

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR *JOSE ROBERTO*  
*CAZETTA* E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM *28/07/09*

*Itamar*  
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

## **Painel colado e rebitado como alternativa ao painel soldado**

Autor: **Jose Roberto Cazetta**  
Orientador: **Prof.Dr.Itamar Ferreira**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

# **Painel colado e rebitado como alternativa ao painel soldado**

**Autor: Jose Roberto Cazetta**

**Orientador: Prof.Dr. Itamar Ferreira**

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Dissertação de mestrado acadêmico apresentado à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2009.

S.P. – Brasil.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G258p                   Cazetta, Jose Roberto  
                          Painel colado e rebitado como alternativa ao painel  
                          soldado / Jose Roberto Cazetta. --Campinas, SP: [s.n.],  
                          2009.

                          Orientador: Itamar Ferreira.  
                          Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
                          Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

                          1. Portas. 2. Soldas e soldagem. 3. Adesivos. 4.  
                          Compostos metálicos. 5. Colagem. I. Ferreira, Itamar.  
                          II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
                          Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Agglutinated and Riveted Panel as an alternative of the welded  
                          panel

Palavras-chave em Inglês: Doors, Weld and welding, Metallic composites,  
                          Adhesives, Collage

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Célia M.de Alvarenga Freire, Ruis Camargo Tokimatsu

Data da defesa: 28/07/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

**Painel colado e rebitado como alternativa ao  
painel soldado**

Autor: **Jose Roberto Cazetta**

Orientador: **Prof.Dr. Itamar Ferreira**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



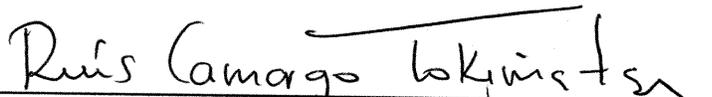
---

**Prof. Dr. Itamar Ferreira, Presidente  
DEMA/FEM/UNICAMP**



---

**Prof. Dra. Célia M. de Alvarenga Freire  
DEMA/FEM/UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Ruis Camargo Tokimatsu  
UNESP/Ilha Solteira**

Campinas, 28 de julho de 2009.

## **Dedicatória:**

Dedico este trabalho à minha querida família que soube praticar a paciência. Em especial à minha esposa que, com seu jeito carinhoso, soube me motivar e fornecer base familiar para que, com tranquilidade, nós conseguíssemos ir em frente até a finalização de mais uma etapa em nossas vidas.

## **Agradecimentos**

A finalização deste trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas às quais presto as merecidas homenagens:

Aos meus pais (in memoriam), por ter me proporcionado vir a este mundo;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Itamar que me deu a oportunidade de desenvolver este trabalho e pela orientação;

A todos os professores da UNICAMP e colegas que me ajudaram e que torceram pelo meu sucesso;

Aos colaboradores da Empresa Elevadores Atlas Schindler S.A., que facilitaram a minha conciliação entre a Empresa e a Universidade.

“O mais importante da vida não é a situação em que estamos,  
mas a direção para a qual nos movemos”.

Oliver W. Holmes

## Resumo

CAZETTA, José Roberto, Painel colado e rebitado como alternativa ao painel soldado, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 100 p. Dissertação (Mestrado).

Ao longo da história dos elevadores as suas respectivas portas passaram por muitas fases de desenvolvimento, desde a sua não utilização até modelos que poderiam acarretar perigo ao usuário. Atualmente os modelos de painéis de portas são seguros, porém de maneira geral, ainda utilizam processos produtivos tradicionais para efetuar a união mecânica entre os componentes, fazendo uso da soldagem. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um conjunto painel metálico aplicando os processos de colagem e rebitagem em concomitância na união dos seus componentes, e demonstrar também a sua viabilidade em ser uma alternativa ao conjunto painel soldado. Para isso foram manufaturados dois conjuntos de painéis e seus componentes tiveram as mesmas dimensões e geometrias, diferenciando somente no processo produtivo, pois um teve os seus componentes unidos por meio da soldagem MIG e no outro painel aplicou-se fita adesiva VHB e rebites de aço inoxidável na união de seus componentes. A legitimação da alternativa entre processos se fez por meio da análise comparativa dos dados obtidos em dois diferentes ensaios executados nos painéis, sendo um deles de flexão, ou seja, consiste em aplicar uma carga de 300N perpendicular à face frontal do painel e em seu ponto mais vulnerável. O outro ensaio foi submeter os painéis a esforços de torção, por meio da aplicação de uma carga de 500N durante cinco minutos. Os resultados dos ensaios demonstraram que o conjunto painel soldado tem a melhor rigidez comparativamente ao painel colado e rebitado, porém o painel colado e rebitado teve o melhor desempenho, em termo dos dois ensaios utilizados.

*Palavras Chave:*

- Painéis metálicos, Painel colado, Painel soldado, Fita adesiva.

## **Abstract**

CAZETTA, Jose Roberto, *Agglutinated and Riveted Panel as an alternative of the welded panel*, Campinas, School of Mechanical Engineering, University of Campinas, 2009. 100 p. Dissertation Master of Science.

Along the elevators' history its door has passed through many development phases since its no using of the doors by the ones which could cause injuries to the user. Nowadays the models of the doors panels are safe, however they still have used traditional productive processes (welding) to make the mechanical union among the components. The objective of this work is to develop a metallic panel applying the agglutinated and riveting processes in concomitance in the union of their components and also to demonstrate the viability as an alternative of the welded panel, so that two panels were manufactured and their components had the same dimensions and geometries, differing only on the productive process. One of them their components were jointed by welding MIG and the other one was applied VHB adhesive tape and stainless steel rivets for joining of their components. The legitimation of the alternative among processes was made by using the comparative analysis of the results obtained from two different tests executed on the panels. One of them consists to apply 300N perpendicular to the panel front face, in the more vulnerable point. It is the flexure test. The other test was to submit the panels to torsion efforts, by using the load application of 500N for five minutes. The results of the tests demonstrated that the welded panel has the best rigidity and the agglutinated and riveted panel had the best performance in terms of the used tests.

Words Key:

- Metallic panels, agglutinated Panel, welded Panel, adhesive tape.

## Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiv
Nomenclatura	xv
<b>Capítulo 1 - Introdução e objetivo</b>	
1.1 - Introdução	01
1.2 - Objetivo do trabalho	02
<b>Capítulo 2 - Revisão da Literatura sobre painéis</b>	
2.1 – Histórico sobre painéis de portas com uso em elevador	05
2.1.1 – Porta pantográfica	06
2.1.2 – Porta giratória, tipo eixo vertical	07
2.1.3 - Painel tipo sanduíche com gesso	08
2.1.4 – Painel de vidro	09
2.1.5 – Painel metálico fechado com união por solda	09
2.1.6 – Painel metálico aberto com união por solda	10
2.2 – Opções de painéis	
2.2.1 - Painel de gesso acartonado	12
2.2.2 - Painel de espuma rígida de poliuretano (PU)	13
2.2.3 – Painel composto de alumínio (ACM)	14
2.2.4 – Painel sólido de alumínio	16
2.2.5 – Painel com estrutura em sanduíche	16
2.2.6 – Painel com o núcleo em colméia de papelão	17
2.2.7 – Painel sanduíche com elementos metálicos e núcleo celular	18
2.2.8 – Painéis de madeira	19

### Capítulo 3 – **Desenvolvimento dos conjuntos painéis.**

3.1 - Conjunto painel colado e rebitado	23
3.1.1 – Etapas do desenvolvimento	23
3.1.2 – Descritivo do conjunto painel colado e rebitado	25
3.1.3 – Descritivo da matéria prima	28
3.1.4 – Processos produtivos aplicados	33
3.2 – Conjunto painel soldado	35
3.2.1 – Diagrama dos cordões de solda (processo MIG)	35
3.2.2 – Processos produtivos aplicados	38
3.2.3 – Dimensionamento dos cordões de solda	40
3.3 – Planilha de custos	42

### Capítulo 4 - **Metodologia utilizada para demonstrar a viabilidade do conjunto painel colado e rebitado como alternativa ao painel soldado**

4.1 – Introdução	43
4.2 – Ensaio à flexão - Aplicação da carga de 300N	44
4.3 – Ensaio de torção	
4.3.1 – Medição da planeza nos painéis	48
4.3.2 – Dispositivo para medição da planeza	49
4.3.3 – Resultados da medição da planeza antes do ensaio de torção	51
4.3.4 – Aplicação do ensaio de torção	52
4.3.5 – Execução do ensaio de torção	56

### Capítulo 5 - **Resultados e Discussão**

5.1 – Resultado do ensaio de flexão (aplicação da carga de 300 N)	58
5.1.1 – Curvas da carga (N) em função da deformação (mm)	59
5.2 – Resultado do ensaio de torção	
5.2.1 – Análise da curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm)	63
5.2.2 - Análise da curva da carga (N) em função do tempo (s)	65

5.3 – Medição da planeza após o ensaio de torção	66
5.4 – Deslocamento máximo permanente dos conjuntos painéis	67
5.5 – Verificação das uniões dos componentes após ensaio de torção	
5.5.1 – Conjunto painel colado e rebitado	69
5.5.2 – Conjunto painel soldado	70
5.6 – Discussão	
5.6.1 – Solda MIG – Tensão residual	70
5.6.2 – Painéis sanduíches	71
5.6.3 – Adesivo e fitas adesivas	72
5.6.4 – Painéis de gesso	72
<b>Capítulo 6 - Conclusões e Sugestões de trabalhos futuros</b>	
6.1 – Conclusões	75
6.2 - Proposta de estudos futuros	77
<b>Referências Bibliográficas</b>	78
<b>Anexo I – Curvas provenientes do ensaio de flexão (aplicação da carga de 300 N), no painel colado e rebitado.</b>	82
<b>Anexo II – Diagrama dos pontos de aplicação da carga 300 N, no ensaio de flexão e demais pontos utilizados na medição da planeza, nos dois painéis.</b>	89
<b>Anexo III – Informativo sobre adesão, soldagem e corrosão</b>	90

## Lista de Figuras

1.1	Esquema do ensaio de flexão – Aplicação da carga de 300 N	
	(a) Vista frontal do painel (b) Vista lateral do painel	03
1.2	Diagrama do ensaio de torção	04
2.1	Esquema de porta pantográfica	07
2.2	Esquema da porta giratória	08
2.3	Vista frontal da porta giratória	08
2.4	Esquemas do conjunto painel sanduíche com gesso	08
2.5	Painel de vidro com a placa superior inferior	09
2.6	Vista tridimensional de uma porta com painel de vidro montado no batente	09
2.7	Conjunto painel fechado com dois reforços em U	10
2.8	Conjunto painel fechado com dois reforços em Z	10
2.9	Conjunto painel fechado com dois reforços trapezoidal	10
2.10	Folha de porta com painel e reforço	11
2.11	Folha de porta com painel bandeja revestido com chapa de aço inoxidável	11
2.12	Conjunto painel bandeja com travessa especial	11
2.13	Conjunto painel bandeja com travessa maciça	12
2.14	Conjunto painel bandeja com travessa U	12
2.15	Rigidez equivalente em relação ao peso dos materiais por metro quadrado	15
2.16	Seqüência de produção de um painel dobrado	15
2.17	Painel com o núcleo em colméia de papelão	18
2.18	Painel sanduíche estrutural com núcleo fechado	19
	(a) Colméia hexagonal (b) Colméia quadrada (c) Colméia triangular	
3.1	Esquema do conjunto painel colado e rebitado	26

