

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO E GESTÃO DO**  
**AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**DIÓGENES GONÇALVES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE PROCESSOS NA**  
**CONSTRUÇÃO CIVIL COM ÊNFASE NA VIABILIDADE DO MÉTODO**  
**DA PROTENSÃO DE CABOS DE AÇO**

**BELO HORIZONTE - MG**

**JUNHO-2019**

DIÓGENES GONÇALVES DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE PROCESSOS NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL COM ÊNFASE NA VIABILIDADE DO MÉTODO  
DA PROTENSÃO DE CABOS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, como requisito parcial para a obtenção do título de Pós-Graduação em Produção e Gestão do Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

**BELO HORIZONTE – MG**

**JUNHO – 2019**

S237a

Santos, Diógenes Gonçalves dos.

Análise da industrialização de processos na construção civil com ênfase na viabilidade do método da protensão de cabos de aço [recurso eletrônico] / Diógenes Gonçalves dos Santos. – 2019.  
1 recurso online (63 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 60-63.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Barras de aço. 3. Cabos de aço. I. Ribeiro, Sidnea Eliane Campos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: **DIÓGENES GONÇALVES DOS SANTOS**

MATRÍCULA: 2017666810

### RESULTADO

Aos 12 dias do mês de agosto de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"ANÁLISE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM ÊNFASE NA VIABILIDADE DO MÉTODO DE PROTENSÃO DE CABOS DE AÇO"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 7,5

CONCEITO: C

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Assinatura

Nome

Prof. Dr. Paula Bamberg

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 12 de agosto de 2019

Coordenador do Curso  
Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

## RESUMO

Com o avanço da tecnologia e o aumento na velocidade das informações, as empresas estão adotando métodos que reduzam os custos operacionais, tempo de processos e consumo de insumos, sempre em busca do ganho de produtividade, garantia da qualidade na execução dos processos e atendimento aos requisitos técnicos exigidos pelas normas regulamentadoras. O corte e dobra de aço em centrais especializadas está sendo cada vez mais utilizado e vem ganhando espaço e credibilidade no setor construtivo. O presente estudo trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com embasamento em um estudo comparativo e pesquisa aplicada de forma quantitativa, cujo objetivo é evidenciar as vantagens da utilização de processos industrializados como o corte e protensão de cabos, corte e dobra de aço e armadura pronta soldada. Após a leitura dos artigos e análise do estudo comparativo, verificou-se que houve economia nos custos gerais do concreto protendido em relação ao concreto armado, sendo possível evidenciar que embora esta técnica envolva processos mais complexos e necessite de mão de obra especializada, a aplicação das cordoalhas proporcionam mais possibilidades de inovação.

**Palavras-chave:** Barras de aço. Corte e dobra. Armadura Pronta Soldada. Protensão de cabos de aço.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto externa do Museu do Amanhã. ....	14
Figura 2 – Configuração geométrica das nervuras transversais, oblíquas e longitudinais .....	24
Figura 3 – Parâmetros de dobramento do aço. ....	28
Figura 4 – Unidades de Belgo Pronto no Brasil.....	32
Figura 5 – Fluxograma do processo de corte e dobra .....	33
Figura 6 – Exemplo do romaneio de corte e dobra .....	33
Figura 7 – Foto da máquina de corte e dobra .....	34
Figura 8 – Etiqueta material corte e dobra .....	34
Figura 9 – Foto das estacas cortadas, dobradas e soldadas (APS).....	35
Figura 10 – Foto do material (bloco) cortado, dobrado e soldado (APS) .....	35
Figura 11 – Foto interna do Museu de Arte de São Paulo .....	36
Figura 12 – Foto fachada externa do Museu de Arte de São Paulo.....	36
Figura 13 – Detalhe das forças de tração e compressão .....	38
Figura 14 – Ponte Octavio Frias de Oliveira (São Paulo).....	39
Figura 15 – Ponte Jornalista Phelippe Daou/Rio Negro (Manaus).....	40
Figura 16 – Imagem detalhada dos tipos de cordoalhas .....	42
Figura 17 – Imagem cordoalha nua.....	42
Figura 18 – Imagem detalhada cordoalha plastificada engraxada .....	43
Figura 19 – Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas para Protensão .....	44
Figura 20 – Imagem ilustrativa da ampliação de vãos .....	44
Figura 21 – Foto externa edifício (imagem ilustrativa).....	50
Figura 22 – Foto interna das salas (imagem ilustrativa).....	51
Figura 23 – Foto da máquina de corte de cordoalhas .....	52
Figura 24 – Foto das cordoalhas armazenadas no pátio de produção.....	52
Figura 25 – Armaduras com cordoalhas .....	53
Figura 26 – Detalhamento das peças utilizadas no processo de protensão .....	54
Figura 27 – Foto da execução da protensão dos cabos, com axílio do macaco hidráulico.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades mecânicas de barras e fios de aço destinados a armaduras para CA. ....	25
Tabela 2 – Propriedades mecânicas de barras e fios de aço para CA. ....	24
Tabela 3 – Diâmetro interno da curvatura dos ganchos. ....	25
Tabela 4 – Diâmetro mínimo dos pinos de dobra. ....	27
Tabela 5 – Produtividade do concreto armado (CA) ....	56
Tabela 6 – Produtividade do concreto protendido (CP). ....	57
Tabela 7 – Custos do concreto armado (CA). ....	57
Tabela 8 – Custos do concreto protendido (CP). ....	57
Tabela 9 – Custo por pavimento. ....	58
Tabela 10 – Custo por metro quadrado. ....	58

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
a.C.	Antes de Cristo
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia
APS	Armadura Pronta Soldada
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Social
CA	Concreto Armado
CD	Corte e Dobra
CP	Concreto Protendido
CST	Companhia Siderúrgica Tubarão
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
Fe	Ferro
Hh/m <sup>2</sup>	Homem Hora por metro quadrado
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
MASP	Museu de Arte de São Paulo
M <sup>2</sup>	Metro Quadrado
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SFN	Sistema Financeiro Nacional
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
T/DIA	Tonelada/ dia
TON	Toneladas

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
2.	OBJETIVO .....	15
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1.	HISTÓRIA DO AÇO .....	16
3.2.	AÇO NO BRASIL.....	18
3.3.	CORTE E DOBRA DE BARRAS DE AÇO NO BRASIL.....	22
3.4.	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO DE CORTE E DOBRA NO BRASIL.....	23
3.5.	NORMAS BRASILEIRAS PARA BARRAS DE AÇO .....	24
4.	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS .....	31
4.1.	SISTEMA BELGO PRONTO.....	31
4.2.	CONCRETO ARMADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	36
4.3.	CONCRETO PROTENDIDO .....	37
5.	UNIVERSO DAS CORDOALHAS.....	41
5.1.	FIOS DE PROTENSÃO .....	41
5.2.	CORDOALHAS NUA – EMPREGADAS EM PROCESSOS ADERENTES ...	41
5.3.	CORDOALHAS ENGRAXADA – EMPREGADAS EM PROCESSOS NÃO ADERENTES .....	43
6.	METODOLOGIA .....	45
6.1.	TIPOS DE PESQUISA .....	45
6.2.	NATUREZA DA PESQUISA .....	46
6.3.	FINS DA PESQUISA.....	46
6.4.	MEIOS DA PESQUISA .....	47
6.5.	UNIVERSO E AMOSTRA DA PESQUISA.....	47
6.6.	COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	48
6.7.	ORGANIZAÇÃO EM ESTUDO .....	49
6.8.	LIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	49
7.	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO COMPARATIVO .....	50
8.	PROTENSÃO.....	55
9.	RESULTADOS E DISCUSSÕES FINAIS .....	56
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59

11. REFERÊNCIAS.....	60
----------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

O aço é considerado por muitos um produto indispensável para o desenvolvimento econômico do país e tem lugar privilegiado na vitrine do comércio mundial. A construção civil por sua vez, quando comparada a outros setores da indústria brasileira é caracterizada pelos seus elevados custos na oferta do produto, altos índices de desperdício de material e mão de obra pouco qualificada nos canteiros de obra. Entretanto com o mercado construtivo cada vez mais competitivo e disputado, tem exigido das construtoras a incessante busca pela melhoria contínua de seus processos, alta produtividade, redução dos desperdícios e custos de obra. Para atender todas essas exigências e visando sempre a busca em oferecer um produto final com a qualidade melhor, um dos caminhos adotados pelos construtores foi a substituição de processos arcaicos e convencionais na obra por processos industrializados.

O processo de corte e dobra é uma inovação tecnológica industrial que envolve a transformação de bobinas de aço em peças estruturais de acordo com as normas regulamentadoras e exigências técnicas do projeto. O emprego de cabos e vergalhões com o corte, dobra e montagem em canteiro ainda é utilizado, porém em função dos elevados índices de perdas do material nesse processo, falta de mão de obra especializada, tempo necessário maior para a execução dos serviços e alto risco da ocorrência de acidentes, a utilização do aço cortado e dobrado de fábrica tem se tornado uma opção mais segura e viável economicamente. O surgimento do sistema de corte e dobra de aço industrializado fora do canteiro de obras foi originada na Espanha na década de 70, e adotada no Brasil pelos grupos Gerdau e Belgo no final da década de 80 (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2007).

A implantação deste processo industrializado no mercado construtivo foi uma das soluções viáveis encontradas para minimizar os desafios enfrentados pelas construtoras em suas respectivas obras, como por exemplo, a otimização do espaço (cada vez menos espaço para armazenar/estocar material em obra), escassez de mão de obra qualificada, perda gerada mesmo com a execução de planos de corte e local para descarte da sucata gerada (MARQUES, 2013).

Seguindo a tendência da inovação e industrialização dos processos na construção civil, surgiu-se a armadura pronta soldada, que oferece ao cliente a solução estrutural completa. No Brasil o uso de armaduras prontas soldadas (APS) era restrito a minoria

dos elementos estruturais como, telas soldadas, treliças e pequenas armaduras de dimensões padronizadas (BATISTA; CAUDURO; BALLESTEROS, 2010). Atualmente a APS é comumente utilizada na etapa de fundação, através de elementos estruturais mais robustos, como estacas, blocos, paredes diafragmas, retangulões, vigas de coroamento e cintas. Uma verdadeira solução estrutural, pois reduz o número de operários na obra, acelera o cronograma executivo e garante maior rigidez do elemento estrutural, devido ao fato de todo material ser soldado. A contribuição das instalações de corte e dobra para o desenvolvimento das armaduras soldadas se deve ao fato de que há um ambiente fabril, onde os parâmetros de qualidade da solda podem ser controlados com maior rigor no que diz respeito a limpeza superficial, umidade das barras, temperatura ambiente, corrente de ar, etc (BATISTA; CAUDURO; BALLESTEROS, 2010).

Atualmente com o avanço de pesquisas e a inserção de novas tecnologias no mercado, os cabos de aço, mais conhecidos como cordoalhas, vem ganhando cada vez mais espaço nas construções. Este material pode atender a aspectos semelhantes aos das barras de ferro com qualidades únicas (ARAUJO,2016).

Embora seja um método não tão comum, a região do nordeste brasileiro é a que mais utiliza as cordoalhas nas construções civis atualmente no Brasil. Representando o Sudeste temos um ponto turístico que chama a atenção pela grandeza, o museu do Amanhã, localizado no Rio de Janeiro e projetado por Santiago Calatrava foi inaugurado em dezembro de 2015 e ficou conhecido como um local inovador para o futuro das ciências e da arte no estado (Figura 1). O local foi construído utilizando o sistema de concreto protendido nas lajes do segundo pavimento e no trecho sob o auditório a fim de vencer grandes vãos, o que permitiu a realização da sua deslumbrante e impressionante arquitetura (GELINSKI,2016). O Museu de Arte Contemporânea, também localizado no estado do Rio de Janeiro, é um marco na Engenharia brasileira e foi construído com concreto protendido. O salão central do Museu possui uma área de 470 metros quadrados sem a presença de nenhum pilar. Construído em 1996, foi um dos últimos projetos do grande arquiteto Oscar Niemeyer, que sempre desafiou a engenharia com obras impressionantes. O Museu de Arte Contemporânea demandou mais de cinco anos para ser construído e tem um formato diferente e bastante curioso, sendo que muitas pessoas o chamam de “disco voador”. Vigas de concreto protendido trabalham com balanços de até 11 metros nessa

estrutura e vigas radiais — também feitas desse material — sustentam toda a superestrutura do Museu se apoiando em um único pilar central.

Esse método, que tem como principal matéria prima às cordoalhas é muito utilizada no exterior, pois a cultura do tradicional atualiza-se juntamente com as melhorias e avanços da tecnologia, divergentemente do nosso País. Por tratar-se de uma opção moderna este processo de construção requer cuidados importantes e mão de obras especializadas, o que pode ser decisivo no momento de escolher a forma de execução do projeto (CASTRO,2011). No Brasil esse método alternativo está sendo aplicado de forma morosa tendo em vista a magnitude que se pode atingir quando o utiliza.

