

"LIGAÇÕES UTILIZANDO PARAFUSOS  
DE ALTA RESISTÊNCIA"

ENGº J.A.P. MONTEIRO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas."

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ORIENTADOR.

Prof. Dr. TIOETURO YAGUI.

São Carlos, Setembro de 1.979

A minha esposa e meus  
filhos.  
Aos meus pais.

AGRADECIMENTO

Agradeço em especial ao professor Hermann Schulz  
te a valiosa orientação dada na realização deste trabalho,  
introduzindo e incentivando o autor no estudo das Estruturas Metálicas.

Agradeço a todos que contribuiram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

Estudaram-se, no presente trabalho, as ligações com parafusos de alta resistência que possibilitam a transmissão de esforços nos elementos ligados, através de forças de atrito geradas nas suas superfícies de contato.

Foram executados ensaios com as finalidades de, verificar o trabalho desse tipo de ligação, de determinar o coeficiente de atrito e a capacidade adicional pela resistência ao esmagamento. Também foram ensaiados através dos corpos de prova os materiais envolvidos na ligação.

Finalmente, estudou-se o enfraquecimento das peças ligadas com parafusos de alta resistência.

## ABSTRACT

In this work are present some results of experimental analysis on high strength bolts unions in steel structures; the main characteristic of these unions is the attrite between pieces.

The tests were executed to check the performance of this kind of union, to analyse the variation of the attrite coefficient and to estimate the aditional due to crushing.

All materials used in the sample preparation, as bolts and steel plates, were also tested.

It was analysed the relative recover in the usefull transversal sections of the plates joined by hight strenght bolts.

## INDICE

1	<u>Estudos das ligações com parafusos de alta resistência - coeficiente de atrito.....</u>	1.1
1.1 -	Considerações iniciais.....	1.1
1.2 -	Cálculo das ligações com P.A.R.....	1.6
	1.2.1. - Trabalho do parafuso no momento 'do aperto da porca.....	1.6
	1.2.2. - Transmissão do esforço pelo atrito.....	1.9
	1.2.3. - Consideração da resistência adicional ao esmagamento.....	1.14
1.3 -	<u>Estudo do coeficiente de atrito.....</u>	A.16
	1.3.1. - Considerações iniciais.....	1.16
	1.3.2. - Metodologia empregada.....	1.16
	1.3.2.1- Descrição das técnicas de ensaio' e cálculo dos valores previstos..	1.16
	1.3.2.2- Dados dos corpos de prova.....	1.20
	1.3.2.3- Resultado dos ensaios.....	1.23
1.4 -	<u>Considerações Finais.....</u>	1.26
	1.4.1. - Determinação do coeficiente de ' atrito.....	1.26
	1.4.2. - Considerações da resistência adicional ao esmagamento.....	1.29
2 -	<u>Materia Prima.</u>	
2.1 -	Considerações finais.....	2.1
2.2 -	Especificações para parafusos de alta <u>re</u> sistência A - 325.....	2.1
	2.2.1. - Material e manufatura dos parafusos ASTM A-325.....	2.3
	2.2.2. - Especificações químicas para parafusos ASTM A-325.....	2.3

2.2.3 - Exigências mecânicas para A- 325...	2.4
2.2.4 - Dimensões.....	2.8
2.2.5 - Método de teste.....	2.8
2.2.6 - Número de teste e reteste.....	2.9
2.2.7 - Método do lote produção.....	2.9
2.2.8 - Método do lote expedição.....	2.10
2.2.9 - Marcação.....	2.11
2.2.10- Inspeção e rejeição.....	2.12
 2.3 - Especificação para parafusos de alta resistência A-490.....	2.12
2.3.1 - Definições.....	2.13
2.3.2 - Materiais e fabricação.....	2.14
2.3.3 - Exigências químicas.....	2.14
2.3.4 - Exigências mecânicas.....	2.15
2.3.5 - Métodos de testes número de teste e resteste.....	2.17
2.3.6 - Partículas magnéticas e inspeção visual para superfícies descontínuas.	2.17
2.3.7 - Inspeção e rejeição.....	2.20
2.3.8 - Certificado e marcação.....	2.20
 2.4 - Ensaios da matéria prima utilizada nas experiências com P.A.R.....	2.21
2.4.1 - Considerações iniciais.....	2.21
2.4.2 - Corpos de prova.....	2.21
2.4.3 - Resultado dos ensaios.....	2.23
2.4.2.1.Matéria-prima do parafuso A-490....	2.23
2.4.2.2-Matéria-prima da chapa 3/8".....	2.25
2.4.3.3-Matéria-prima da chapa.....	2.27
2.4.3.4-Matéria-prima da chapa 3/16".....	2.28
 2.5 - Conclusões.....	2.29

3	- Estudo do engraquecimento das peças ligadas com parafusos de alta resistência.....	3.1
3.1	- Considerações.....	3.1
3.2	- Metodologia empregada.....	3.7
	3.2.1 - Descrição da técnica do ensaio....	3.7
	3.2.2 - Dados dos Corpos de prova.....	3.8
3.3	- Resultado dos ensaios.....	3.18
3.4	- Considerações finais.....	3.22
	3.4.1 - Cálculo conforme a publicação " <u>Estruturas Metálicas, Elementos</u> " dos professores H. Schulte e Dr. T.Yagui edição 1977.....	3.22
	3.4.2 - Interpolação estatística ("Método dos Mínimos Quadrados") .....	3.28
	3.4.3 - Conclusões.....	3.34
4	- Bibliografia.....	4.1



## CAPITULO 1 . ESTUDO DAS LIGAÇÕES COM

### PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA - COEFICIENTE DE ATRITO-

#### 1.1. Considerações Iniciais.

No cálculo das ligações de peças metálicas, utilizando-se parafusos ou rebites, é desprezada a contribuição da força do atrito pois, a deficiência de rebitagem ou o afrouxamento do parafuso pode eliminar esse esforço.

A força de atrito, nas superfícies de contato das partes ligadas, pode ser levada em consideração, nas ligações com parafusos de alta resistência à tração, os quais, devido ao forte aperto que se origina nas superfícies unidas, conseguem transmitir esforços perpendiculares ao eixo do parafuso somente por atrito.

Batho e Bateman foram os primeiros a afirmar que parafusos de alta resistência poderiam ser usados para montar estruturas de aço. Em 1934 eles relataram ao "Steel Structures Committee of Scientific and Industrial Research of Great Britain" que parafusos poderiam ser apertados suficiente para evitar deslizamentos em junções estruturais.

Esse trabalho foi reforçado em 1938, quando a Universidade de Illinois (U.S.A.) publicou um relatório sobre a experiência de uso de parafusos de alta resistência, sujeitos a apertos controlados.

Este tipo de ligação requer um novo método de cálculo que difere dos métodos habituais.

A última edição das Normas Brasileira NB- 14-1972, não traz nenhum estudo ou recomendação sobre este tipo de junção.

## 1.2

Este trabalho de pesquisa tem como finalidade a introdução ao estudo deste tipo de ligação, baseando-se no "Research Council Specification for Structural Joints Using ASTM A 325 or A 490 Bolts", aprovado em 18 de abril de 1.972, nas "Diretrizes Provisórias para o cálculo, as disposições construtivas e a execução de uniões mediante parafusos de alta resistência", de responsabilidade da Comissão Alemã de Construção Metálica, na American Society for Testing and Materials Designation A 490-71" e Manual da A.I.S.C. ("American Institute of Steel Construction").

Os dois fatores principais que influenciam a capacidade de um parafuso oferecer resistência pelo atrito entre as peças ligadas são:

1. Coeficiente de atrito das superfícies em contato dos elementos ligados.
2. Resistência do material do parafuso para tração e torção.

O primeiro fator estudado pela execução de diversos tipos de limpeza das superfícies dos elementos em contato.

Foram executados vários ensaios com diferentes tipos de limpeza, os quais estão descritos no capítulo 1 deste trabalho.

A segunda exigência, com a utilização de aços de resistência, está também satisfeita. O resultado do estudo do material dos parafusos é apresentada no capítulo 2. As vantagens técnicas e econômicas das uniões mediante parafusos de alta resistência (P.A.R.), em estruturas metálicas, são as seguintes:

1. Liberação do espaço necessário para a rebitagem e a dispensa de compressores, tubos e andaimes.
2. Transmissão do esforço de uma maneira superficial, sem apresentar, nas proximidades do furo, focos de concentração das tensões na secção das peças ligadas.
3. Diminuição da quantidade de parafusos.

4. Diminuição da influência do enfraquecimento pelos furos na seções, devido à transmissão pelo atrito, de parte dos esforços antes da seção enfraquecida. Este é apresentado no capítulo 3.

5. Dispensa de alta precisão no posicionamento dos furos nos elementos, devido à possibilidade de serem admitidas maiores diferenças entre os diâmetros dos troncos do parafuso e dos furos.

Dentro do grande campo de pesquisa, que é o estudo de ligações com P.A.R., procurou-se neste trabalho a determinação do coeficiente de atrito entre as peças ligadas em função do tipo de limpeza empregado. Este estudo está descrito no capítulo 1.

Estudou-se ainda a matéria-prima empregada na fabricação dos P.A.R. e nas chapas utilizadas nos ensaios. Assunto este descrito no capítulo 2, e ainda complementado pela apresentação das especificações para P.A.R. A-325 e A-490.

O estudo do enfraquecimento das peças ligadas com P.A.R. é apresentado no capítulo 3.

As fotos 1A, 1B, 1C, 2A, 2B. e 2C, mostram algumas obras onde foram utilizados parafusos de alta resistência, fornecidos pela BETHLEHEM STEEL. Tais obras foram executadas nos U.S.A.

Outros problemas a serem esclarecidos como:

- a) Variações da força de atrito com a espessura das peças ligadas.
- b) Trabalho em conjunto de parafusos de diâmetro diferentes.
- c) Modificações das formas estruturais em estruturas leves provocando pelo uso de ligações com P.A.R.

deverão ser motivo de novas pesquisas, posteriormente.

1.4

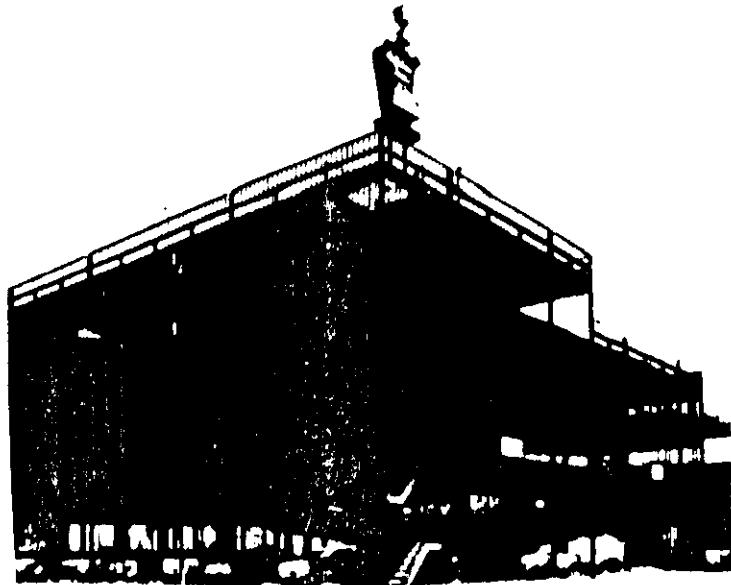


FOTO 1A

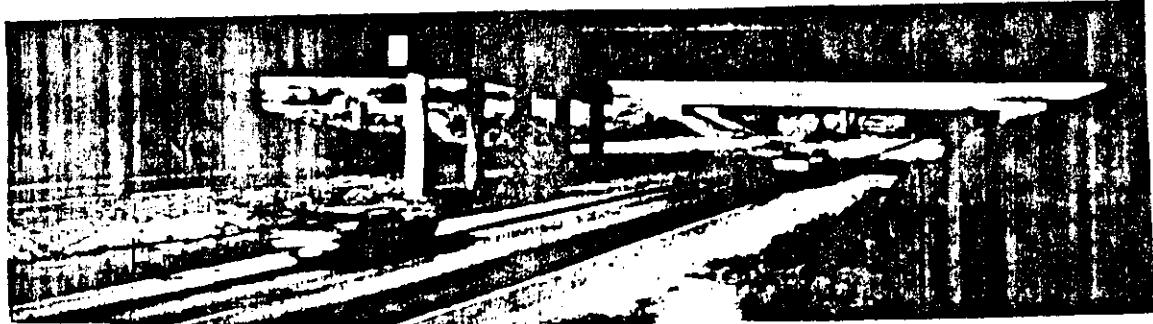


FOTO 1B



FOTO 1C

1.5



FOTO 2A

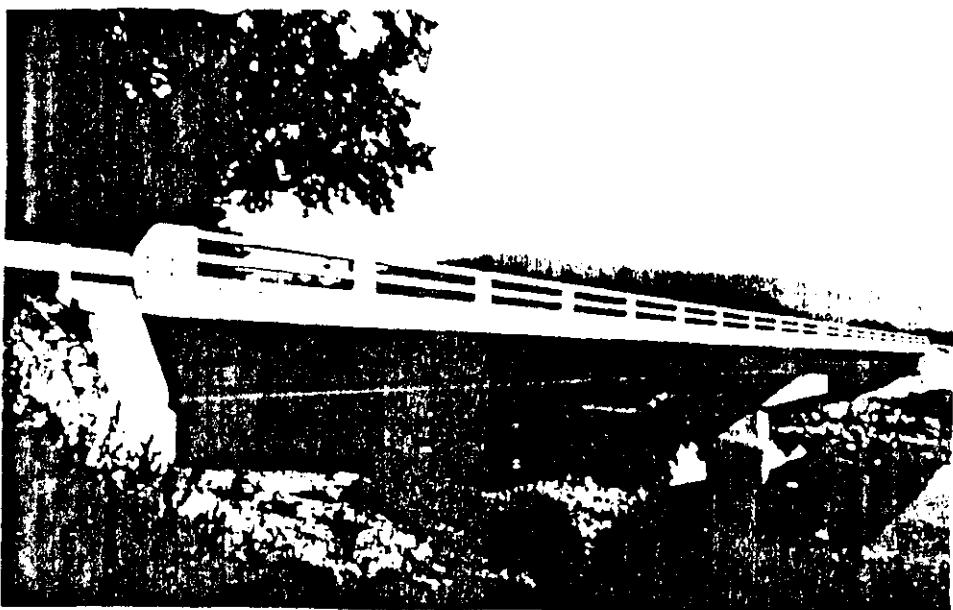


FOTO 2B

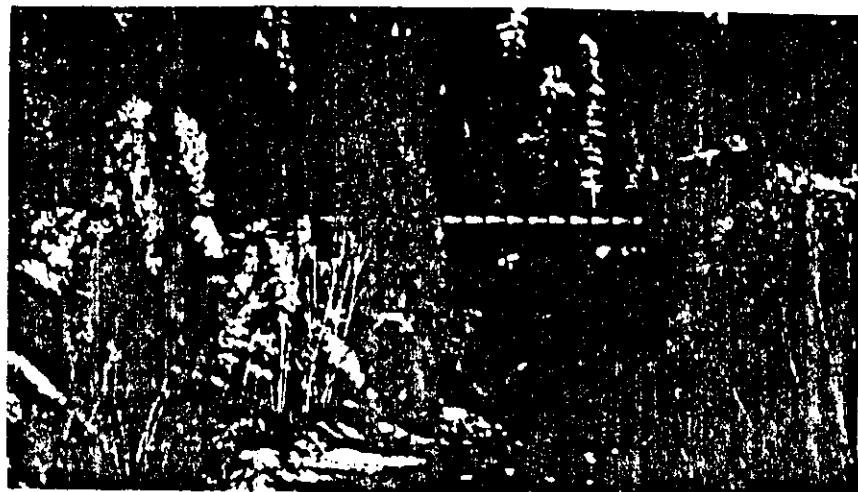


FOTO 2C

## 1.2. Cálculo das ligações com Parafusos de Alta Resistência

Este estudo foi escrito, baseando-se nos livros "Stahlbau" e no livro "Estruturas de Aço, Elementos Básicos", de H. Schulte e T. Yagui.

### 1.2.1. Trabalho do parafuso no momento do aperto da porca.

Em cada parafuso, o esforço de tração  $P_o$ , originado pelo aperto, atua sobre a superfície de contato, através das arruelas e da cabeça ou porca do parafuso.

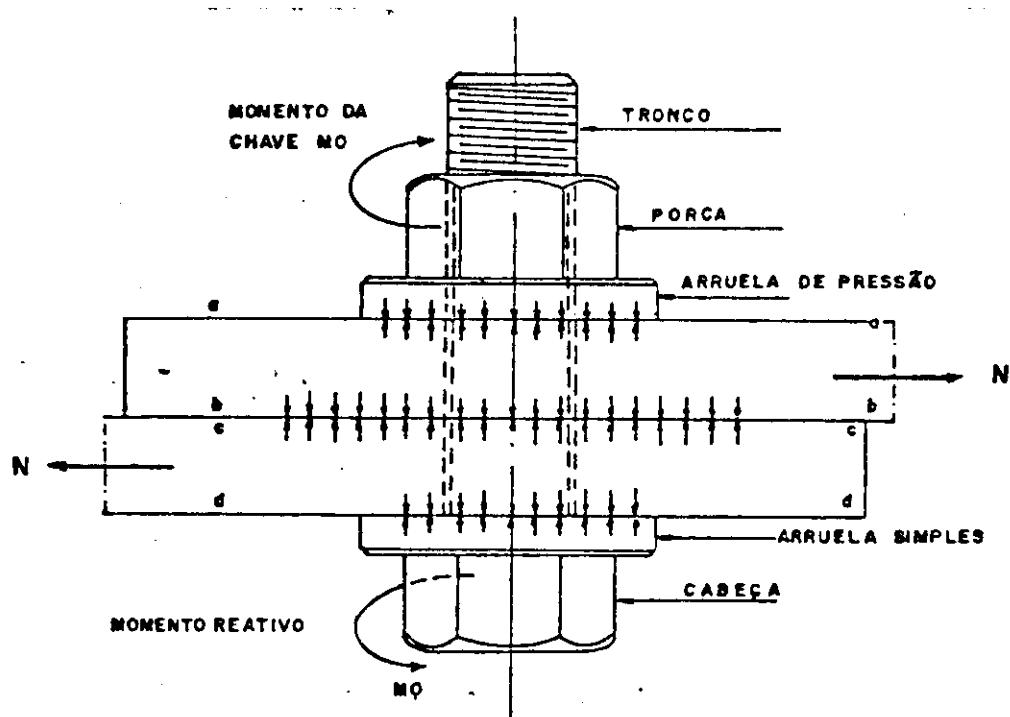


Fig.1.1 Efeito do momento aplicado na porca.

Este esforço de tração  $P_o$  deve ser limitado em função da tensão de escoamento e da área da seção líquida do parafuso.

Nos E.E.U.U. , na maior parte das vezes, se

apertam os parafusos até alcançar a tensão de escoamento no tronco, o que pode resultar vantagem, em particular para con seguir um aperto uniforme sem utilizar aparelhos especiais.

O momento efetivo, que solicita o tronco, alcança no momento do aperto seu valor máximo e diminui depois de ter alcançado o valor de 60% do momento de aperto aplicado.

Como consequência do aperto se obtém na seção do núcleo do parafuso, uma tensão longitudinal:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{S_{liq}} = \frac{4 P_o}{\pi d_{liq}^2}$$

e, uma tensão de cisalhamento devido à torção de :

$$\tau = \frac{0,6 M_o}{W} \quad \text{onde} \quad W = \frac{J_{liq}}{d_{liq}} \times 2$$

$$\tau = \frac{0,6 M_o}{J_{liq} \cdot 2} d_{liq}$$

$$\text{A força } P_o \text{ é igual : } P_o = \frac{M_o}{c \cdot d}$$

onde:  $c = 0,2$  - coeficiente adimensional.

$0,11 - 0,15$  - Classe A

$0,11 - 0,19$  - Classe B

$C = 0,11 \text{ a } 0,19$   
Japão

Neste coeficiente já está considerado o atrito da porca sobre a superfície da rosca e sobre a superfície da rosca e sobre a superfície de apoio simultaneamente.

$d$  = diâmetro nonimal do parafuso.

$M_o$  = momento aplicado na porca

Tem-se então:

$$\bar{\sigma} = \frac{0,6 P_o c d}{J_{liq}} \times \frac{d_{liq}}{2} = \frac{0,6 \cdot P_o \cdot 0,2 \cdot d}{\frac{\pi \cdot d_{liq}^3}{16}}$$

substituindo  $\frac{P_o}{\frac{\pi d_{liq}^2}{4}} = \sigma_o$

$$\bar{\sigma} = \frac{0,6 \cdot \sigma_o \cdot 0,2 \cdot d \cdot 4}{d_{liq}} =$$

$$= 0,48 \sigma_o \cdot \frac{d}{d_{liq}} \approx 0,48 \sigma_o \cdot 1,17 =$$

$$\bar{\sigma} = 0,56 \sigma_o$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \bar{\sigma}^2} \leq \sigma_{lim}$$

$$\sigma_i = \sigma_o \sqrt{1 + 3 \times (0,56)^2} \approx 1,39 \sigma_o \leq \sigma_{lim}$$

A tensão  $\sigma_o$  no tronco do parafuso, devido à tração, na fase final do aperto, não deve ultrapassar o valor:

$$\frac{\sigma_{lim}}{1,39} = 0,72 \sigma_{lim}$$

$$\text{Portanto } P_o \approx 0,72 \sigma_{lim} \cdot S_{liq}$$

Para produzir a tração  $P_o$ , deve-se aplicar, no parafuso, um momento torsor de aperto, cujo valor é

$$M_{\text{aperto}} = P_o \cdot d \cdot c \cdot 1,1$$

A majoração de 10% é adotada para alcançar sempre a tração necessária, que se toma como base para o cálculo, inclusive no caso de máxima imprecisão admissível na chave de aperto.

Na tabela 1.1 encontram-se dados sobre as principais medidas dos parafusos.

TABELA 1.1 ~~Tabela 3.5~~ Dados sobre medidas principais dos parafusos

Diâmetro do tronco "d" em polegadas e em mm	Diâmetro interno da rosca em mm $d_{\text{liq}}$	Área da seção		Relação $d/d_{\text{liq}}$	Diâmetro usual do furo em mm
		bruta S cm <sup>2</sup>	líquida (na rosca) $S_{\text{liq}}$ cm <sup>2</sup>		
1/2"(12,7)	10,8	1,267	0,916	1,17	14,3
5/8"(15,9)	13,6	1,986	1,458	1,17	19,0
3/4"(19,05)	16,56	2,496	2,155	1,15	22,2
7/8"(22,22)	19,48	3,878	2,981	1,14	25,4
1"(25,4)	22,31	5,067	3,910	1,14	28,6

### 1.2.2. Transmissão do esforço pelo atrito

A partir dos valores  $P_o$ , obtidos deste modo, e dos coeficientes de atrito  $\mu$ , obtidos mediante ensaios, calculou-se o esforço " $N_1$ " que um parafuso pode transmitir do elemento I para o elemento II, através do atrito entre as superfícies de contato, mediante a equação:

$$N_{\text{lim}} = \mu \cdot P_o \cdot m \cdot 0,9$$

ou

$$\bar{N}_1 = \frac{\mu \cdot P_o \cdot m}{K_o}$$

onde:

$N_{\text{lim}}$  = capacidade limite de um parafuso.

$\bar{N}_1$  = capacidade admissível de um parafuso, considerando o coeficiente de segurança médio  $K_o$

$\mu$  = coeficiente de atrito que depende do tipo de aço e das condições de limpeza das superfícies em contacto

$P_o$  = força de tração no tronco do parafuso, correspondente a  $0,72 \sigma_e \cdot S_{\text{liq}}$

$\sigma_e$  = tensão de escoamento do material.

$S_{\text{liq}}$  = secção do tronco enfraquecido pela rosca.

$m$  = quantidade de planos de contato entre peças ligadas.

0,9 = coeficiente que preve a relaxação do material do tronco e a acomodação dos elementos ligados.

Os valores dos coeficientes de segurança  $K_o$  médio, no caso de cálculo pelas tensões admissíveis, são dados na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 - Valores do Coeficiente de Segurança médio  $k_o$

Tipo de carregamento	valores do coeficiente $k_o$	
	carregamento por cargas	
	principais	principais e secundárias
Estático	1,40	1,22
Móvel	1,80	1,56

Esses valores representam os coeficientes regulamentados pela norma Alemã (Stalhbau), ajustados ao processo de cálculo do valor de  $\bar{N}_1$ . (Tabela do livro "Estruturas de Aço" de H.S. e T.Y. EESC- 1977)

No valor de  $K_0$  já está incluído o coeficiente de relaxação do material e de acomodação dos elementos.