3.2	Detalhes da montagem dos componentes de um conjunto painel colado	27
3.3	Detalhes dos componentes e dos cordões de solda de um painel soldado	36
3.4	Esquema do conjunto painel soldado	37
3.5	Esquema da tocha e a poça de fusão da soldagem MIG / MAG	38
4.1	Fotografia do conjunto painel soldado montado no pórtico, no prumo, para o ensaio de flexão (a) em sua extremidade superior (b) em sua extremidade inferior	46
4.2	Fotografia da célula de carga montada no pórtico atuando no ponto P1 do conj. painel soldado, para ensaio de flexão.	46
4.3	Fotografia do sensor foto elétrico – Posicionado no Ponto P2 do conj. painel colado e rebitado	47
4.4	Fotografia da célula de carga com o conjunto atuador montado	47
4.5	Arranjo dos pontos de medição da planeza	48
4.6	Fotografia do dispositivo para medição da planeza	49
4.7	Fotografia do dispositivo com três pontos de encosto	50
4.8	Fotografia do relógio comparador posicionado no ponto P1 do conj. painel soldado	50
4.9	Fotografia da verificação do nivelamento do conjunto painel colado	50
4.10	Fotografia da medição da planeza do ponto P5 no conj. painel colado e rebitado	51
4.11	Diagrama de aplicação das forças e os pontos de fixação no painel	53
4.12	Fotografia do dispositivo de torção com o nível de bolha de água	54
4.13	Fotografia da parte fixa do dispositivo de torção com o painel	55
4.14	Fotografia da célula de carga (a) conectada ao dispositivo de torção (b) conectada na talha	55
4.15	Fotografia do conjunto painel colado durante ensaio de torção	57
4.16	Fotografia da vista inferior do conjunto painel soldado (a) durante ensaio de torção (b) do ponto de giro do dispositivo de torção	57
5.1	Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P1, medição a	59
5.2	Curva da carga ( N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P2, medição a	60

5.3	Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P3, medição a	60
5.4	Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P1, medição 1	61
5.5	Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P2, medição 1	62
5.6	Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P3, medição 1	62
5.7	Curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm) efetuado no conjunto painel colado e rebitado	64
5.8	Curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm) efetuado no conjunto painel soldado	64
5.9	Curva da carga (N) em função do tempo (s) efetuado no conjunto painel colado e rebitado	65
5.10	Curva da carga (N) em função do tempo (s) efetuado no conjunto painel soldado	66
5.11	Medição do deslocamento máximo permanente no conjunto painel soldado com o paquímetro	68
5.12	Medições do deslocamento máximo permanente nos quatros cantos do conjunto painel soldado	69

## Lista de Tabelas

3.1	Limite de resistência do rebite POP inoxidável com diâmetro 4,8 mm	31
3.2	Esquema dos esforços aplicados na fita VHB utilizada para unir uma travessa ao painel dobrado	32
3.3	Propriedades mecânicas da solada MIG	35
3.4	Valores das tensões recomendadas pela AWS	41
3.5	Custo industrial do conjunto painel colado e rebitado e do conjunto painel soldado	42
4.1	Medição da planeza antes do ensaio de torção em ambos os protótipos	51
4.2	Variação da planeza nos respectivos pontos antes do ensaio de torção	52
5.1	Resultados do ensaio de flexão, aplicação da carga 300 N no conjunto painel colado e rebitado	58
5.2	Resultados do ensaio de flexão, aplicação da carga 300 N no conjunto painel soldado	59
5.3	Medição da planeza efetuada após o ensaio de torção	67
5.4	Deslocamento máximo permanente nos pontos (P1 a P9) para ambos os painéis após o ensaio de torção	67
5.5	Medição do deslocamento máximo permanente efetuado nos quatros cantos dos conjuntos painéis após ensaio de torção	68
5.6	Deslocamento máximo permanente dos conjuntos painéis após o ensaio de torção	69

## **Nomenclatura**

### *Unidades*

**MPa** = mega pascal (N/mm<sup>2</sup>)

**mm** = milímetro

**cm** = centímetro

**µm** = micrometro

**cm<sup>2</sup>** = centímetro ao quadrado

**kg** = quilograma

**kgf** = quilograma força

**N** – newton.

**A/mm<sup>2</sup>** = amperes por milímetro ao quadrado

**mV/V** – milivolts por volt

### *Abreviações*

**PU** - Poliuretano

**PUR** – Poliuretano em espuma

**PEBD** – Polietileno de baixa densidade

**UV** – Ultravioleta

**ACM** – Aluminum Composite material

**VHB** – Very High Bonding

**TLP** – Transient Liquid Phase

**PVC** – Polyvinyl Chloride (Policloreto de vinila)

**MP** – Matéria prima

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono

**O<sub>2</sub>** – Gás Oxigênio

**N<sub>2</sub>** – Gás Nitrogênio

**Ar** – Argônio

**Gr0** – Grau de aderência zero

**M10** – Rosca métrica diâmetro 10 mm

**M12** – Rosca métrica diâmetro 12 mm

**M.P** – Matéria prima

### *Siglas*

**IPT** – Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo

**MIG** – Metal Inert Gás

**MAG** – Metal active Gás

**NCCA** – National Coil Coating Association

**AWS** – American Welding Society

**NBR** – Normas Brasileiras

**GMAW** – Gas Metal Arc Welding

**UL** – Underwriters Laboratories Inc.

**MDF** – Medium Density Fiberboard

**OSB** – Oriented strand Board

**SAE** – Society American Engineering

# Capítulo 1

## Introdução e objetivo

### 1.1 - Introdução

Atualmente todos participam do processo que envolve mudanças de comportamento relacionadas à conservação e preservação do meio ambiente levando a população, a exigir o desenvolvimento de novos produtos com apelo ecológico com menor consumo de energia, produtos que utilizem materiais recicláveis, pois falta pouco para o nosso Planeta chegar ao limite da renovação.

Têm-se a responsabilidade de desenvolver novos materiais que não sejam agressivos ao meio ambiente assim como novos processos de fabricação que possibilitem a utilização dos mesmos e também reduzir o consumo de energia elétrica durante o processo produtivo.

Voltado a essa preocupação, hoje dispõem-se de várias alternativas de processos produtivos associados à utilização de materiais recicláveis, nos quais se depara com a famosa equação custo x benefício e que, geralmente, se opta pela alternativa que não tem um caráter ecológico, pois a essa se faz necessário um investimento, que para alguns não agrega valor ao produto. Entretanto, já existem exemplos que isso não é verdade.

Hoje em dia, muitas aplicações de âmbito geral optam por escolhas que estejam voltadas à redução de custo, as quais exigem projetos de engenharia com estruturas cada vez mais leves e simples de produzir.

As mesmas exigências referentes ao custo recaem sobre todas as áreas de atuação da engenharia, devido a isso, hoje temos muitas opções de novos materiais, tais como os compósitos com alta rigidez, resistência mecânica e com baixo peso, porém com limitações de aplicação.