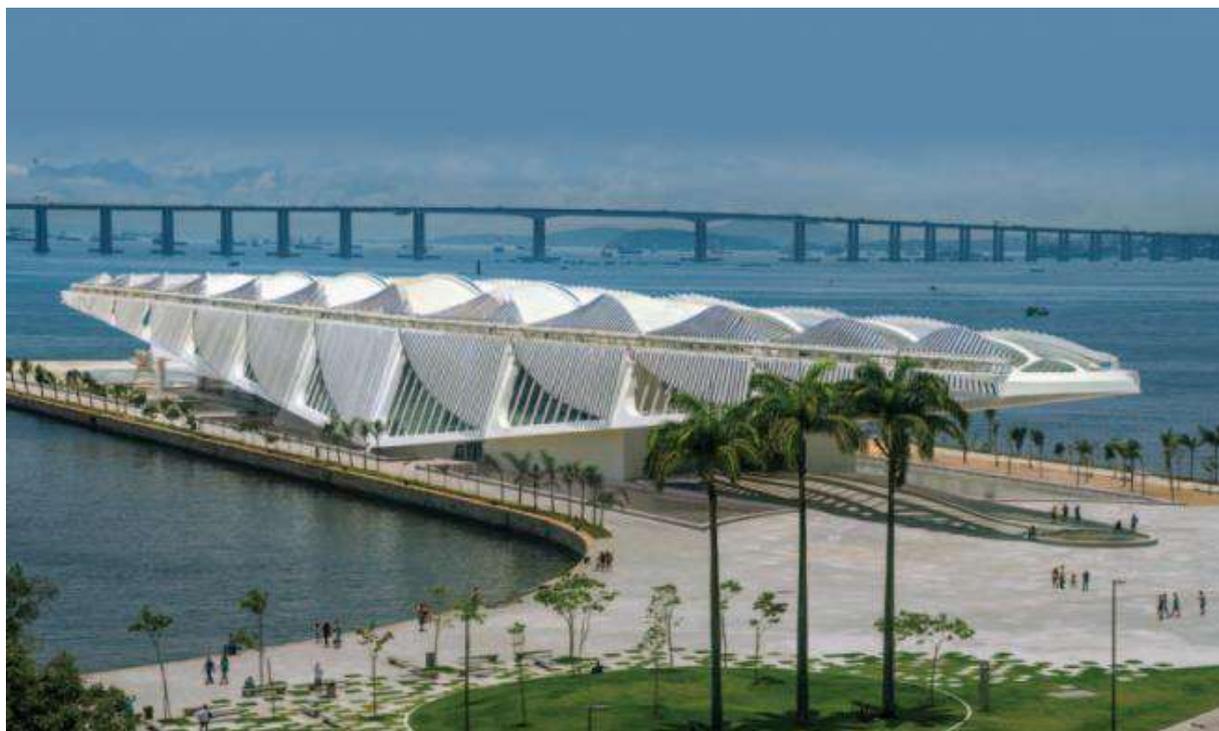


Figura 1 – Foto externa do Museu do Amanhã.  
Fonte: Revista Finestra, 2015.

O presente trabalho evidenciará os benefícios da industrialização dos processos de corte da cordoalha, corte e dobra do aço e armadura pronta soldada na construção civil. Será apresentada uma análise comparativa entre processos construtivos que utilizam a cordoalha e o método tradicional. Os aspectos físicos e econômicos de ambos os processos, também irão contribuir para o embasamento e desenvolvimento do estudo comparativo proposto.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é analisar os benefícios trazidos pela industrialização dos processos na construção civil, com ênfase na comprovação da viabilidade na utilização do método de protensão das cordoalhas/cabos de aço. Para auxílio no alcance do objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o método do concreto armado tradicional e protendido.
- Comparar a produtividade e viabilidade financeira destes métodos.
- Evidenciar os benefícios da industrialização de processos no canteiro de obras.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

A competição industrial ocasionou a necessidade de maximizar a produção evitando as perdas materiais e otimizando os lucros. As práticas industriais sustentáveis são alternativas utilizadas no processo produtivo e, como exemplo, aplica-se o processo de corte e dobra de aço e armadura pronta soldada (FELICIO, 2012).

A utilização deste processo apresenta crescimento significativo no mercado nacional especialmente em obras de médio e grande porte. Entretanto, a literatura escassa sobre o tema ocasiona o desconhecimento das vantagens de utilização do corte e dobra do aço e armadura pronta, e sendo assim, outras técnicas são comumente utilizadas.

#### **3.1. HISTÓRIA DO AÇO**

Segundo Neves; Camisasca (2013) o uso do ferro promoveu grandes mudanças na sociedade. A agricultura se desenvolveu com rapidez por causa dos novos utensílios fabricados. A confecção de armas mais modernas viabilizou a expansão territorial de diversos povos, o que mudou a face da Europa e de parte do mundo.

A partir da observação de situações como as das fogueiras do Período Neolítico, os seres humanos descobriram como extrair o ferro de seu minério. O minério de ferro começou a ser aquecido em fornos primitivos (forno de lupa), abaixo do seu ponto de fusão (temperatura em que uma substância passa do estado sólido para líquido). Com isso, era possível retirar algumas impurezas do minério, já que elas tinham menor ponto de fusão do que a esponja de ferro. Essa esponja de ferro era trabalhada na bigorna para a confecção de ferramentas. Para fabricar um quilo de ferro em barras, eram necessários de dois a dois quilos e meio de minério pulverizado e quatro quilos de carvão vegetal (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Para Noldin (2002) a humanidade veio conhecer o elemento Ferro (Fe) através de meteoritos (corpo sólido proveniente do espaço, cujo ferro contém normalmente cerca de 5% a 26% de níquel), daí a etimologia da palavra siderurgia, cujo radical latino sider significa estrela ou astro. Os mais antigos artefatos de ferro que se tem notícia são dois objetos encontrados no Egito, a aproximadamente 2900 a.C. (NOLDIN, 2002).

Foi um longo período de tempo até que o ferro fosse de origem natural encontrado no planeta. Evidências arqueológicas indicam que, o conhecimento prático do

beneficiamento de minério de cobre ajudou acidentalmente no desenvolvimento das técnicas antigas de redução de minério de ferro. Os homens descobriram que era possível extrair ferro do minério, a partir dos fornos primitivos. Eles retiravam algumas impurezas do minério, pois elas tinham menor ponto de fusão do que a esponja de ferro. E essa esponja era então trabalhada na bigorna para a confecção de ferramentas.

Um dos registros mais antigos da utilização do minério de ferro é de 1500 a.C. de uma tumba egípcia e, com certeza muitos avanços ocorreram até a grande difusão do aço por volta do século XIII a.C., quando onde hoje é a Turquia, o ferro passou a ser utilizado em armamento para guerras substituindo o bronze. No século V a.C. os chineses desenvolveram o ferro carburado conhecido atualmente como ferro-gusa, possibilitando a esta civilização a dominação de vários reinos graças a técnicas de utilização do ferro (NOLDIN, 2002). Vários processos de obtenção do ferro foram desenvolvidos ao longo do tempo e usados longamente nas distintas regiões, como o forno de redução africano, o buraco de redução, usado em vários países do mediterrâneo, o forno de exaustão natural, desenvolvido pelos gregos, entre outros. Estes tipos de fornos foram utilizados ao longo dos séculos e na Idade Média até o século VIII, quando uma pequena forjaria da Catalunha criou a forja Catalã, um conceito que pode ser considerado como um dos maiores avanços na tecnologia de redução de minério de ferro. A forja Catalã dominou a produção de ferro até o século XV. Estes fornos foram sendo continuamente melhorados, dando origem sempre a novos processos. (NOLDIN, 2002).

Estas melhorias deram origem aos fornos wolf oven, blasofen, stuckofen, blauofen e finalmente o flussofen, considerado como o primeiro alto-forno, que evoluiu gradativamente para o processo que vem dominando o cenário da produção de ferro-gusa nos últimos séculos, o moderno alto-forno. No início do século XVIII, várias leis no Reino Unido foram criadas visando a preservação das florestas, obrigando a retirada de operação de vários altos-fornos, dessa forma, a produção de ferro nas colônias norte americanas fora fortemente apoiada, devido a abundância de madeira e minério de ferro (NOLDIN, 2002).

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90%

de todos os metais consumidos pela civilização industrial. No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos. Esses materiais já se tornaram corriqueiros no cotidiano, mas fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica, por isso o investimento constante das siderúrgicas em pesquisa. O início e o processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representaram grandes desafios e conquistas para a humanidade (FELÍCIO, 2012).

### **3.2. AÇO NO BRASIL**

Em 1554, o padre Anchieta reportava à corte a ocorrência de ferro e prata. Em 1587, Afonso Sardinha iniciou a industrialização de ferro no Brasil. Somente com a chegada de D. João VI em 1808 que revogava a proibição de indústrias no Brasil e permitiu a produção de ferro e a instalação de fábricas. A primeira ação direcionada ao desenvolvimento da indústria siderúrgica brasileira foi a isenção de tributos sobre as matérias-primas destinadas à produção de ferro metálico. Além disso, iniciativas pioneiras e de resultados significativos, porém sem continuidade, foram acontecendo aos poucos. Durante o Império, período que vai da Independência do Brasil (1822) à Proclamação da República (1889), a indústria do aço ainda era formada por pequenas produções em forjarias. O processo siderúrgico avançou e o Brasil entrou no século XX, produzindo cerca de 2.000 toneladas de ferro gusa em 70 pequenos estabelecimentos. O segmento industrial dava mostras de crescimento com a abertura de fábricas (NEVES; CAMISASCA, 2013).

O desenvolvimento mais importante na área da pequena indústria do aço foi o estabelecimento da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, o primeiro produtor de aço, no Brasil. Quando os pequenos produtores de ferro-gusa aumentaram a produção, durante a I Guerra Mundial, dois engenheiros brasileiros instalaram um pequeno forno em Sabará (Minas Gerais). Por uma série de motivos, esta aventura em tempo de guerra não sofreu colapso no período subsequente à guerra. A publicidade, a respeito da descoberta de minério de ferro no Brasil resultou numa corrida pela obtenção de concessões, as melhores foram obtidas por grupos Ingleses e americanos. Ademais,

o governo brasileiro garantiu parcialmente um monopólio das exportações de minério de ferro ao grupo inglês de Itabira Iron Ltda. (PELAEZ, 1976).

Os planos para a expansão da usina: na metalúrgica foram organizados em dois estágios. O primeiro, o de aumentar, em caráter experimental, a capacidade da usina de Sabará. Em segundo lugar, a Belgo-Mineira construiria uma usina maior, com um complexo equipamento de laminação. Outra parte importante desses planos de expansão foi a instalação de três laminadores de aço, que deram ao Brasil a primeira usina de aço laminado, uma fábrica de arame, oficinas mecânicas, e fundições. À Companhia, contudo, faltava uma forjaria (PELAEZ, 1976). Na década de 1940, quando no Brasil pretendia substituir o modelo político-econômico de importações pela criação de grandes siderúrgicas estatais, foi criada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), com o intuito de reduzir a dependência de manufaturados vindos do exterior (NEVES; CAMISASCA, 2013).

No povoado de São Sebastião do Alegre, atualmente conhecido como Ribeirão do Timóteo, à beira da estrada de ferro Vitória-Minas, foi fundada a Acesita – Companhia de Aços Especiais Itabira, em 1944. O empreendimento integrado de siderurgia e aços especiais foi pioneiro na América Latina e tinha sua produção voltada para o abastecimento do mercado interno. O local de sua instalação foi escolhido considerando a disponibilidade de recursos, como florestas, rios e minério de ferro. O maior alto-forno a carvão vegetal do mundo, com capacidade para 200 t/dia. Em 1949, inaugurou-se a forja responsável pelo faturamento da empresa. No ano de 1992, a Acesita foi privatizada. A partir daí teve início a expansão da capacidade produtiva da empresa, por meio de investimentos em treinamento, produtividade e rendimento dos equipamentos (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Com o crescimento da siderurgia no Brasil tornou necessária a criação de uma associação que estimulasse o desenvolvimento siderúrgico, seja permitindo a troca de experiência entre os metalurgistas, seja principalmente estimulando e favorecendo a formação de novos profissionais na área, A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM) já contava com jovens engenheiros entusiasmados, vindos das principais siderúrgicas e fundições brasileiras.

Essa missão continua sendo realizada com muita eficácia pela ABM. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (NEVES; CAMISASCA, 2013). Em 1952, no bairro Barreiro foi instalada a Companhia Siderúrgica Mannesmann, a pedido do governo brasileiro, para atender à necessidade do fornecimento de tubos de aço

sem costura à indústria petrolífera nacional em crescente desenvolvimento. O local foi escolhido pela empresa alemã, porque era uma região com disponibilidade de recursos energéticos e de minério de ferro, além da sua posição central entre os principais mercados consumidores dos produtos siderúrgicos. Em agosto de 1954, à inauguração da usina da Companhia Siderúrgica Mannesmann, atual Vallourec, onde produziram o primeiro tubo Mannesmann sem costura em território brasileiro, fabricado na prensa de extrusão instalada na usina. A Mannesmann foi o primeiro investimento de uma empresa alemã fora da Alemanha depois da Segunda Guerra. A indústria alemã estava destruída e, naquele momento, o governo brasileiro, teve a visão de criar a Petrobras para explorar o Petróleo, mas percebeu o seguinte: “Para explorar petróleo, precisaremos de tubos”. E então convidou a Mannesmann para se estabelecer no Brasil e fabricar os tubos destinados à Petrobras. Então a Mannesmann tem uma história paralela à história da Petrobras (NEVES; CAMISASCA, 2013).

No ano de 1963, diante de tantas incertezas econômicas, as empresas siderúrgicas brasileiras sentiram a necessidade de se associarem a uma entidade que defendesse seus interesses. No Brasil, apesar da atuação da ABM, ainda não existia um órgão que considerasse as necessidades siderúrgicas do país e que promovesse um acompanhamento efetivo da indústria de forma harmônica. Com certa antevisão do crescimento e da importância da siderurgia no quadro econômico nacional, em maio de 1963, foi criado o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), hoje Instituto Aço Brasil (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Em 1981, o crescimento anual do setor siderúrgico variava entre 4% e pouco mais de 7%, com o estado de Minas Gerais liderando a produção, seguido por São Paulo. Ainda em 1981, foi assinado um acordo de exportação para aços especiais entre o governo e empresas siderúrgicas, estabelecendo uma cota para exportação, atraindo para o Brasil um fluxo suplementar de divisas em torno de 306 milhões de dólares. Ao final da década de 1980, ficava claro que, para realizar investimentos em tecnologia, evitar o déficit de oferta praticamente imediato no mercado interno, elevar a capacidade produtiva das usinas para cerca de 24 milhões de toneladas até os últimos anos da década de 1990 e, principalmente, consolidar uma participação estratégica no mercado internacional do aço, a única saída seria a desestatização das siderúrgicas (NEVES; CAMISASCA, 2013).