Nas Normas Alemãs, este coeficiente não é considerado.

A quantidade necessária de parafusos será então:

$$n = \frac{N_{lim}}{N_{1\ lim}} \quad \text{para o caso das tensões limites}$$

$$n = \frac{N}{\bar{N}_1} \quad \text{para o caso das tensões admissíveis.}$$

A distribuição dos parafusos nos elementos ligados deve obedecer as regras estabelecidas para os rebites ou parafusos comuns.

Como foi visto anteriormente, os parafusos de alta resistência devem sofrer um aperto controlado resultante do momento  $M_0$  aplicado nas ligações.

Para executar este aperto controlado são utilizados os torquímetros.

As fotos nº 3A, 3B e 3C mostram a execução do aperto com o torquímetro, e algumas juntas com P.A.R.

Estes torquímetros devem ser aferidos diariamente com aparelhos apropriados.

O aparelho para calibrar o torquímetro é um instrumento hidráulico, que registra o momento aplicado em um medidor.

Comparando-se os valores do medidor do torquímetro e do instrumento hidráulico executa-se a aferição.

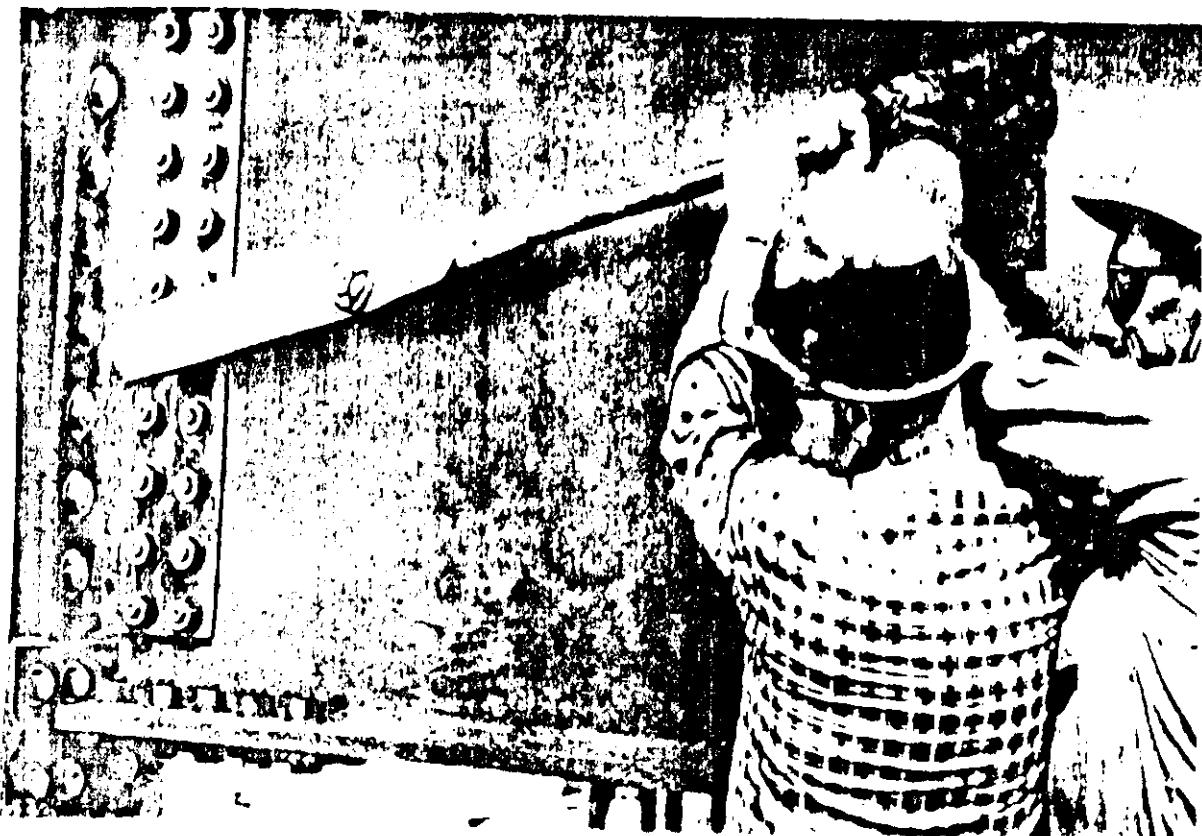


FOTO 3A

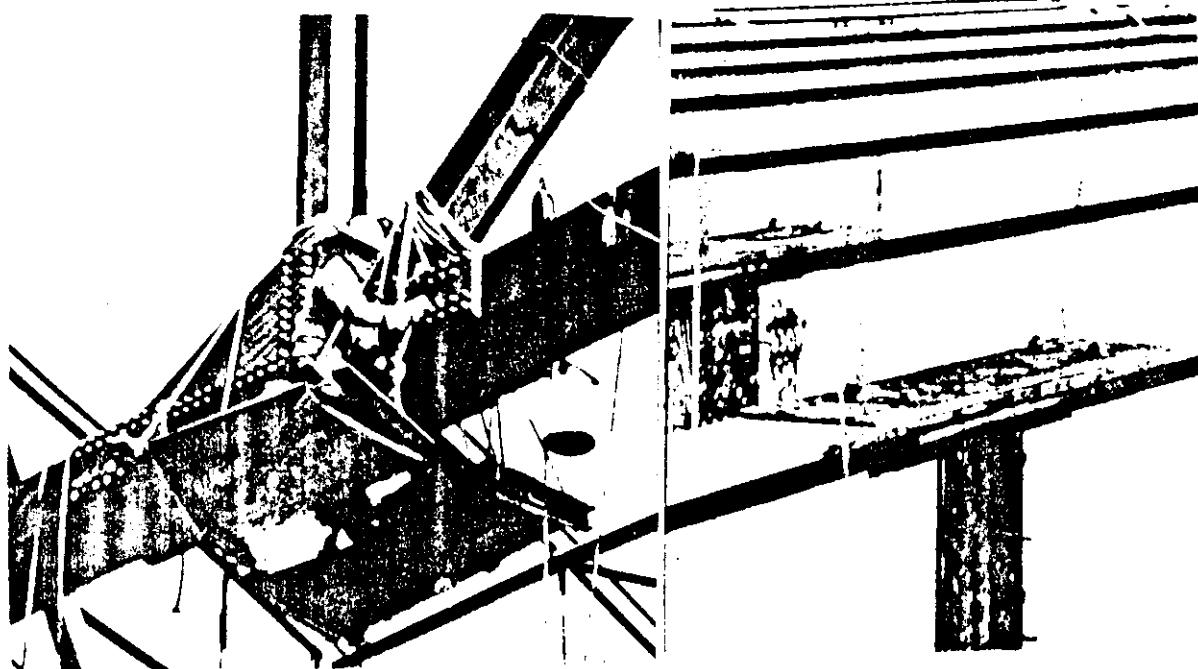


FOTO 3B

FOTO 3C

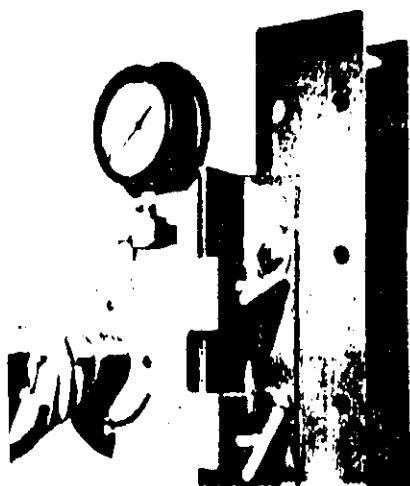


FOTO 4A

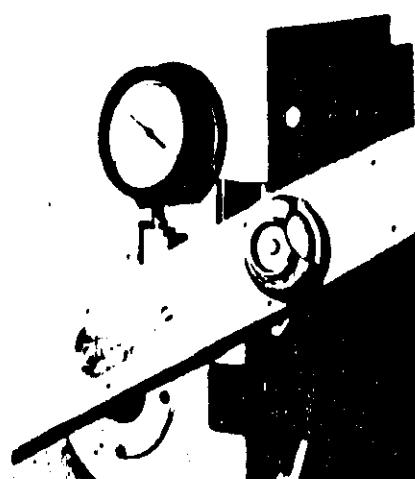


FOTO 4B

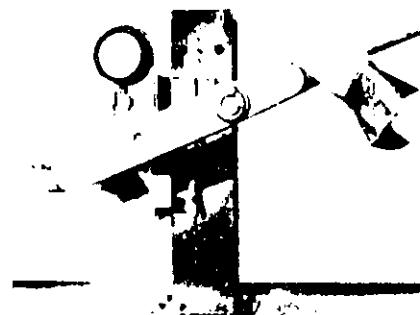


FOTO 4C

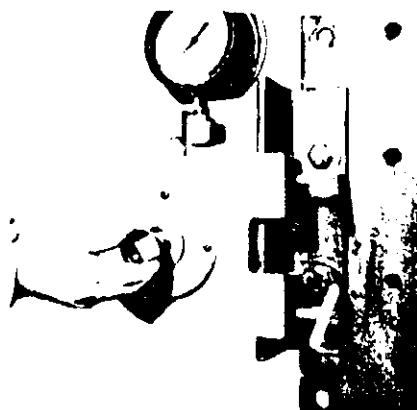


FOTO 5A

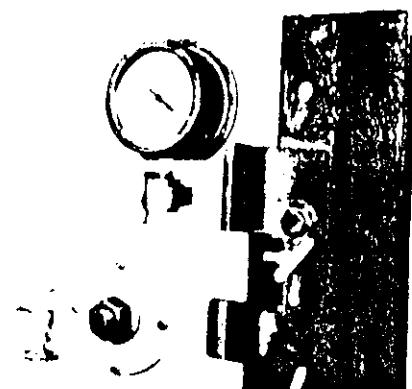


FOTO 5B

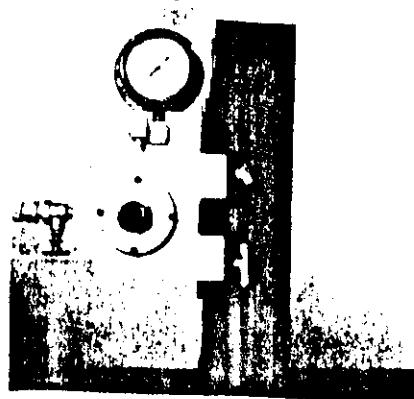


FOTO 5 C

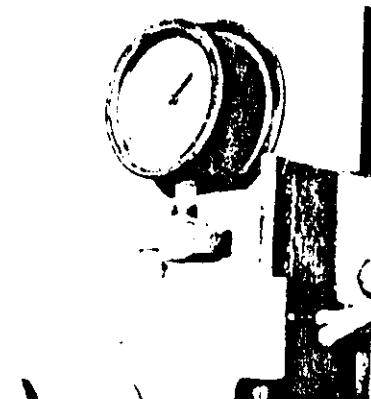


FOTO 5 D

As fotos 4A, 4B e 4C mostram um aparelho de aferição conferindo um torquimetro.

As fotos 5A, 5B, 5C e 5D mostram o aparelho e a colocação do parafuso com a porca e arruela.

A foto 6A mostra a colocação dos parafusos; a 6B e 6C, mostram o aperto com maquinas rosqueadeiras elétricas. A foto 6D sugere a sequência de aperto dos parafusos, mostrando com números a ordem do aperto.

#### 1.2.3. Consideração da resistência adicional ao esmagamento ("Estruturas de Aço", H.S e T.Y.)

A verificação experimental do comportamento dos parafusos de alta resistência permite concluir que uma considerável elevação na capacidade de resistir ao esmagamento nos furos, ocorre após o deslocamento relativo das peças ligadas e o consequente encostamento dos troncos dos parafusos às superfícies desses furos.

Isto é resultante das pressões aplicadas em direções ortogonais, pressão do tronco do parafuso na superfície do furo e pressão transversal resultante do pré-tensionamento do parafuso. Também a resistência por atrito é aumentada, por causa do aumento de espessura das peças unidas nas bordas dos furos, trazendo como consequência um aumento no esforço de pré-tensão dos parafusos.

Este fato pode ser comprovado nos ensaios realizados nesta pesquisa e descritos no capítulo 1.

Em vista desses fenômenos, considera-se razável e a favor da segurança que a capacidade da ligação seja resultante da adição das duas parcelas: a primeira proveniente do atrito entre as superfícies de contato e a segunda correspondente à resistência ao esmagamento da parede do furo. Resultam, portanto para a capacidade de um parafuso.

1.15

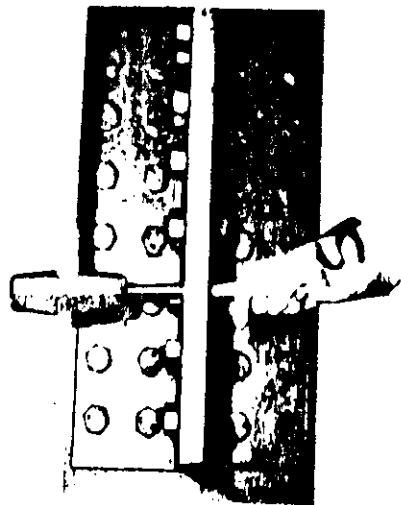


FOTO 6 A



FOTO 6 B

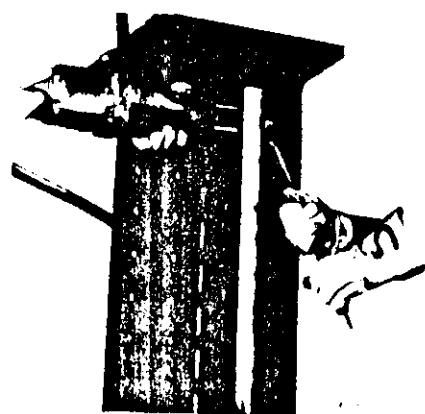


FOTO 6 C

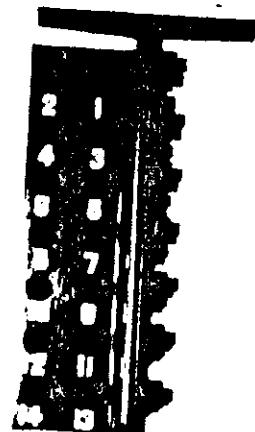
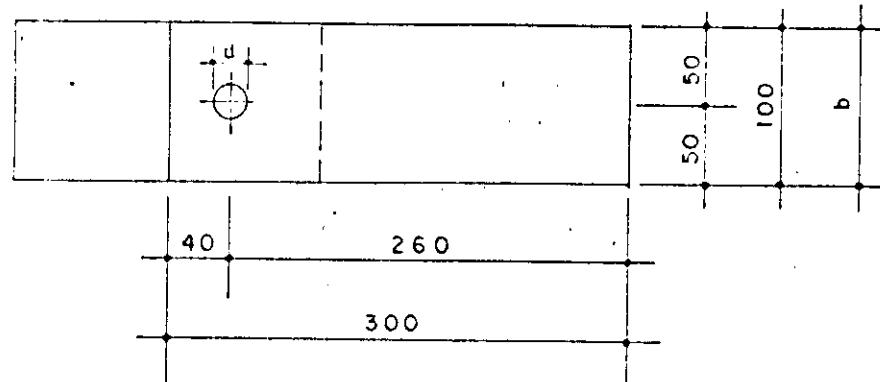


FOTO 6 D

FIG. 1.4



OBS.: OS CORPOS DE PROVA 6-7-8 TEM COMPRIMENTO IGUAL A 200 mm

fig. 1.4

$$N_{1\ lim} = \mu P_0 \cdot m \cdot 0,9 + d \cdot S \cdot \zeta_{esm.lim}^{0,8}$$

ou

$$\bar{N}_1 = \frac{\mu \cdot P_0 \cdot m}{K_0} + d \cdot S \cdot \zeta_{esm} \cdot 0,8$$

sendo o coeficiente 0,8 motivado pela diferença entre diametros do furo e do tronco do parafuso.

### 1.3. Estudo do coeficiente de atrito.

#### 1.3.1. Considerações iniciais.

Como foi mostrado anteriormente, a força transmitida pelo atrito é diretamente proporcional ao coeficiente de atrito entre as peças ligadas.

O coeficiente de atrito depende do tipo de material das peças ligadas e do tipo de limpeza. O material é o aço ASTM A-36. Procurou-se estudar a variação do coeficiente de atrito com vários tipos de limpeza. Esta limpeza tem a finalidade de retirar óleos e graxas que porventura se encontrem sobre a superfície em contato, sem criar uma superfície lisa e polida.

#### 1.3.2. Metodologia Empregada.

##### 1.3.2.1. Descrição das técnicas de ensaio e cálculo dos valores previstos.

Projetaram-se 17 corpos de prova, sendo um com chapa de espessura 3/8", cujo ensaio foi prejudicado na lei

tura, 3 ensaios com chapa de espessura 1/4", e 13 ensaios com chapa de espessura 3/16".

Utilizou-se parafuso de aço A-490 com diâmetro nominal 1/2".

Para o estudo da capacidade da ligação, utilizou-se apenas um (1) parafuso conforme a figura 1.4

Através de ensaio de tração, determinou-se a força de escorregamento e a força de ruptura.

$$\text{Da expressão: } N_{\lim} = \mu \cdot P_0 \cdot m \cdot 0,9$$

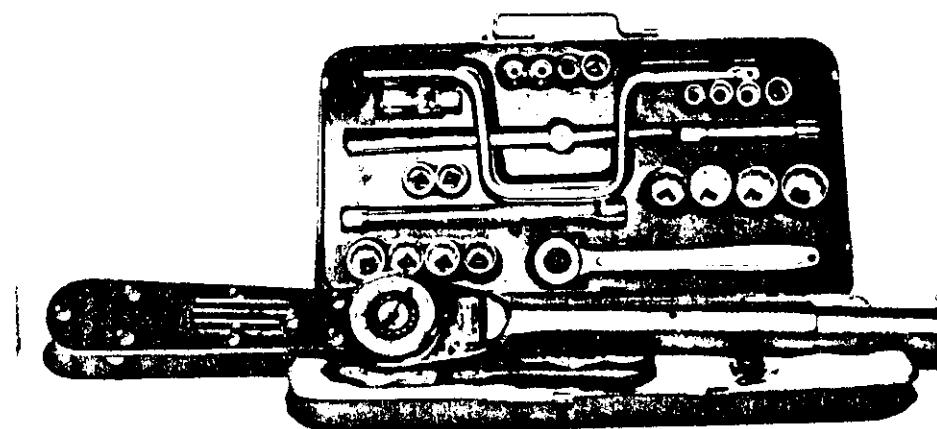
determinou-se  $N_{\lim}$  para cada ensaio, com este valor determinou-se o valor de  $\mu$ , com:

$m = 2$  ( 2 planos de contato).

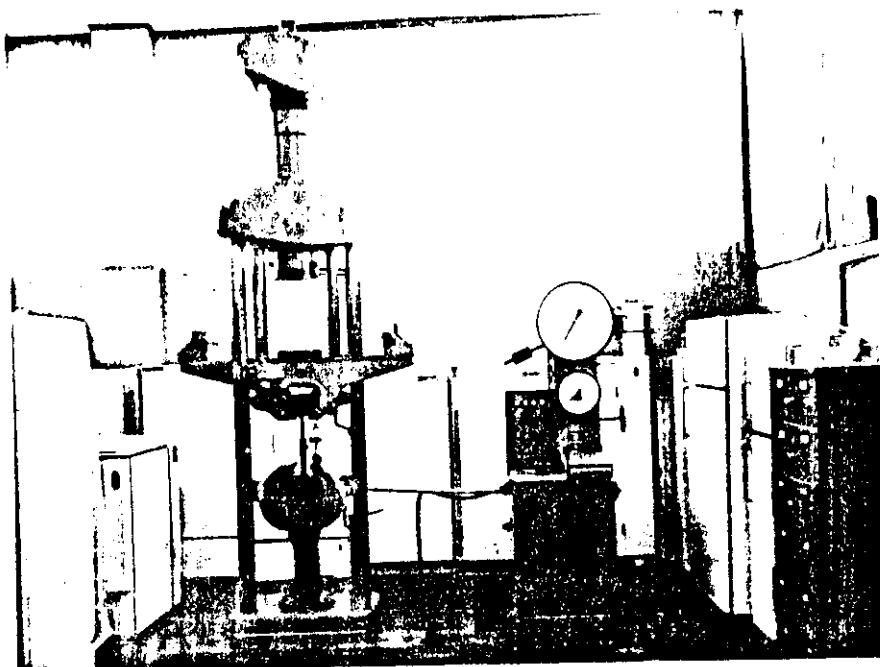
Foram utilizadas ligações com 3 chapas, conforme mostra a figura 1.2

$$P_0 = \frac{M_0}{d.c.1,1}$$

O momento de aperto  $M_0$  foi executado com torquímetro marca GEDORE com capacidade de 80 kgm ou 600 lb pés de torção. Foto 7.



Os corpos de prova foram ensaiados no laboratório das Industrias Pereira Lopes, (I.P.L) em São Carlos, utilizando-se nos ensaios, uma máquina Universal, marca Trebel Werk-Ratingen , modelo UPM 70, com capacidade de 70 toneladas de carga . (Foto 8)



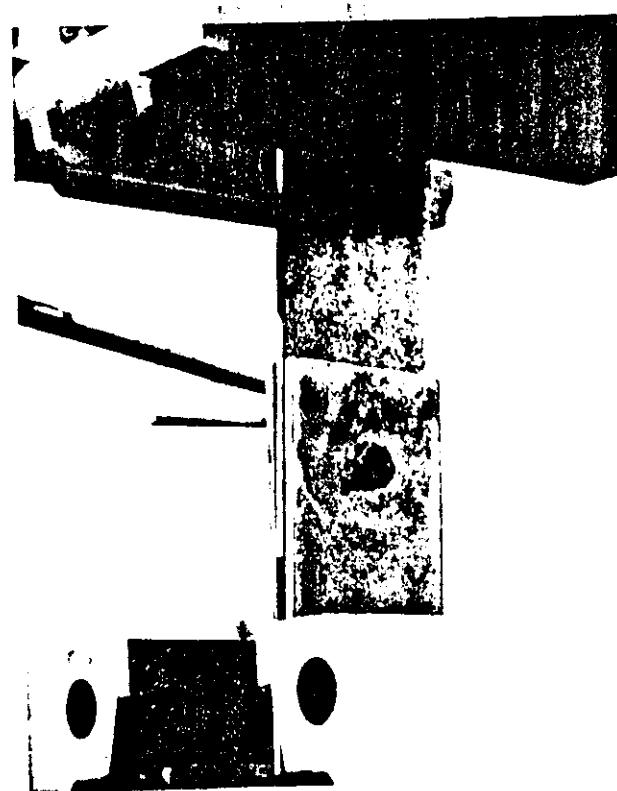
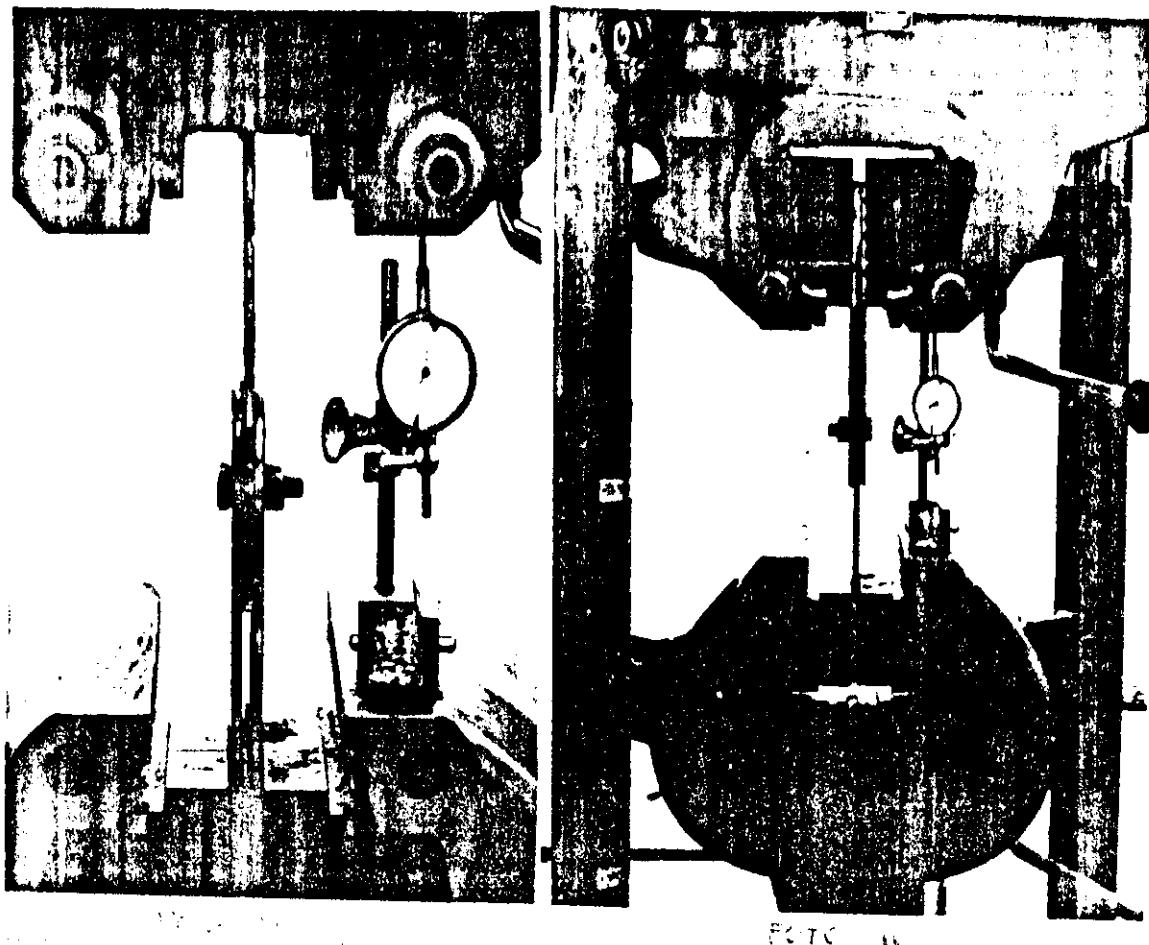
As fotos 9, 10 e 11 mostram um dos ensaios sendo executado, aparecendo o defletômetro utilizado para a leitura das deformações.