Existe a opção dos painéis em sanduíche cuja aplicação é crescente, porém o custo ainda é alto, viabilizado somente para casos especiais.

A maioria dos projetos de estruturas metálicas, treliças, união de componentes estruturais fazem uso dos processos de soldagem tais como: por resistência elétrica, TIG, MIG / MAG, por eletrodo revestido para efetuarem a junção dos elementos mecânicos e que posteriormente passam por um processo de proteção à corrosão podendo ser desde uma simples pintura até um tratamento galvânico que utilizam elementos químicos altamente poluentes.

Em oposição a esses processos poluentes encontram-se disponíveis como opções aos processos de junções mecânicas entre elementos, os quais dependendo das exigências de aplicação podem ser utilizados: fixação por ponto TOX, rebite, parafuso, adesivo ou fita adesiva VHB, os quais atribuem ao conjunto unido resistência mecânica adequada.

Portanto cabe a todos procurar a conciliação das opções dentro do custo alvo, mas não desconsiderar o apelo ecológico dos novos produtos.

## **1.2 - Objetivo do trabalho**

O objetivo desse trabalho é propor uma alternativa ao processo de produção aplicado atualmente na fabricação de painéis, no qual se utiliza a soldagem MIG na união dos componentes e posteriormente realiza-se a proteção galvânica, por meio da pintura.

Para isso foi desenvolvido um novo conjunto painel, no qual os componentes foram unidos mecanicamente com fita adesiva VHB e rebites em concomitância.

A viabilização da alternativa do novo processo é avaliada por meio da análise comparativa entre dois conjuntos protótipos de painéis, sendo que um dos conjuntos foi produzido utilizando-se o processo de soldagem MIG e o outro conjunto painel utilizou-se fita adesiva VHB e rebites na união dos componentes.

Os componentes que formam os conjuntos painéis foram manufaturados com as mesmas dimensões, matéria prima e a mesma geometria, dessa maneira possibilitou mensurar exclusivamente a eficiência dos dois processos produtivos.

A análise comparativa entre os dois conjuntos painéis é efetuada por meio dos dados obtidos dos dois diferentes ensaios executados em laboratório. O primeiro ensaio de flexão

refere-se à aplicação de uma carga de 300 N em três pontos do painel (P1, P2 e P3), os quais estão distribuídos na linha central do painel e com o painel fixo nas extremidades a um pórtico, conforme mostrado na figura 1.1. Dimensões, para localização dos pontos demarcados, mostrados no Anexo II.

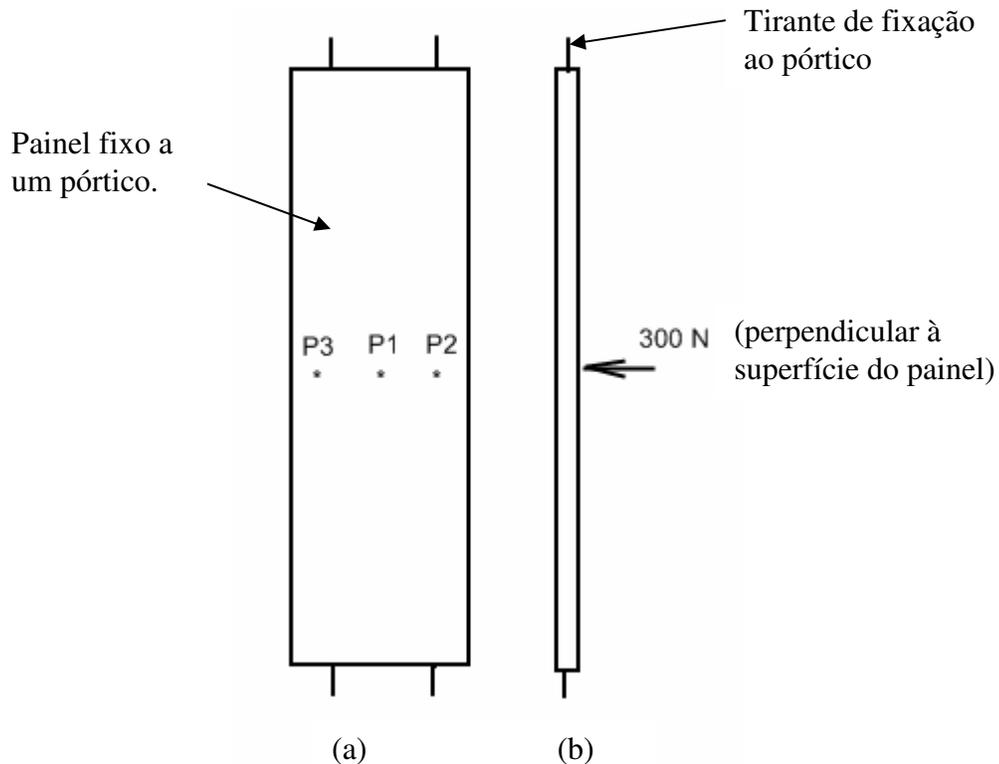


Figura 1.1 – Esquema do ensaio de flexão - Aplicação da carga de 300 N  
(a) Vista frontal do painel (b) Vista lateral do painel

O segundo ensaio refere-se à solicitação dos painéis a esforços de torção, que compreende no travamento da extremidade inferior do conjunto painel a um dispositivo especial, neutralizando qualquer movimento. A outra extremidade superior do painel foi montada a um dispositivo rígido de travessas, que em um dos seus lados possibilita a articulação do painel e no outro lado da travessa aplicou-se uma carga para cima de 500 N durante 5 minutos. O ensaio está esquematizado na figura 1.2