No Brasil, não foi por acaso que a Usiminas foi escolhida para ser a primeira siderúrgica a ser privatizada. Entre as empresas do setor, era a que possuía melhores condições, era lucrativa e tinha uma boa imagem. Antes de ser privatizada e após as mudanças empreendidas na sua estrutura, a Usiminas já atendia a 42% da demanda interna e era responsável pela venda de 53% das bobinas de chapa grossa no Brasil, recebendo, em 1990 do World Steel Dynamics, o primeiro lugar no ranking brasileiro e o segundo mundial em termos de eficiência siderúrgica (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Em novembro de 1991, ocorreu outro leilão para a privatização de mais uma siderúrgica, a pequena Companhia Siderúrgica do Nordeste. Em fevereiro de 1992, foi privatizada a Aços Finos Piratini. Em julho do mesmo ano, foi à vez da CST e os principais adquirentes foram o Grupo Bozano Simonsen, 29,59%, o Unibanco, 21,81%, a CVRD, 19,4% e o Clube de Investimentos dos Empregados da CST, 12,22%. A compra das ações pelos empregados foi financiada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES), com o apoio da Fundação de Seguridade Social dos Empregados da CST (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Em seu governo, o presidente Fernando Henrique Cardoso (1995-2002) organizou a economia em bases sólidas. A moeda foi estabilizada, inicialmente o Real esteve ancorado ao dólar, criou-se o Programa de Estímulo à Reestruturação e ao Fortalecimento do Sistema Financeiro Nacional (SFN), que estava ameaçado de uma quebradeira e ainda legou ao país a Lei de Responsabilidade Fiscal (NEVES; CAMISASCA, 2013). De 1995 ao ano 2000, a produção mundial de aço bruto avançou 12%, enquanto o volume brasileiro cresceu 11%, ou seja, acompanhou o movimento internacional. No período de 2000 a 2008, entretanto, o crescimento mundial avançou 56%, enquanto a siderurgia brasileira chegou ao final de 2008 com o volume de produção 20% maior que a do ano 2000. Ainda que a produção no período tenha sido alta, o crescimento ficou distante do crescimento mundial (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Nos últimos anos a tecnologia acelerou o processo que conectou nações e integraram mercados e empresas, países e economias passaram a guardar certa interdependência na maior parte do globo. A integração até então inimaginável fez com que as economias dos países se tornassem cada vez mais vulneráveis e sujeitas às intempéries ocorridas em qualquer canto do planeta. Ela precisa atuar para que o

consumo per capita de aço cresça e alcance níveis internacionais e que o sistema de logística nacional melhore e ganhe competitividade (NEVES; CAMISASCA, 2013).

Representado por 14 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e operando 30 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, a indústria do aço no Brasil foi responsável pela produção, em 2015, de 33,3 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 8ª posição no ranking da produção mundial. A privatização das empresas, finalizada em 1993, trouxe ao setor expressivo afluxo de capitais, em composições acionárias da maior diversidade. Assim, muitas empresas produtoras passaram a integrar grupos industriais e/ou financeiros cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades correlatas, ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade.

O parque produtor está apto a entregar ao mercado qualquer tipo de produto siderúrgico, desde que sua produção se justifique economicamente. Brasil produziu 34,4 milhões de toneladas de aços em 2017, sendo 22,4 milhões delas de aço laminados. Os tipos mais usados dos aços laminados no país são o vergalhão (construção) e bobinas a quente (indústria). O setor é formado por 14 empresas privadas, controladas por 11 grupos empresariais, operando 30 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros e emprega cerca de 100 mil funcionários, Minas Gerais e Rio de Janeiro, são responsáveis, cada um, por 30,8% da produção de aço do país; ES ocupa a 2ª posição (NEVES; CAMISASCA, 2013).

### **3.3. CORTE E DOBRA DE BARRAS DE AÇO NO BRASIL**

O corte e dobra de barras de aço no Brasil era executado de forma artesanal até o final da década de 70. O material produzido pelas usinas siderúrgicas em sua maioria era entregue em barras de 12 metros e, para execução do serviço de corte e dobra, eram adotados recursos com pouca tecnologia, utilizando serras para corte com pinos de dobra improvisados e instalados em uma mesa de madeira, sem adotar o padrão exigido em norma. Em canteiros de obra atuais é possível ainda encontrar esse método de trabalho.

Em países com desenvolvidos destaca-se uma tecnologia mais avançada para execução do serviço de corte e dobra, principalmente no continente europeu, com destaque para Alemanha e Itália que já adotam um método bastante desenvolvido em

relação aos outros países do mundo. Para aprimoramento do serviço empresas adquirem o aço em rolos, comercializando o material cortado e dobrado sob medida, obedecendo as especificações de projeto para o consumidor final.

### **3.4. VANTAGENS DE DESVANAGENS DO PROCESSO DE CORTE E DOBRA**

Comparando o projeto executado com barras de aço de 12 metros cortadas e dobradas em canteiro com o processo em que se usou apenas aço cortado e dobrado de fábrica, observa-se que a diminuição na perda de material foi de 6,39% para armadura dos pilares, 12,77% para armaduras de vigas e 12,96% para as armaduras de lajes. Lembrando que estes dados foram levantados durante análise da obra escolhida para o desenvolvimento do estudo de caso.

Como vantagem é observada maior eficiência no processo como um todo, já que existe maior grau de industrialização no serviço de armação, uma vez que as etapas de corte e dobra deixam de ser executadas no canteiro de obras e passam a ser realizadas em ambientes fabris. Elementos mais complexos são executados com maior agilidade e existe também a redução das perdas de aço devido ao reaproveitamento das sobras e a otimização do processo.

A necessidade de projeto estrutural detalhado já revisado, sem incoerências e em tempo hábil, uma vez que a produção de aço cortado e dobrado de fábrica demanda certo tempo para programação e produção, pode ser vista como uma desvantagem no processo. Também como desvantagens pode-se citar a impossibilidade de produção de elementos em regime de urgência, dificuldade de modificações nos elementos conformados necessidade de leitura atenta das etiquetas do aço cortado e dobrado para evitar a utilização de elementos de uma peça estrutural em outra, como por exemplo, em elementos de armaduras negativas de lajes muito similares.

Desvantagens: necessidade de projeto estrutural detalhado já revisado, sem incoerências, e em tempo hábil, uma vez que a produção de aço cortado e dobrado de fábrica demanda um certo tempo para programação e produção; impossibilidade de produção de elementos em regime de urgência; dificuldade de modificações nos elementos conformados; necessidade de leitura atenta das etiquetas do aço cortado

e dobrado para evitar a utilização de elementos de uma peça estrutural em outra por exemplo, elementos de armaduras negativas de lajes muito similares (REVISTA TÉCHNE, 2013).

### 3.5. NORMAS BRASILEIRAS PARA BARRAS DE AÇO

Os vergalhões de aço mais utilizado na construção civil são do tipo CA-25, CA-50 e CA-60, para uso em elementos estruturais de concreto armado como pilares, vigas, lajes, escadas, reservatórios, fundações como sapatas, estacas e blocos. O consumo desses tipos de vergalhões também é alto em pisos industriais e em pavimentações.

O aço é classificado como CA devido à abreviatura da palavra Concreto Armado, e segue-se pelo numeral a frente que é o valor da tensão de escoamento do aço (em  $\text{kgf/mm}^2$ ). Para utilização desse material segue-se às especificações da Norma NBR 7480 (2007), que descreve as barras e os fios de aço destinados à armadura para concreto armado, devendo apresentar homogeneidade quanto as suas características geométricas.

Conforme a Norma NBR 7480 (ABNT, 2007) a barras da categoria CA-50 são obrigatoriamente providas de nervuras transversais e oblíquas (Figura 2).

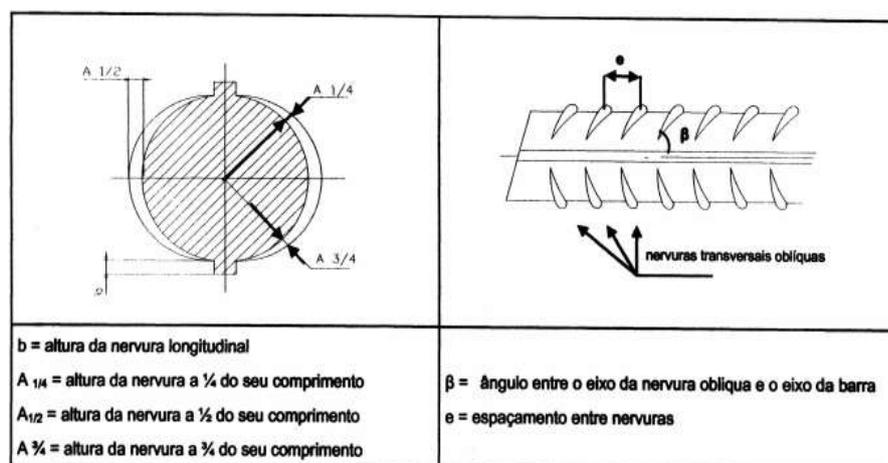


Figura 2 – Configuração geométrica das nervuras transversais, oblíquas e longitudinais.  
Fonte: ABNT (2007).

A função das nervuras é impedir o giro da barra dentro do concreto e aumentar a aderência entre a barra de aço e o concreto. O eixo das barras nervuradas transversais oblíqua devem formar, com a direção do eixo da barra, um ângulo entre

45° e 75°, as barras devem ter pelo menos duas nervuras longitudinais, contínuas e diametralmente opostas que impeçam o giro da barra dentro do concreto, o espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas, medido ao longo de uma geratriz deve estar entre 50% e 80% do diâmetro nominal, conforme a NBR 7480 (ABNT, 2007).

Para as barras CA-60 a Norma NBR7480 (ABNT, 2007) descreve que os fios podem ser lisos, entalhados ou nervurados conforme coeficiente de conformação superficial mínimo (tabela 1) e os fios de diâmetro nominal igual a 10 mm devem ter obrigatoriamente entalhes ou nervuras. Os valores do coeficiente de conformação superficial para cada diâmetro são determinados através de ensaios em laboratório e devem atender ao coeficiente de conformação superficial mínimo.

Categoria	Valores mínimos de tração				Ensaio de dobramento a 180 °		Aderência	
	Resistência característica de escoamento <sup>a</sup> $f_{yk}$ MPa <sup>e</sup>	Limite de resistência <sup>b</sup> $f_{st}$ MPa <sup>f</sup>	Alongamento após ruptura em 10 $\Phi$ <sup>c</sup> A %	Alongamento total na força máxima <sup>d</sup> $A_{gt}$ %	Diâmetro do pino mm		Coeficiente de conformação superficial mínimo $\eta$	
					$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$\Phi > 10$ mm	$\Phi \geq 10$ mm
CA-25	250	1,20 $f_y$	18	-	2 $\phi$	4 $\phi$	1,0	1,0
CA-50	500	1,08 $f_y$	8	5	3 $\phi$	6 $\phi$	1,0	1,5
CA-60	600	1,05 $f_y$ <sup>c</sup>	5	-	5 $\phi$	-	1,0	1,5

<sup>a</sup> Valor característico do limite superior de escoamento  $f_{yk}$  da ABNT NBR 6118 obtido a partir do LE ou  $\delta_e$  da ABNT NBR ISO 6892.

<sup>b</sup> O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou  $\delta_t$  da ABNT NBR ISO 6892).

<sup>c</sup>  $\Phi$  é o diâmetro nominal, conforme 3.4.

<sup>d</sup> O alongamento deve ser atendido através do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima ( $A_{gt}$ ).

<sup>e</sup> Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm<sup>2</sup>.

<sup>f</sup>  $f_{st}$  mínimo de 660 MPa.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas de barras e fios de aço destinados a armaduras para CA.  
Fonte: ABNT, 2007.

Segundo a NBR 7480 (ABNT, 2007) o aço CA-25 deve ter superfície obrigatoriamente lisa, desprovida de quaisquer tipos de nervuras ou entalhes. As barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado devem ser isentos de defeitos prejudiciais, tais como: esfoliação (escamas), corrosão, manchas de óleo e redução de seção. Fissuras transversais à oxidação do produto podem ser admitidas

quando superficiais, sem comprometimento de sua conformação geométrica. O acondicionamento adequado é fundamental para evitar a degradação das armaduras. Assim, deve-se evitar manter o aço exposto a intempéries (salitre, chuva, contato com solo, etc.) e adversidades ambientais (urbano, marinho, industrial e rural). As barras de aço devem ser armazenadas da forma correta, sem ter contato com o solo e caso seja necessário pode-se usar caibros ou pontaletes, e em caso da necessidade de armazenar o material a céu aberto, é indicado a utilização da lona plástica para cobrir e proteger o material das chuvas e da umidade. O comprimento de fornecimento das barras e fios retos deve ser de 12 metros e a tolerância de  $\pm 1\%$ , de acordo com a NBR 7480 (ABNT, 2007).

Conforme a Norma NBR 7480 (ABNT, 2007) as identificações das barras devem ser da seguinte forma:

- As barras nervuradas e fios nervurados devem ser identificados através de marcas de laminação em relevo, indicando de forma legível o nome e/ou marca do produto, a categoria do material e o respectivo diâmetro nominal;

Os fios lisos e entalhados da categoria CA-60 devem ser identificados através de marcas em relevo, indicando a categoria do material e o respectivo;

- A identificação do diâmetro nominal deve ser feita através de marcas em relevo ou por etiqueta;

- A identificação de barras lisas da categoria CA-25 deve ser feita por etiqueta indicando o produtor, a categoria do material e o respectivo diâmetro nominal;

- São estabelecidos os requisitos exigidos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios destinados à armadura para estrutura de concreto armado, com ou sem revestimento superficial:

Fornecimento: São fornecidos através de feixes, barras ou rolos e etiquetados;

Encomendas: O comprador deve indicar a norma considerada, de acordo com a NBR 7480 (ABNT, 2007), diâmetro em milímetros, quantidade, comprimento, tipo fornecimento (feixe, barras ou rolos);

- Durante a fabricação não deve ocorrer ruptura ou fissuração na zona tracionada do corpo de prova quando este for dobrado a  $180^\circ$ , em um pino com diâmetro. A Norma NBR 7480 – “Aço destinado para estruturas de concreto” (ABNT, 2007) também define a massa nominal e a tolerância em porcentagem por unidade de comprimento de cada bitola de aço (tabela 2).