Através de gráficos "força x deformação", determinou-se a força de escorregamento e a força de ruptura.

Dos ensaios, além de verificar o funcionamento da ligação utilizando parafuso de alta resistência, determinou-se a variação da força de atrito  $N_{lim}$  com diferentes tipos de limpeza.

Com os resultados dos ensaios estudou-se a contribuição adicional ao esmagamento.

1.19



1.3.2.2. Dados dos corpos de prova.

Os parafusos foram apertados com torque de 17 kgm.

$$P_o = \frac{M_{chave}}{d \cdot c \cdot l,1}$$

$$M_{chave} = 17 \text{ kgm}$$

$$d = \text{diâmetro nominal do parafuso} = 1,27 \text{ cm}$$

$$c = 0,2$$

$l,1$  = coeficiente devido à recristalização do material sob tensão, chegando até a 6%.

$$P_o = \frac{1700}{1,27 \times 0,2 \times 1,1} = 6084 \text{ kg}$$

$$\text{O valor de } P_{o \text{ max}} = s_{liq} \cdot \sigma_o$$

$$P_o = \frac{\pi \cdot d_{liq}^2}{4} \cdot 0,72 \cdot \sigma_e$$

$$d_{liq} = \text{diâmetro interno (na rosca)} = 1,0 \text{ cm}$$

$$\sigma_e = \text{tensão média de escoamento do parafuso} = 11160 \text{ kg/cm}^2 \\ (\text{ver capítulo 2})$$

$$P_{o \text{ máx}} = \frac{\pi \cdot 1,0^2}{4} \times 0,72 \times 11160 = 6310 \text{ kg}$$

$$\text{O coeficiente } \mu = \frac{N_{escor.}}{P_o \cdot m \cdot 0,9}$$

onde  $m = 2$  e  $P_0 = 6084 \text{ kg}$

Os corpos de prova tem as dimensões indicadas na fig. 1.4 e as medições exatas estão indicadas na figura 1.5.

Nesta figura estão indicados a largura do corpo de prova  $b$  em mm, a espessura  $\delta$  em mm, o diâmetro do furo  $d$  em mm, o número de furos, a espessura da chapa em polegada, a área de esmagamento dada por :

$$S_{\text{esm}} = \varnothing \cdot \delta \quad \text{onde} \quad \varnothing_{\text{paraf.}} = 1,27 \text{ cm}$$

No estudo teórico tem-se as seguintes informações para o Aço A-36.

limpeza com jato de areia  $\mu = 0,45$

limpeza com escova de aço  $\mu = 0,35$

sem limpeza.  $\mu = 0,25$

$$N_{\text{escorreg.}} = 0,45 \times 6084 \times 2 \times 0,9 = 4928 \text{ kg} - \text{limpeza com jato de areia.}$$

$$N_{\text{escor.}} = 0,35 \times 6084 \times 2 \times 0,9 = 3832 \text{ kg}, \text{ limpeza com escova de aço.}$$

$$N_{\text{escor.}} = 0,25 \times 6084 \times 2 \times 0,9 = 2738 \text{ kg} - \text{sem limpeza.}$$

Analizando o trabalho conjunto atrito + esmagamento, tem-se:

Para chapa 3/16" ( $\delta = 4,4 \text{ mm}$ )

$$\sigma_{\text{esc.médio}} = 2489 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Ver capítulo 2)}$$

$$\sigma_{\text{esm. lim}} = 2 \times 2489 \times 0,9 = 4480 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \delta_{\min} \cdot \sigma_{\text{esm.lim}} = 1,27 \times 0,44 \times 4480 = 2503 \text{ kg.}$$

fig- 1.5

Nº DO CORPO PROVA	b mm	$\delta$ mm	d mm	Nº DE Furos	ESPESSURA	Semogem g 6 cm <sup>2</sup>	TIPO DE LIMPEZA	F escorregem.	F ruptura	OBSERVACOES
6	100.00	9.5	14.4	1	3/8"	1.21	ESCOVA DE AÇO			D E N S A I D O F O I P R E J U D I C A D O N A L E I T U R A. O C O R R E U E S M A G A M E N T O D A C H A P A
7	100.80	6.2	14.4	1	1/4"	0.79	" " "		5.0	13.6
8	99.74	4.4	14.4	1	3/16"	0.56	" " "		4.9	7.3
34	102.50	4.3	14.4	1	3/16"	0.55	TRICLORETILENO		5.0	8.2
35	100.70	4.4	14.4	1	3/16"	0.56	TRICLOR.+ AC. FOSFÓRICO + ÁGUA		5.2	8.2
36	101.60	4.3	14.4	1	3/16"	0.55	TRICLOR.+ AC. FOSFÓRICO + ÁGUA + DURIDINI (FOSFATO DE FERRO)		5.0	8.0
37	101.40	4.4	14.3	1	3/16"	0.56	GRANALHA DE FERRO N° 20 (GROSSA)		7.6	8.0
38	101.30	4.4	14.4	1	3/16"	0.56	GRANALHA DE FERRO N° 20 (GROSSA)		6.9	8.4
39 A	100.00	4.4	14.4	1	3/16"	0.56	ESCOVA DE AÇO		3.9	8.2
39 B	100.60	4.4	14.4	1	3/16"	0.56	" " "		3.8	8.6
40 A	100.70	6.48	14.3	1	1/4"	0.62	" " "		3.7	16.5
40 B	100.30	6.5	14.3	1	1/4"	0.63	" " "		3.6	17.3
41	100.20	4.3	14.3	1	3/16"	0.55	AREIA FINA		7.8	8.0
43	100.40	4.3	14.3	1	3/16"	0.55	AREIA GROSSA		7.9	8.5
44	101.00	4.4	14.3	1	3/16"	0.56	WHEELABRATOR		4.2	7.6
45	101.00	4.4	14.3	1	3/16"	0.56	A FOGO		4.2	8.4
46	101.00	4.4	14.3	1	3/16"	0.56	DETERGENTE		4.4	7.8

Para chapa 1/4" ( $\delta = 6,4 \text{ mm}$ )

$$\sigma_{\text{esc.médio}} = 3012 \text{ kg/cm}^2 \text{ (ver capítulo 2)}$$

$$\sigma_{\text{esm.lim}} = 2 \times 3012 \times 0,9 = 5421 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \delta_{\min} \cdot \sigma_{\text{esm.lim}} = 1,27 \times 0,64 \times 5421 = 4406 \text{ kg}$$

Valores previstos considerando a resistência adicional ao esmagamento:

Para limpeza com jato de areia.

a) chapa 3/16"  $N_{\lim} = 4928 + 2503 = 7431 \text{ Kg}$

b) chapa 1/4"  $N_{\lim} = 4928 + 4406 = 9334 \text{ kg}$

Para limpeza com escova de aço.

a) chapa 3/16"  $N_{\lim} = 3822 + 2503 = 6.325 \text{ kg}$

b) chapa 1/4"  $N_{\lim} = 3822 + 4406 = 8.228 \text{ kg}$

Sem limpeza

a) chapa 3/16"  $N_{\lim} = 2738 + 2503 = 5241 \text{ kg}$

b) chapa 1/4"  $N_{\lim} = 2738 + 4406 = 7144 \text{ kg}$

Estes valores serão úteis na comparação com o resultado dos ensaios.

#### 1.3.2.3. Resultado dos ensaios.

A apresentação dos resultados dos ensaios foi feita em tabelas para simplificação e maior facilidade de comparação entre eles.

A figura 1.5. apresenta em forma de tabela os dados geométricos dos corpos de prova, os resultados dos ensaios e o tipo de limpeza com que foram submetidas as superfícies em contacto antes do ensaio.

$F_{esc.}$  = valor obtido do ensaio no momento em que ocorreu o deslocamento relativo entre as peças ligadas.

$F_{rupt.}$  = valor obtido do ensaio na ruptura da chapa.

As fotos 12, 13 e 14 mostram os corpos de prova ensaiados.

Os tipos de limpeza utilizados foram:

- a) limpeza com escova de aço
- b) limpeza com jato de areia grossa e areia fina.
- c) limpeza com granalha de aço grossa e fina.
- d) limpeza a fogo.
- e) limpeza com detergente
- f) limpeza com produto químico
  - f.1. tricloretileno
  - f.2. tricloretileno + ácido fosfórico + água.
  - f.3. tricloretileno + ac. fosfórico + agua + duridini (fosfato de ferro).
- g) limpeza no "Whelabrador".

A limpeza com produtos químicos é usada para retirar gorduras e óleos de chapas antes de receber pintura.

O "Whelabrador" é uma máquina que limpa por abrasão e não se aplica às estruturas metálicas.

A limpeza por jateamento foi executada trocando-se o tipo de areia e também utilizando-se granalha de aço.

As peças foram limpas nas Industrias Pereira Lopes em São Carlos.

1.25

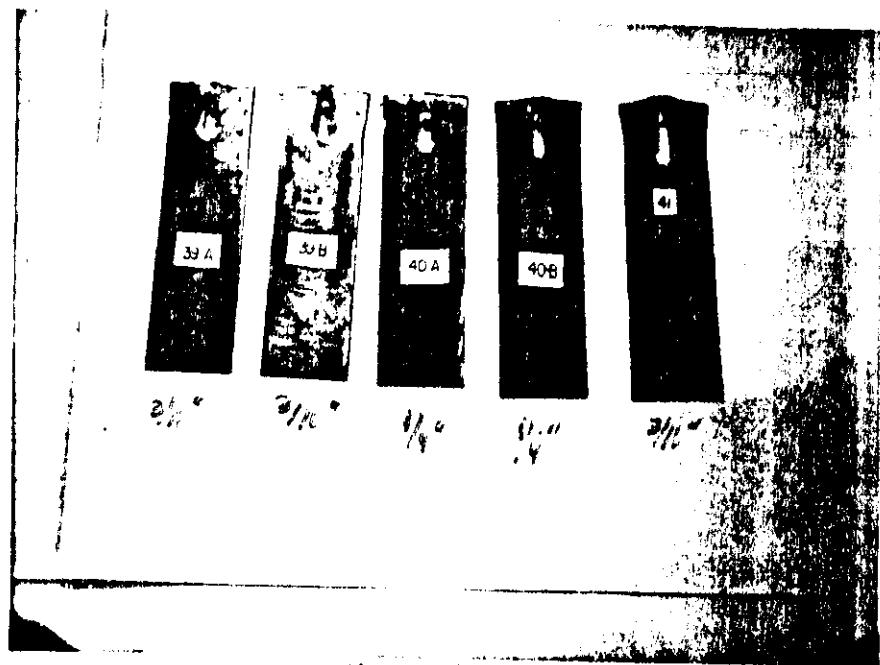


Foto 12

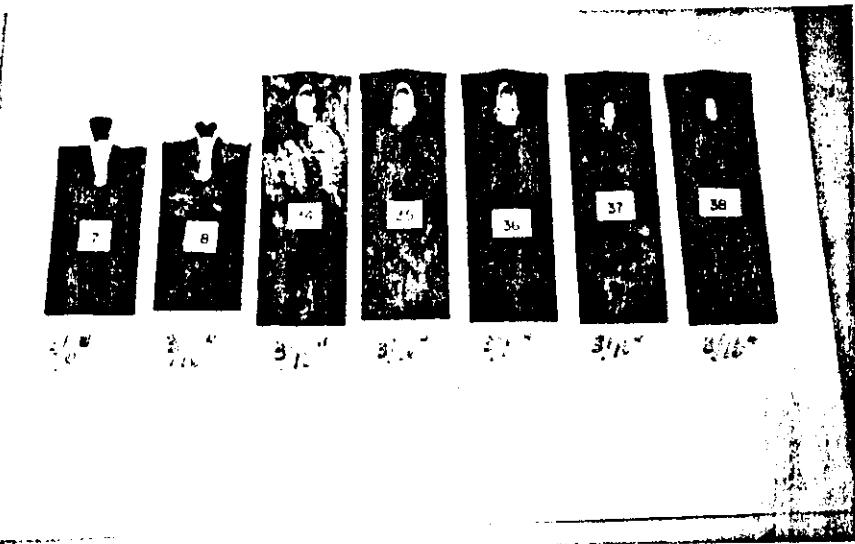


Foto 13

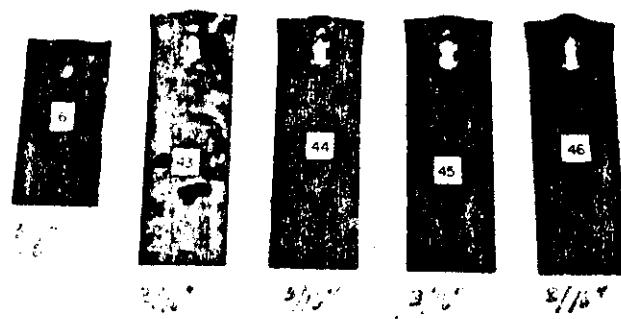


Foto 14

#### 1.4. Considerações Finais.

##### 1.4.1. Determinação do coeficiente de atrito.

$$\mu = \frac{N_{\text{escor}}}{P_0 \cdot m \cdot 0,9} \quad \text{onde } P_0 = 6084 \text{ kg e } m = 2$$

Na figura 1.6. estão os valores dos coeficientes de atrito calculados de acordo com a expressão acima.

Vamos estudar inicialmente as peças limpas com escova de aço.

Baseando-se nestes resultados, calculou-se a média ( $\bar{x}$ ) e o desvio padrão ( $s$ ).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\mu_{\text{medio}} - D.P. \leq \mu_{\text{medio}} \leq \mu_{\text{medio}} + D.P.$$

$$\mu_{\text{medio}} = 0,38 \quad s = 0,06$$

$$0,32 \leq \mu_{\text{medio}} \leq 0,44$$

Abandonando-se os valores fora do intervalo, determinou-se um novo coeficiente de atrito médio.

$$\bar{\mu}_m = 0,35$$

Este valor está igual ao valor recomendado pela bibliografia consultada.

Ao analisarmos o coeficiente de atrito para limpeza com jato de areia, encontramos um coeficiente de atrito muito elevado, mas devido ao pequeno numero de ensaios (2)  $\mu = 0,71$  e  $\mu = 0,72$  não podemos recomendar um coeficiente de atrito maior.

Para tanto seria necessário executar novos ensaios.

Verificou-se que o valor da força de atrito  $N_{lim}$  (Força de escorregamento) nos ensaios com limpeza de escova de aço se aproximou bastante do valor  $N_{lim}$  (teórico) esperado, mostrando que as expressões utilizadas representam bem o funcionamento da ligação com P.A.R.

No caso da limpeza com jato de areia, a experiência mostrou um valor bem maior em relação ao valor teórico. Como foram executados apenas 2 ensaios não se pode tirar dados conclusivos. Conclui-se entretanto que a limpeza com jato de areia é a que produz o melhor efeito para o funcionamento da ligação .

Observou-se que a limpeza com granalha de ferro se aproxima da limpeza com jato de areia.

A limpeza com detergente se comportou melhor que a limpeza com escova de aço. Este tipo de limpeza poderá funcionar, pois retira óleos e graxas das superfícies em contato.

A limpeza "química" deu bons resultados, resistindo cerca de 30 % a mais que o ensaio com limpeza com escova de aço. É um processo que poderia ser utilizado.

A limpeza a fogo deu resultado praticamente igual à limpeza com escova de aço , sendo um processo caro e perigoso. O valor encontrado no ensaio foi bem inferior ao valor esperado  $\mu = 0,44$ .

fig. 1.6

Nº DO CORPO PROVA	TIPO DE LIMPEZA	FORÇA DE ESCORREGIMENTO	FORÇA DE RUPTURA( $F_r$ )	Sesmogram. cm <sup>2</sup>	COEFICIENTE DE ATRITO( $\mu$ )	Nº $\sigma_0^f$ (cm. mm esm)	$\sigma_{lim}^{teórico}$ (kg)	TEÓRICO N.º am. + N.º esm	TEÓRICO N.º am. + N.º esm	N.º am. + N.º esm hor. (mm)
7	1/4"	ESCOVA DE AÇO	5.0	13.6	0.79	0.46	4282	3832	8114	
8	3/16"	" " "	4.9	7.3	0.56	0.45	2508	3832	6340	
39A	3/16"	" " "	3.9	8.2	0.56	0.36	2508	3832	6340	6000
39B	3/16"	" " "	3.8	8.6	0.56	0.35	2508	3832	6340	6500
40A	1/4"	" " "	3.7	16.5	0.82	0.34	4445	3832	8277	8500
40B	1/4"	" " "	3.6	17.3	0.83	0.33	4499	3832	8331	8500
41	3/16"	AREIA FINA	7.8	8.0	0.55	0.71	2464	4928	7392	
43	3/16"	AREIA GROSSA	7.9	8.3	0.55	0.72	2464	4928	7392	
37	3/16"	GRANALHA DE FERRO Nº 60 (FINA)	7.6	8.0	0.56	0.69	2508			
38	3/16"	GRANALHA DE FERRO Nº 20 (GROSSA)	6.8	8.4	0.56	0.62	2508			
45	3/16"	À FOGO	4.2	8.4	0.56	0.38	2508			
46	3/16"	DETERGENTE	4.4	7.8	0.56	0.40	2508			
34	3/16"	TRICLORETIENO	5.0	8.2	0.55	0.46	2464			
35	3/16"	TRICLORETIENO + AC. FOSFÓRICO + ÁGUA	5.2	9.2	0.56	0.47	2508			

#### 1.4.2 - Considerações da resistência adicional ao esmagamento

Conhecendo-se o coeficiente de atrito para limpeza das peças ligadas com escova de aço, foram analisados os corpos de provas - 39-A, 39-B, 40-A e 40-B, indicados na figura 1.6.

Observa-se que os valores para  $N_{\text{atrito}} + N_{\text{esm}}$ , obtidos nos ensaios aproximam-se bastante dos valores teóricos previstos.

Na figura 1.6, a coluna indicada com  $\Delta(\text{mm})$  representa o alongamento correspondente à leitura do esforço  $N_{\text{atrito}} + N_{\text{esm}}$ .

Para limpeza com jato de areia, os valores encontrados para a força de escorregamento apenas, já são superiores ao valor teórico  $N_{\text{atrito}} + N_{\text{esm}}$ .

Conclui-se portanto, que as expressões utilizadas representam bem o funcionamento da ligação.

## 2.1

### CAPITULO 2 - MATERIA PRIMA.

#### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.

Este capítulo tem a finalidade de descrever os materiais utilizados nas experiências efetuadas.

As propriedades químicas e mecânicas dos parafusos e chapas utilizados, são especificados neste capítulo. Algumas experiências foram feitas para a determinação da tensão de escoamento e tensão de ruptura desses materiais.

Foram incluídas, neste capítulo, as especificações americanas para os dois tipos de parafusos utilizados em ligações com parafusos de alta resistência.

Dois tipos de parafusos de alta resistência são especificados pela ASTM (American Society for Testing and Materials), com as designações de A-325-71 e A-490-71. O número seguinte ao da designação indica o ano da adoção original ou, no caso de revisão, o ano da última revisão.

O Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints of the Engineering Foundation em 04.02.76, aprovou "Especificações para ligações estruturais usando parafuso A 325 ou A 490". Este trabalho foi endossado pelo American Institute of Steel Construction e pelo Industrial Fastener Institute.

Este trabalho figura na bibliografia, não sendo incluído neste capítulo.

#### 2.2. Especificações para parafuso de alta resistência A-325

No lugar de um tipo de parafuso, esta especificação atualmente dá 3 tipos:

Tipo 1. É o original parafuso médio-carbono, como tem sido utilizado há anos.

Tipo 2. É um novo, baixo-carbono, martensita parafuso de aço.

Tipo 3. Cobre cinco classes de parafusos com características desbotadas.

Outras significativas mudanças são:

1. aceitação de banho quente galvanizado em parafusos, porcas e arruelas
2. O uso obrigatório de tratamento a quente das porcas em aplicações galvanizados.
3. Introdução de controle de qualidade obrigatório, procedimento de lote-identificação.

Estas especificações abrangem exigências químicas e mecânicas, de vários tipos de parafusos de aço temperado e encruado, conhecidos como "parafusos de alta resistência.



Os vários tipos de parafusos abrangidos nesta especificação são:

Tipo 1 - Parafuso com aço de médio carbono, de diâmetro  $1/2"$  a  $1\frac{1}{2}"$ .

Tipo 2 - Parafusos feitos com o que é geralmente conhecido como aço baixo-carbono martensita, de diâmetros  $1/2"$  a  $1"$ .

Tipo 3 - Parafusos de  $1/2"$  a  $1\frac{1}{2}"$  tendo resistência à corrosão atmosférica e desbotamento, e caracte-

## 2.3

risticas comparadas com as dos aços enquadrados na ASTM Specification A-588.

Porcas e arruelas usadas justapostas com estes parafusos, têm também resistência à corrosão atmosférica e características de desbotamento.

### 2.2.1. Material e manufatura dos parafusos ASTM A-325 .

O aço para parafusos, porcas e arruelas planas, pode ser feito em fornos soleira aberta, oxigênio básico ou forno elétrico.

Os parafusos serão tratados termicamente por resfriamento em meio líquido, partindo de uma temperatura acima da temperatura mínima de 800° F. (427° C).

A rosca dos parafusos pode ser cortada ou laminada.

As arruelas devem ser de preferência totalmente temperadas e revenidas. As arruelas também podem ser fornecidas carbonizadas, temperadas e revenidas.

### 2.2.2. Especificações químicas para parafusos ASTM A-325.

Os parafusos, porcas e arruelas devem estar dentro das exigências da composição química mostradas nas tabelas 2.1 e 2.2.

A verificação da análise pode ser feita em amostra do material acabado representando cada lote de parafusos, porcas e arruelas. A composição química assim determinada, deve estar dentro das exigências das tabelas 2.1. e 2.2, exceto quando o material resulfurizado não é objeto de rejeição, baseando-se na análise de verificação de enxofre.

TABELA 2.1 — Exigências químicas para parafusos, porcas e arruelas do TIPO 1 e TIPO 2.