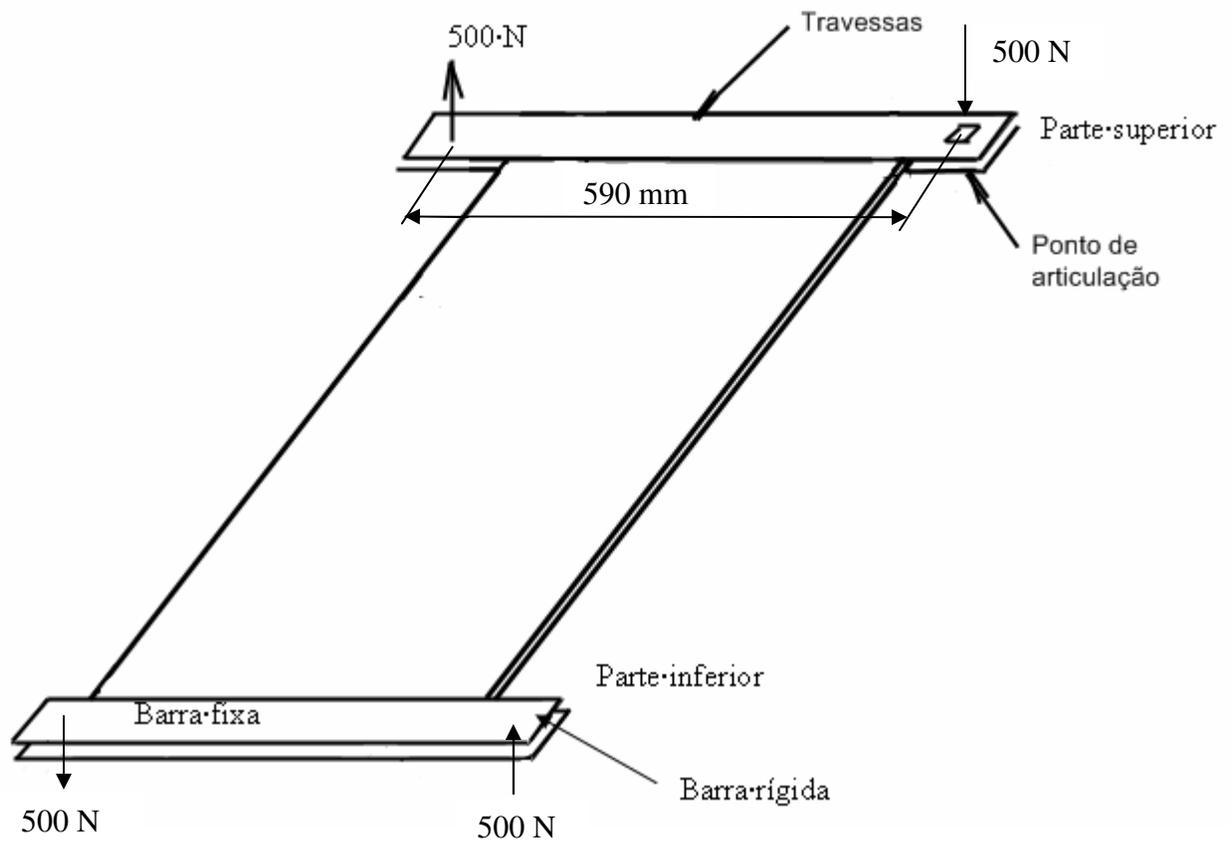


Figura 1.2 – Esquema do ensaio de torção

## **Capítulo 2**

### **Revisão da literatura sobre painéis**

Nesse capítulo é apresentada uma revisão de maneira expositiva do histórico da evolução na utilização de painéis com aplicação em elevadores. As informações foram coletadas por meio da literatura de artigos, catálogos técnicos, normas técnicas e informações dos fornecedores dos materiais mencionados.

#### **2.1 – Histórico sobre painéis de portas com uso em elevador.**

O início da utilização de elevadores para o transporte de pessoas com segurança data de 1852 com a invenção de um dispositivo de segurança por E.G. Otis o qual tem o seu uso obrigatório nos elevadores até os dias de hoje [1].

No princípio os poços, por onde os elevadores subiam e desciam, não tinham proteção nas aberturas pelas quais os usuários tinham acesso ao elevador, ficando vulneráveis à ocorrência de acidentes, assim a primeira evolução foi providenciar o uso de uma grade ou um portão com o objetivo de criar uma barreira na abertura do poço pela qual se tem acesso ao elevador.

A evolução para as atuais configurações de entrada de pavimento, as quais garantem um total enclausuramento do poço é uma história de melhorias constantes em projeto de engenharia e aplicação de diferentes materiais.

Entidades normalizadoras brasileiras e internacionais tomaram a iniciativa de garantir uma operação segura dos elevadores estipulando que o acesso ao elevador deveria ter sua entrada totalmente protegida através de um conjunto de painéis e mecanismos específicos que proporcionariam o seu funcionamento de maneira segura ao usuário [1 e 2]. A consequência dessa restrição ou barreira de acesso ao interior do poço evitou a ocorrência de acidentes, tais como:

Queda de pessoas ou animais no poço; choque do elevador com pessoas descuidadas, ao passar pelo pavimento, etc.

Os painéis das portas deveriam ser manufaturados inteiramente com metal resistente ao fogo ou painel de madeira inteiramente revestida com chapa metálica.

De uma maneira simplificada, pode-se dizer que o funcionamento dos painéis de porta consiste em posicioná-los verticalmente, tendo a sua extremidade superior fixa a um mecanismo eletromecânico, por intermédio de carretilhas, as quais proporcionam o movimento de abrir e fechar. Na parte inferior, os painéis são guiados por uma canaleta existente na soleira de alumínio, o que garante a estabilidade e a rigidez dos painéis.

Basicamente as alternativas de modelos e processos produtivos dos painéis de portas passaram por evoluções e devido a restrições da norma e algumas opções estão proibidas atualmente de serem usadas em elevadores.

A seguir são apresentados alguns modelos de painéis de portas que foram e outros ainda são aplicados em elevadores demonstrando a evolução construtiva dos mesmos.

### **2.1.1 Porta pantográfica.**

Esse modelo de porta foi um dos primeiros a serem utilizados para delimitar o acesso ao elevador, com acionamento manual, e foi causador de muitos acidentes envolvendo os membros superiores dos usuários. O processo produtivo utilizado para unir as réguas verticais às demais réguas auxiliares foi a rebitagem de pinos, as quais possibilitam a articulação, e em alguns pontos do painel, por segurança, se fez uso da soldagem com eletrodo protegido.

Essa configuração não proporcionava segurança aos usuários, porém tinha um custo baixo, o esquema da porta esta representada na figura 2.1.