Diâmetro nominal <sup>a</sup> mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais		
	Fios	Massa nominal <sup>b</sup> kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm <sup>2</sup>	Perímetro mm
2,4		0,036	± 6%	4,5	7,5
3,4		0,071	± 6%	9,1	10,7
3,8		0,089	± 6%	11,3	11,9
4,2		0,109	± 6%	13,9	13,2
4,6		0,130	± 6%	16,6	14,5
5,0		0,154	± 6%	19,6	15,7
5,5		0,187	± 6%	23,8	17,3
6,0		0,222	± 6%	28,3	18,8
6,4		0,253	± 6%	32,2	20,1
7,0		0,302	± 6%	38,5	22,0
8,0		0,395	± 6%	50,3	25,1
9,5		0,558	± 6%	70,9	29,8
10,0		0,617	± 6%	78,5	31,4

<sup>a</sup> Outros diâmetros nominais podem ser fornecidos a pedido do comprador, mantendo-se as faixas de tolerância do diâmetro mais próximo.

<sup>b</sup> A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7 850 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas de barras e fios de aço para CA.  
Fonte: ABNT, 2007.

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2003) os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- Semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2  $\phi$ ;
- Em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4  $\phi$ ;
- Em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8  $\phi$ .

Para as barras lisas, os ganchos devem ser semicirculares. O diâmetro interno da curvatura dos ganchos das armaduras longitudinais de tração deve ser pelo menos igual ao estabelecido na tabela 3.

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4 $\phi$	5 $\phi$	6 $\phi$
≥ 20	5 $\phi$	8 $\phi$	-

Tabela 3 – Diâmetro interno da curvatura dos ganchos  
Fonte: ABNT, 2007.

Existem alguns problemas que dificultam a utilização de material no Brasil e entre eles podemos citar a não divulgação de normas técnicas específicas, ao pessoal de nível operacional, e a falta de procedimentos escritos para execução de um determinado serviço. Isto quando aplicado ao trabalho de dobrar barras para armadura gera dificuldade. Em algumas obras são utilizados pinos de 10 mm (3/8”) ou 12,5 mm (1/2”) para dobrar todos os diâmetros de barras, em outras dobra-se em pinos do mesmo diâmetro da barra a ser dobrada, e em ainda outras é utilizada qualquer medida de pino preocupando-se apenas que a barra não se quebre durante a execução do dobramento. Na realidade existe uma norma, a NBR 6118 - “ Projeto e execução de obras de concreto armado” da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que determina as condições que devem ser obedecidas no projeto, na execução e no controle de obras de concreto armado e nos seus itens 6.3.4.1 e 10.3 informa o diâmetro mínimo do pino a se utilizar no dobramento de barras. De acordo com esta norma os diâmetros mínimos dos pinos devem ser da seguinte forma (Figura 3).

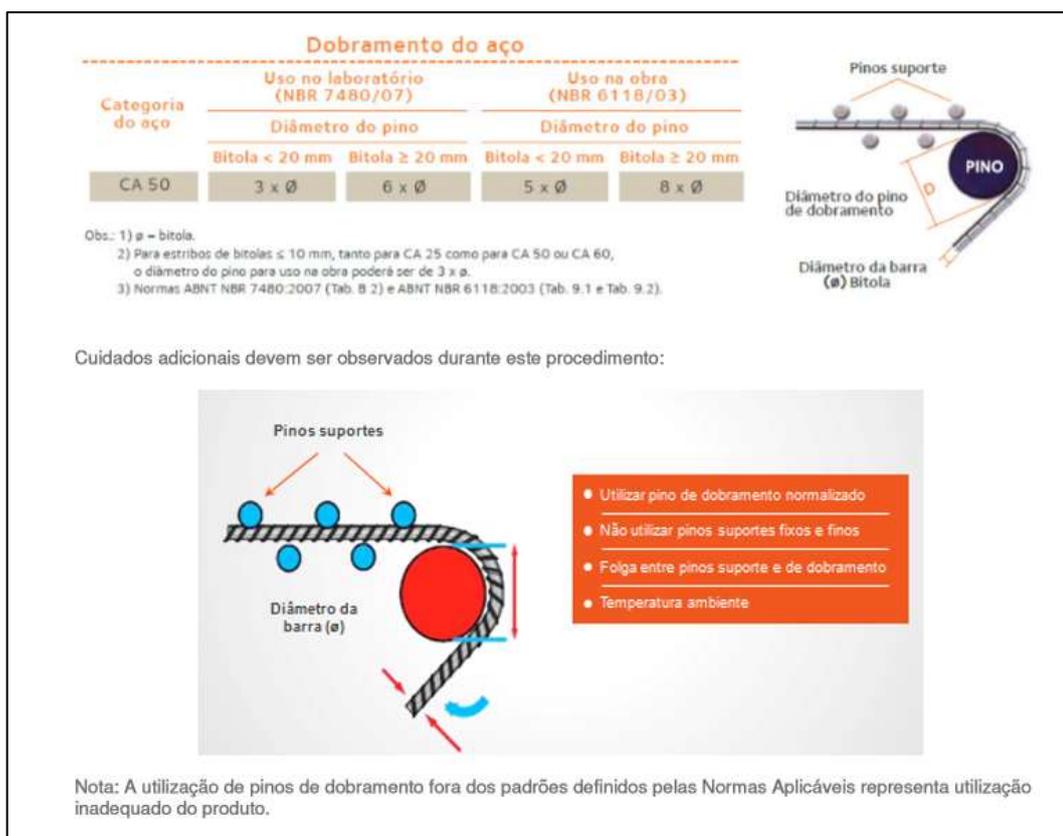


Figura 3 – Parâmetros de dobramento do aço.  
 Fonte: ArcelorMittal, 2018.

A tabela 4 indica o diâmetro mínimo do pino para cada bitola de aço a ser dobrada.

Bitola (mm)	Diâmetro mínimo dos pinos de dobramento (mm)		
	CA25	CA50	CA60
3,4			20
4,2			25
5,0			30
6,0			36
6,3	25	32	
7,0			42
8,0	32	40	48
9,5			57
10	40	50	
12,5	50	63	
16	64	80	
20	100	160	
22	110	176	
25	125	200	
32	160	256	

Tabela 4 – Diâmetro mínimo dos pinos de dobra.  
Fonte: ABNT, 2007.

Deve-se observar que as indicações de norma visam a obtenção de um produto final (aço dobrado) seguro, que não ofereça riscos, prevenindo quebra ou fragilidade na região da dobra e não expondo a construção a riscos. Este é um dos cuidados principais a se tomar no dobramento: deve-se sempre utilizar pinos de dobramento de acordo com a norma. Muitos não seguem esta orientação e afirmam que o dobramento em pino de menor diâmetro, desde que a barra de aço não quebre, não provoca qualquer tipo de problema. No entanto, o dobramento em condições mais agressivas pode fragilizar o material em parte da região da dobra seja por ter utilizado quase toda resistência do aço para dobrá-lo em pinos menores, que exigem maior esforço, seja por provocar pequenas trincas ou fissuras nas bases das nervuras, o que diminui a área resistente da barra. Observe que nestes casos se a barra não quebrou é muito pior do que se ela tivesse quebrado pois seria retirada da mesa de dobramento e não iria para a armadura. A barra com problema irá compor a armadura e ocorrendo

alguma sobrecarga acidental na estrutura a fragilização pode acontecer neste ponto. Outros cuidados são deixar uma folga entre o pino de dobramento e os pinos suportes evitando amassar e estrangular o vergalhão durante a execução da dobra e observar o diâmetro dos pinos suportes (ver esquema) que não devem ser muito finos em relação à bitola do aço a ser dobrado. Como as nervuras do CA50 são altas, estas podem “agarrar” nos pinos suportes, quando finos, e travar ao fazer o dobramento; como a barra não desliza acabamos “rasgando” a mesma e provocando quebra ou o aparecimento de trincas ou fissuras. Isto acontece mesmo quando utilizando pino de dobramento correto pois é um problema do processo de dobramento e não do vergalhão utilizado.

Não existe nenhuma indicação de norma que determine o diâmetro do pino suporte, temos que nos basear na observação do trabalho e na experiência pessoal. Cuidado também deve ser tomado em algumas regiões do Brasil com temperaturas mais baixas, onde podem ocorrer quebras de material mesmo quando se utiliza pino de diâmetro correto; nestes casos deve-se, quando possível, evitar dobrar o material logo de manhã, esperando subir a temperatura do ambiente, ou então tentar dobrar o material mais devagar ou em pinos de diâmetros maiores. As indicações aqui tratadas tendem a dar uma maior segurança na execução do dobramento de vergalhões e eliminar as quebras.

Quando se fala sobre a fabricação de CA25, CA50 e CA60 a norma aplicada é a ABNT NBR 7480 - “ Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado” onde as exigências de dobramento no laboratório de ensaio é o diâmetro para cada categoria de aço e a bitola da barra. Todos os grandes fabricantes fazem o ensaio de dobramento em seus laboratórios conforme as indicações desta norma, e só após aprovação liberam o material aos clientes. Podemos observar que as condições de dobramento nesta norma são mais rígidas do que na NBR 6118 dando segurança ao usuário de que o material enviado ao mercado não apresenta qualquer anomalia se corretamente trabalhado. Outros fatores que também permitem que o dobramento desta norma seja em pino mais apertado que a NBR 6118, como por exemplo, a realização da dobra em laboratórios com a temperatura ambiente controlada, aplicação da força de dobramento constante e homogênea no laboratório, e os pinos suportes da máquina de dobramento no laboratório têm giro livre, impedindo o travamento da barra.

## **4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

Industrialização da construção é o emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas para conseguir uma maior produtividade (BRUNA, 1976).

A construção civil no Brasil é um setor considerado atrasado nos meios industriais, porém com a expansão de empreendimentos voltados ao segmento econômico aonde a margem de lucro sobre unidade é muito pequena, o negócio apenas se viabiliza economicamente com a produção em massa, assim implicando na industrialização do setor de elementos estruturais e vedações até elementos menores como instalações elétricas e hidráulicas (FARIA, 2008).

Segundo Bruna (1976), a industrialização é associada aos conceitos de organização e produção em série, os quais devem ser compreendidos por uma ampla análise entre relações de produção e mecanização dos meios de produção.

### **4.1. SISTEMA BELGO PRONTO**

É o sistema que se utiliza processos operacionais automatizados para realização do corte de cordoalhas, corte e dobra do aço, além da armadura pronta soldada para o setor da construção civil, a fim de viabilizar soluções práticas e econômicas. Garantindo a qualidade, controle e gerenciamento dos processos de produção.

O sistema Belgo Pronto em específico é desenvolvido em parceria com uma grande empresa multinacional do setor metalúrgico, trata-se de um credenciado no qual recebe da usina a matéria prima e desenvolve em ambientes fabris toda a industrialização do aço. São nessas fábricas que as bobinas e barras de aço são transformadas nas posições solicitadas pelo cliente em projetos. Atualmente são vinte e duas unidades de “Belgo Pronto” espalhadas pelo Brasil da seguinte forma, conforme ilustrado na Figura 7. Visando o menor custo operacional possível, a logística do atendimento das obras é feito de acordo com o menor raio de distância entre o canteiro de obras e a fábrica de corte e dobra. O volume de produção do corte e dobra depende muito da demanda vendida e também da capacidade produtiva de cada fábrica, tem fábricas que produzem 3.000 toneladas por mês e outras apenas 1.000 toneladas, vai depender muito da estratégia e objetivos de cada empresa.



Figura 4 – Unidades de Belgo Pronto no Brasil.  
Fonte: Calixto e Dias, 2018.

Estas unidades utilizam como matéria-prima os vergalhões Belgo Núcleo Octogonal, Belgo 50 Soldável, Belgo 60 Nervurado e Belgo 25. Estes são fabricados de acordo com as principais normas brasileiras e internacionais, o que garante a qualidade normativa do aço e dispensa a necessidade de onerosos ensaios tecnológicos. O CD por sua vez é executado com o auxílio de equipamentos de ponta que realizam o corte e dobra do aço de maneira totalmente automatizada, garantindo qualidade e precisão em todos os formatos de peças, respeitando todas as solicitações exigidas por normas, como dobra mínima, pinos de dobras específicos para cada tipo de bitolas de aço, ganchos, trespases, etc.

Em visita realizada em uma das fábricas de corte e dobra, foi verificado que o prazo solicitado para entrega das peças cortadas e dobradas é de sete dias úteis para a realização da primeira entrega do aço e dez dias úteis para a armadura pronta (Figura 5). Neste segundo caso o elemento estrutural é fornecido montado/soldado para o canteiro de obras, isentando a necessidade da amarração das peças com arame e redução de forma considerável do número de armadores.