ELEMENTO	PARAFUSOS				PORCAS		ARRUELAS			
	TIPO 1		TIPO 2				TEMPERADOS E REVENIDOS		CARBONIZADOS	
	ANÁLISE COLHIDA	ANÁLISE VERIFICADA	ANÁLISE COLHIDA	ANÁLISE VERIFICADA	ANÁLISE COLHIDA	ANÁLISE VERIFICADA	ANÁLISE COLHIDA	ANÁLISE VERIFICADA	ANÁLISE COLHIDA	ANÁLISE VERIFICADA
CARBONO % MIN.	0,30	0,27	0,15 a 0,23	0,13 a 0,25	—	—	—	—	—	—
MANGANES % MIN.	0,50	0,47	0,70	0,67	—	—	—	—	1,0 max.	1,0 max
FÓSFORO % MAX.	0,040	0,048	0,040	0,048	0,120	0,128	0,040	0,050	0,040	0,050
ENXOFRE % MAX.	0,050	0,058	0,050	0,058	0,23	—	0,050	0,060	0,050	0,060
BORO % MIN.	—	—	0,0005	0,0005	—	—	—	—	—	—

OBS: — O material usado para produção de arruelas carbonizadas não devem ter mais do que 0,25 % de carbono.

### 2.2.3. Exigências mecânicas para A-325 .

Os parafusos não deverão exceder à dureza máxima especificada na tabela 2.3. Parafusos que são curtos para testes de tração, devem ter ou exceder à dureza mínima especificada na tabela 2.3.

Parafusos de 1 1/8" e menores em diâmetro, devem ser testados em tamanho natural e devem satisfazer as exigências de resistência à tração e carga de prova alternada especificadas na tabela 2.4.

Parafusos de 1 1/4", 1 3/8" e 1 1/2" de diâmetro, devem ser testados preferivelmente em tamanho natural, e quando assim testados, devem satisfazer as exigências de resistência à tração e carga de prova ou carga de prova alternada especificadas na tabela 2.4. Entretanto, quando o equipamento de teste necessário para tal não é disponível, esses parafusos deverão cobrir as exigências da tabela 2.5 para corpo de prova usinado.

TABELA 2.2 — Exigências químicas para parafusos, porcas e arruelas do TIPO 3.

ELEMENTO		COMPOSIÇÃO %					TIPO 3 PORCA	TIPO 3 ARRUELA		
		PARAFUSO TIPO 3								
		A	B	C	D	E				
CARBONO	ANÁLISE COLHIDA	0,33 - 0,40	0,38 - 0,48	0,15 - 0,25	0,15 - 0,25	0,20 - 0,25	—	—		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,31 - 0,42	0,36 - 0,50	0,14 - 0,26	0,14 - 0,26	0,18 - 0,27	—	—		
MANGANES	ANÁLISE COLHIDA	0,90 - 1,20	0,70 - 0,90	0,80 - 1,35	0,40 - 1,20	0,60 - 1,00	—	—		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,86 - 1,24	0,67 - 0,93	0,76 - 1,39	0,36 - 1,24	0,56 - 1,04	—	—		
FÓSFORO	ANÁLISE COLHIDA	0,040 max.	0,06 - 0,12	0,035 max.	0,040 max.	0,040 max.	0,07 - 0,15	0,040 ma		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,045 max.	0,06 - 0,125	0,040 max.	0,045 max.	0,045 max.	0,07 - 0,155	0,045 ma		
ENXOFRE	ANÁLISE COLHIDA	0,050 max.	0,050 max.	0,040 max.	0,050 max.	0,040 max.	0,050 max.	0,050 ma		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,055 max.	0,055 max.	0,045 max.	0,055 max.	0,045 max.	0,055 max.	0,055 max		
SILICIO	ANÁLISE COLHIDA	0,15 - 0,30	0,30 - 0,50	0,15 - 0,30	0,25 - 0,50	0,15 - 0,30	0,20 - 0,90	0,15 - 0,30		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,13 - 0,32	0,25 - 0,55	0,13 - 0,32	0,20 - 0,55	0,13 - 0,32	0,15 - 0,95	0,13 - 0,32		
COBRE	ANÁLISE COLHIDA	0,25 - 0,45	0,20 - 0,40	0,20 - 0,50	0,30 - 0,50	0,30 - 0,60	0,25 - 0,55	0,25 - 0,4		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,22 - 0,48	0,17 - 0,43	0,17 - 0,53	0,27 - 0,53	0,27 - 0,63	0,22 - 0,58	0,22 - 0,41		
NIQUEL	ANÁLISE COLHIDA	0,25 - 0,45	0,50 - 0,80	0,25 - 0,50	0,50 - 0,80	0,30 - 0,60	1,00 max.	0,25 - 0,45		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,22 - 0,48	0,47 - 0,83	0,22 - 0,53	0,47 - 0,83	0,27 - 0,63	1,03 max.	0,22 - 0,48		
CROMO	ANÁLISE COLHIDA	0,45 - 0,65	0,50 - 0,75	0,30 - 0,50	0,50 - 1,00	0,60 - 0,90	0,30 - 1,25	0,45 - 0,61		
	ANÁLISE VERIFICADA	0,42 - 0,68	0,47 - 0,83	0,27 - 0,53	0,45 - 1,05	0,55 - 0,95	0,25 - 1,30	0,42 - 0,61		
VANADIO	ANÁLISE COLHIDA	—	—	0,020 min.	—	—	—	—		
	ANÁLISE VERIFICADA	—	—	0,010 min.	—	—	—	—		
MOLIBDENO	ANÁLISE COLHIDA	—	0,06 max.	—	0,10 max.	—	—	—		
	ANÁLISE VERIFICADA	—	0,07 max.	—	0,11 max.	—	—	—		
TITANIO	ANALISE COLHIDA	—	—	—	0,05 max.	—	—	—		
	ANALISE VERIFICADA	—	—	—	—	—	—	—		

OBS.: A,B,C,D e E são classes de materiais usados para parafusos do tipo 3.

Porcas e arruelas podem também ser feitas por qualquer das classes de materiais de parafusos testados acim

Porcas de 1 1/8" e bitolas menores, devem corresponder à carga de prova de porcas especificadas na tabela 2.6. A dureza não deve exceder a 325 BRINELL.

TABELA 2.3 — Dureza exigida para parafusos.

TAMANHO DO PARAFUSO	NÚMERO DE DUREZA			
	BRINELL		ROCKWELL C	
	min	máx	min.	máx.
1/2" até 1" inclusive	241	331	23	35
1 1/8" até 1 1/2" inclusive	223	293	19	31

TABELA 2.4 — Tração exigida para parafusos de tamanho natural.

DIÂMETRO NOMINAL	ÁREA DE SOLICITAÇÃO cm. <sup>2</sup>	CARGA DE TRAÇÃO MIN. Kg.	PROVA DE CARGA MET. DE MEDIDAÇÃO COMPRIMENTO Kg.	PROVA DE CARGA ALTERNA MET. DE GRAU MIN. Kg.
1/2" 13 F/P	0,916	7.730	5.470	5.920
5/8" 11 F/P	1,458	12.290	8.710	9.430
3/4" 10 F/P	2,155	18.190	12.880	13.920
7/8" 9 F/P	2,981	25.150	17.800	19.280
1" 8 F/P	3,909	32.980	23.360	25.290
1 1/8" 7 F/P	4,922	36.330	25.600	28.030
1 1/8" 8 F/P	5,097	37.620	26.510	29.030
1 1/4" 7 F/P	6,251	46.130	32.520	35.610
1 1/4" 8 F/P	6,451	47.630	33.570	36.740
1 3/8" 6 F/P	7,451	55.020	38.760	42.430
1 3/8" 8 F/P	7,955	58.740	41.390	45.300
1 1/2" 6 F/P	9,064	66.900	47.170	51.620
1 1/2" 8 F/P	9,626	71.080	50.080	54.820
COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5

$$A_s = 0,7854 \left[ (D - \frac{0,9743}{n}) \right]^2$$

onde  $A_s$  = área de solicitação

$D$  = bitola nominal do parafuso e  $n$  = fios por cm.

OBS:— A tabela 2.4 é dada pela ASTM com as seguintes unidades:—

Área de solicitação em pol.<sup>2</sup>; Esforços em lb. e  $n$  = fios por polegada

As tensões tabeladas são baseadas no seguinte:—

DIAM. PARAFUSO	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5
1/2" até 1" inclusive	8.440 Kg/cm <sup>2</sup>	5.980 Kg/cm <sup>2</sup>	6.470 Kg/cm <sup>2</sup>
1 1/8" até 1 1/2" inclusive	7.380 Kg/cm <sup>2</sup>	5.200 Kg/cm <sup>2</sup>	5.700 Kg/cm <sup>2</sup>

Porcas de 1 1/4", 1 3/8" e 1 1/2" de diâmetro de preferência devem corresponder as exigências de prova especificada na tabela 2.6, mas se o equipamento para este tipo de teste não tem capacidade suficiente, a dureza das peças devem corresponder as especificações da tabela 2.6 e sua dureza não deve ultrapassar a 325 BRINELL.

TABELA 2.5— Resistencia exigida para corpos de prova usinados de parafusos.

BITOLA 1 1/4", 1 3/8", 1 1/2"	RESISTENCIA A TRAÇÃO MIN. 7.380 Kg/cm <sup>2</sup>	LIMITE DE ESCOAMENTO DESVIO 0,2% 5.700 Kg/cm <sup>2</sup>	ALONGAMENTO 5 cm. MIN.% 14	REDUÇÃO DE ÁREA MIN.% 35
----------------------------------	---	--	-------------------------------------	-----------------------------------

TABELA 2.6— Carga de prova e dureza exigida para porcas.

DIÂMETRO NOMINAL	CARGA DE PROVA MIN. Kg	DUREZA BRINELL	
		MÍNIMO	MÁXIMO
1/2" 13 F/P	9.270	—	352
5/8" 11 F/P	14.760	—	"
3/4" 10 F/P	21.820	—	"
7/8" 9 F/P	30.190	—	"
1" 8 F/P	39.580	—	"
1 1/8" 7 F/P	49.850	—	"
1 1/8" 8 F/P	51.620	—	"
1 1/4" 7 F/P	63.280	143	"
1 1/4" 8 F/P	65.320	"	"
1 3/8" 6 F/P	75.430	"	"
1 3/8" 8 F/P	80.560	"	"
1 1/2" 6 F/P	91.760	"	"
1 1/2" 8 F/P	97.430	"	"

Obs.: Baseado em 10.120 Kg/cm<sup>2</sup> de tensão no teste de mandril, ou teste do parafuso.

#### 2.2.4. Dimensões.

Parafusos com porcas sextavadas, devem ser de corpo inteiro, de acordo com as dimensões para parafusos de estrutura metálica sextavados especificados na AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR SQUARES AND HEX BOLTS AND SCREWS.

Quando não especificado, as porcas devem ter dimensões para porcas sextavadas, semi-acabadas tipo pesado, especificadas nas Normas Americanas para parafusos e porcas quadrados e sextavados (ANSI B18.2)

As roscas devem ser da série unificada grossa (UNC) de acordo com as especificações na Norma Americana para rosca unificada grossa de parafusos ANSI (B 1.1) e devem ter as tolerâncias de classe 2B para porcas e 2 A para parafusos.

As dimensões das arruelas serão conforme a última publicação da Especificação de Juntas de Estruturas, usando parafusos ASTM A 325, publicado pelo conselho de pesquisas de juntas de Estruturas Metálicas e parafuso da Fundação de Engenharia. Quando especificados, arruelas redondas serão fornecidas.

#### 2.2.5. Método de Teste.

Os testes serão conduzidos de acordo com o suplemento III do ASTM método e definições A370 para testes mecânicos de Produtos de Aço.

Para os testes de tração a determinação da carga de prova é de preferência conduzida de acordo com o Método 1, medida de comprimento, do suplemento III do método A 370.

Parafusos testados em tamanho natural, serão testados de acordo com método de teste de cunha, descrito na secção S11.1.5 do suplemento III do método A 370.

A fratura deve ocorrer no corpo ou na rôsca do parafuso sem ocorrer qualquer fratura na junção da cabeça com o corpo.

A velocidade do teste é determinada usando-se um cabeçote de curso livre, deve ser no máximo 1/8" por minuto para determinação da carga de prova do parafuso, e no máximo 1" por minuto para determinação da resistência à tração do parafuso e determinação de carga de prova para porca.

Os parafusos galvanizados podem ser colocados na junta de aço e montados com arruelas galvanizadas e porcas galvanizadas.

#### 2.2.6. Número de teste e reteste.

As exigências destas especificações devem ser observadas pelo fabricante continuamente durante a produção em massa por meio de amostragem, para assegurar normalmente que o material controlado esteja dentro do limite especificado. Testes adicionais de remessas, individuais de material não são normalmente necessários.

O fabricante deverá fornecer um certificado de teste mecânico para cada bitola, caso seja solicitado no pedido.

Todos os parafusos podem ser testados previamente à expedição de acordo com uma ou duas qualidades garantidas nos procedimentos descritos como : "Método do lote produção" e "Método do lote expedição", respectivamente.

Se qualquer amostra apresentar defeito de usinagem, ela deverá ser substituída por outra.

No caso de uma amostra não satisfazer as exigências de qualquer teste especificado, deverá ser testado para a mesma propriedade, o dobro de número dessa amostra e a nova amostra deverá satisfazer às especificações.

#### 2.2.7. "Método do Lote Produção.

Todos os parafusos devem ser produzidos de acordo com o lote, com uma identificação de controle de qualidade assegurado no planejamento.

Para todo lote produção, o minimo número de testes de todas as propriedades exigidas deve ser o seguinte .

NÚMERO DE PEÇAS NO LOTE - PRODUÇÃO	NUMERO DE AMOSTRAS
A TÉ 800	1
801 a 8.000	2
8.001 a 35.000	3
35.001 a 150.000	8
ACIMA DE 150.001	13

#### 2.2.8. "Método do lote-expedição"

No processo de inspeção, toda operação de fabricação, tratamento e armazenagem dos parafusos fabricados devem estar de acordo com a prática da fabricação individual.

Antes da embalagem dos parafusos para expedição, o fabricante deve fazer testes de parafusos, tomando as amostras ao acaso de todo "lote-expedição". O "lote-expedição" tem a intenção de selecionar o teste de amostra, e definir qual a quantidade de parafusos de mesmo diâmetro nominal e de mesmo comprimento nominal que são necessários para preencher as exigências de uma ordem de compra.

O fabricante deve fazer testes de carga de prova, teste de tensão, e dureza de todo lote de parafusos.

Para cada lote expedição, o minimo número de testes de cada propriedade exigido deve ser o seguinte .

NÚMERO DE PEÇAS NO LOTE - EXPEDIÇÃO	NÚMERO DE AMOSTRAS
ATE 150	1
151 a 280	2
281 a 600	3
501 a 1.200	5
1.201 a 3.200	8
3.201 a 10.000	13
ACIMA DE 10.001	20

#### 2.2.9. Marcação.

Todos os parafuso, tipo 1, 2 e 3 devem ser marcados A 325 e devem também ser marcados com um simbolo de identificação de fábrica.

Adicionalmente, os parafusos tipo 1 podem, dependendo do fabricante, ser marcados com 3 linhas radiais formando 120° entre eles.

Adicionalmente, os parafusos tipo 2 devem ser marcados com 3 linhas radiais separados de 60°

Adicionalmente os parafusos tipo 3 podem ter a marca A 325 sublinhada, e o fabricante poderá ter outra marca distinta, indicando qual a resistência do parafuso à corrosão atmosférica e ao tipo de desbotamento.

Todas as marcas devem ser localizadas no topo da cabeça do parafuso e podem ser feitas por saliências ou impressão, de acordo com o fabricante.

Porcas sextavadas, semi acabadas tipo pesada devem ser marcadas em uma das faces com 3 circunferências espaçadas.

As porcas sextavadas tipo pesada, conforme as exigências levam a marca "2" ou "2H" das especificações pa-

ra aço carbono ou aço liga para porcas e parafusos de serviço de alta pressão e alta temperatura (ASTM A 194) e podem ser fornecidas como alternativa.

Essas porcas levam a marca 2 ou 2H e o símbolo do fabricante.

#### 2.2.10. Inspeção e Rejeição.

No caso de exigência de inspeção pelo comprador as condições do mesmo podem ser as seguintes:

O inspetor do comprador deverá ter livre acesso a qualquer dependência da fábrica que envolve o processo de produção do material de acordo com as especificações feitas em contrato.

O fabricante deverá fornecer ao inspetor todas as facilidades racionais demonstrando que o material está sendo fornecido de acordo com as especificações.

Todos os testes (excepto a análise produção) e a inspeção devem ser feitos no lugar da fabricação previamente ao embarque, toda a inspeção deverá ser feita de forma a não interferir com as operações de trabalho.

Quando não especificadas quaisquer rejeições baseando-se nos testes especificados, serão relatadas ao fabricante dentro de um prazo de 30 dias úteis a partir da recepção da amostra pelo comprador.

#### 2.3. Especificações para parafusos de alta resistência A490.

Esta especificação abrange as exigências químicas e mecânicas para parafusos de aço liga temperado e revenido de diâmetro 1/2" até 1 1/2".

Estes parafusos são destinados para o uso em juntas de Estruturas que são feitas de acordo com as especificações para Juntas de Estruturas utilizando-se parafusos ASTM A 325 ou A 490, publicado pelo Conselho de Pesquisa de Juntas Rebitadas e parafusos da Fundação de Engenharia.

As porcas adequadas são as de grau 2H e estão especificadas nas especificações ASTM A-194 de porcas de Aço Carbono Aço Liga para parafusos de alta resistência e alta temperatura de trabalho e grau DH descrito na especificação ASTM A 563 de Porcas de Aço Carbono.

As arruelas lisas adequadas, são temperadas e revenidas (não carbonetadas) como descritas na Especificação ASTM A 325 para parafusos de alta resistência para juntas de Estruturas de Aço, incluindo porcas e arruelas lisas temperadas adequadas.

Estas especificações determinam que parafusos sextavados pesados e que porcas sextavadas pesadas devem ser fornecidos, a menos que outras exigências dimensionais estejam estipuladas no pedido. As dimensões das arruelas estão limitadas pelas especificações para juntas estruturais usando-se parafusos A 325 ou A 490.

#### 2.3.1. Definições.

As descontinuidades das superfícies cobertas por esta especificação são definidas como segue:

Trincas - Uma fratura limpa e cristalina passando através do contorno do grão sem inclusão de elementos estranhos.

Costura ou dobra - Uma fratura não cristalina através do metal que é inerente no material em bruto.

Falha - Um arrancamento do material localizado na periferia da cabeça do parafuso.

### 2.3.2. Materiais e fabricação .

O aço será produzido em fornos de processo soleira aberta, oxigênio básico ou forno elétrico.

Os parafusos serão tratados termicamente por resfriamento em óleo, partindo de uma temperatura acima da temperatura de transformação e depois revenido a uma temperatura mínima de 900 ° F (482 ° C). Se o tratamento à quente é executado por um sub-empreiteiro o material tratado poderá ser retornado à fabricação para testes.

As roscas dos parafusos podem ser cortadas ou laminadas.

### 2.3.3. Exigências Químicas.

Os parafusos devem ser fabricados em aço liga conforme as composições químicas dadas na tabela 2.7.

O aço deverá contar com suficientes elementos de liga para qualificá-lo como aço-liga.

TABELA 2.7 — Exigências químicas.

ELEMENTOS	ANÁLISE %	ANÁLISE DE VERIFICAÇÃO %
CARBONO PARA BITOLA 1 3/8" PARA BITOLA 1 1/2" E MAIORES	0,30 a 0,48  0,35 a 0,53	0,28 a 0,50  0,33 a 0,55
FÓSFORO (max.)	0,040	0,045
ENXOFRE (max.)	0,040	0,045

A análise de verificação pode ser feita pelo comprador do material acabado, representando cada lote de parafusos.

A composição deverá satisfazer as exigências da tabela 2.7. A escolha da composição do aço liga necessário para assegurar os requisitos mecânicos será feita pelo fabricante do parafuso e será relatada ao comprador somente com o propósito de informação.

#### 2.3.4. Exigências Mecânicas.

Os parafusos que são muito curtos para teste de tração não deverão ter dureza menor que a mínima e nem maior que a máxima especificada na tabela 2.8., quando testados de acordo com os "Métodos de teste".

TABELA 2.8 — Dureza exigida para parafusos.

DIAMETRO DO PARAFUSO	BRINELL		ROCKWELL C	
	min.	max.	min.	max.
1/2" a 1 1/2" inclusive	302	341	32	36

Os parafusos, exceto aqueles curtos para testes de tração, serão submetidos aos testes de tração a seguir:

- a) parafusos de 1 1/4" de diâmetro serão testados em tamanho natural e devem ter as exigências de resistência a tração e carga de prova ou carga de prova alternada, especificada na tabela 2.9.
- b) Quando especificado no pedido ou ordem de compra, os parafusos de 1 3/8" de diâmetro deverão ser testados em tamanho natural de acordo com a tabela 2.9.

TABELA 2.9 — Tração exigida para parafusos de tamanho natural.

DIAM. DO PARAFUSO FIOS POR POL. DESIGNAÇÃO DA SÉRIE	ÁREA DE SOLICITAÇÃO cm <sup>2</sup>	CARGA DE TRAÇÃO Kg.		PROVA DE CARGA MET. DE MEDIDAÇAO COMPRIMENTO Kg.	PROVA DE CARGA ALTERNADA MET. DO LIMITE ELASTICIDADE Kg
		MÍNIMO	MÁXIMO		
1/2" 13 F/P	0,916	9.660	10.950	7.730	8.390
5/8" 11 F/P	1,458	15.380	17.420	12.290	13.340
3/4" 10 F/P	2,155	22.720	25.760	18.190	19.690
7/8" 9 F/P	2,981	31.430	35.630	25.150	27.260
1" 8 F/P	3,909	41.230	46.720	32.980	35.740
11/8" 7 F/P	4,922	51.910	58.830	41.530	45.000
11/8" 8 F/P	5,097	53.750	60.920	43.000	46.580
11/4" 7 F/P	6,251	65.930	74.730	52.750	57.150
11/4" 8 F/P	6,451	68.040	77.110	54.430	58.970
13/8" 6 F/P	7,451	78.580	89.060	62.870	68.130
13/8" 8 F/P	7,955	83.910	95.070	67.130	72.710
11/2" 6 F/P	9,064	95.590	108.340	76.480	82.830
11/2" 8 F/P	9,626	101.510	115.050	79.400	88.000
COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5	COLUNA 6

$$A_s = 0,7854 \left[ (D - 0,9743) \right]^2$$

onde  $A_s$  = área de solicitação,  $D$  = bitola nominal do parafuso e  $n$  = fios por cm.

Obs: — A tabela 2.9 é dada pela ASTM com as seguintes unidades:

Área de solicitação em pol<sup>2</sup>; Esforços em lb. e  $n$  = fios por polegada.

Obs: — Cargas tabeladas e cargas a serem usadas para testes de parafusos de tamanho natural, maiores que 11/2" de diâmetro são baseadas no seguinte:

DIÂMETRO DO PARAFUSO	COLUNA 3 Kg/cm <sup>2</sup>	COLUNA 4 Kg/cm <sup>2</sup>	COLUNA 5 Kg/cm <sup>2</sup>	COLUNA 6 Kg/cm <sup>2</sup>
1/2" até 11/2" inclusive	10550	11950	8440	9140



- c) - A dureza das superfícies dos parafusos, quando medidas no máximo de 0,003 de polegadas da superfície, não deve ultrapassar mais do que 3 pontos ROCKWELL C acima da dureza medida a 1/8" de polegada da superfície. As leituras de ambas as durezas deverão ser tomadas no mesmo sentido longitudinal - axial do comprimento rosqueado do parafuso, serão medidas ao mesmo tempo e a mesma escala de dureza deve ser usada.
- d) Para corpos de prova usinados os parafusos terão a resistência da tabela 2.10.

TABELA 2.10 — Resistencia exigida para corpos de prova usinados de parafusos.

DIAMETRO DO PARAFUSO	RESISTENCIA A TRACÃO Kg/cm <sup>2</sup>		LIMITE DE ESCOAMENTO DESVIO 0,2% MIN. Kg/cm <sup>2</sup>	ALONGAMENTO 5 cm. MIN. %	REDUÇÃO DE ÁREA MIN. %
	MÍNIMO	MÁXIMO			
1/2" a 1 1/2"	10550	11950	9140	14 %	40 %

### 2.3.5. Métodos de testes, número de teste e reteste.

As especificações para método de teste e número de teste para parafusos, porcas e arruelas seguem as mesmas dos parafusos ASTM A 325

### 2.3.6. Particulas magnéticas e inspeção visual para superficies descontinuas.

Os parafusos devem ser examinados por inspeção de partículas magnéticas para descontinuidades longitudinais e trincas transversais e estarão de acordo com AQL

de 0,25 quando inspecionados de acordo com o plano de amostragem descrito a seguir. Os parafusos serão examinados visualmente para as falhas da cabeça e estarão com A Q L de 2,5 quando inspecionados para detectar falhas na cabeça.