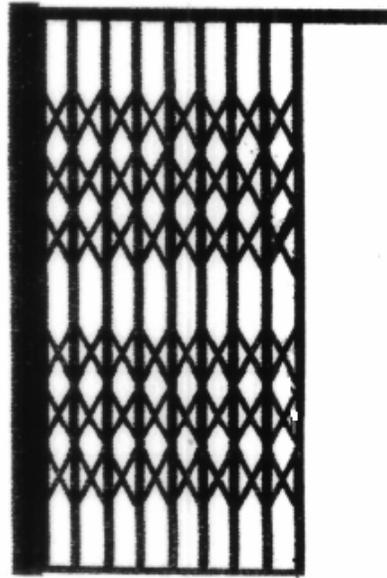


Figura 2.1 – Esquema da porta pantográfica.

### **2.1.2 - Porta giratória, tipo eixo vertical.**

No princípio da utilização desse tipo de porta em elevadores, as mesmas eram manufaturadas com placa de compensado maciço, porém com os requisitos da norma referente à necessidade das portas de pavimento ter a característica corta fogo, ou seja, resistir no mínimo a 30 minutos ao fogo sem apresentar flamejamento superior a 10 segundos. Devido a essa restrição o compensado foi substituído por chapa metálica. A figura 2.2 mostra a maneira que o painel de porta gira em seu pivô, possibilitando a entrada ao elevador, esse movimento da folha de porta depende da interação do usuário com o sistema de porta, pois é ele que provoca o movimento rotacional do painel de porta.

A porta é composta por dois painéis dobrados de maneira a formarem um sanduíche após a união com soldagem por resistência elétrica (ponto) e em seu interior dois reforços são posicionados para dar rigidez ao conjunto, os quais também foram soldados com o mesmo processo citado anteriormente.

A figura 2.3 mostra um conjunto entrada de pavimento com porta metálica montada em seu batente.

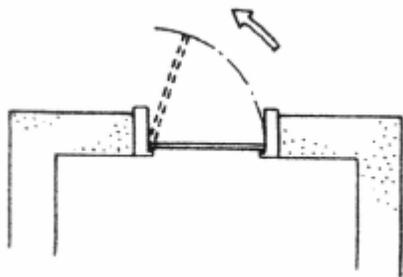


Figura 2.2 – Esquema da porta giratória.

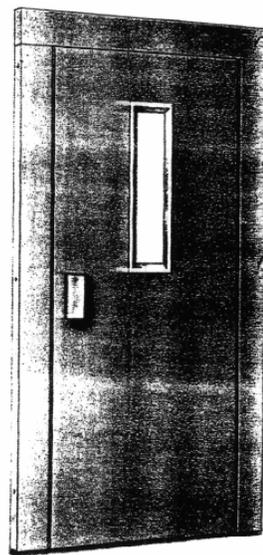


Figura 2.3 – Vista frontal da porta giratória

### 2.1.3 - Painel tipo sanduíche com gesso

Esse tipo de conjunto painel foi utilizado em condições muito específicas, onde se fazia necessária uma alta resistência ao corta fogo acima do requerido pela norma.

De maneira simplificada o conjunto painel é constituído de dois painéis metálicos tipo bandeja, reforços ômega e uma chapa de gesso acartonado. A união entre os componentes metálicos se fez por meio da combinação da soldagem por resistência elétrica (ponto) e pelo processo de soldagem MIG / MAG. O travamento da placa de gesso se fez por travas mecânicas existente nos painéis. O esquema de montagem do conjunto painel está demonstrado na figura 2.4

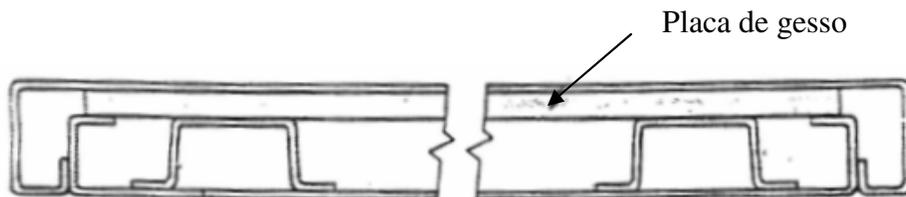


Figura 2.4 – Esquema do conjunto painel sanduíche com gesso.

#### 2.1.4 - Painel de vidro

Modelo utilizado somente em condições muito específicas que envolvem estética predial, pois a placa de vidro que compõem o painel atribui ao conjunto muito peso, que por consequência exigem cuidado no dimensionamento dos componentes que formam toda a estrutura da entrada de pavimento. O conjunto painel é composto pela placa de vidro laminada e mais dois conjuntos placas de fixação, sendo uma montada na parte superior para viabilizar a conexão com o mecanismo que sustenta o conjunto painel na posição de uso. O conjunto placa inferior posiciona o painel em uma canaleta por meio de um suporte nela fixado, conforme ilustrado na figura 2.5 e a figura 2.6 possibilita uma visão tridimensional o conjunto montado em um batente.

A norma NM 207-1999 define que as portas de vidro devem utilizar vidro laminado e ser projetada para suportar os ensaios de impacto com pêndulo.

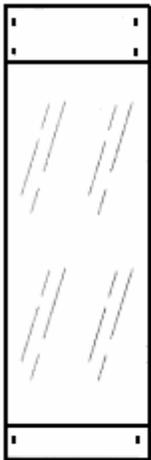


Figura 2.5 – Painel de vidro com a placa superior e inferior

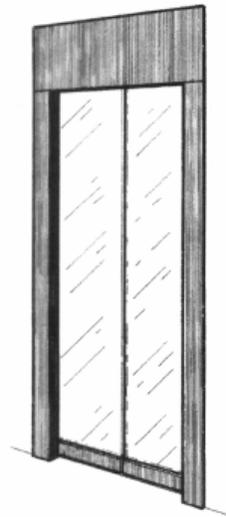


Figura 2.6 - Vista tridimensional de uma porta com painel de vidro montado no batente

#### 2.1.5 - Painel metálico fechado com união por solda

Os conjuntos painéis mostrados nas figuras 2.7 até 2.9 fazem parte da penúltima geração na qual havia ainda um conceito de robustez sobrepondo os custos industriais, mas devido a forte influência dos concorrentes se fez necessário buscar novas opções de fabricação, assim como de novo design para os painéis. Os conjuntos painéis são formados por dois painéis bandejas,

podendo ser fabricados com diferentes materiais, de reforços internos e travessa superior e inferior. Os reforços existentes internamente nos painéis são unidos aos painéis com o uso do processo de soldagem por resistência elétrica (soldagem á ponto). A união das partes se faz mediante o uso da soldagem por resistência elétrica, mas quando não havia a possibilidade de seu uso, fazia-se uso da soldagem MIG / MAG.