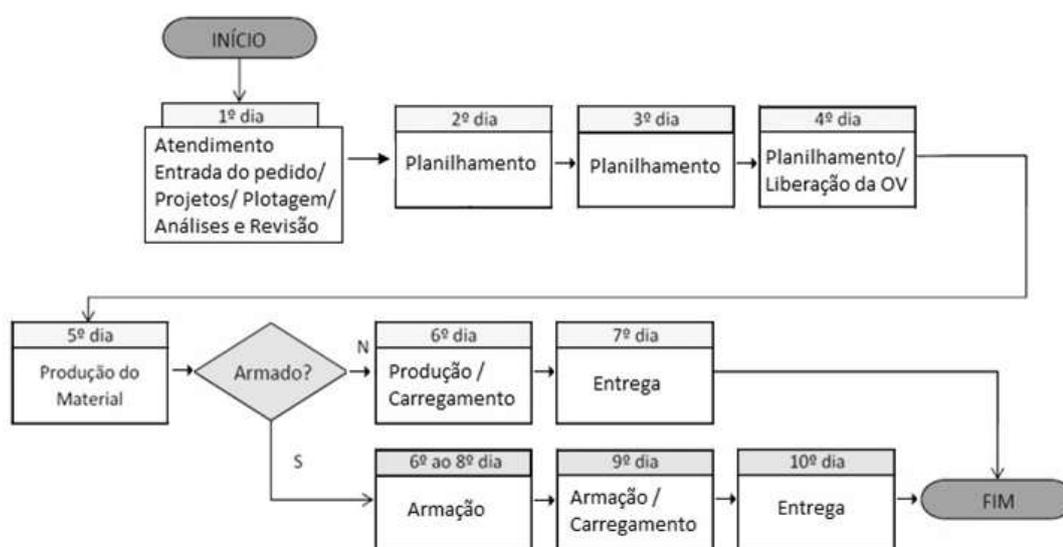


Figura 5: Fluxograma do processo de corte e dobra  
Fonte: Calixto Dias, 2018.

Seguindo o fluxo do processo, no primeiro dia é feita a implantação do pedido e nos próximos três dias executado o planilhamento dos projetos, ou seja, neste momento cada posição do projeto é lançada no sistema e gerado os romaneios (Figura 6), um romaneio para cada folha do projeto.

Desenho ES-01-01	Posição N9	Bitola 10.0	Tipo Aço CA-50	Qtde 9	RFL01A		O.S. 9
Elem.Est. ESC.	Comp.Unit. 54	Comp.Total 4,86	Peso 3	Nr.Ord. 9			
OBS: ARMAÇÃO 2o PAVIMENTO							Obra 04316
Desenho ES-01-01	Posição N1	Bitola 8.0	Tipo Aço CA-50	Qtde 6	RFL01A		O.S. 10
Elem.Est. LAJE	Comp.Unit. 91	Comp.Total 5,46	Peso 2	Nr.Ord. 10			
OBS: ARMAÇÃO 2o PAVIMENTO POSITIVA							Obra 04316
Desenho ES-01-01	Posição N2	Bitola 8.0	Tipo Aço CA-50	Qtde 3	RFL01A		O.S. 11
Elem.Est. LAJE	Comp.Unit. 260	Comp.Total 7,80	Peso 3	Nr.Ord. 11			
OBS: ARMAÇÃO 2o PAVIMENTO POSITIVA							Obra 04316
Desenho ES-01-01	Posição N3	Bitola 8.0	Tipo Aço CA-50	Qtde 5	RFL01A		O.S. 12
Elem.Est. LAJE	Comp.Unit. 81	Comp.Total 4,05	Peso 2	Nr.Ord. 12			
OBS: ARMAÇÃO 2o PAVIMENTO POSITIVA							Obra 04316

Figura 6: Exemplo do romaneio de corte e dobra  
Fonte: Calixto Dias, 2018.

Finalizada a etapa do planilhamento, as etiquetas são impressas (Figura 8) e o material liberado para as máquinas de produção (Figura 7) com exatos dois dias de

prazo, sendo que no segundo dia a produção das peças tem de ser finalizadas e carregadas para serem expedidas para o canteiro de obras no dia seguinte.



Figura 7: Foto da máquina de corte e dobra  
Fonte: Calixto Dias, 2018.

**CALIXTO & DIAS**  
BELO HORIZONTE - MG

Desenho Posição Elemento  
ES-01-01 N1 LAJE  
Comp. Unit. CJ:

**91** cm **11**

OBS: ARMAÇÃO 2o PAVIMENTO POSITIVA

Bitola Tipo de Aço Conteúdo  
**8.0** mm **CA-50S** **6**

a 6 b 85

SBP 01 - F - ES01-01 - ARM LAJE E ESCADA

CALIXTO & DIAS - BELO HORIZONTE - MG  
Nº O.S. 10 RFL01A

Peso: 2kg  
x

CALIXTO & DIAS - BELO HORIZONTE - MG  
RFL01A  
O.S. 10

Figura 8: Etiqueta material corte e dobra.  
Fonte: Calixto e Dias, 2018.

No caso da APS as peças são encaminhadas ao setor de solda e acrescidos três dias ao processo, sendo que destes, dois dias são destinados a produção do material armado e um dedicado a entrega do produto final.



Figura 9: Foto das estacas cortadas, dobradas e soldadas (APS).  
Fonte: Calixto Dias, 2018.



Figura 10: Foto do material (bloco) cortado, dobrado e soldado (APS).  
Fonte: Calixto Dias, 2018.

## 4.2. CONCRETO ARMADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os principais artefatos de ferro, que se tem notícia são objetos encontrados no Egito por volta de 2900 a.C., contudo, a verdadeira revolução da utilização do aço na construção civil aconteceu no final do século XIX com a origem do Concreto Armado. Com esta descoberta foi possível unir a resistência as tensões de compressão do concreto com a resistência as trações do aço resultando em um material resistente e durável. O Prédio do Museu de Arte de São Paulo (Figuras 11 e 12) inaugurado em 1968 é um exemplo de construção com concreto armado. Seu projeto foi muito ávido e continha o maior vão livre da época, 76 metros, e isso só foi possível devido ao emprego de estruturas de aço juntamente com concreto.



Figura 11: Foto interna do Museu de arte de São Paulo.  
Fonte: MASP, 2017.

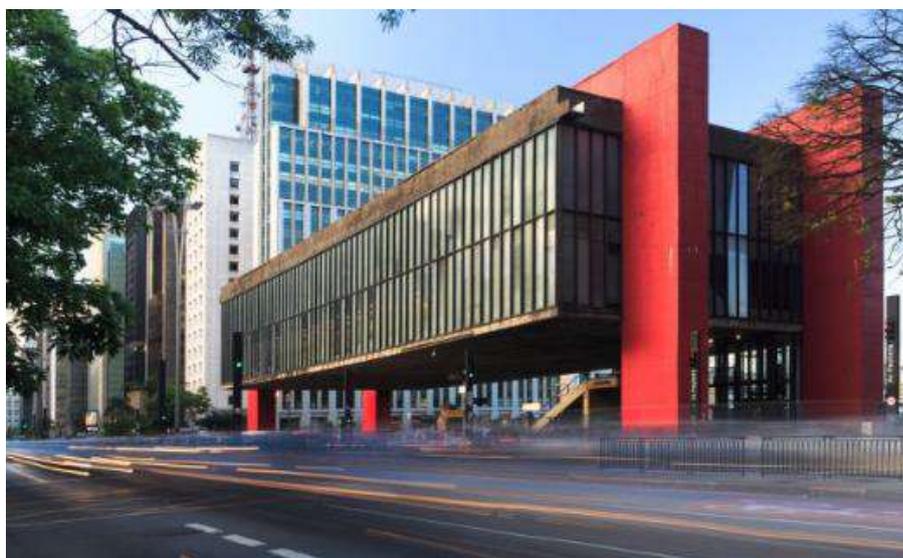


Figura 12: Foto fachada externa do Museu de arte de São Paulo.  
Fonte: MASP, 2017.

Uma obra a frente dos tempos para época e não tão simples de executar, composto por vãos livres impressionantes por se tratar de concreto armado, infelizmente não fica livre das fissuras que ocorrem durante a cura do concreto devido aos esforços sofridos pela estrutura. O aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado e em alvenarias é uma patologia de incidência relativamente frequente que pode implicar em uma série de danos às edificações. Comprometimentos estéticos que transmitem ao usuário a sensação de insegurança, infiltrações que põem em risco a salubridade dos ambientes, e a redução da durabilidade da estrutura, são algumas consequências desse problema (IBAPE-SP, 2015). Outro índice que vale ressaltar é o grande desperdício de material que ocorre durante a aplicação do concreto armado e das barras de aço que são neste caso, utilizados em conjunto.

A utilização da alvenaria tradicional ainda é mundialmente o método mais utilizado por engenheiros (CONCRETO,2009). Com mão de obra barata e materiais de fácil acesso o concreto armado vem possibilitando a construção de prédios cada vez mais altos, revolucionando os padrões arquitetônicos não só do Brasil como do mundo.

### **4.3. CONCRETO PROTENDIDO**

O desenvolvimento do concreto protendido deu-se a partir da criação do cimento Portland, na Inglaterra, em 1824. Nos anos que se seguiram, os franceses e os alemães também começaram a produzir cimento e a criar várias formas de melhorar a capacidade portante do concreto (VERRISSÍMO,1998).

No Brasil a utilização do concreto protendido se deu na década de 40 na construção de uma ponte no Rio de Janeiro e desde então vem aumentando, principalmente em lajes. O uso desta técnica aplicada em lajes assegura um controle efetivo de flechas, deixando quase nula a ocorrência de fissuras, alcançando então, uma estrutura de excelente qualidade e grande durabilidade (PEREIRA, 2018).

Segundo a versão corrigida da NBR 6118: 2014 (ABNT, 2004) os elementos em concreto protendido são aqueles em que uma parte da armadura é alongada por equipamentos especiais, com o objetivo de impedir ou limitar as fissuras e o deslocamento da estrutura, assim como aproveitar da melhor maneira os aços de alta resistência no estado-limite último. Quando a protensão é aplicada, cria-se uma carga de aperto que faz com que se crie uma força de compressão que compensa a tensão

que o concreto exibiria face aos esforços de carregamento. Essa é a principal diferença entre o concreto armado e o concreto protendido (CASTRO,2011). Desse modo, a estrutura protendida apresenta melhor desempenho perante as cargas externas a ela expostas.

Conforme afirmado por (CASTRO,2011), na sua monografia sobre as vantagens e desvantagens da protensão, o concreto tradicional tem boa resistência a compressão e pequena resistência a tração, além disso é pouco confiável devido as fissuras provocadas, geralmente pela retração do mesmo, que gera em médio e longo prazo, corrosão das armaduras devido a exposição das mesmas ao contato com o ar (oxigênio).

Sendo o concreto um material de propriedades tão diferentes a compressão e a tração (Figura 13), o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se compressão prévia (isto é, protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração (GIFFHORN,2014).

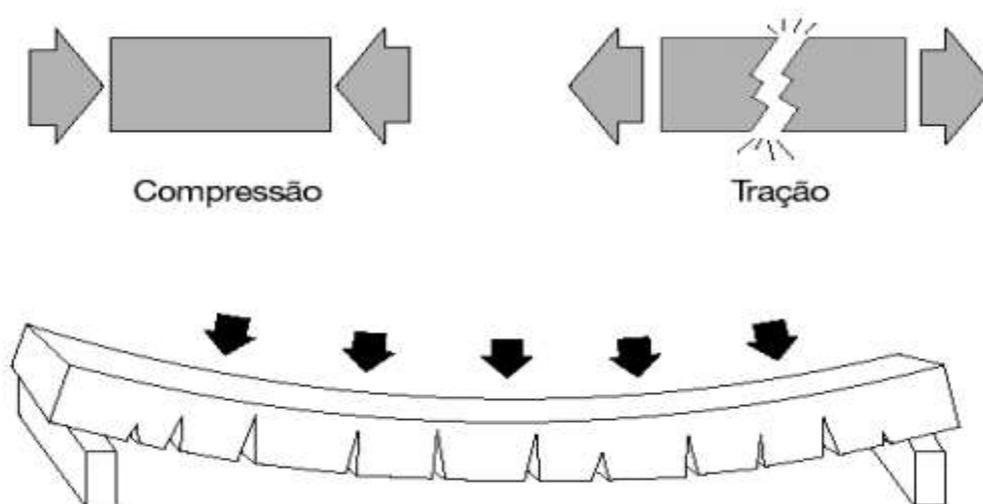


Figura 13: Detalhe das forças de tração e compressão.  
Fonte: CAUDURO,2018.

A tecnologia da protensão pode ser utilizada em lajes, vigas, coberturas, painéis de fechamento, pontes em balanço, pontes estaiadas e em alguns outros tipos de estruturas, como silos, reservatórios, contenção de taludes, monumentos e passarelas. A ponte Octavio Frias de Oliveira, Inaugurada em 2008, foi construída sobre o Rio Pinheiros, em São Paulo, ela é composta por duas pontes estaiadas curvas, suspensas por cabos de aço e um único mastro em formato de 'X'. Nesta obra,

o concreto protendido foi usado nas vigas pré-moldadas dos vãos de acesso ao trecho estaiado e nas peças mais esbeltas, como a laje do tabuleiro, que trabalha transversalmente à direção do tráfego de veículos. Os vãos dessa laje têm, aproximadamente, a largura da obra (cerca de 15 metros) e 48 cm de espessura. Para viabilizar a execução dessa espessura, foi preciso usar a protensão como afirma Faria:

Se a laje fosse de concreto armado, sua espessura teria de ser maior e, conseqüentemente, seria necessário mais concreto. O aumento da quantidade de concreto geraria um acréscimo de aço nos estais – que suportam o peso do tabuleiro –, assim como mais fundações e etc (FARIA, 2016).

Para ele, o concreto protendido tornou a obra mais econômica. O material também foi aplicado nas peças que receberam solicitações muito grandes e concentradas, como a parte mais alta dos mastros, onde os cabos dos estais (144, no total) estão fixados. A ancoragem, peça que fica na extremidade dos estais, transmite a força do estai para as paredes do mastro, que é oco. Essa é uma carga muito grande e concentrada em paredes não muito espessas. Por isso, elas têm vários cabos de protensão – que funcionam no sentido oposto às forças dos cabos de estais e garantem que a força de cada estai seja devidamente passada para o mastro, esclarece (FARIA, 2016). Um exemplo de obra deste tipo é a ponte estaiada Octavio Frias de Oliveira (Figura 14), construída em São Paulo no período de 2005 a 2008.



Figura 14: Ponte Octavio Frias de Oliveira (São Paulo).  
Fonte: Mapa da Obra, 2016.