Um lote, com o propósito de selecionar uma amostra pela inspeção de partículas magnéticas ou visual consistirá de todos os parafusos de um tipo tendo o mesmo diâmetro nominal e comprimento, oferecidos para inspeção de uma só vez. Nenhum lote deve conter mais que 10.000 peças.

#### 2.3.6.1. Descontinuidades Longitudinais e trincas transversais.

De cada lote de parafusos uma amostra representativa será tomada ao acaso e inspecionadas por partículas magnéticas para as descontinuidades longitudinais e - trincas transversais de acordo com ASTM Método E 109 por inspeção de Magnaflux com pó seco.

A quantidade de amostra será como especificado para um AQL de 0,25 na tabela 2.11. Se qualquer defeito for encontrado durante a inspeção pelo fabricante, todos os parafusos do lote serão inspecionados por magnaflux e todos os defeituosos deverão ser retirados e destruídos. Se qualquer defeito foi encontrado durante a inspeção pelo comprador o lote estará sujeito à rejeição.

Observação: A inspeção de magnaflux pode ser conduzida de acordo com o Método ASTM E 138, pelo "Wet Magnetic Particle Inspection. (Annual Book of ASTM Standards Part. 31.). Para propósito de arbitragem o Método E 109 deverá ser usado.

Qualquer parafuso com descontinuidade longitudinal (localizada paralela ao eixo do parafuso, na rosca, corpo, sob a cabeça ou face de encosto de cabeça), com uma profundidade normal à superfície maior do que 0,03 D, onde

"D" é o diâmetro nominal do parafuso em polegada, deverá ser considerado defeituoso. Em adição qualquer parafuso com trinca transversal (localizada perpendicular ao eixo do parafuso na rôsca, corpo, raio sob a cabeça ou superfície de encosto da cabeça) deverá ser considerado defeituoso.

Observação- A simples indicação do magnaflux não será causa de rejeição. Se na opinião do inspetor, as indicações são passíveis de rejeição, uma amostra representativa será tomada destes parafusos apresentando indicações e será posteriormente examinada por micro-exame para determinar se as descontinuidades indicadas estão de acordo com os limites especificados.

TABELA 2.II — Quantidade de amostras e números de aceitação para inspeção de descontinuidade longitudinal, trincas transversais e falhas na cabeça.

QUANTIDADE DO LOTE	0,25 AQL		2,5 AQL	
	QUANTIDADE DE AMOSTRAS (a,b)	NUMERO DE ACEITAÇÃO (a)	QUANTIDADE DE AMOSTRAS (a,b)	NUMERO DE ACEITAÇÃO (a)
1 até 150	50	0	5	0
151 até 500	50	0	20	1
501 até 1200	50	0	32	2
1201 até 3200	50	0	50	3
3201 até 10000	50	0	80	5

- a) Quantidade de amostras e numero de aceitação são extraídas do "Plano simples de amostragem para inspeção normal" TABELA IIA, MIL - STD - 105D
- b) Insccione todos os parafusos do lote se a quantidade do lote for menor que a quantidade de amostras.

### 2.3.6.2. Falhas na cabeça (Bursts)

De cada lote de parafusos uma amostra representativa será tomada ao acaso e inspecionada visualmente para as falhas de cabeça. A quantidade de amostras será como

o especificado para um AQL de 2,5 da tabela 2.11 se o número de defeitos encontrados durante a inspeção pelo fabricante for maior do que o número de aceitação dado na tabela 2.11 para a quantidade de amostras, todos os parafusos do lote serão inspecionados visualmente e todos os defeituosos serão retirados e destruidos. Se o número de defeituosos encontrados durante a inspeção pelo comprador for maior do que o número de aceitação dado na tabela 2.11 para a quantidade de amostra, o lote será sujeito a rejeição.

Qualquer parafuso com falha na cabeça tendo uma largura maior do que  $0,010 + 0,025 D$ , onde "D" é o diâmetro nominal do parafuso em polegada, será considerado defeituoso.

#### 2.3.7. Inspeção e Rejeição.

Seguem as mesmas dos parafusos ASTM A-325.

#### 2.3.8. Certificado e Marcação.

Quando especificado na ordem de compra o fabricante fornecerá um Certificado de teste de todos os testes mecânicos para cada bitola e cada remessa.

As cabeças dos parafusos deverão ter a marcação A 490 juntamente com a marca do fabricante. A marcação poderá ser em baixo ou alto relevo, por opção do fabricante.

2.4. Ensaios da matéria prima utilizada nas experiências com parafusos de altaresistência.

2.4.1. Considerações Iniciais.

Os parafusos, porcas e arruelas de pressão utilizados nos ensaios foram fabricados pela firma "Fibam Companhia Industrial" segundo as especificações ASTM A490 -71 descrita anteriormente.

Foram utilizados parafusos A 490-71 com diâmetro 1/2" e comprimento do tronco  $L = 1 \frac{3}{4}$ " (45mm). As porcas foram do tipo 2H.

Os ensaios foram realizados apenas com parafusos de diâmetro 1/2" devido à dificuldade de fornecimento de parafusos com diâmetro diferente.

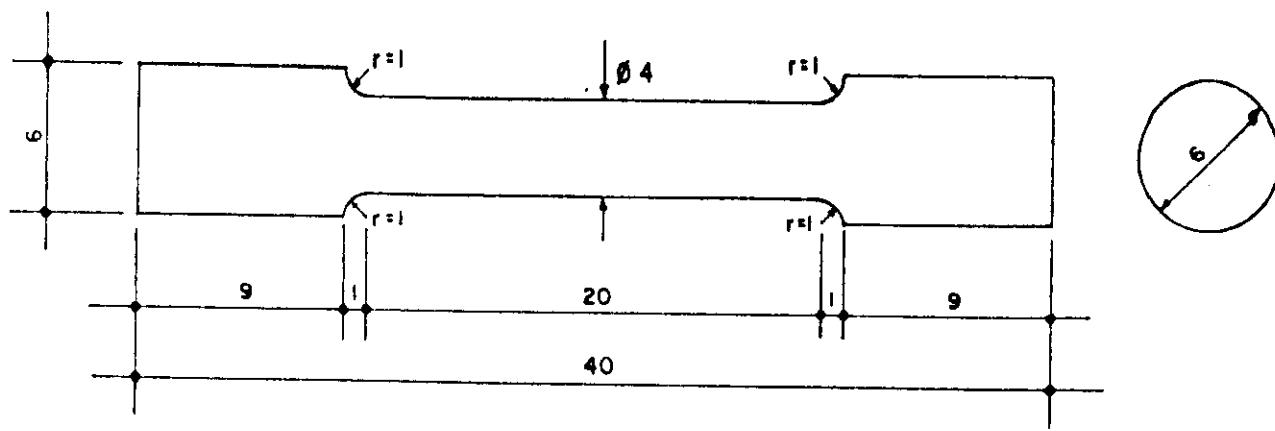
As chapas de espessura 3/16", 1/4" e 3/8" ensaiadas são de aço ASTM A-36, notando-se claramente uma diferença de qualidade para pior da chapa 3/16" em relação às outras.

Para determinação das tensões de escoamento e ruptura destes materiais realizaram-se ensaios de tração de acordo com as Normas da ABNT (Ensaio de tração de materiais metálicos MB-4-1955), utilizando-se a máquina de ensaios INSTRON - TT - DML do Laboratório de Metalurgia da Escola de Engenharia de São Carlos.

2.4.2. Corpos de Prova.

Para os parafusos, chapas de 1/4" e 3/8" foram ensaiados 5 corpos de prova para cada material tendo os diâmetros da Tabela 2.12.

TABELA 2.12 — Corpos de prova para material do parafuso, chapas 1/4" e 3/8"



medidas em mm.

ESCALA 3:1

Os ensaios da chapa 3/16" seguiram as dimensões da tabela 2.13.

A foto 2.1. mostra o corpo de prova para chapa 3/16" já rompido e o corpo cilíndrico do material do parafuso.

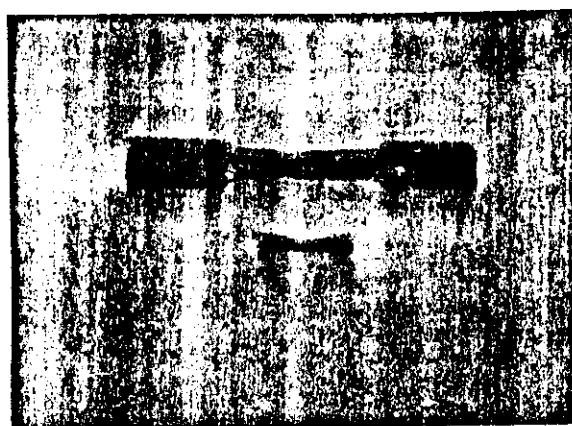
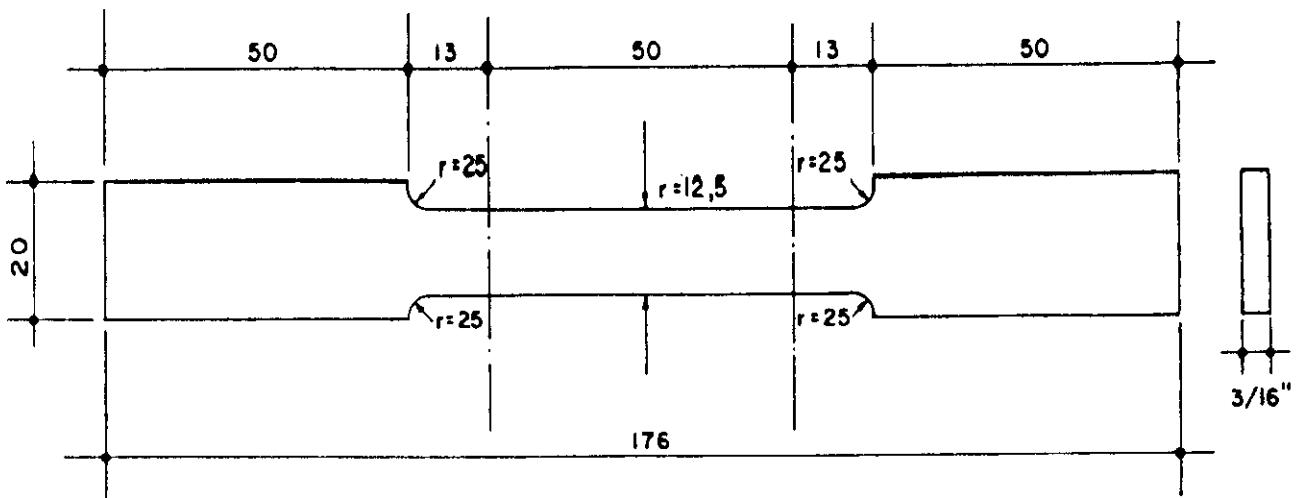


FOTO 2.1.

TABELA 2.13 — Corpos de prova para chapa 3/16"



medidas em mm.

ESCALA 1:1,25

#### 2.4.3. Resultados dos ensaios.

##### 2.4.3.1. Materia prima do parafuso.

Os corpos de prova retirados dos parafusos foram usinados na Oficina Mecânica da E.E.S.C. e receberam a marca 9A-9B-9C-9D-9E respectivamente.

Os resultados dos ensaios estão na Tabela 2.14.

Baseando-se nestes resultados calculou-se a Média ( $\bar{x}$ ) e o desvio padrão ( $s$ ).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

O valor da tensão de escoamento média do parafuso é  $\bar{G}_{\text{esc. médio}} = 11.170 \text{ kg/cm}^2$ ; desvio padrão

$S = 278.$

TABELA 2.14 — Resultado dos ensaios — material — parafuso.

Nº DO CORPO DE PROVA	AREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL (cm <sup>2</sup> )	FORÇA DE ESCOAMENTO Kg.	FORÇA DE RUPTURA Kg.	TENSÃO DE ESCOAMENTO Kg./cm <sup>2</sup>	TENSÃO DE RUPTURA Kg./cm <sup>2</sup>
9-A	0,1256	1425	1520	11.345	12.102
9-B	0,1256	1390	1500	11.067	11.942
9-C	0,1256	1360	1455	10.828	11.584
9-D	0,1256	1390	1510	11.067	12.022
9-E	0,1256	1450	1535	11.544	12.221

Chamando de  $\bar{G}_{\text{e.m.}}$  de tensão de escoamento média final temos:

$$\bar{G}_{\text{e.m.}} - D.P. < \bar{G}_{\text{e.m.}} < \bar{G}_{\text{e.m.}} + D.P.$$

$$10.892 < \bar{\sigma}_{e.m} < 11.448$$

Abandonando os valores fora deste intervalo, determinou-se nova "tensão de escoamento média.

$$\bar{\sigma}_{e.m} = 11.160 \text{ kg/cm}^2$$

Analogamente, calcula-se a tensão de ruptura média.

$$\sigma_{Rupt.\text{média}} = 11.974 \text{ kg/cm}^2 \quad e \quad S = 241$$

$$11733 < \bar{\sigma}_{r.m} < 12215$$

$$\bar{\sigma}_{rupt.\text{média}} = 12.022 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2.4.3.2. Matéria prima da chapa 3/8"

Os corpos de prova das chapas de espessura 3/8" receberam a marca 10A-10B-10C-10D-10E, respectivamente.

Os resultados dos ensaios estão na tabela 2.15.

Efetuando-se os cálculos, determinou-se:

$$\sigma_{esc.\text{médio}} = 2858 \text{ kg/cm}^2 \quad e \quad S = 86$$

$$2.772 < \bar{\sigma}_{e.m} < 2.944$$

$$\bar{\sigma}_{e.m} = 2.866 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Analogamente, } \bar{\sigma}_{\text{rupt.media}} = 5.126 \text{ kg/cm}^2$$

$$e S = 31$$

$$5.095 < \bar{\sigma} < 5.157 \rightarrow \bar{\sigma}_{\text{rupt.m.}} = 5113 \text{ kg/cm}^2$$

TABELA 2.15 — Resultados dos ensaios — material — chapa 3/8"

Nº DO CORPO DE PROVA	AREA DA SECÇÃO TRANSVERSAL (cm²)	FORÇA DE ESCOAMENTO Kg.	FORÇA DE RUPTURA Kg.	TENSÃO DE ESCOAMENTO Kg./cm²	TENSÃO DE RUPTURA Kg./cm²
10-A	0,1256	350	640	2.787	5.096
10-B	0,1256	345	642	2.747	5.111
10-C	0,1256	370	645	2.946	5.135
10-D	0,1256	365	642	2.906	5.111
10-E	0,1256	365	650	2.906	5.175

$$\bar{\sigma}_{\text{esc.m.}} = 2858 \text{ kg/cm}^2 \quad S = 86 \quad 2772 < \bar{\sigma}_{e.m.} < 2944$$

$$\bar{\sigma}_{\text{esc.m.}} = 2866 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.4.3.3. Materia Prima da chapa 1/4"

Os corpos de prova retirados das chapas com espessura 1/4" receberam as marcas II-A, II-B, II-C, II-D e II-E, respectivamente.

Os resultados dos ensaios estão na tabela 2.16

TABELA 2.16 — Resultados dos ensaios — material — chapa 1/4"

Nº DO CORPO DE PROVA	AREA DA SECÇÃO TRANSVERSAL (cm <sup>2</sup> )	FORÇA DE ESCOAMENTO Kg.	FORÇA DE RUPTURA Kg.	TENSÃO DE ESCOAMENTO Kg./cm <sup>2</sup>	TENSÃO DE RUPTURA Kg./cm <sup>2</sup>
II - A	0,1256	375	610	2986	4857
II - B	0,1256	390	642	3105	5111
II - C	0,1256	370	610	2946	4857
II - D	0,1256	385	640	3065	5096
II - E	0,1256	375	622	2986	4952

$$\bar{\sigma}_{esc.\text{m\'edio}} = 3018 \text{ Kg./cm}^2 \quad S = 65 \quad 2953 \leq \bar{\sigma} \leq 3083$$

$$\bar{\sigma}_{esc.\text{m\'edio}} = 3012 \text{ Kg./cm}^2$$

$$G_{esc.\text{m\'edio}} = 3.018 \text{ kg/cm}^2 \quad S = 65$$

$$2953 < \bar{\sigma}_{e.m} < 3083 \quad \bar{\sigma}_{e.m} = 3012 \text{ kg/cm}^2$$

Analogamente,  $\bar{\sigma}_{rupt.\text{média}} = 4975 \text{ kg/cm}^2$   
e  $S = 124$

$$4851 < \bar{\sigma}_{r.m} < 5099 \Rightarrow \bar{\sigma}_{rupt.m.} = 4940 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2.4.3.4. Materia prima da chapa 3/16"

Os corpos de prova retirados das chapas com espessura 3/16" receberam as marcas 12-A, 12-B, 12-C, 12-D e 12-E, respectivamente.

Os resultados dos ensaios estão na tabela 2.17

TABELA 2.17 — Resultados dos ensaios — material — chapa 3/16"

Nº DO CORPO DE PROVA	AREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL (cm <sup>2</sup> )	FORÇA DE ESCOAMENTO Kg.	FORÇA DE RUPTURA Kg.	TENSÃO DE ESCOAMENTO Kg./cm <sup>2</sup>	TENSÃO DE RUPTURA Kg./cm <sup>2</sup>
12 - A	0,5465	1330	1765	2434	3230
12 - B	0,5465	1350	1780	2474	3262
12 - C	0,5465	1360	1765	2489	3230
12 - D	0,5442	1380	1815	2536	3335
12 - E	0,5474	1370	1780	2503	3252

$$\bar{\sigma}_{esc.\text{máx.}} = 2487 \text{ Kg./cm}^2 \quad S = 38 \quad 2449 \leq \bar{\sigma} \leq 2525$$

$\bar{\sigma}_{esc.\text{máx.}} = 2489 \text{ Kg./cm}^2$

$$\bar{\sigma}_{\text{esc.media}} = 2.487 \text{ kg/cm}^2 \quad s = 38$$

$$2449 < \bar{\sigma}_{\text{e.m}} < 2525 \rightarrow \bar{\sigma}_{\text{esc.m}} = 2489 \text{ kg/cm}^2$$

Analogamente,  $\bar{\sigma}_{\text{rupt.m.}} = 3262 \text{ kg/cm}^2$  e  
 $s = 43$

$$3219 < \bar{\sigma}_{\text{r.m.}} < 3305 \rightarrow \bar{\sigma}_{\text{rupt.m.}} = 3243 \text{ kg/cm}^2$$

## 2.5. Conclusões.

Baseando-se nos resultados dos ensaios da matéria prima empregada nas experiências, adotam-se para cálculos posteriores os seguintes valores de tensão de escoamento e tensão de ruptura, levando em conta as observações no final deste tópico.

### PARAFUSO A 490-71.

tensão de escoamento média =  $11.160 \text{ kg/cm}^2$

tensão de ruptura média =  $12.022 \text{ kg/cm}^2$

### CHAPA 3/8" - A-36

tensão de escoamento média =  $2.866 \text{ kg/cm}^2$

tensão de ruptura média =  $5.113 \text{ kg/cm}^2$

### CHAPA 1/4" - A-36

tensão de escoamento média =  $3.012 \text{ kg/cm}^2$

tensão de ruptura média =  $4.940 \text{ kg/cm}^2$

CHAPA 3/16" - A-36

tensão de escoamento média = 2.489 kg/cm<sup>2</sup>

tensão de ruptura média = 3.243 kg/cm<sup>2</sup>

OBSERVAÇÕES:

1) A chapa com espessura 3/16" não atendeu as especificações exigidas pela ASTM A-36 que recomenda para tensão de escoamento mínima 2.530 kg/cm<sup>2</sup> e tensão de ruptura mínima 4078 kg/cm<sup>2</sup>. Para o cálculo serão utilizados os valores obtidos nos ensaios.

2) A tensão de escoamento para o material do parafuso segundo a ASTM A-490 - 71, recomenda como valor mínimo 9.140 kg/cm<sup>2</sup>; o resultado dos ensaios mostra 11.160 kg/cm<sup>2</sup>: um valor bem acima do mínimo exigido.

Este valor não deve ser recomendado, pois as especificações dos materiais utilizados na fabricação dos P.A.R., indicam a tensão de escoamento como sendo 0,80 a 0,85 da tensão de ruptura.

### 3.1

## CAPITULO 3 - ESTUDO DO ENFRAQUECIMENTO DAS PEÇAS LIGADAS COM PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA.

### 3.1. Considerações.

Em peças tracionadas ligadas com parafusos comuns ou rebites, considera-se como área de secção resistente a área líquida da secção transversal.

$$S_{liq} = S_{br} - S_{furos} = S_{br} - n \cdot d \cdot \delta$$

Onde:

n = número de parafusos ou rebites na secção enfraquecida.

d = diâmetro do furo.

$\delta$  = espessura da peça ligada.

Para peças comprimidas a área de secção resistente na fixação é a área bruta sem considerar o enfraquecimento devido aos furos.

As Normas Brasileiras não fazem nenhuma referência à consideração do enfraquecimento em ligações utilizando P.A.R.

Nas Normas Alemãs, conforme regulamento provisório de novembro de 1956 que complementa a DIN 1050, o enfraquecimento da secção nas ligações com P.A.R. deve ser considerado da seguinte forma:

- 1) Nas peças comprimidas considerar a área bruta, sem o enfraquecimento da secção dos furos.

### 3.2

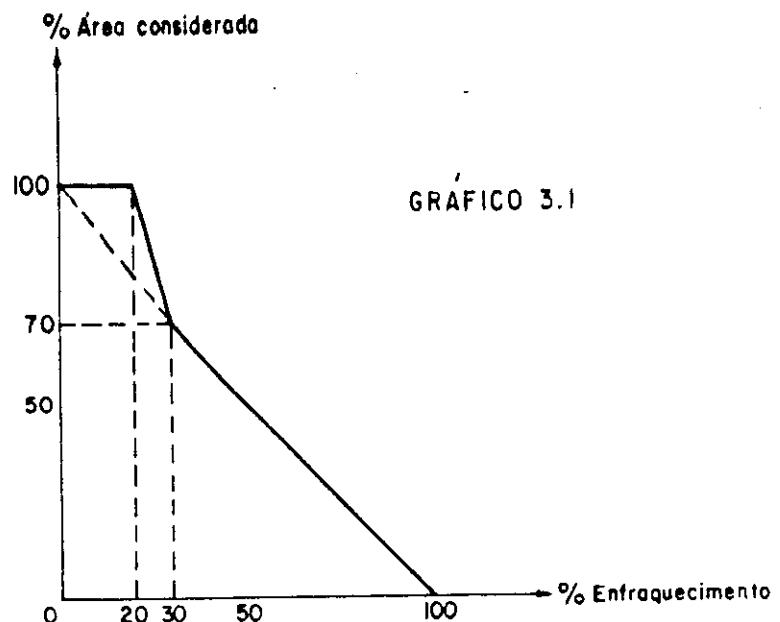


GRÁFICO 3.1

- 2) Nas peças tracionadas para o caso de  $s_{liq} \geq 0,8 s_{br}$ , não se considera o enfraquecimento pelos furos; no caso de  $s_{liq} < 0,7 s_{br}$  deve ser considerado todo o enfraquecimento.

$$s_{liquida} = s_{br} - s_{furos}$$

Os valores entre 0,7 e 0,8 serão interpolados linearmente como indica o gráfico 3.1. ou pela fórmula:

$$s_{liq} = s_{br} \left[ 1 - 3 \left( \frac{s_{furos}}{s_{br}} - 0,2 \right) \right]$$

Esta consideração de enfraquecimento se deve ao fato de que devido ao atrito entre as peças ligadas, uma parcela do esforço é transmitida antes da secção enfraquecida diminuindo desta forma o esforço atuante na secção enfraquecida.

### 3.3

Conforme a publicação "Estruturas de Aço, Elementos Básicos" dos professores H.Schulte e T.Yagui, edição 1977, a consideração de enfraquecimento das secções para a colocação dos parafusos de alta resistência, deve ser a seguinte:

A transmissão parcial do esforço pelo atrito antes do furo equivale à recuperação de uma parte da secção, aliviada de tensão devido à esta transmissão.

A área recuperada pela transmissão por atrito antes do furo:

$$s_{recup} = \frac{\sqrt{N_1}}{\bar{G}_o} \quad \text{ou} \quad s_{recup} = \frac{\sqrt{N_{lim}}}{G_{lim}}$$

$\sqrt{N_1}$  = parte do esforço admissível de um parafuso, transmitido por atrito antes do furo.