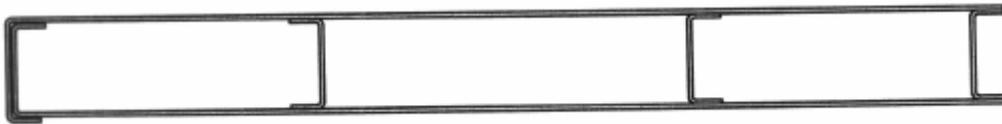


Figura 2.7 - Conjunto painel fechado com dois reforços U.

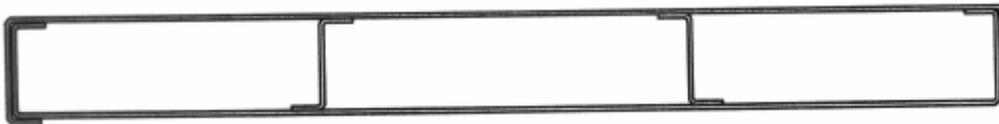


Figura 2.8 - Conjunto painel fechado com dois reforços Z.



Figura 2.9 - Conjunto painel fechado com dois reforços trapezoidal.

#### **2.1.6 - Painel metálico aberto com união por solda:**

As opções de folhas de portas mostradas a seguir, nas figuras, 2.10 até 2.14, são constituídas basicamente de dois painéis metálicos em forma de bandeja, os quais são unidos pela combinação dos processos de soldagem, por resistência elétrica e pelo processo MIG / MAG. O reforço ômega e as travessas com suas opções de construção, ilustrados nas figuras são unidos ao painel por meio do processo de soldagem de resistência elétrica (soldagem á ponto).

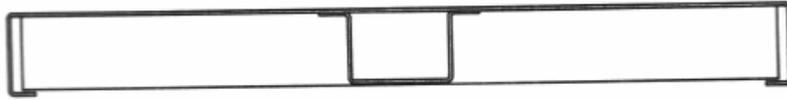
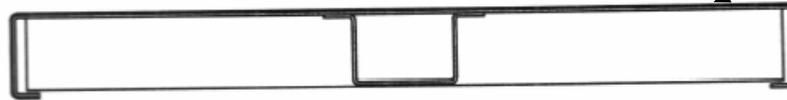


Figura 2.10 – Folha de porta com painel bandeja e reforço



Chapa revestimento  
em aço inoxidável.

Figura 2.11 – Folha de porta com painel bandeja revestido com chapa de aço inoxidável.

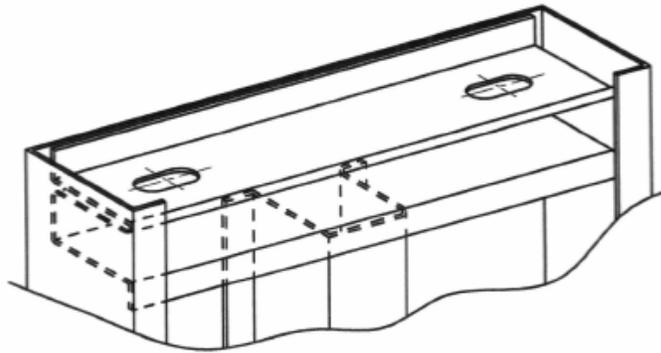


Figura 2.12 – Conjunto painel bandeja com travessa especial.

Observe que a geometria dos painéis segue o tradicional formato de bandeja, o que normalmente variam é o formato das travessas e do reforço central, assim como a sua quantidade, pois a mesma depende da largura do painel. Geralmente os painéis recebem um acabamento de pintura ou um revestimento em chapa de aço inoxidável quando solicitado esse tipo de acabamento.

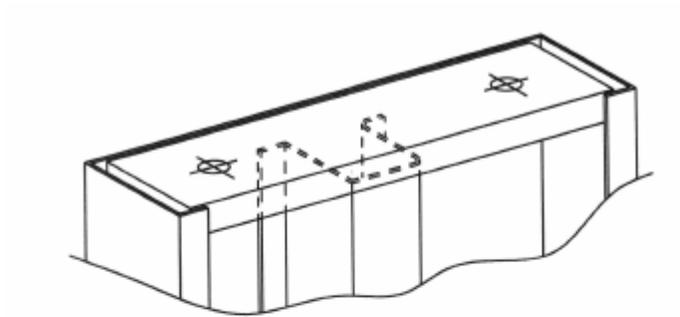


Figura 2.13 – Conjunto painel bandeja com travessa maciça.

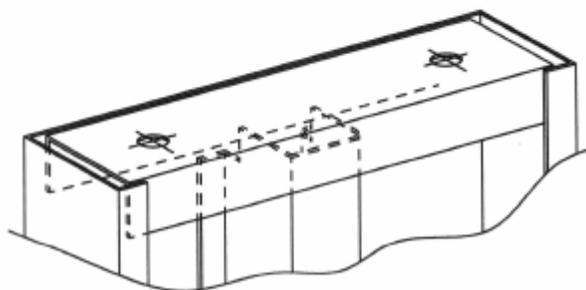


Figura 2.14 – Conjunto painel bandeja com travessa U.

## 2.2 – Opções de painéis

A seguir são apresentadas varias opções de materiais, sendo alguns com real possibilidade de uso e outros verificados na bibliografia especializada.

### 2.2.1 – Painel de gesso acartonado

O gesso acartonado está participando das técnicas modernas na fabricação de painéis para paredes, forros e revestimentos.

O gesso acartonado surgiu por volta de 1895, juntando a resistência à tração, a qual é proporcionada pelo cartão e a resistência à compressão pelo gesso.

O painel de gesso acartonado é composto por um ‘sanduíche’ de cartão + gesso + cartão; esse ‘recheio’ é obtido através da mistura do gesso comum e alguns aditivos que:

- Aumentam a porosidade da pasta para tornar o painel de gesso acartonado leve;
- Aumentam a resistência mecânica;
- Aderem o cartão ao gesso.