Em Manaus, capital do estado de Amazonas, foi construída em 2011 uma ponte sobre o Rio Negro (Figura 15), um dos afluentes do Rio Amazonas, com 3595 metros de extensão. No seu vão central, ela foi construída também com estaiamento e com utilização de peças de concreto protendido, visando um vão maior entre os pilares, com a finalidade de aumentar o espaço no leito do rio para passagem de navegações (CAMARGO, 2010).



Figura 15: Ponte Jornalista Philippe Daou/Rio Negro (Manaus).  
Fonte: Fapeam, 2015.

Com 3 595 metros de extensão, é a maior ponte estaiada do Brasil, com 400 metros de seção suspensa por cabos em seu vão central. Sua largura total é de 20,70 metros no trecho convencional e 22,60 metros na parte estaiada. Sua via contém quatro faixas de tráfego, duas em cada sentido, além da faixa de passeio para pedestres nos dois lados. O mastro central apoia dois vãos de 190 metros para cada lado. A estrutura, em forma de losango, é dividida em três partes: um cone de ponta-cabeça abaixo do tabuleiro, um cone acima do tabuleiro e o topo do mastro. O formato aerodinâmico foi adotado para diminuir o atrito com o vento. Ao lado do Teatro Amazonas, a ponte vem sendo considerada um dos maiores e mais importantes monumentos da arquitetura da Amazônia, o que representa um marco na integração da Região Metropolitana de Manaus (RMM), fundada em 2007.

## **5. UNIVERSO DAS CORDOALHAS**

Os fios e cordoalhas são produtos específicos para o concreto protendido. Ou seja, são fios que são utilizados de forma ativa, quando posicionados na estrutura recebem um esforço de protensão em suas extremidades. Existem basicamente três tipos desse material:

- Fios de protensão: os fios de protensão são muito utilizados em lajes alveolares;
- Cordoalhas Nuas: é um conjunto de fios que é geralmente utilizada em estruturas de pontes e grandes construções;
- Cordoalhas engraxadas ou não aderentes: são também um conjunto de fios, mas que não aderem ao concreto, pois são plastificadas e engraxadas.

Assim como no aço convencional os fios e cordoalhas possuem diversos diâmetros para sua melhor utilização na construção civil (DALDEGAN,2016).

### **5.1. FIOS DE PROTENSÃO**

Muito utilizados para construir estruturas de concreto de alta resistência e baixo custo. Os fios são feitos de aço que possuem alto teor de carbono e garantem um melhor controle de fissura no concreto armado com possibilidade de obtenção de peças mais leves, resistentes ao impacto e a fadiga (BEKAERT,2018).

Uso/Aplicações: Viga e vigota, dormentes, Peças pré-moldadas.

### **5.2. CORDOALHAS NUAS - EMPREGADAS EM PROCESSOS ADERENTES**

As cordoalhas nuas possuem 3 ou 7 fios de aço de alto teor de carbono (Figura 16), são empregadas em processos de protensão aderente. Ideal para ser utilizada quando há necessidade de a estrutura vencer grandes vãos, como em pontes e viadutos. Permitindo a criação de estruturas em grandes módulos, garante maior beleza arquitetônica às construções (BEKAERT,2018).

Com as cordoalhas posicionadas dentro da bainha metálica e protendidas após a cura do concreto, após o processo de protensão, há necessidade de injetar nata de cimento para o completo preenchimento da bainha, para aderência do concreto/aço. Composta de cordoalhas nuas, ancoragem multicordoalha, bainha metálica, purgadores, trombetas e cunhas.

As cordoalhas dividem espaço dentro de uma mesma bainha e de uma só ancoragem multicordoalha. Podem ser protendidas simultaneamente por um só macaco de protensão, entretanto, há casos em que as cordoalhas são protendidas isoladamente (AECWEB).

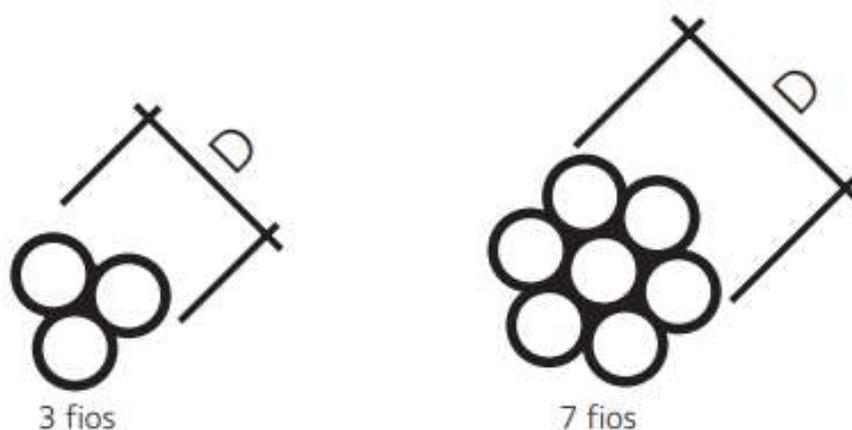


Figura 16: Imagem detalhada dos tipos de cordoalhas.  
Fonte: ArcelorMittal, 2018.

Uso/Aplicações: A cordoalha nua (Figura 17) usada na Protensão Aderente tem sua utilização em obras de grande porte, como pontes, viadutos, silos, tanques, reservatórios, peças pré-moldadas, lajes, torres eólicas de concreto e vigas de grandes vãos.



As cordoalhas são formadas em rolos sem nós; nas extremidades da lâmina.

ACONDICIONAMENTO DE CORDOALHAS NUAS PARA PROTENSÃO				
Tipo de cordoalha	Peso (kg)	Diâmetro interno (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura do rolo (cm)
3 e 7 fios	1.800	3.000	76	120

Figura 17: Imagem cordoalha nua.  
Fonte: ArcelorMittal, 2018.

### 5.3. CORDOALHAS ENGRAXADAS – EMPREGADAS EM PROCESSOS NÃO ADERENTES

Cordoalhas engraxadas (Figura 18) fazem parte de uma tecnologia para sistemas estruturais amplamente utilizada nos Estados Unidos desde a década de 60. Devido a sua versatilidade, essa solução rapidamente se difundiu pelo mundo. Nessa categoria a cordoalha possui 7 fios de aço de alto teor de carbono encordoados em volta de um fio central, são fabricadas por meio de processo contínuo, possuem uma camada de graxa e são revestidas com PEAD (polietileno de alta densidade) extrusado diretamente sobre a cordoalha já engraxada em toda a sua extensão.



Figura 18: Imagem detalhada cordoalha plastificada engraxada.  
Fonte: CAUDURO,2018.

As características mecânicas são idênticas às das cordoalhas sem revestimento (figura 19) no qual são definidas as especificações dos produtos – Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas para Protensão. As cordoalhas engraxadas produzidas pela Belgo Bekaert Arames atendem as especificações técnicas da ABNT NBR 7483:2021. Quanto as certificações, são fornecidos dois produtos distintos: um que atende apenas a NBR 7483:2021, e um outro com processo de controle de qualidade mais rigoroso em conformidade com o Post-Tensioning Institute (PTI). O PTI é reconhecido como a autoridade mundial em pós-tensionamento e se

dedica a expandir as suas aplicações. Cordoalhas com certificação PTI possuem um índice maior de controle de desempenho e durabilidade.

**ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS - CORDOALHAS ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS PARA PROTENSÃO**

Produto	Dímetro nominal (mm)	Área aprox. (mm <sup>2</sup> )	Massa aprox. de aço (kg/1.000m)	Massa aprox. da cordoalha plastificada e engraxada (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
<b>Cordoalha 7 fios CP 190</b>							
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	792	890	184	165	3,5
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	261	235	3,5
Cord. CP 190 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	274	247	3,5
<b>Cordoalha 7 fios CP 210</b>							
Cord. CP 210 RB 12,70	12,7	101	792	890	203	183	3,5
Cord. CP 210 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	288	259	3,5
Cord. CP 210 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	303	273	3,5

Figura 19: Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas para Protensão.  
Fonte: ArcelorMittal, 2018.

Esse material é aplicado em processo de protensão não aderente: dispensa o uso de bainha metálica e a posterior injeção de nata de cimento, desta forma a operação de protensão fica simplificada e mais eficiente, possibilitando maior flexibilidade em projetos arquitetônicos. Pelos motivos citados anteriormente a cordoalha engraxada para protensão garante obras mais econômicas, fáceis e rápidas de construir. Primordialmente, têm-se as mesmas vantagens dos outros sistemas de protensão: estruturas com deformação e fissuração controladas com emprego mais eficiente do concreto e do aço, permitindo secções com dimensões esbeltas, vãos maiores (Figura 19) e custos reduzidos.

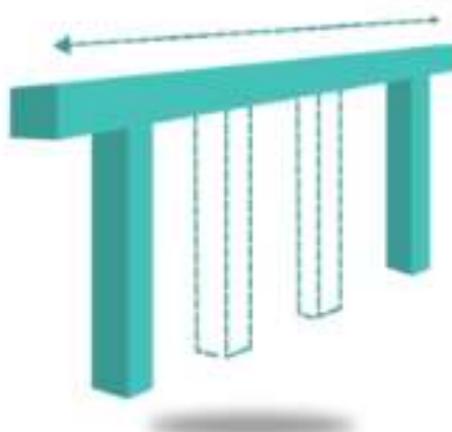


Figura 20: Imagem ilustrativa da ampliação de vãos.  
Fonte: CAUDURO, 2018..

## **6. METODOLOGIA**

A proposta do trabalho consiste em obter a melhor opção de sistema construtivo em concreto, tendo em vista a comparação entre os fatores produtivos, quantitativos e o custo dos insumos utilizados para a execução do pavimento tipo do edifício estudado. Será executada a análise comparativa de viabilidade econômica entre o método da protensão de cabos e o concreto armado convencional. Para elaboração do presente estudo, foi escolhido o método de revisão integrativa da literatura, no qual tem como finalidade sintetizar resultados obtidos em pesquisas sobre o tema proposto, de maneira sistemática, ordenada e abrangente. A análise será baseada em um estudo comparativo que abrange as duas modalidades e tem como objetivo evidenciar o tipo de serviço que irá apresentar o menor custo operacional e que esteja em conformidade com as normas regulamentadoras. Inicialmente, o embasamento deste trabalho foi realizado uma pesquisa bibliográfica baseada em artigos e monografias que tinham como critério de inclusão temáticas relacionadas ao corte e dobra do aço, cordoalhas e concreto protendido e armado.

### **6.1 TIPOS DE PESQUISA**

Pesquisa pode ser definida como um processo de investigação ou procedimento racional e sistemático que tem o interesse de investigar e descobrir as relações já existentes, com o objetivo de proporcionar respostas aos problemas (GIL, 2002). De acordo com Vergara (2007), a pesquisa é desenvolvida e estudada quando não se dispõe de informações suficientes para alcançar a resposta do problema. Toda pesquisa é desenvolvida através de conhecimentos já existentes e disponíveis, envolvendo fatos, situações, fenômenos ou coisas, métodos, técnicas e outros procedimentos científicos. A pesquisa envolve diversas fases, desde a adequada formulação inicial do problema até a satisfatória apresentação dos resultados encontrados (GIL, 2002). Segundo o Instituto CODEMEC (2014) a pesquisa básica consiste na realização de trabalhos teóricos ou experimentais, cuja finalidade principal seja a aquisição de novos conhecimentos sobre os fundamentos de fenômenos e fatos observáveis, sem objetivo particular de aplicação ou utilização. A pesquisa aplicada, por sua vez, consiste na realização de trabalhos originais com finalidade de aquisição de novos conhecimentos, porém dirigida primariamente para um determinado fim ou objetivo prático.

## 6.2 NATUREZA DA PESQUISA

Segundo Goldenberg (2004), a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. De acordo com Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, entre outros. Para elaboração do presente estudo optou-se pelo método de estudo comparativo e pesquisa aplicada de forma quantitativa, onde em um mesmo empreendimento foi realizado os dois tipos de concretagem em pavimentos diferentes. O custo total envolvendo todo tipo de gasto, como por exemplo, mão de obra, material e equipamentos será avaliado, inclusive a produtividade. O menor custo obtido será considerado como a melhor opção. Aspectos qualitativos dos dois métodos de concretagem também serão levantados, mas serão tomados como considerações secundárias. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente (FONSECA, 2002).

## 6.3 FINS DA PESQUISA

Uma pesquisa pode ter diversos fins, de acordo com Vergara (2007) os tipos são:

- a) Exploratória: Realizada em áreas de pouco conhecimento sistematizado, desta forma, não comporta hipóteses na sua fase final, mas pode ocorrer no decorrer da pesquisa;
- b) Descritiva: Expõe características claras de uma determinada população ou fenômeno, possui técnicas bem estruturadas de coleta de dados;
- c) Explicativa: Torna o objeto de estudo de fácil compreensão e justifica o porquê das coisas;
- d) Intervencionista: Interfere na realidade, no dia-a-dia, não se satisfazendo apenas na explicação do que está sendo estudado.

Os fins do presente trabalho se aproximam mais do método de pesquisa explicativa, que de acordo com Gil (2007) tem o objetivo de preocupar-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos

resultados oferecidos. O presente trabalho irá analisar a viabilidade do corte e dobra de barras de aço em central especializada e in loco, onde serão utilizados planilhas e programas específicos para obtermos os resultados da pesquisa.

#### **6.4 MEIOS DA PESQUISA**

a) Bibliográfica: Realizado com base em livros, jornais, revistas e sites na internet (VERGARA, 2007);

b) Documental: Análises em documentos encontrados em órgãos públicos, privados ou com pessoas que detenham a guarda dos mesmos (VERGARA, 2007);

c) Estudo de campo: A investigação é realizada exatamente no local onde são observados os fenômenos estudados (VERGARA, 2007);

d) Pesquisa de laboratório: Realizada em local determinado e limitado (VERGARA, 2007);

e) Pesquisa experimental: De modo geral, o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2007);

f) Pesquisa-ação: Tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

g) Pesquisa bibliográfica integrativa: Consiste em um estudo com coleta de dados realizada a partir de fontes secundárias, por meio de levantamento bibliográfico e baseado na experiência vivenciada pelo autor por ocasião da realização de uma revisão integrativa.