$\sqrt{N_{lim}}$  = parte do esforço limite de um parafuso, transmitido por atrito antes do furo.

$\bar{G}_o$  = tensão admissível do material das peças ligadas.

$G_{lim}$  = tensão limite do material das peças ligadas.

A recuperação do enfraquecimento depende das relações dos valores " $d_f$ ", " $\delta$ ",  $\bar{N}_1$ ,  $\bar{G}_o$ .

Como caso particular, a recuperação do furo pode ser completa quando:

$$(d_f \cdot \delta \leq \frac{\sqrt{N_1}}{\bar{G}_o})$$

$$s_{liq} = s_{br} - n_j (d_f \cdot \delta - \frac{\sqrt{N_1}}{\bar{G}_o}) \leq s_{br}$$

$$S_{liq} = S_{br} - n_j (d_f \delta - \frac{\sqrt{N_{lim}}}{G_{lim}}) \leq S_{br}$$

Onde:

$n_j$  = quantidade de furos na secção.

$d_f$  = diâmetro do furo.

$\delta$  =  $\delta_{min}$ . Tomar o menor valor entre 2  $\delta_1$  e  $\delta_2$ .

$\bar{G}_o$  ou  $G_{lim}$  = capacidade de um parafuso pelo atrito (admissível ou limite, considerando todos os planos de atrito).

$\bar{G}_o$  ou  $G_{lim}$  = tensão máxima na secção da peça ligada (admissível ou limite).

$\gamma$  = relação entre área de atrito antes do furo ( $A'$ ) e área de atrito total ( $A$ ) proporcionada por um parafuso.

$$\gamma = \frac{A'}{A}$$

Na tabela 3.2 e no diagrama 3.3 estão dados os valores do coeficiente "  $\gamma$  " em função da relação do diâmetro, da área de atrito e do diâmetro do furo.

$$c = \frac{D'}{d_f} \quad \text{onde: } D' = D_{arruela} + \delta_1$$

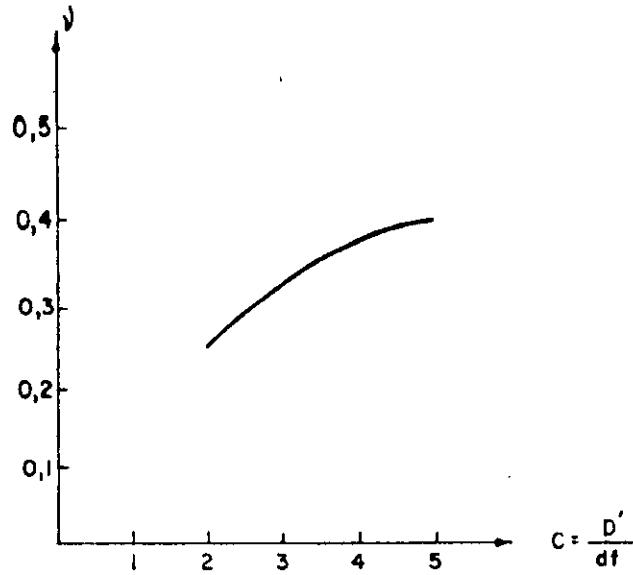
O coeficiente "  $\gamma$  " é calculado de acordo com a fig. 3.4, onde:

$$h = (c - 1) \frac{d_f}{2} = (D' - d_f) \frac{1}{2}$$

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{1}{c} \quad \beta = 180^\circ - 2\alpha$$

TABELA 3.2

$C = \frac{D'}{d_f}$	$\gamma$
2	0,26
2,5	0,30
3	0,33
4	0,37
5	0,39

GRÁFICO 3.3  
GRÁFICO DE  $\gamma$  EM FUNÇÃO DE C

$$a = c \cdot d_f \cdot \cos \alpha = D' \cdot \cos \alpha$$

$$\ell = \pi D' \frac{\theta}{360} ; \quad A = \frac{\pi}{4} \left[ (D')^2 - (d_f)^2 \right]$$

$$A' = \frac{D'}{4} (\ell - a) + \frac{a \cdot h}{2}$$

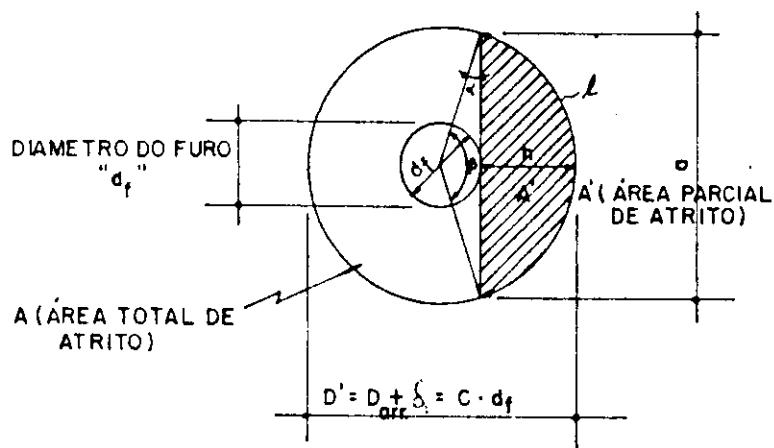
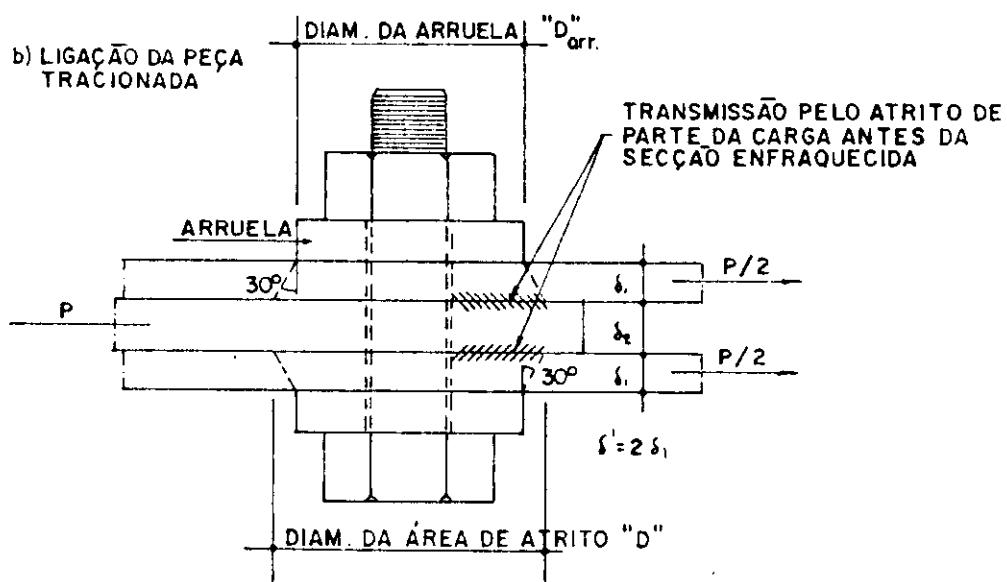
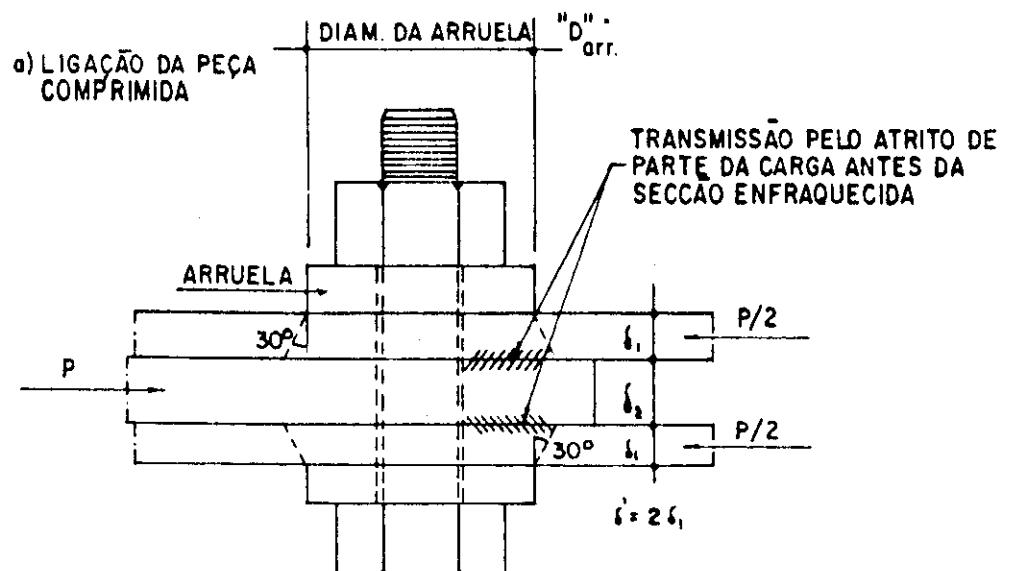
a,  $\ell$  = comprimento da corda e do arco do segmento.

h = altura do segmento.

$\theta$  = ângulo central correspondente ao segmento.

Com o propósito de pesquisar o enfraquecimento das peças ligadas com P.A.R. foram executados 31 ensaios que são descritos a seguir.

FIGURA 3.4



### 3.2. Metodologia empregada.

#### 3.2.1. Descrição da técnica de ensaio.

Foram ensaiados 31 corpos de prova sendo 23 com chapas de espessura 3/16" e 8 corpos com espessura 1/4".

Os parafusos utilizados nas ligações foram de diâmetro 1/2" e de aço A-490.

O material dos corpos de prova e dos parafusos foram ensaiados e os resultados estão no capítulo 2.

Através de ensaios de tração, determinou-se a força de escoamento na secção enfraquecida pelo furo ou furos.

Conhecendo-se a tensão de escoamento das chapas dos corpos de prova e a força de escoamento determina-se a área da secção que realmente resistiu. ( $S'_{liq}$ ).

$$\text{G}_{esc} = \frac{F_{esc}}{S'_{liq}} \quad S'_{liq} = \frac{F_{esc}}{\text{G}_{esc}}$$

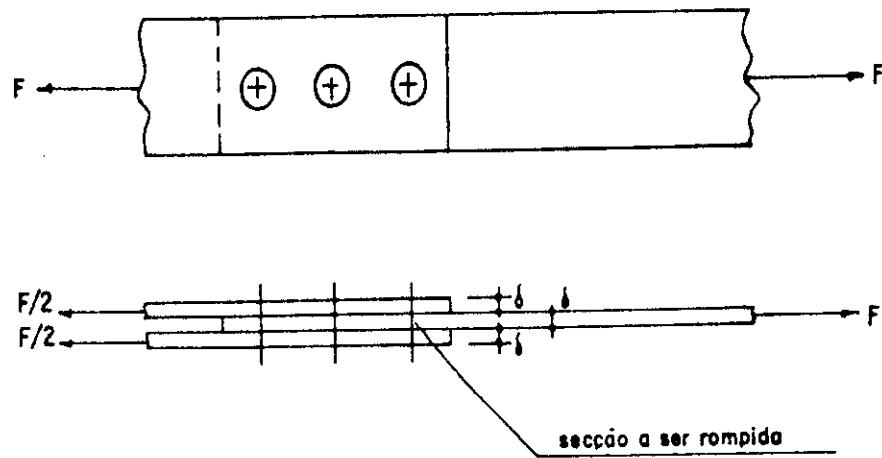
$$\text{A relação } \frac{S'_{liq}}{S_{br}} \times 100 \quad \text{nos dá a porcentagem da área que realmente trabalhou.}$$

Todos os ensaios foram feitos com ligação simétrica trabalhando como indica a figura 3.5.

As ligações foram projetadas com um número suficiente de parafusos para ocorrer a ruptura da secção mais solicitada antes de deslizamento, ou esmagamento da chapa na secção do furo, ou destruição do tronco do parafuso.

Procurou-se variar a quantidade de parafusos na secção mais solicitada, utilizando-se 1, 2 ou 3 parafusos.

Figura 3.5



Os corpos de prova foram ensaiados no laboratório das Industrias Pereira Lopes (I.P.L) em São Carlos, utilizando-se uma máquina de ensaio Universal, marca Trebel Werk-Ratingen, Modelo UPM 70 com capacidade de 70 toneladas de carga.

Para o aperto dos parafusos utilizou-se um torquímetro marca GEDORE com capacidade de 80 kgm ou 600 lb.pés de torção.

Através dos gráficos "força x deformação" determinou-se a força com a qual o material da chapa atingiu o escoamento.

As peças foram limpas com escova de aço e foi adotado coeficiente de atrito  $\mu = 0,35$

### 3.2.2. Dados dos Corpos de Prova.

A capacidade de um parafuso  $\emptyset 1/2"$  pelo atrito nos 2 planos vale:

$$N_{lim} = \mu \cdot P_0 \cdot m \cdot 0,9 = 3830 \text{ kg}$$

$$\text{Onde: } P_0 = 0,72 \cdot G_e \cdot s_{\text{liq. do tronco}}$$

ou

$$P_0 = 0,6 \cdot G_R \cdot s_{\text{liq. do tronco}}$$

Tomando-se por base este valor, calculou-se o número de parafusos necessários para que não ocorresse deslizamento das peças em contacto, nem esmagamento das paredes dos furos nas chapas.

Para proporcionar a tensão de escoamento da peça, o esforço deve atingir o valor entre:

$$F_{\min} = G_{\text{esc}} \cdot s_{\text{liq}} \quad \text{e} \quad F_{\max} = G_{\text{esc}} \cdot s_{\text{br}}$$

A capacidade de resistência ao esmagamento.

$$F_{\text{esm}} = d \cdot S_{\min} \cdot G_{\text{esm}}, \text{ no caso dos ensaios, temos: } F_{\text{esm}} = d \cdot S \cdot 2G$$

Colocando uma quantidade n de parafusos;

$$n > \frac{F_{\max}}{F_{\text{esm}}} \quad \text{não ocorre o esmagamento da chapa.}$$

Verificou-se, que o parafuso não rompe por cisalhamento, cuja capacidade é:

$$F_{\text{cis}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{liq}}^2 \cdot 0,8 \cdot G_{\text{paraf.}} \cdot 2$$

por tratar-se de corte duplo, do tronco de material de alta resistência. ( $G_{\text{esc}} = 11.160 \text{ kg/cm}^2$ )

O número de parafusos deve ser tal que transmita todo o esforço de uma peça para outra sem que haja o deslizamento entre as chapas ligadas.

O máximo esforço previsto no ensaio na ruptura é:

$$F_{\max} = \sigma_{\text{ruptura}} \cdot S_{\text{br}}$$

Para transmitir este esforço com parafusos de  $1/2"$  com  $N_{\text{lim}} = 3830$  kg, o número de parafusos necessário é:

$$n = \frac{\sigma_{\text{rupt}} \cdot S_{\text{br}}}{N_{\text{lim}}^{\text{1 paraf.}}} = \frac{\sigma_{\text{rupt}} \cdot S_{\text{br}}}{3830}$$

Com esta quantidade dos parafusos não foi registrado o deslizamento em nenhuma das peças.

Os corpos de provas ensaiados com chapas de espessura  $3/16"$  estão representados nas figs. 3.6 a 3.24 , e os ensaios com chapas  $1/4"$  nas figuras 3.25 a 3.32.

Baseando-se nos resultados de ensaio da matéria prima das peças, para os cálculos foram adotados os seguintes valores de  $\sigma_{\text{esc}}$  e  $\sigma_{\text{rupt}}$  mencionados no capítulo 2.

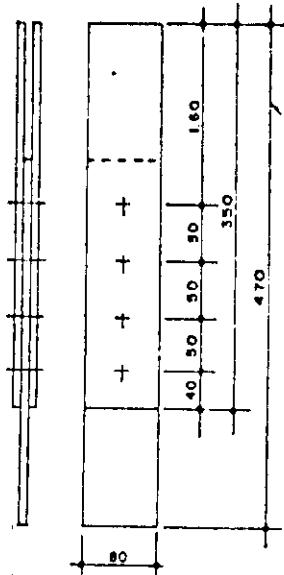
CHAPA $3/16"$	$\sigma_{\text{esc}} = 2489 \text{ kg/cm}^2$
	$\sigma_{\text{rupt}} = 3243 \text{ kg/cm}^2$

CHAPA $1/4"$	$\sigma_{\text{esc}} = 3012 \text{ kg/cm}^2$
	$\sigma_{\text{rupt}} = 4940 \text{ kg/cm}^2$

3.11

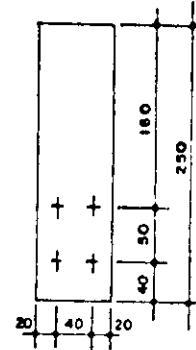
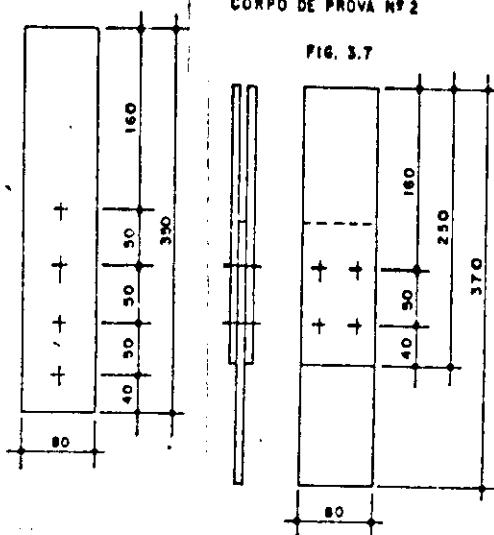
CORPO DE PROVA N° 1

FIG. 3.6



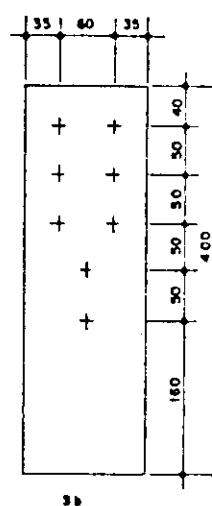
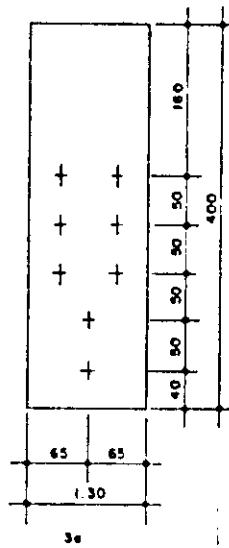
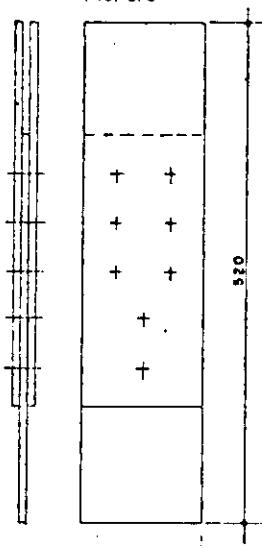
CORPO DE PROVA N° 2

FIG. 3.7



CORPO DE PROVA N° 3

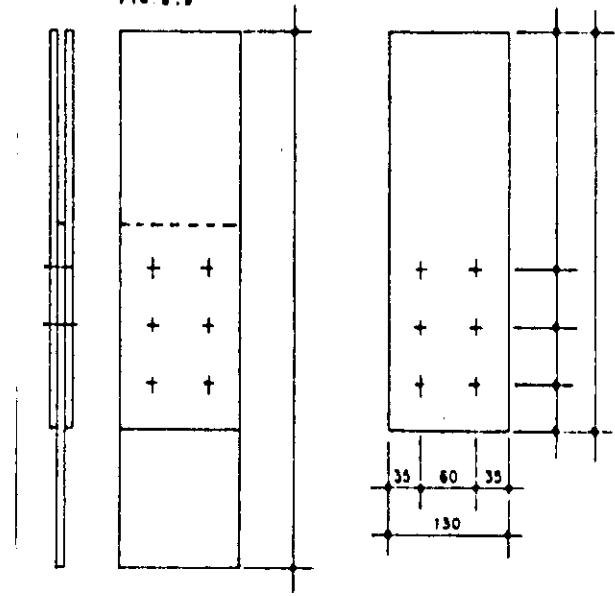
FIG. 3.8



### 3.12

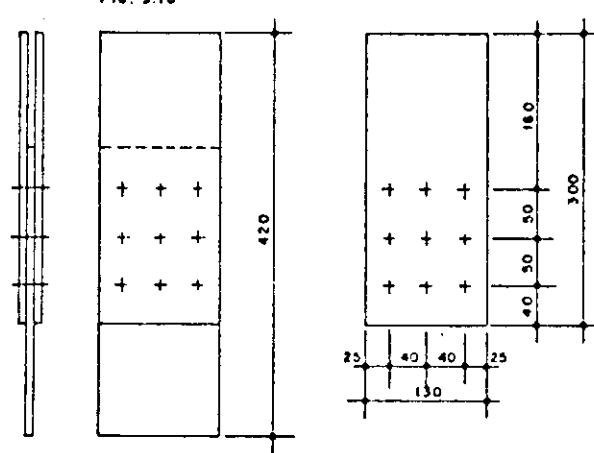
CORPO DE PROVA N° 4

FIG. 3.9



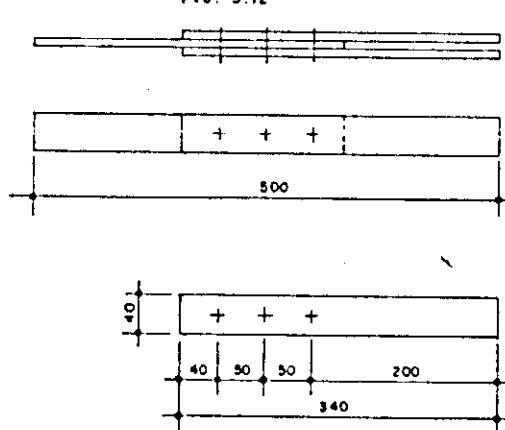
CORPO DE PROVA N° 5

FIG. 3.10



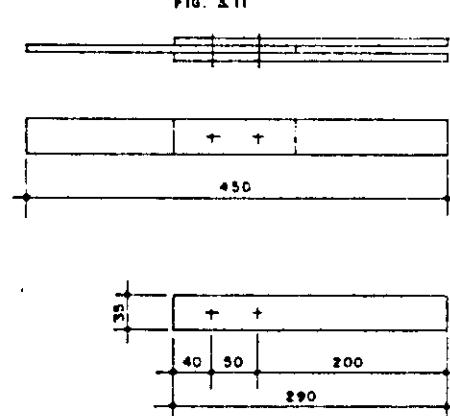
CORPO DE PROVA N° 14

FIG. 3.12



CORPO DE PROVA N° 13

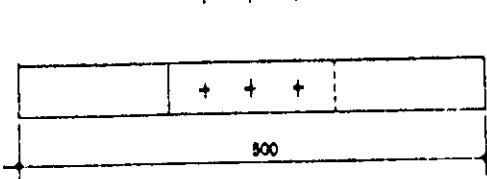
FIG. 3.11



### 3.13

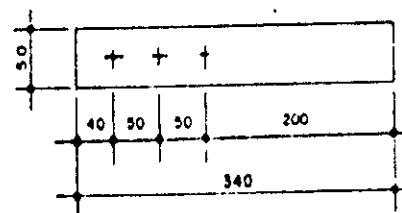
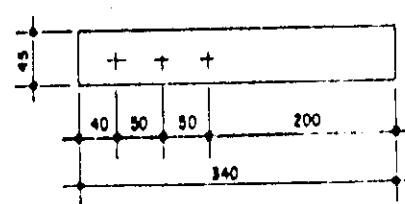
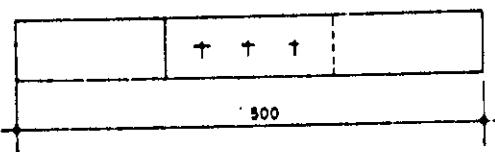
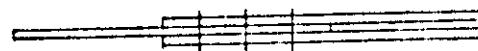
CORPO DE PROVA Nº 15

FIG. 3.13



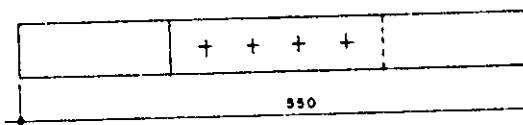
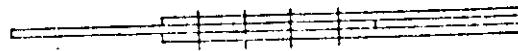
CORPO DE PROVA Nº 16

