inserção dos ganchos de ligação que tem como função a solidarização de concreto existente com as novas armaduras do reforço e o concreto novo. Estas armaduras foram espaçadas conforme indicado em cada pilar, apresentado nas pranchas específicas de reforço.

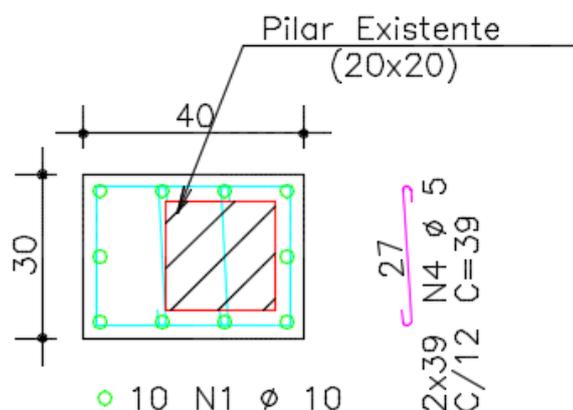


Figura 9 – Armadura de Ligação – Pilar existente x Pilar reforçado

Fonte: Andrade Neto (2012)

As amaduras de ligação devem ficar ancoradas no concreto com profundidade conforme especificado no detalhe de cada pilar, que no projeto em questão atravessou o pilar existente e se ancorou na nova armadura como mostra a figura 9. Para a fixação da armadura ao concreto foi utilizado adesivo a base de resina epóxi. Após a ancoragem e inserção das novas armaduras os pilares estão prontos para concretagem como demonstrado na figura 10.



Figura 10 – Pilar pronto para concretagem

Fonte: Andrade Neto (2012)

### 3.2.5 Montagem das fôrmas e concretagem

Inseridas todas as armaduras de acordo com o especificado em projeto iniciou se a montagem das fôrmas seguindo os preceitos gerais de construção que devem garantir a estanqueidade das fôrmas, resistência e limitação adequada das dimensões dos pilares. O lançamento do concreto foi realizado de forma a evitar patologias indesejáveis no concreto como segregação de materiais, por exemplo.



Figura 11 – Pilar “A” Reforçado na Forma    Figura 12 – Pilar “B” Reforçado Concretado  
Fonte: Andrade Neto (2012)

Finalizando a concretagem e dado o início da pega do concreto, iniciou se imediatamente a cura do concreto evitando perda de água por evaporação, o que pode acarretar patologias no concreto. A cura foi realizada umedecendo se os pilares reforçados e envolvendo os com lona, para que a umidade fosse mantida nos pilares.

#### 4. CONCLUSÕES

Em visita técnica realizada para averiguação da estrutura que receberia a laje pré-moldada, constatou-se a necessidade de reforço de algumas fundações e pilares presentes no projeto original. O reforço foi justificado mediante a mudança de utilização do espaço, o que implicou no acréscimo de carga na estrutura existente.

Na fase de projeto constatou-se que a área de aço presente na estrutura não seria suficiente para suportar os esforços de tensão após a inserção da nova carga na estrutura, sendo necessário o aumento da seção transversal dos elementos estruturais reforçados para adição de área de aço necessária.

Realizado o reforço estrutural necessário nas peças da estrutura existente, houve um aumento na seção transversal das mesmas, passando de 20x20 cm para 30x40 cm, com aumento da área de aço de 400 para 1200 cm<sup>2</sup>.

Após o reforço a laje pré-moldada foi instalada com êxito e o piso superior passou a ser utilizado como uma academia, como tinha sido previsto em projeto.

Observando o arranjo estrutural pós-obra o reforço estrutural mostrou-se eficiente mediante as novas solicitações que a ela foram adicionadas, não sendo observadas fissurações, trincas ou outro tipo de patologia que demonstre falha na execução do reforço e também na elaboração do projeto de reforço.

Do ponto de vista financeiro, o reforço estrutural por encamisamento é um dos reforços que possuem um menor valor de execução e taxa de sucesso elevado, uma vez que possui mão-de-obra barata e o conhecimento acerca do concreto armado é extenso. Em contrapartida o aumento da seção transversal dos pilares pode ser um ponto negativo da técnica, já que interfere diretamente na arquitetura do local. Outro ponto a ser observado é o tempo gasto para realização do reforço. A utilização do concreto armado pode levar vários dias para que sua resistência seja propícia para continuar a obra, fazendo com que o local não seja utilizável por um maior período de tempo.

## 5. REFERÊNCIAS

A REIS Andréa Prado. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho**, Dissertação (Mestrado), Orientador: João Bento de Hanai, São Carlos, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 6120: **Cargas para cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

CALLISTER JR., WILLIAM D., **Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais**, 2a ed., Rio de Janeiro, LTC, 2006, ISBN: 85-216-1515-9.