#### **6.5 UNIVERSO E AMOSTRA DA PESQUISA**

De acordo com Gil (2002), a população ou universo de pesquisa é o conjunto de elementos distintos que possuem certa semelhança nas características definidas

para determinado estudo, sendo o conjunto de elementos que possuem determinadas características. Esses elementos são as unidades de análises sobre as quais serão recolhidas informações. As amostras são uma pequena parte da população ou do universo que estão em conformidade com as regras (GIL, 2002). Amostra, de acordo com Silva (2014), é o subconjunto da população, sendo uma parcela conveniente do universo a ser pesquisado, podendo ser estipuladas características e premissas para a definição.

No presente estudo, a amostra considerada será o projeto estrutural detalhado de um edifício comercial, localizado no bairro Santa Efigênia em Belo Horizonte, composto por 14 andares e com 1 ou 2 salas por andar. Os resultados obtidos servirão de referência para outros projetos de edificações similares, que podem ser considerados como o universo da pesquisa.

## **6.6 COLETA E ANÁLISE DE DADOS**

Segundo Gil (1999), a coleta de dados em um estudo de caso é baseada em diversas fontes de evidências. Para efeito de elaboração dessa pesquisa, foram utilizados os procedimentos descritos abaixo.

O processo de coleta de dados no estudo de caso é mais complexo que o de outras modalidades de pesquisa. Isso porque na maioria das pesquisas utiliza-se uma técnica básica para a obtenção de dados, embora outras técnicas possam ser utilizadas de forma complementar (GIL, 2002).

Na primeira etapa foi realizada a pesquisa de campo, onde foram analisados os dados, tempo dos processos, equipamentos utilizados, produtividade, custos, etc. Posteriormente, buscou-se o auxílio de um profissional referência na área, colaborador de uma empresa de grande porte instalada em Belo Horizonte, que pudesse esclarecer dúvidas relacionadas ao material e seus processos. Com o auxílio deste profissional, foi possível entender melhor cada etapa, sanar as dúvidas e ter acesso a planta do edifício, onde foi proposto a substituição do método tradicional em concreto armado pela protensão de cabos. Assim foi possível realizar a análise minuciosa sobre a aplicação do material estudado e possibilitou que fosse feita a comparação entre os dois métodos. Com o objetivo de obter mais informações sobre o assunto e agregar conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada a visita técnica na empresa “Calixto e Dias Serviços Ltda.” atuante no

seguimento da construção civil e que fornece os serviços do corte de cordoalha, corte, dobra e armação do aço conforme o projeto enviado pelo cliente. Foi possível acompanhar como é executado o corte, armazenamento e a entrega do material para o cliente. O estudo de caso foi realizado embasado no passo a passo citado acima, evidenciando de forma clara e objetiva a viabilidade da utilização de cordoalhas em substituição aos meios tradicionais.

## **6.7 ORGANIZAÇÃO EM ESTUDO**

Será apresentado o estudo comparativo entre o método de concretagem utilizando a protensão de cabos e o tradicional, após a análise final será possível verificar fatores como a viabilidade financeira e a produtividade. Os custos serão calculados considerando o valor hora/homem para produção em ambas as modalidades, se baseando nos parâmetros e informações fornecidas pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON). Será quantificado o prazo estimado para execução do serviço em cada modalidade. O estudo também se baseará nas informações cedidas pela empresa “Calixto e Dias Serviços Ltda” que executa o serviço de corte dobra e montagem do aço, atuante neste mercado desde 2001, foi criada por um grupo de investidores que apostaram no crescimento do serviço de corte e dobra no país. Em busca de parceria, a empresa hoje é terceirizada da maior fabricante de aço no mundo, tornando-a referência para criação de novas unidades espalhadas por todo país.

a) Setor/Segmento: Prestação de serviço de corte e dobra do aço, armadura pronta soldada e corte de cordoalhas; b) Porte: Médio Porte; c) Localização: Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 2501, Galpão 2, Bairro Vila Bernadete (Barreiro), Belo horizonte – MG; d) Números de funcionários: 70 funcionários; e) Clientes: Construção Civil; f) Concorrentes: As principais são: Grupo Gerdau, CSN, Cobraço e Takono.

## **6.8 LIMITAÇÕES DA PESQUISA**

Segundo Vergara (2005), todo método tem possibilidades e limitações. Entre as limitações, pode-se considerar o número pequeno de artigos relacionados ao assunto.

## 7. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO COMPARATIVO

Analisando a viabilidade dos métodos construtivos com o foco em minimizar a perda de espaços, foi realizado o estudo comparativo desenvolvido pelo autor em parceria com um dos engenheiros responsáveis pela obra do edifício comercial onde está foi proposto o teste com a utilização das cordoalhas engraxadas aplicadas de acordo com o processo ante aderente. Um método não tão moderno, porém inovador, que possibilita a criação de vãos livres maiores e uma construção mais limpa, organizada e com pouco desperdícios. Foi utilizado como base para o estudo o projeto de um pavimento em execução de um edifício comercial (Figuras 20 e 21) localizado no bairro Santa Efigênia em Belo Horizonte composto por 14 andares, os quais possuem pavimentos corridos com 1 ou 2 salas amplas por andar. O desafio proposto aos engenheiros responsáveis pela construção deste edifício, foi justamente conseguir atender as necessidades dos clientes, mantendo pavimentos amplos, com o menor número de pilares possíveis sem comprometer a estrutural do empreendimento.



Figura 21: Foto externa edifício (imagem ilustrativa).  
Fonte: Vic Engenharia, 2018.



Figura 22: Foto interna das salas (imagem ilustrativa).  
Fonte: Vic Engenharia, 2018.

A necessidade de construir empreendimentos com espaços otimizados e boa taxa de aproveitamento da área construída, tem reduzido bastante a utilização dos pilares e paredes estruturais em projetos modernos. A procura por soluções construtivas que possibilitem a construção de edifícios esbeltos e leves, tem impulsionado a utilização da protensão de cabos, sem contar na redução do desperdício de materiais. Os pilares são elementos estruturais que tem grande importância na sustentação da estrutura do edifício, tanto por sua capacidade resistente quanto pelo aspecto da segurança. Para o desenvolvimento do estudo citado, foi levado em consideração todos esses aspectos mencionados.

O concreto protendido juntamente com a cordoalha foi aplicado em uma das lajes que sustentam os pavimentos do edifício em Belo Horizonte. Por se tratar de um material que necessita de mão de obra especializada, foi realizada a visita técnica na empresa “Calixto e Dias” também situada em Belo Horizonte. A empresa fornece a cordoalha cortada nas dimensões solicitadas pelo projeto do cliente, pôde-se notar durante a visita como é realizado o processo de corte da cordoalha na máquina (Figura 22) e feito o acondicionamento do material (Figura 23) até o dia de expedição para o canteiro de obras. Trata-se de uma máquina hidráulica no qual é composta por um único motor, estocador (alimenta por bobinas de cordoalhas de até duas toneladas), conjunto de dois rolos pneumáticos, navalhas de corte, freio de emergência e outros dispositivos. O operador digita a quantidade e a medida dos cabos solicitadas em projeto, programa a máquina e posteriormente ao corte, realiza a amarração do material e o identifica com a ordem de serviço referente



Figura 23: Foto da máquina de corte de cordoalhas  
Fonte: Calixto e Dias, 2018.



Figura 24: Foto das cordoalhas armazenadas no pátio de produção  
Fonte: Calixto e Dias, 2018.

As armaduras de protensão são unidades estruturais que, quando tracionadas, permitem a aplicação de esforços de compressão nas peças de concreto, antes da aplicação da carga. O uso de cordoalhas engraxadas apresenta características próprias, a serem observadas na escolha do tipo de protensão. A protensão não aderente pode ser executada a partir de equipamentos leves, facilmente aplicáveis em obras de pequeno porte. Isso possibilita ao concreto protendido ser competitivo com o concreto armado em edifícios residenciais com vãos pequenos (de 3 a 5 metros), o que não acontece com a protensão aderente. Além disso, os cabos engraxados são leves, de fácil manuseio e flexíveis, o que permite a existência de curvas em sua disposição em planta e possibilita o desvio de eventuais obstáculos existentes em seu trajeto. Este processo constitui-se basicamente de:

I. Uma armadura passiva de cordoalhas engraxadas é posicionada sobre as formas da laje. Essas precisam seguir normas NBR 14931:2003. Segundo as normas, é preciso que pelo menos dois fios de cordoalhas passem por dentro das armaduras dos pilares para garantir a segurança do projeto.



Figura 25: Armadura com cordoalhas  
Fonte: CAUDURO,2018.

II. É feita a ancoragem com a utilização de placa metálica de distribuição, cunhas metálicas e, para isolamento total do cabo utiliza-se tubos (bainha), caps (trombeta) e pocket forms.



Figura 26: Detalhamento das peças utilizadas no processo de protensão.  
Fonte: CAUDURO,2018.

III. A protensão é realizada com a utilização do macaco hidráulico, as pontas das cordoalhas são aparadas, retira-se a ancoragem e o orifício é fechado com nata de concreto. Essa etapa não deve começar até que os testes dos corpos de prova de concreto curado sobre as condições do canteiro de obra, indiquem que ele tenha atingido a resistência mínima a compressão especificada para protensão de acordo com o projeto (CAUDURO,2010).



Figura 27: Foto da execução da protensão dos cabos, com auxílio do macaco hidráulico.  
Fonte: Clube do Concreto, 2018.

## 8. PROTENSÃO

A protensão é uma técnica que tem como objetivo aumentar a resistência do elemento estrutural às tensões de tração exercidas sobre ele. Para fazer isso são aplicadas tensões internas a estrutura com sentido oposto ao sentido dos carregamentos verticais. A aplicação da protensão nas cordoalhas é necessariamente feita com o auxílio de um conjunto de bomba e macaco hidráulico. Para as barras, podem-se utilizar macacos hidráulicos ou torquímetros (PARSEKIAN; FRANCO, 2002, p. 4). Utilizando-se o conjunto de macaco hidráulico e bomba para protender barras, são necessárias duas pessoas para aplicar a protensão. Depois de posicionar o macaco na extremidade da barra que será protendida, uma pessoa utiliza a bomba para aplicação da carga. Na mesma hora a outra pessoa aperta a porca de ancoragem da barra, por meio de um dispositivo presente no macaco hidráulico. Após a porca estar totalmente apertada retira-se o mesmo. Para as cordoalhas, o processo é semelhante, mas a ancoragem é feita de forma diferente. Depois de o cabo ser tracionado e liberado, a ancoragem é feita pelo efeito da acomodação das cunhas, porém neste sistema as perdas de protensão que ocorrem devido à acomodação são bastante expressivas em cabos com menos de 10 metros (PARSEKIAN, 2002, p. 102). Na protensão, são posicionados cabos de aço ou ferro fundido dentro da estrutura. Esses cabos são tracionados dentro do seu limite elástico por meio de macacos hidráulicos até atingir a força que foi determinada em projeto e são, então, travados em ancoragens. Quando esses cabos são soltos, eles tendem a voltar para o seu estado relaxado. Desse modo, eles aplicam tensões internas na peça de concreto.

Também podem ser utilizados torquímetros para indicar o valor de torque, quando a força de protensão for aplicada simplesmente apertando-se as porcas das barras. Porém a correlação entre torque e a força aplicada, mesmo sendo teoricamente constante e possível de ser determinada, não é precisa. O coeficiente de atrito também pode alterar a correlação rosca e porca e porca e placa de apoio, que vai depender da limpeza e da lubrificação dos elementos (PARSEKIAN, 2002, p. 103).

## 9. RESULTADOS E DISCURSÕES FINAIS

Concluída a leitura dos artigos e finalizada a análise do resultado do estudo, foi possível comparar o valor final alcançado entre a utilização do concreto armado e o método protendido (aplicado no projeto apresentado). As pesquisas basearam-se em um pavimento do edifício em questão, e, para a obtenção dos resultados relacionados a produtividade, foi necessário a utilização da equação de produtividade. Neste caso a produtividade Homem-Hora/m<sup>2</sup> foi medida pelo consumo de insumos gastos por m<sup>2</sup> multiplicados pelo índice de produtividade, de ambos os métodos.

$$P = C \times I$$

P= Produtividade (Hh/m<sup>2</sup>)

C = Consumo por m<sup>2</sup>

I = Índice de Produtividade

Para o desenvolvimento do cálculo da produtividade, foi levado em consideração o consumo por metro quadrado dos principais insumos utilizados na concretagem e o índice de produtividade médio gasto para a execução das atividades descritas. Nas tabelas 5 e 6 é possível comparar a produtividade final alcançada nos dois métodos estudados, no qual a produtividade do concreto armado se mostrou ser mais eficiente que o concreto protendido.

- Produtividade do Concreto armado.

TABELA 5 - Produtividade do Concreto Armado (CA)			
Item	Consumo por m <sup>2</sup>	Índice de Produtividade	Produtividade Total
Concreto	0,215 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1,3 Hh/m <sup>3</sup>	0,28 Hh/m <sup>2</sup>
Cordoalha	0 kg/m <sup>2</sup>	0,05 Hh/kg	0,00 Hh/m <sup>2</sup>
CA50	17,8 kg/m <sup>2</sup>	0,08 Hh/kg	1,42 Hh/m <sup>2</sup>
Forma	1,45 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1,50 Hh/m <sup>2</sup>	2,18 Hh/m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>			<b>3,9 Hh/m<sup>2</sup></b>

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

- Produtividade do concreto protendido com a utilização de cordoalhas.