FIG. 3.14



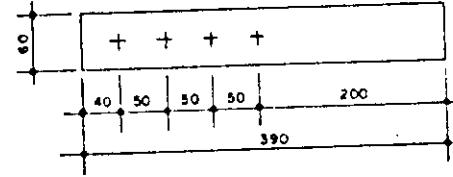
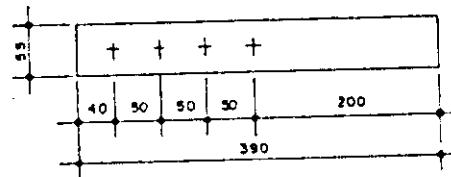
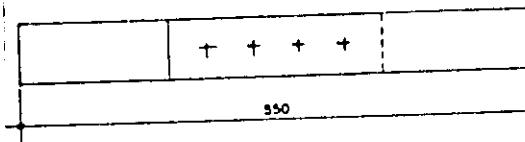
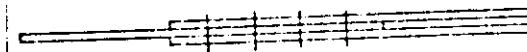
CORPO DE PROVA Nº 17

FIG. 3.15



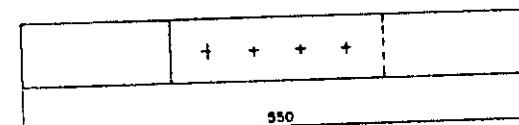
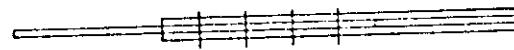
CORPO DE PROVA Nº 18

FIG. 3.16



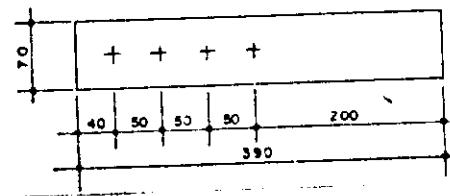
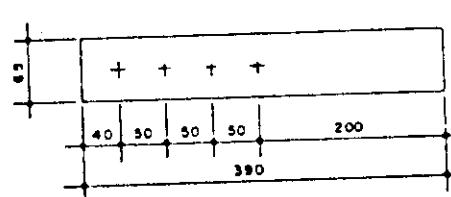
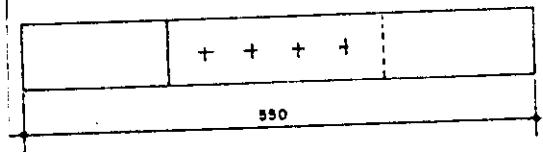
CORPO DE PROVA Nº 19

FIG. 3.17



CORPO DE PROVA Nº 20

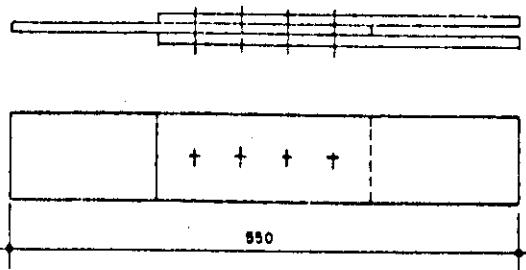
FIG. 3.18



### 3.14

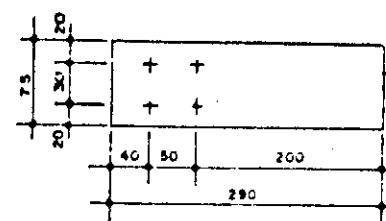
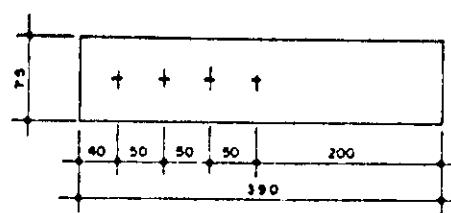
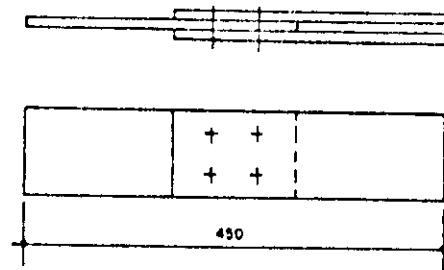
CORPO DE PROVA Nº 21

FIG. 3.19



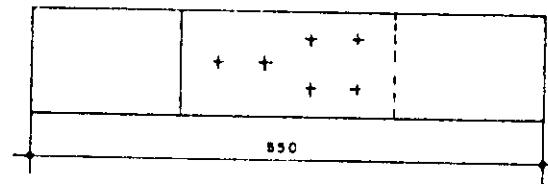
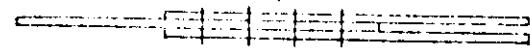
CORPO DE PROVA Nº 22

FIG. 3.20



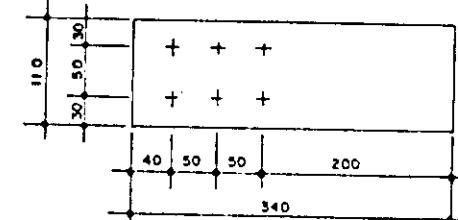
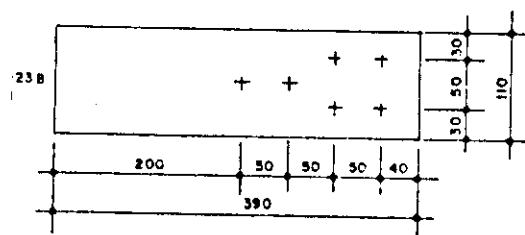
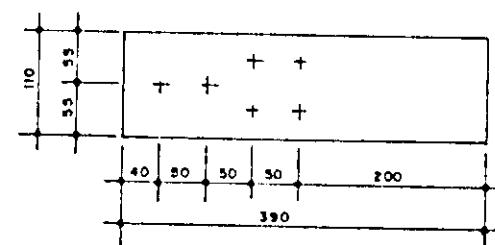
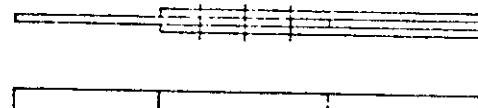
CORPO DE PROVA Nº 23

FIG. 3.21



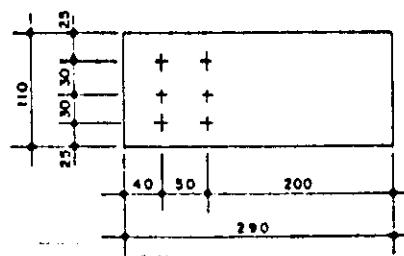
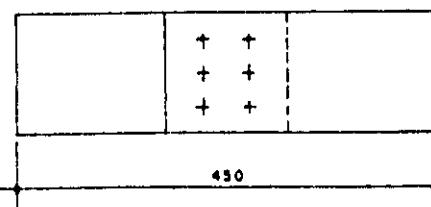
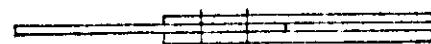
CORPO DE PROVA Nº 24

FIG. 3.22



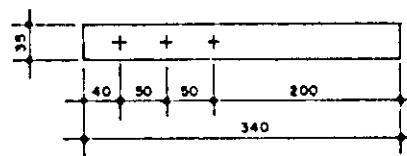
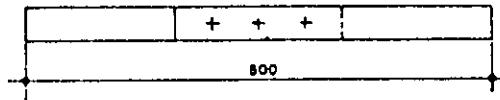
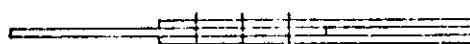
CORPO DE PROVA Nº 25

FIG. 3.23



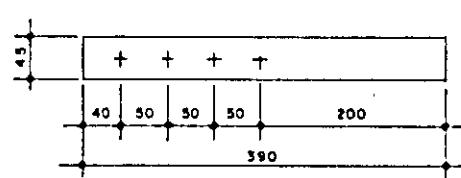
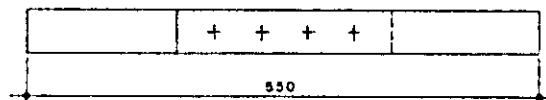
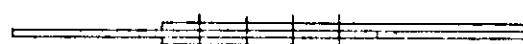
CORPO DE PROVA Nº 26

FIG. 3.25



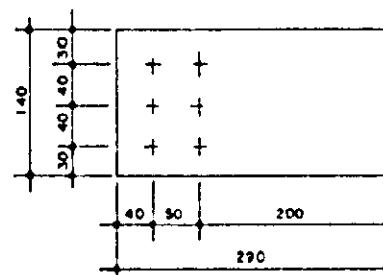
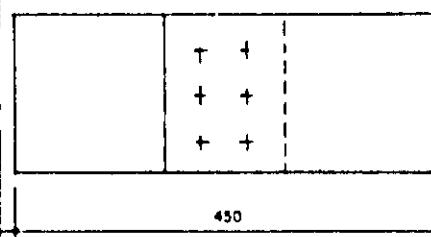
CORPO DE PROVA Nº 26

FIG. 3.27



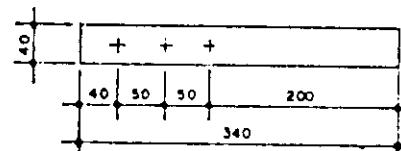
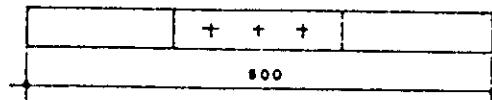
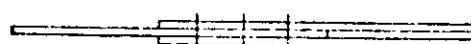
CORPO DE PROVA Nº 42

FIG. 3.24



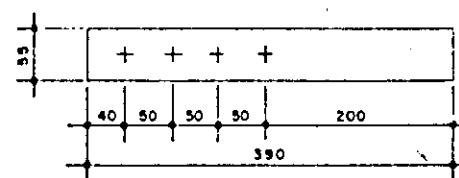
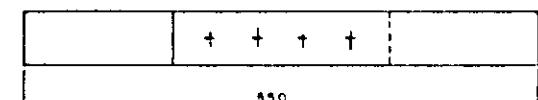
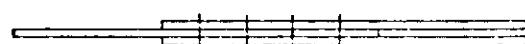
CORPO DE PROVA Nº 27

FIG. 3.26



CORPO DE PROVA Nº 28

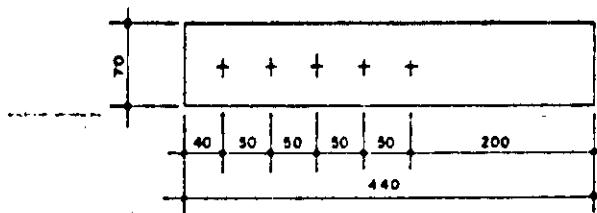
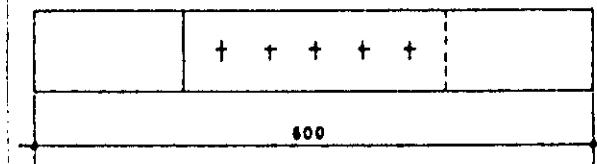
FIG. 3.28



3.16

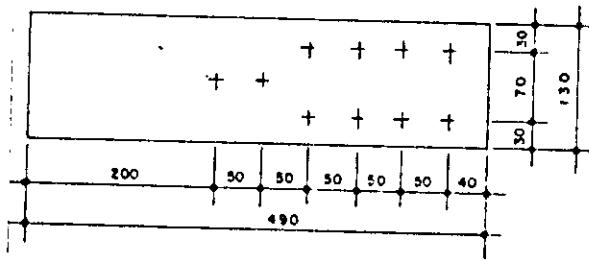
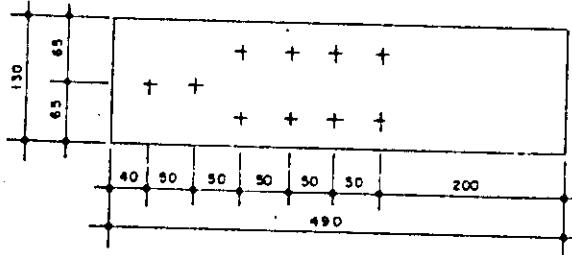
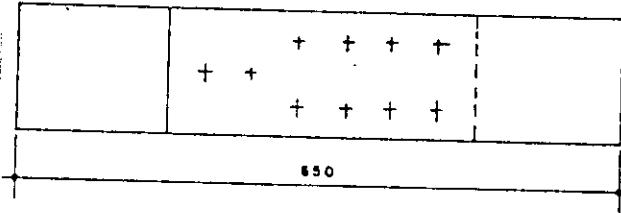
CORPO DE PROVA N° 30

FIG. 3.29



CORPO DE PROVA N° 31

FIG. 3.30



3.17

CORPO DE PROVA N° 32

FIG. 3.31

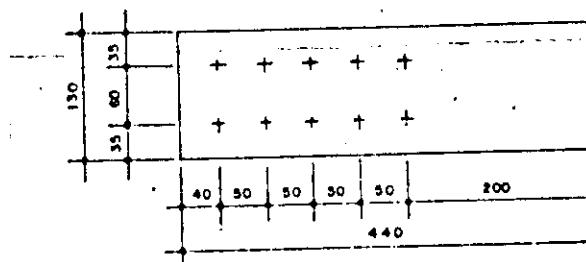
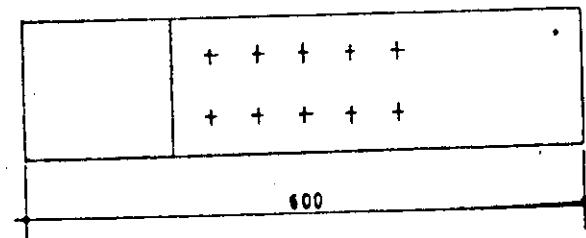
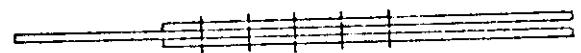
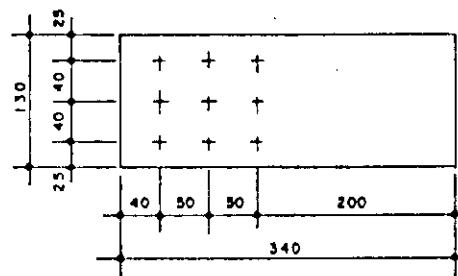
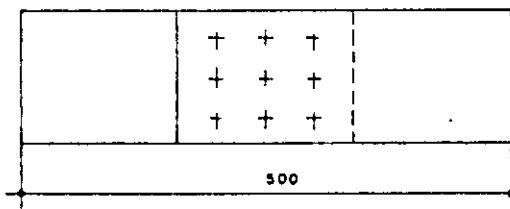
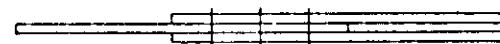


Figura 3.32

Corpo de prova n° 33



### 3.3. Resultado dos Ensaios.

A apresentação dos resultados dos ensaios foi feita em tabelas para simplificação e maior facilidade de comparação entre eles.

A tabela 3.33 apresenta os dados geométricos dos corpos de prova com os resultados dos ensaios.

$b$  = largura da chapa.

$\delta$  = espessura da chapa.

$d$  = diâmetro do furo.

$n$  = número de furos na secção de ruptura.

$F_{esc}$  = valor obtido do ensaio no escoamento da chapa.

$F_{rupt}$  = valor obtido do ensaio na ruptura da chapa.

$$\text{Área considerada: } S_{trabalho} = \frac{F_{esc.}}{G_{esc.}} \quad (\text{cm}^2)$$

A tabela 3.34 apresenta os resultados dos ensaios com chapa de  $1/4"$ .

As fotos 3.1, 3.2, 3.3, e 3.4 mostram as peças ensaiadas com a secção rompida pelo esforço de tração.

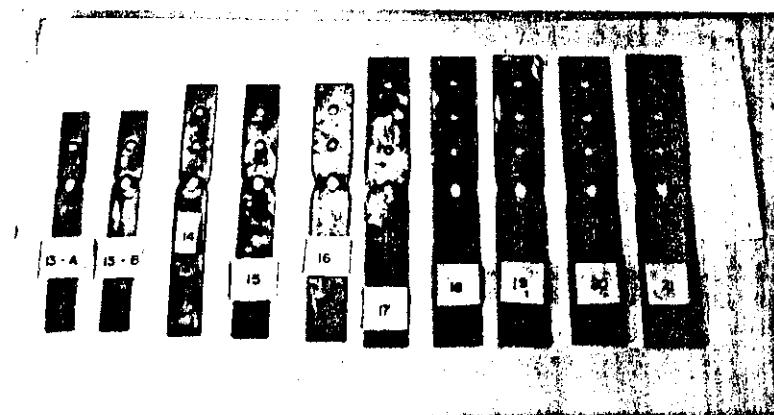


FOTO 3.1

3.19

TABELA 3.33

Nº DO CORPO PROVA	a mm.	b mm.	d mm.	Nº DE Furos	TIPO DE MATERIAL	ÁREA BRUTA cm <sup>2</sup>	ÁREA DOS Furos cm <sup>2</sup>	ÁREA LÍQUIDA cm <sup>2</sup>	ÁREA Furos cm <sup>2</sup>	FORÇA ESCOAMENTO 1	FORÇA RUPTURA 1	ÁREA DE TRABALHO cm <sup>2</sup>	% ÁREA CONSIDERADA	OBSERVAÇÕES
1	80,0	4,4	14,4	1	3/16"	3.520	0,634	2.886	10,01	9,00	10,60	3.520	100,00	
2	80,6	4,4	14,4	2	3 / 16 "	3.546	1,267	2.279	35,73	8,90	9,40	3.546	100,00	
3A	130,5	4,2	14,4	1	3/16"	5.481	0,605	4.876	11,04	13,70	16,40	5.481	100,00	
3B	129,6	4,4	14,4	1	3/16"	5.702	0,634	5.068	11,12	13,40	16,40	5.384	94,42	
4A	129,7	4,2	14,4	2	3/16"	5.447	1,210	4.237	22,21	—	—	—	—	HOUVE PROBLEMA NA LEITURA
4B	129,5	4,4	14,4	2	3/16"	5.698	1,267	4,431	22,24	13,80	15,70	5.344	97,30	
5A	128,5	4,2	14,4	3	3/16"	5.439	1,814	3.625	33,35	—	—	—	—	HOUVE PROBLEMA NA LEITURA
5B	128,8	4,4	14,4	3	3/16"	5.711	1,901	3,810	33,29	12,80	14,20	5,143	90,05	
13A	35,4	4,3	14,4	1	3/16"	1.522	0,619	0,903	40,67	3,00	3,20	1.203	79,19	
13B	35,5	4,3	14,4	1	3/16"	1.527	0,619	0,908	40,54	3,00	3,80	1.203	78,91	
14	40,8	4,3	14,4	1	3/16"	1.754	0,619	1,155	35,29	3,40	3,60	1.366	77,68	
15	45,0	4,4	14,4	1	3/16"	1.980	0,634	1,346	32,02	4,60	5,20	1.848	93,34	
16	50,2	4,3	14,4	1	3/16"	2.159	0,619	1,540	26,57	5,20	6,45	2.068	96,77	
17	55,0	4,4	14,4	1	3/16"	2.420	0,634	1,786	26,20	6,00	6,85	2.411	99,81	
18	60,0	4,4	14,4	1	3/16"	2.640	0,634	2,006	24,02	5,90	7,10	2.370	89,79	
19	65,4	4,4	14,4	1	3/16"	2.878	0,634	2,244	22,03	6,60	7,65	2.652	92,14	
20	70,0	4,4	14,4	1	3/16"	3.080	0,634	2,446	20,58	7,20	8,40	2.893	93,92	
21	75,0	4,4	14,4	1	3/16"	3.300	0,634	2,666	19,21	8,25	9,35	3.300	100,00	
22	74,8	4,4	14,4	2	3/16"	3.291	1,267	2,024	38,50	6,50	8,00	2.611	79,35	
23	109,8	4,4	14,4	1	3/16"	4.831	0,634	4,197	13,12	11,70	15,60	4,701	97,30	
24	109,5	4,4	14,4	2	3/16"	4.618	1,267	3,551	26,30	11,40	12,60	4,580	95,06	
25	110,6	4,4	14,4	3	3/16"	4.666	1,901	2.983	39,07	11,60	13,35	4,661	95,76	
42	141,6	4,4	17,4	3	3/16"	6.230	2,297	5.933	26,87	14,00	16,00	5,625	90,28	

TABELA 3.34

Nº DO CORPO PROVA	$\sigma$ mm.	$\delta$ mm.	Nº DE Furos	TIPO DE MATERIAL	ÁREA BRUTA cm <sup>2</sup>	ÁREA DOS Furos cm <sup>2</sup>	ÁREA LÍQUIDA cm <sup>2</sup>	ÁREA FUNS cm <sup>2</sup>	ÁREA TOTAL cm <sup>2</sup>	FORÇA ESCOAMENTO 1	FORÇA RUPTURA 1	ÁREA DE TRABALHO cm <sup>2</sup>	% ÁREA CONSIDERADA	OBSERVAÇÕES
26	35,10	6,4	14,4	1	114"	2,246	0,922	1,324	41,03	6,00	7,50	1,992	86,69	
27	40,80	6,4	14,4	1	114"	2,390	0,922	1,676	35,49	7,30	9,45	2,424	93,29	
28	43,0	6,4	14,4	1	114"	2,752	0,922	1,830	33,50	7,50	10,15	2,490	90,48	
29	53,3	6,4	14,4	1	114"	3,411	0,922	2,409	27,03	10,20	13,30	3,386	99,28	
30	70,6	6,4	14,4	1	114"	4,518	0,922	3,596	20,41	14,00	19,10	4,518	100,00	
31	132,0	6,4	14,4	1	114"	8,449	0,922	7,526	10,91	24,20	36,50	8,034	95,11	
32	131,4	6,4	14,4	2	114"	8,410	1,843	6,567	21,91	25,80	35,40	8,410	100,00	
33	128,8	6,4	14,4	3	114"	8,243	2,765	5,478	33,84	23,80	30,30	7,825	95,05	

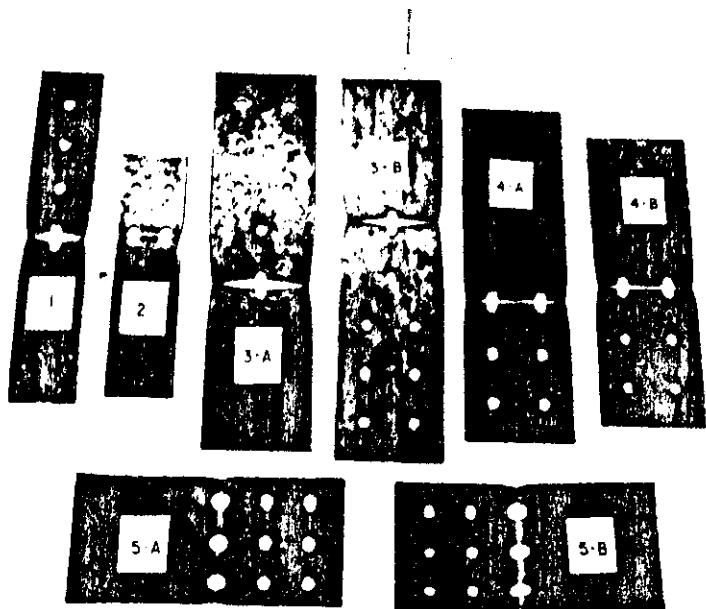


FOTO 3.2

Como mostra a tabela 3.33 nos ensaios 4A e 5A ocorreram problemas na leitura dos resultados e não foram aproveitados.

A seguir serão feitas algumas considerações e comentários sobre os resultados encontrados.