CARRAZEDO, Ricardo, **Mecanismos de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de concreto por encamisamento com compósito de fibras de carbono**, Dissertação (Mestrado), Orientador: Prof. Titular João Bento de Hanai, São Carlos, 2002.

FERRARI, Vladimir José\*, PADARATZ, Ivo José e LORIGGIO, Daniel Domingues, **Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem**, Article in Acta Scientiarum Technology January 2008. Maringá, janeiro de 2008.

FERRARI, Vladimir José, **Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) aderido a substâncias de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho**, Dissertação (Mestrado), Orientador: Professor Titular João Bento de Hanai, São Carlos, 2007.

GUIMARÃES, A.E.P. (1999). **Análise experimental de pilares de concreto de alta resistência com adição de fibras metálicas submetidos à compressão centrada**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LIMA JÚNIOR, H.C. (2003). **Avaliação da ductilidade de pilares de concreto armado, submetidos a flexo-compressão reta com e sem adição de fibras metálicas**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MIOTTO, José Luiz <sup>1</sup>; DIAS, Antonio Alves <sup>2</sup>, **Reforço e recuperação de estruturas de madeira**, Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, n. 2, p. 163-174, jul/dez. 2006.

MOREIRA, Anabele Mendes, **Materiais compósitos**, Instituto Politécnico de Tomar/Escola Superior de Tomar, Departamento de Engenharia Civil – Área de construção, Materiais de Construção I, 2008/2009 – 1º Semestre.

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – SP, 2010.

ROMAN, H. R. **Alvenaria Estrutural**. Revista Techne. N. 24. 1996 pp. 49-52.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

TAKEUTI, Adilson Roberto, **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**, Dissertação (Mestrado), Orientador: Professor Titular João Bento de Hanai, São Carlos, 1999.

TEOBALDO, Izabela N. C. **Estudo do aço como objeto de reforço estrutural em edificações antigas**, Dissertação (Mestrado), Orientador: Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury, Belo Horizonte, 13 de abril de 2004.

ZUCCHI, FERNANDO L.; Trabalho de Conclusão de Curso: **Técnicas para o Reforço de Elementos Estruturais**. Santa Maria/RS, Brasil. Orientador: Prof. Rogério Cattelan Antochaves de Lima, 2015.

## **ANEXO A - DECLARAÇÕES E AUTORIZAÇÕES**

## **REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO POR ENCAMISAMENTO**

**SANTOS, Daniel Morais<sup>1</sup> e AVELAR, Dyone de Souza<sup>2</sup> e ANDRADE NETO, Ivo Carrijo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, <sup>2</sup>Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA, <sup>3</sup>Professor, Mestre, Curso de Engenharia do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA.

O campo da engenharia civil vem se tornando cada vez mais tecnológico e fez do avanço da ciência um dos seus principais aliados para garantir a estabilidade e segurança de suas construções. Entretanto, a tecnologia ainda não é capaz de evitar que algumas situações deixem de acontecer como, por exemplo, o surgimento de patologias ou a mudança de utilização dessas obras. Algumas dessas situações são drásticas e exigem uma revisão estrutural da obra em questão a fim de garantir a segurança da mesma. O objetivo do estudo de caso foi analisar a execução de um reforço estrutural em concreto armado de uma obra que passou por uma mudança de utilização do local e sofreu acréscimo de carga, o que gerou a necessidade de reforçar alguns dos pilares da estrutura existente. Essa técnica é denominada como reforço estrutural por encamisamento, que consiste no aumento da seção transversal da peça a ser reforçada. Ainda não existem normas gerais ou específicas a respeito do reforço estrutural, sendo utilizado, na maioria das vezes, o conhecimento empírico dos construtores para realização destes. Para definir as novas dimensões dos pilares reforçados e a nova área de aço necessária para o projeto, foi utilizado como base o trabalho de Adilson Roberto Takeuti, que consiste na formulação de uma tabela de dimensionamento que relaciona o novo esforço inserido com as dimensões existentes na estrutura, e através disso é possível determinar se ela suporta ou não os novos carregamentos, caso não suporte é possível determinar a nova seção da estrutura. Apesar de não existirem normas específicas para a execução do reforço estrutural, foram observados os preceitos contidos na NBR 6120 que relacionam os valores das cargas verticais nas construções e na NBR 6118 que discorre a respeito das construções em concreto armado, não dispensando a observação de profissionais competentes para avaliação dos processos envolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cargas Verticais. Dimensionamento. Estabilidade. Estrutura. Reforço.