TABELA 6 - Produtividade do Concreto Protendido (CP)			
Item	Consumo por m <sup>2</sup>	Índice de Produtividade	Produtividade Total
Concreto	0,171 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1,3 Hh/m <sup>3</sup>	0,22 Hh/m <sup>2</sup>
Cordoalha	1 kg/m <sup>2</sup>	0,05 Hh/kg	0,05 Hh/m <sup>2</sup>
CA50	10,9 kg/m <sup>2</sup>	0,08 Hh/kg	0,87 Hh/m <sup>2</sup>
Forma	1,33 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1,50 Hh/m <sup>2</sup>	2,00 Hh/m <sup>2</sup>
TOTAL			3,1 Hh/m <sup>2</sup>

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

Os dados apresentados acima apontam que a produtividade do concreto armado é 23,5% maior que a do concreto protendido no canteiro de obras. Foi elaborado também um estudo por M<sup>2</sup> baseado no levantamento de custos dos materiais necessário para aplicação nos dois métodos apresentados.

- Custos concreto armado

TABELA 7 - Custos Concreto Armado (CA)			
Item	Consumo por m <sup>2</sup>	Custo Unitário	Produtividade Total
Concreto	0,215 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 330,0/m <sup>3</sup>	R\$ 70,95/m <sup>2</sup>
Cordoalha	0 kg/m <sup>2</sup>	R\$ 10,2/kg	R\$ 0,00/m <sup>2</sup>
CA50	17,8 kg/m <sup>2</sup>	R\$ 5,5/kg	97,68/m <sup>2</sup>
Forma	1,45 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 55,0/m <sup>2</sup>	R\$ 79,75/m <sup>2</sup>
TOTAL			R\$ 248,00/m <sup>2</sup>

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

- Custos concreto protendido com a utilização de cordoalhas.

TABELA 8 - Custos Concreto Protendido (CP)			
Item	Consumo por m <sup>2</sup>	Custo Unitário	Produtividade Total
Concreto	0,171 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 330,0/m <sup>3</sup>	R\$ 56,43/m <sup>2</sup>
Cordoalha	1 kg/m <sup>2</sup>	R\$ 10,2/kg	R\$ 9,69/m <sup>2</sup>
CA50	10,9 kg/m <sup>2</sup>	R\$ 5,5/kg	60,01/m <sup>2</sup>
Forma	1,33 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 55,0/m <sup>2</sup>	R\$ 73,15/m <sup>2</sup>
TOTAL			R\$ 199,00/m <sup>2</sup>

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

Baseado nesta comparação, conclui-se que foi possível economizar cerca de 25% nos custos gerais do concreto protendido em relação ao concreto armado, ou seja, optando pelo método protendido, mesmo que a produtividade/m<sup>2</sup> tenha se mostrado ser menor, foi possível reduzir o custo em m<sup>2</sup>/pavimento em R\$ 49,00 (Figuras 9 e 10). Sem mencionar as vantagens proporcionadas pela utilização do método protendido, como por exemplo, a redução das tensões de tração provocadas pelos esforços verticais, possibilidade de a estrutura de concreto vencer maiores vãos quando comparada ao concreto armado e por fim, a economia no consumo dos insumos envolvidos durante a fase e concretagem (concreto e aço).

TABELA 9 - Custo por Pavimento	
Solução Original: Concreto Armado	R\$ 248,00/m <sup>2</sup>
Solução Sugerida: Concreto Protendido	R\$ 199,00/m <sup>2</sup>
Área Considerada:	720m <sup>2</sup>
Economia Total:	R\$ 35.355,60

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

TABELA 10 - Custo por M <sup>2</sup>	
Economia	Redução no Prazo
R\$ 49/m <sup>2</sup>	0,7 Hh/m <sup>2</sup>
25%	24%

Fonte: Diógenes Santos, 2018.

Protender uma estrutura de concreto é fazer uso de uma tecnologia inteligente, eficaz e duradoura. Inteligente, pois permite que se aproveite ao máximo a resistência mecânica dos seus principais materiais constituintes, o concreto e o aço, reduzindo assim suas quantidades; eficaz, devido à sua superioridade técnica sobre soluções convencionais, proporcionando estruturas seguras e confortáveis; duradoura, porque possibilita longa vida útil aos seus elementos. Só estas características já justificariam o uso da protensão em estruturas. Mas além disso tudo, uma das principais vantagens das soluções em concreto protendido é o fato delas possibilitarem ótimas relações custo-benefício. A protensão pode resultar, em muitos casos, em estruturas com baixa ou nenhuma necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil, além de permitir outras características como:

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os altos investimentos no setor construtivo e a entrada de empresas estrangeiras no mercado, impulsionaram o setor nacional a buscar novas tecnologias de melhor competitividade, maior eficiência, menores custos e desperdícios. Métodos tradicionais como, por exemplo, a construção com a utilização de somente concreto armado, em comparação com sistemas mais inovadores e industrializados, já se mostra bastante inferiores em inúmeros aspectos. Dentre as vantagens dos sistemas industrializados, merecem destaque a maior produtividade, a qual vem da padronização e racionalização dos sistemas e um melhor controle de qualidade, principalmente nos sistemas aonde a produção das peças é feita em ambiente fabril. O fator ambiental por sua vez, possui cada vez mais peso para a sociedade, e com a utilização dos sistemas construtivos industrializados é possível reduzir intensivamente o desperdício de materiais em comparação com os métodos construtivos tradicionais.

No trabalho em questão, foram cumpridos todos os objetivos propostos inicialmente para complementação do texto. É possível observar no desenvolvimento do estudo de caso e na análise bibliográfica, que o concreto protendido possui um diferencial em resistência e qualidade quando comparado a estruturas simples de concreto.

Apesar das dificuldades e limitações dos estudos sobre o assunto, foi possível apresentar as características do emprego da concretagem protendida, mostrando o que deve ser observado e as considerações a serem seguidas. Sendo assim, foi possível evidenciar que, embora uma técnica envolva processos mais complexos e necessite de mão de obra especializada, a aplicação das cordoalhas proporcionam mais possibilidades de inovação, ambientes com vista panorâmica harmônica e um produto mais atraente para o consumidor final. Além disso, mesmo com o índice de produtividade menor quando comparado ao concreto armado, a aplicação do concreto protendido no estudo comparativo em análise, apresentou viabilidade financeira com a redução de R\$ 49,00/m<sup>2</sup>, caso a empresa adote a solução sugerida.

## 11. REFERÊNCIAS

ARAUJO, Sérgio Paulino. **Tecnologia na educação: contexto histórico, papel e diversidade**, 2016. Disponível em: <http://www.uel.br/eventos/jornadadidatica/pages/arquivos.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2018.

ARCELORMITTAL. **Catálogo de produtos**. Edição 2018. Disponível em: <http://longos.arcelormittal.com.br/produtos/construcao-civil/fundacoes-contencoes>. Acesso em: 05 dez, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS:

NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

NBR7480. **Barras e fios de aço destinado a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro 1996.

NBR8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro 1996.

NBR 6118. **Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2002.

BEKAERT, belgo. **Catalogo de produtos**. Cordoalha engraxada para protensão, 2018. Disponível em: <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Cordoalha-Engraxada-para-Protensao.aspx>. Acesso em: 4 novembro de 2018.

BARBOSA, Bruna P. Arquitetura, industrialização e desenvolvimento. São Paulo: EDUSP/Perspectiva, 1976. Coleção Debates, número 135.

CARNEIRO, Reginaldo. **Alvenaria Racionalizada**. Apresentação. São Paulo, jun. 2006. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-4.aspx>. Acesso em: 4 novembro de 2018.

CASTRO, Sergio. **Concreto Protendido – Vantagens e desvantagens dos diferentes processos da protensão do concreto nas estruturas**. Monografia abr, 2011. Disponível em: [file:///C:/Users/raffa/Downloads/monografia\\_pdf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/raffa/Downloads/monografia_pdf%20(1).pdf). Acesso em: 18 novembro de 2018.

CAUDURO, EUGENIO. **Manual para a boa execução de Estruturas Protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas**. Publicado em 2018.

Disponível em: [http://impactoprotensao.com.br/wp-content/uploads/2018/02/manual\\_para\\_a\\_boa\\_execucao\\_de\\_estruturas\\_protendidas-compressed.pdf](http://impactoprotensao.com.br/wp-content/uploads/2018/02/manual_para_a_boa_execucao_de_estruturas_protendidas-compressed.pdf). Acesso em: Janeiro de 2017.

CILIANA. R.C; BAZZO. W.A.. **Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque CTS**. Disponível em: <http://www.oei.es/salactsi/colombobazzo.htm>. Acesso em: 07 de Junho de 2018.

CLUBE DO CONCRETO. **A história da Protensão**. Publicado em janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/09/historia-da-protensao.html?m=1>. Acesso em: Janeiro de 2017.

INSTITUTO CODEMEC. Pesquisa básica e pesquisa aplicada. 2014. Disponível em <<http://codemec.org.br/geral/pesquisa-basica-e-pesquisa-aplicada/>>. Acesso em: 07 maio de 2018.

DALDEGAN, Eduardo. **Ferragens para construção civil: Dicas importantes para sua obra**. Engenharia Concreta, 2016. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/ferragens-para-construcao-civil-dicas-importantes-para-sua-obra/>. Acesso em: 3 nov. 2018.

FARIA, R. **Industrialização econômica**. Revista TÉCNICA 136 Julho de 2008.

FELICIO, Eduardo A. **Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico**. Estudo (graduação Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora: 2012. 66 p.

FONSECA, J.J. **Método de pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GELINSKI, Gilmara. Obra Monumento de Calatrava no Píer Mauá. Revista On line Finestra 2014. Edição 88. Disponível em: <http://arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/santiago-calatrava-museu-amanha-rio-janeiro-2014>. Acesso em: 18 nov. 2018.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, R. L. Tipos de pesquisa. 2008. Disponível em: . Acesso em: 07 junho de 2018.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**. 2004. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/labesc/files/2012/03/A-Arte-de-Pesquisar-Mirian-Goldenberg.pdf>>. Acesso em: 07 junho de 2018.

INSTITUTO AÇO BRASIL. 2007 **Ano de recordes na Siderurgia Brasileira – Processo Siderúrgico**, 2007. Disponível em

INSTITUTO AÇO BRASIL. O Aço – **Processo Siderúrgico**, 2014. Disponível em

ISAIA, Geraldo C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 3ª ed. São Paulo, 2017.

MAGRINI, A., ELABRAS-VEIGA, L.B. Um quadro das recentes iniciativas de Ecologia Industrial e perspectivas para o Brasil. Congresso Brasileiro de Energia. Programa de Planejamento Energético. Rop de Janeiro. RJ. 2012

MAPA DA OBRA, **CONCRETO PROTENDIDO: POR QUE USÁ-LO EM PONTES?**

2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-protendido-por-que-usa-lo-em-pontes/> Acesso em: 10 nov, 2018.

MARTINS, Juliana. **Recurso para aumentar a resistência de vigas e lajes, a protensão exige muita atenção no posicionamento das cordoalhas e no lançamento do concreto.** 28, mar. 2017. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2017/03/protensao-de-laje-passo-passo.html>. Acesso em: 03 nov, 2018.

MASP. **Conhecendo o Museu de Arte de São Paulo.** 2017. Foto. Disponível em: <https://masp.org.br/openhouse-conheçomuseudesapaulo>. Acesso em: 26 nov, 2018.

MENDES, K.D.S.; SILVEIRA, R.C.C.P.; GALVÃO, C.M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. Texto Contexto Enferm. Florianópolis, 17(4): 758-64. Out./Dez. 2008.

NEVES, O.R., CAMISASCA, M.M. **Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço.** Belo Horizonte: Escritório de Histórias, 2013.

NOLDIN, José. **Contribuição ao Estudo da Cinética de Redução de Briquetes Auto-Redutores.** Monografia. Rio de Janeiro, setembro, 2002.

PARSEKIAN, Guilherme. FRANCO, L.S. Tecnologia de Produção de alvenaria estrutural protendida. p 263. Ano 20002. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo 2002. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/18235>>. Acesso em: 01 dez, 2018.

PELÁEZ, C.M.. & SUZIGAN, Wilson. História Monetária do Brasil. Brasília, Editora da UnB, 2ª edição, 1981 [1ª edição de 1976].

PEREIRA, Caio. **Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil.** Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>. Acesso em: 22 de out de 2018.

RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE DO INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012. Disponível em

RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE DO INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014. Disponível em [http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Relatorio%20de%20Sustentabilidade\\_2014\\_web.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Relatorio%20de%20Sustentabilidade_2014_web.pdf) acessado em setembro/2017.

REVISTA FINESTRA. Rio de Janeiro: Aço Cortado e Dobrado para Estruturas de Concreto, 2013. Disponível em <https://>

REVISTA TÉCNICA. **Como Construir: Aço Cortado e Dobrado para Estruturas de Concreto**, 2013. Disponível em <https://techne.pini.com.br/2017/09/como-construir-aco-cortado-e-dobrado-para-estruturas-de-concreto-armado/> acessado em janeiro/2017.

SANTOS, Vanderson Lage. **Processo de beneficiamento de aço industrializado com ênfase na Utilização de armadura pronta soldada**. - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2016. 80 p.

SOUSA, ISAQUE. **Com apoio da Fapeam, professor lança livro sobre ponte Rio Negro**. 2015. Disponível em: <http://www.fapeam.am.gov.br/professor-lanca-livro-sobre-ponte-rio-negro/>. Acesso em: 03 nov, 2018.

SOUZA, José. Concreto: Material construtivo mais utilizado no mundo. [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf). Revista Concreto on line. Edição 53. p. 14.mar 2009. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto\\_6160\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0). Acesso em 04 dez, 2018.

VERGARA, S. C. Métodos de pesquisa em administração. São Paulo: Atlas, 2005.

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração.9 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

VOTORANTIM, **Cimentos. Concreto protendido: por que usa-lo em pontes?**. Publicado em 26 mai, 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-protendido-por-que-usa-lo-em-pontes/>. Acesso em: 26 nov, 2018.