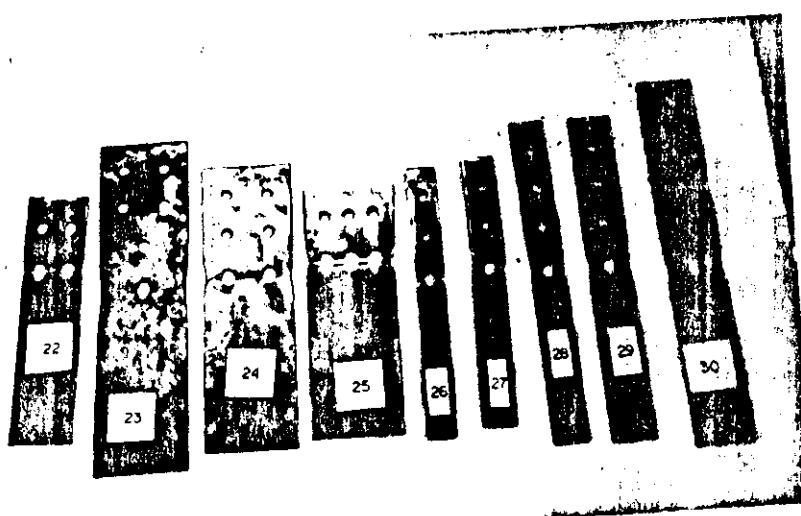


FOTO 3.3

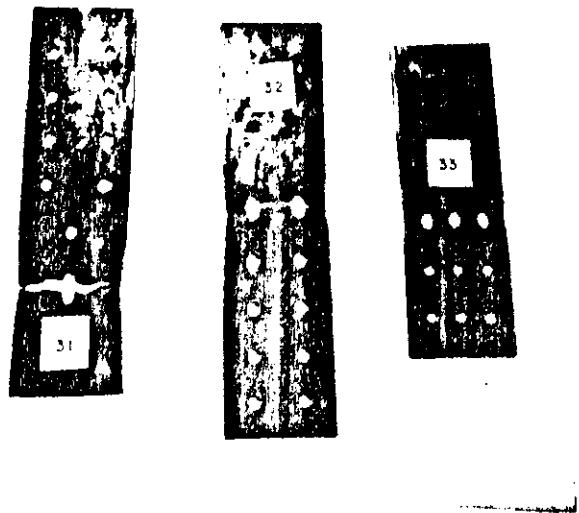


FOTO 3.4

### 3.4. Considerações Finais.

Serão analisados os vários ensaios de acordo com cada teoria sobre o assunto colocando-os em forma de gráficos que facilitam esta análise.

#### 3.4.1. Cálculo conforme a publicação "Estruturas de Aço, Elementos Básicos" de H. Schulte e T.Yagui.-77

Para o caso de parafusos com diâmetro 1/2", arruelas com diâmetro externo  $D = 31 \text{ mm}$ , calcula-se o coeficiente  $\gamma$ .

Para chapa 4,4 mm tem-se:

$$D = 31 \text{ mm} \quad d_f = 14,4 \text{ mm} \quad D' = 31 + 4,4 = 35,4 \text{ mm}$$

$$c = \frac{35,4}{14,4} = 2,458$$

$$A = \frac{\pi}{4} \left[ (D')^2 - (d_f)^2 \right] = \frac{\pi}{4} \left[ (35,4)^2 - (14,4)^2 \right] = 821,4 \text{ mm}^2$$

$$h = \frac{D' - d_f}{2} = \frac{35,4 - 14,4}{2} = 10,50 \text{ m}$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{c} = 0,4068 \quad \alpha = 24,01^\circ \quad \beta = 131,99^\circ$$

$$\cos \alpha = 0,9135$$

$$a = c \cdot d_f \cdot \cos \alpha = D' \cos \alpha = 35,4 \times 0,9135 = 32,34 \text{ mm}$$

$$l = \pi \cdot D' \cdot \frac{\beta}{360} = \pi \times 35,4 \times \frac{131,99}{360} = 40,77 \text{ mm}$$

$$A' = \frac{D'}{4} (l - a) + \frac{a \cdot h}{2} = \frac{35,4}{4} (40,77 - 32,34) +$$

$$+ \frac{32,34 \cdot 10,5}{2} = 244,4 \text{ mm}^2$$

$$\nu = \frac{A'}{A} = \frac{244,4}{821,4} = 0,3$$

$$\nu = 0,3 \quad c = 2,458.$$

Cálculo da capacidade de um parafuso.

$$N_1 \text{ paraf} = P_{\max} \cdot \mu \cdot 0,9 \cdot m$$

$$P_{\max} = 0,6 \cdot G_R \cdot \pi \cdot \frac{d_{liq}^2}{4} = \frac{0,6 \times 12022 \times 3,14 \times 1,0^2}{4} = \\ = 5665 \text{ kg.}$$

ou

$$P_{\max} = 0,72 \cdot G_e \cdot \pi \cdot \frac{d_{liq}^2}{4} = \frac{0,72 \times 11170 \times 3,14 \times 1,0^2}{4} = \\ = 6316 \text{ kg}$$

Na experiência foi dado momento de aperto  
 $M = 17 \text{ kgm}$  e o valor de  $P_{\max}$  foi de : (Ver capítulo 1).

$$P_{\max} = \frac{M}{d_{br} \cdot \delta \cdot 1,1} = \frac{1700}{1,27 \times 0,2 \times 1,1} = \\ = 6084 \text{ kg}$$

$$\mu = 0,35 \text{ (limpeza com escova de aço)} \\ m = 2 \text{ (2 planos de atrito)}$$

$$N_1 \text{ paraf.} = 6084 \times 0,35 \times 0,9 \times 2 = 3833 \text{ kg}$$

#### Cálculo da área de "trabalho"

$$S_{liq} = S_{br} - n_j (d_f \cdot S - \frac{\sqrt{N_{lim}}}{G_{lim}})$$

Nos ensaios com chapas 3/16" como mostra a tabela 3.33 ocorreram variações na espessura da chapa de 4,4mm, 4,3 e 4,2 mm.

Calculando-se anàlogamente, tem-se os seguintes coeficientes:

$$\text{Para } S = 4,3 \text{ mm} \quad \gamma = 0,297$$

$$S = 4,2 \text{ mm} \quad \gamma = 0,297$$

$$\text{O valor de } \sigma = 2489 \text{ kg/cm}^2$$

A tabela 3.35 mostra os valores calculados da área que deve ser considerada com a respectiva porcentagem para chapas de  $3/16"$ , dos ensaios realizados.

Calculou-se também para chapa de  $1/4"$  com os seguintes dados:

$$D = 31 \text{ mm} \quad d_f = 14,4 \text{ mm} \quad S = 6,4 \text{ mm} \quad D' = 37,4 \text{ mm}$$

$$c = 2,597 \quad e \quad \gamma = 0,3065$$

A tabela 3.36 mostra os valores correspondentes a cada ensaio a partir dos seguintes dados:

$$\gamma = 0,306 \quad N^1 \text{ paraf lim} = 3833 \text{ kg}$$

$$\sigma_{\text{lim}} = 3012 \text{ kg/cm}^2$$

Os valores da tabela 3.35 e 3.36 estão lançados no gráfico 3.39 juntamente com os resultados obtidos dos ensaios.

## 3.26

TABELA 3.35

Nº DO CORPO DE PROVA	$d_f$ (mm)	$\delta$ mm	S bruto cm <sup>2</sup>	$n_1$	$\nu$	$\frac{\sqrt{N_{f,lim}}}{U_{f,lim}}$	% área furos área total	$n_1(d_f\delta - \frac{\sqrt{N_{f,lim}}}{U_{f,lim}})$	slig.(cm <sup>2</sup> )	% ÁREA CONSIDER.
1	14,4	4,4	3,520	1	0,297	0,458	18,01	0,175	3,345	95,02
2	14,4	4,4	3,546	2	0,297	0,458	35,73	0,350	3,195	90,11
3 A	14,4	4,2	5,481	1	0,296	0,458	11,04	0,148	5,333	97,30
3 B	14,4	4,4	6,702	1	0,297	0,458	11,12	0,175	5,527	96,93
4 B	14,4	4,4	6,698	2	0,297	0,458	22,24	0,350	5,347	93,85
5 B	14,4	4,4	5,711	3	0,297	0,458	33,29	0,525	5,165	90,79
13 A	14,4	4,3	1,522	1	0,297	0,457	40,67	0,161	1,360	89,38
13 B	14,4	4,3	1,527	1	0,297	0,457	40,54	0,161	1,365	89,70
14	14,4	4,3	1,754	1	0,297	0,457	35,29	0,161	1,592	90,78
15	14,4	4,4	1,980	1	0,297	0,458	32,02	0,175	1,805	91,15
16	14,4	4,3	2,159	1	0,297	0,457	28,67	0,161	1,997	92,51
17	14,4	4,4	2,420	1	0,297	0,458	26,20	0,175	2,245	92,76
18	14,4	4,4	2,640	1	0,297	0,458	24,02	0,175	2,464	93,36
19	14,4	4,4	2,878	1	0,297	0,458	22,03	0,175	2,703	93,91
20	14,4	4,4	3,080	1	0,297	0,458	20,58	0,175	2,905	94,31
21	14,4	4,4	3,300	1	0,297	0,458	19,21	0,175	3,125	94,69
22	14,4	4,4	3,291	2	0,297	0,458	38,50	0,350	2,940	89,35
23	14,4	4,4	4,831	1	0,297	0,458	13,12	0,175	4,655	96,35
24	14,4	4,4	4,818	2	0,297	0,458	26,30	0,350	4,467	82,72
25	14,4	4,4	4,868	3	0,297	0,458	39,07	0,525	4,340	89,19

TABELA 3.36

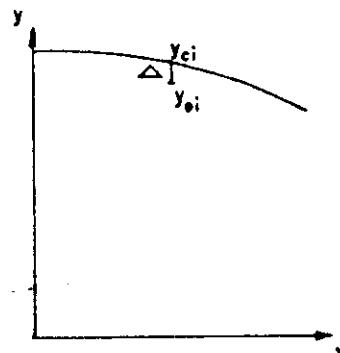
Nº DO CORPO DE PROVA	d <sub>1</sub> (mm)	$\delta$ mm	s área cm <sup>2</sup>	n <sub>1</sub>	V	$\frac{\sqrt{N_{1,lim}}}{V_{lim}}$	$\frac{\% \text{ área fértil}}{\text{Área total}}$	$n_1 d_1 \delta - \frac{\sum N_{1,i}}{F_0}$	s <sub>1,0</sub> (cm <sup>2</sup> )	% ÁREA CONSIDER.
26	14,4	6,4	2,246	1	0,306	0,390	41,05	0,531	1,714	76,33
27	14,4	6,4	2,596	1	0,306	0,390	35,49	0,531	2,066	79,54
28	14,4	6,4	2,752	1	0,306	0,390	33,50	0,531	2,220	80,68
29	14,4	6,4	3,411	1	0,306	0,390	27,03	0,531	2,878	84,42
30	14,4	6,4	4,516	1	0,306	0,390	20,41	0,531	3,986	88,23
31	14,4	6,4	8,448	1	0,306	0,390	10,91	0,531	7,916	93,71
32	14,4	6,4	8,410	2	0,306	0,390	21,91	1,063	7,346	87,38
33	14,4	6,4	8,243	3	0,306	0,390	33,54	1,594	6,648	80,65

3.4.2. Interpolação estatística. (Método dos Mínimos Quadrados.)

Baseando-se nos resultados dos ensaios foram estudadas algumas curvas representativas desses resultados, utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados.

Seja o gráfico da fig. 3.37

Gráfico 3.37



A equação :  $y = ax^2 + bx + c$  representa a curva que se deseja encontrar.

Pelo Método dos Mínimos quadrados:

$$\text{Min} \left[ \sum_{i=1}^n (y_{\theta i} - y_{ci})^2 \right]$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \left[ y_{\theta i} - (ax^2 + bx + c) \right]^2$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \left[ y^2 + (ax^2 + bx + c)^2 - 2y(ax^2 + bx + c) \right] =$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \left[ y^2 + a^2x^4 + 2abx^3 + 2acx^2 + 2bcx + b^2x^2 + c^2 - 2yax^2 - 2ybx - 2yc \right]$$

Para determinar os coeficientes a, b e c temos:

$$\frac{\delta \Delta}{\delta_a} = 0 ; \quad \frac{\delta \Delta}{\delta_b} = 0 ; \quad \frac{\delta \Delta}{\delta_c} = 0$$

Do gráfico 3.1 pode-se retirar o valor de c.  
Para 0,0 % de enfraquecimento, tem-se 100 % de área considerada, portanto para :

$$x = 0 , y = 100 \quad \text{dai} \quad c = 100$$

$$\frac{\delta \Delta}{\delta_a} = \sum_{l=1}^n (2ax^4 + 2bx^3 + 2cx^2 - 2yx^2) = 0$$

$$\frac{\delta \Delta}{\delta_b} = \sum_{l=1}^n (2ax^3 + 2cx + 2bx^2 - 2yx) = 0$$

$$a \sum x^4 + b \sum x^3 + c \sum x^2 - \sum yx^2 = 0$$

$$a \sum x^3 + b \sum x^2 + c \sum x - \sum yx = 0$$

$$(I) \quad \begin{cases} a \sum x^4 + b \sum x^3 = \sum yx^2 - c \sum x^2 \\ a \sum x^3 + b \sum x^2 = \sum yx - c \sum x \end{cases}$$

Para o cálculo dos coeficientes a e b foram tomados os valores da tabela 3.8.

3,30



TABELA 3.38

CORPO DE PROVA	X	Y
1	18,01	100,00
2	35,73	100,00
3A	11,04	100,00
3B	11,12	94,42
4B	22,24	97,30
5B	33,29	90,05
13A	40,67	79,19
13B	40,54	78,91
14	35,29	77,88
15	32,02	93,34
16	26,67	96,67
17	26,20	89,61
18	24,02	89,79
19	22,03	92,14
20	20,58	93,92
21	19,21	100,00
22	38,50	79,35
23	13,12	97,30
24	26,30	95,06
25	39,07	95,70
42	36,87	90,28

CORPO DE PROVA	X	Y
26	41,05	88,69
27	35,49	93,29
28	33,50	90,48
29	27,03	89,28
30	20,41	100,00
31	10,91	95,11
32	21,81	100,00
33	33,54	95,05

CHAPA 1/4"

CHAPA 3/16"

Utilizando todos os valores da tabela 3.38 na equação (I) efetuando-se os cálculos para chapa 3/16", considerando-se  $c = 100$ , foram encontrados os valores.

$$a = -0,0118 \text{ e } b = 0,0898$$

### 3.31

Portanto a equação da curva será:

$$y = -0,0118 x^2 + 0,0898 x + 100 \quad (1)$$

Em gráfico temos:	x	y
	0	100,00
	10	99,72
	20	97,08
	30	92,07
	40	84,71

No cálculo anterior sem a consideração do ponto 3B, cujo resultado foi considerado duvidoso tem-se:

$$a = -0,0132 \quad e \quad b = 0,1419$$

$$y = -0,0132 x^2 + 0,1419 x + 100 \quad (2)$$

x	y
0	100,00
10	100,00
20	97,56
30	92,38
40	84,56

Tomando-se os valores sómente para chapa de 1/4" (tabela 3.31), chega-se aos valores:

$$a = -0,0099 \quad e \quad b = 0,1448$$

$$y = -0,0099 x^2 + 0,1448 x + 100 \quad (3)$$

x	y
0	100,00
10	100,00
20	98,93
30	95,43
40	89,95

Considerando-se os valores para chapa 3/16" e 1/4" (todos os valores, inclusive o ponto 3B) conjuntamente na equação (I) temos:

$$a = -0,0113 \quad e \quad b = 0,1090$$

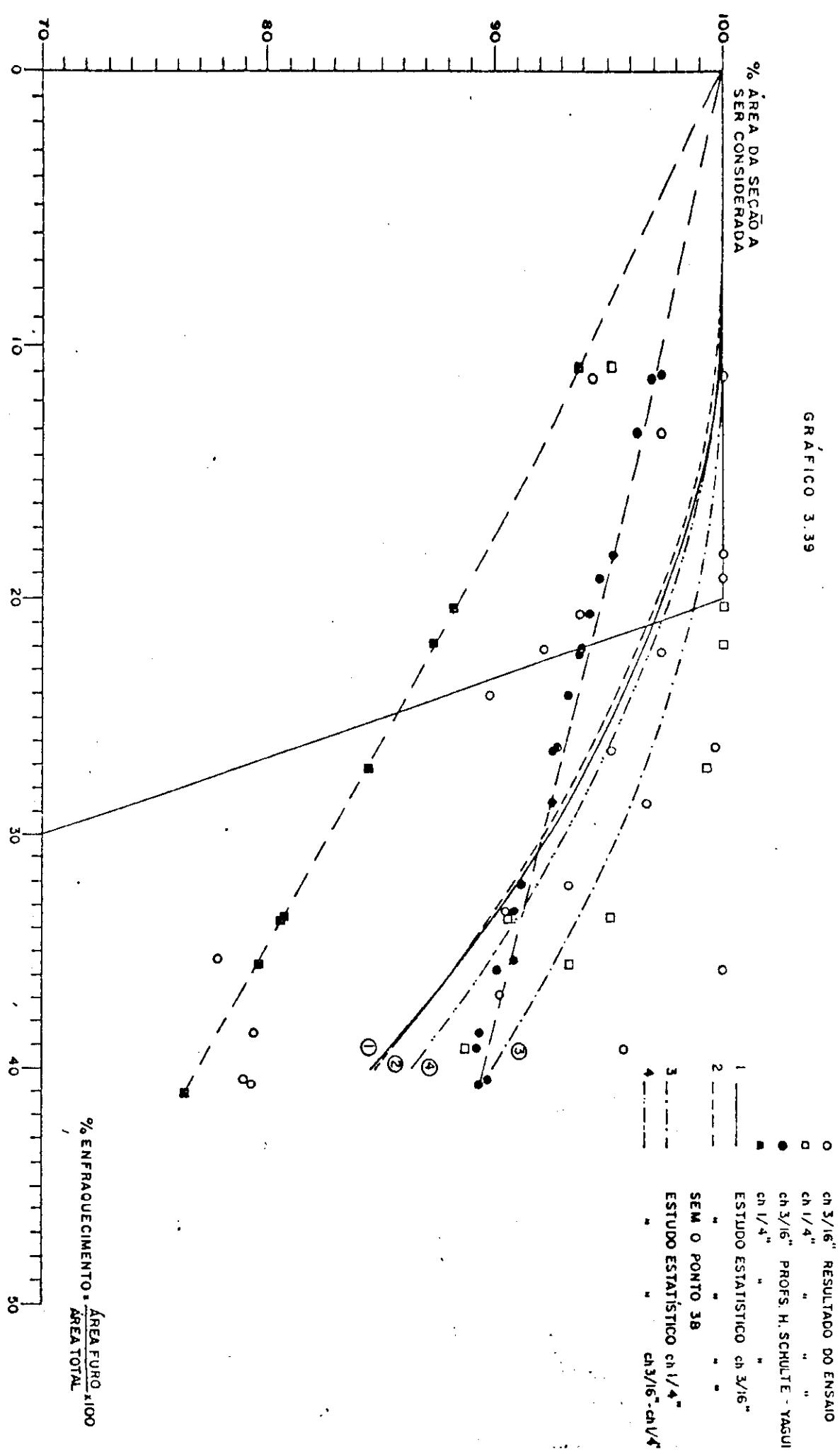
$$y = -0,0113 x^2 + 0,1090 x + 100 \quad (4)$$

x	y
0	100,00
10	99,96
20	97,66
30	93,10
40	86,28

Chegou-se a 4 curvas distintas que estão lançadas no gráfico 3.39.

3.33

GRÁFICO 3.39



### 3.4.3. Conclusões.

Para poder tecer algumas considerações, analisou-se o gráfico 3.39 e conclui-se que até 10 % de enfraquecimento tem-se consideração da área total de acordo com as recomendações das Normas Alemãs.

Em contra partida levando-se em conta os resultados dos ensaios na faixa de enfraquecimento de 10 a 20 % não se poderia recomendar com segurança a consideração da área bruta, pois as curvas de interpolação mostram valores menores de 100 %, e de 20 a 30 % as Normas Alemãs apresentam valores muito menores que as recebidas pelos ensaios.

Comparando os resultados encontrados pelo processo dos Prof. Schulte e Yagui, com as curvas (1), (2), (3) e (4) até 30 % de enfraquecimento, chega-se à conclusão de que o processo dos prof. Schulte e Yagui está a favor da segurança na consideração do enfraquecimento, o que seria previsível devido às hipóteses adotadas.

Em relação às recomendações alemãs de 0 a 20 %, há segurança nos valores dos profs. Schulte-Yagui o mesmo não acontecendo de 20 a 30 %, onde existem regiões que desaconselham a interpolação das Normas Alemãs.

Os ensaios executados não permitem recomendar normas para todos os tipos de parafusos, diâmetros diferentes e espessura de chapas diversas, pois ensaiaram-se apenas chapas de 3/16" e 1/4" e diâmetro do parafuso  $\varnothing = 1/2"$ .

Levando em conta os valores dos ensaios e o estudo estatístico, pode-se concluir que de 0 a 10% de enfraquecimento, pode-se considerar 100% da área trabalhada.

De 10% a 20%, deve-se interpolar considerando para o valor correspondente a 20% de enfraquecimento a área de trabalho como 95%.

De 20% a 30% deve-se interpolar considerando para o valor correspondente a 30% de enfraquecimento a área de trabalho como 70%.

O estudo com parafusos de diversos diâmetros,  
e diversificação nas espessuras das chapas dos modelos, de  
verá ser objetivo de um outro trabalho.

4 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - Schulte H. e T. Yagui - Estruturas de Aço, Elementos Básicos" edição 1977.
- 2 - "Stahlbau" - La Construcción Metálica.  
(Tradução de obra Alema "Stahlbau").
- 3 - Bibliography on bolted and riveted joints, manual nº 48 ASCE, 1967.
- 4 - Chesson, E, and Murse, W.H.  
Studies of the Behavior of high- Strength Bolts and Bol-  
ted joints.  
Bulletin 469, University of Illinois Engineering Experi-  
ment Station, October 1964.
- 5 - Christopher R.J. Kulak, G.L. and Fischer, J.W.  
Calibration of Alloy Steel Bolts.  
Journal of the Structural Division, ASCE.  
Vol. 92, nº ST2, April 1966.
- 6 - Proceedings of the symposium on high- Strength Steel  
and its joint.  
Compiled by Japan Society of Civil Engineers and Archi-  
tectural Institute of Japan - Tokio- September, 1966.
- 7 - Wallaert, J.J. and Fischer. J.W.  
Shear Strength of High - Strength Bolts.  
Journal of the Structural Division, ASCE, vol.91,nº ST3  
June 1965.
- 8 - Chesson, E. Faustino, N.L, and Murse, W.H.  
High- Strength Bolts Subjected to Tension and Shear,  
Journal of the Structural Division, ASCE.  
Vol. 91, nº ST5. October 1965.

- 9 - Birkemoe, P.C. Meinheit, D.F. and Munse, W.H.  
Fatigue of A 514 - Steel in Bolted connections.  
Journal of the Structural Division, ASCE.  
Vol. 95, n° ST10, pp. 2012-2030, October 1969.
- 10- Fischer, J.W. and Rumpf, J.L.  
Analysis of Bolted Butt Joints.  
Journal of the Structural Division, ASCE.  
Vol. 91, n° ST5, October 1965.
- 11- Douty, R.T. and M c Guire, W.  
High - Strength Bolted moment connections.  
Journal of the Structural Division, ASCE.  
Vol. 91, n° ST2, pp. 101 - 128 - April 1965.
- 12- Allan R.N. and Fisher J.W.  
Bolted joints with overside or slotted holes.  
Journal of the Structural Division ASCE.  
Vol. 94, n° ST9 Settember 1968.
- 13- Birkemoe, PC, and Herrschaft, D.C.  
Bolted galvanized Bridges Engineering Acceptance Near  
Civil Engineering ASCE april 1970.
- 14- Kulak, GL. and Fischer J.W.  
A 514 Steel Joints Fastened by A 490 Bolts.  
Journal of the Structural Division ASCE.  
Vol. 94, n° ST10 - October 1968.
- 15- Fischer, JW. and Beedle L.S.  
Criteria for Designing Bearing-type Bolted joints.  
Journal of the Structural Division ASCE.  
Vol. 91, n° ST5, October 1969.
- 16- Reserch council Specification for Structural joints.  
Using ASTM A 325 or A 490 Bolts, approved April 18  
1972.

- 17 - ASTM Designation A 325-71a, Standard Specification for High Strength Bolts for Structural Steel Joints, Including suitable nuts and plain hardened washers, approved october 20, 1971.
- 18 - ASTM Designation A 490-71, Standard Specification for quenched and tempered alloy steel bolts for structural steel joints, approved may 16, 1971.
- 19 - "Calibration of Alloy steel bolts", by Christopher, R. J. Kulak G.L, and Fischer, J.W.  
Journal of the structural Division ASCE.  
vol. 92, nº st2. Proc. Paper 4768, April 1966,pp19-40
- 20 - Specification of Minimum Preloads for structural Bolts by Gill, P.J. Memorandum 30, G,K,N. Group Research Laboratory England 1966 (unpublished Report).
- 21 - "High Strength Bolting of Galvanized Structural Connections" University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin.
- 22 - "Studies of Hydrogen Stress Cracking and Stress Corrosion cracking of hight strength bolts",  
Boyd, W. K. Journal of the structural Division A.S.C.E.
- 23 - AISCE - Especificações para ligações estruturais usando parafusos A 325 ou A 490 (04/02/76).