O cartão empregado nos painéis é fabricado exclusivamente para este fim e recebe tratamentos em sua composição e estrutura, que são regidos por normas internacionais.

As placas de gesso acartonado podem ser de três tipos, de acordo com a utilização a qual se destinam conforme já mencionado por Gomes [3] em seu trabalho sobre Painéis de vedação:

- Normais - para paredes sem exigências específicas;
- Resistentes à umidade - tratadas com produtos hidrofugantes, como o silicone;
- Resistentes ao fogo - possuem aditivos para retardar a liberação de água da placa, evitando o aparecimento de trincas e por consequência o colapso da peça. Braux [4] em seu estudo demonstra que a introdução da sílica ao gesso tem influência no comportamento térmico (condutibilidade térmica) do painel além de alterar algumas propriedades mecânicas e físicas do painel.

Temos painéis de gesso reforçado com fibra de madeira, o qual é composto por fibra de papel reciclado e inserido em uma matriz de gesso. E este painel pode ser usado para revestir e reforçar estruturas de madeira. Acher [5] em seu artigo promove uma investigação sobre a resistência à flexão assim como o efeito do tamanho do painel.

### **2.2.2 - Painel de espuma rígida de poliuretano (PU)**

Os painéis de espumas rígidas de poliuretano (PU) desempenham um papel importante na indústria de construção, pois os mesmos são empregados na fabricação de painéis decorativos, isolamento térmico de contêineres e caminhões, câmaras frigoríficas para a indústria de alimentos, no isolamento de telhados, paredes e assoalhos, etc.

Tem se conhecimento de estudos de aplicação de painéis com o núcleo em PU como revestimento de prédios; porém, conforme artigo de Shawkat [6] ainda existe problemas com a obtenção do núcleo em PU com qualidade, mas existe um grande potencial como alternativa de sistema de revestimento de concreto.

Devido à boa adesão da espuma em diferentes superfícies, é possível a fabricação de laminados (painéis sanduíche) com núcleo de PU. As faces dos painéis podem ser flexíveis (folha de alumínio ou papel revestido) em ambos os lados, ou feitas com materiais rígidos, como gesso,

em um dos lados. Alguns painéis são feitos pulverizando a espuma nas costas de ladrilhos, telhas ou tijolos arrumados formando uma matriz.

A utilização do PU na fabricação de painéis de porta é viável de ser manufaturado, pois consiste em injetar a espuma na parte interior de um conjunto painel previamente desenvolvido para esse tipo de processo produtivo.

O problema é que o mesmo não tem a característica de ser corta fogo por consequência não atende o requisito da norma NM 207.

### **2.2.3 - Painel composto de alumínio (ACM - Aluminum Composite Material)**

O painel ACM tem a construção em forma de sanduíche, ou seja, é composto de duas chapas finas de alumínio pintado e um núcleo em polímero termoplástico (PEBD), as chapas podem ser pintada em diversas cores, anodizada ou com outros revestimentos.

A figura 2.15 mostra uma comparação de rigidez entre o ACM com espessura de 4 mm e os seguintes materiais: chapa de alumínio, aço carbono e o cimento, ou seja, para se obter a mesma rigidez do ACM com 4 mm, os demais materiais alteraram as suas respectivas espessuras conforme mostrado na tabela 2.15. Ao analisar os dados da figura 2.15 pode-se observar que a chapa ACM com a espessura próxima aos demais itens possui o menor peso por unidade de área, ou seja,  $5,5 \text{ kg/m}^2$ , atribuindo a chapa ACM a qualidade de ser um produto leve, possibilitando uma faixa de aplicação em estrutura que necessitem redução de peso e bom acabamento visual.

As chapas de ACM aceitam quase todas as opções dos processos produtivos sem comprometer as suas características, tais como:

- Serrado ou cortado com guilhotina;
- Perfurado por broca ou estampado;
- Calandrado ou dobrado e curvado;
- Rebitado e aparafusado;
- Colado.

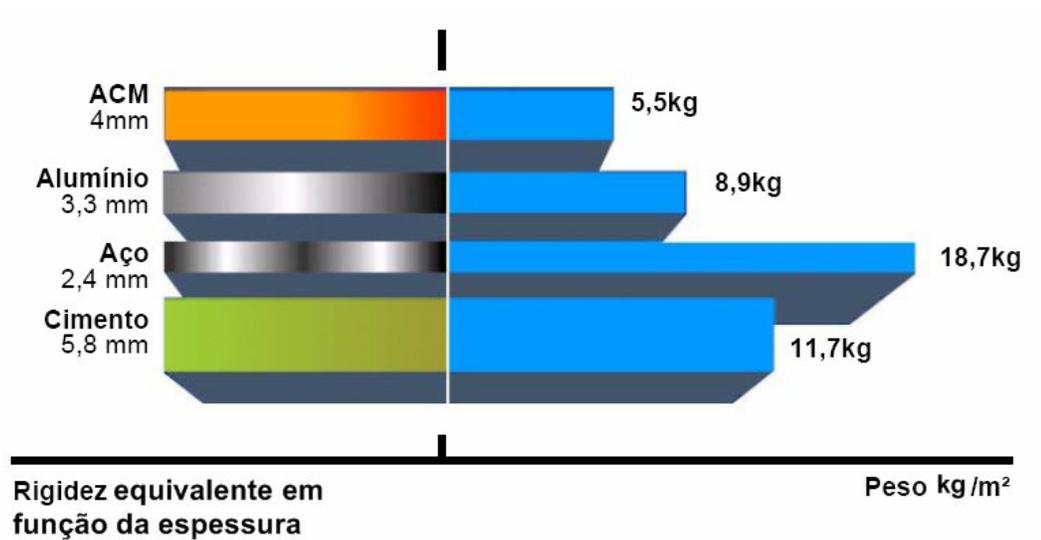


Figura 2.15 – Rigidez equivalente em relação ao peso dos materiais por metro quadrado.

A figura 2.16 fornece um exemplo de manufatura de um painel; observa-se a necessidade de se colocar cantoneiras de reforço nos cantos e fixá-las com rebite ou parafuso quando se deseja um painel melhor estruturado.

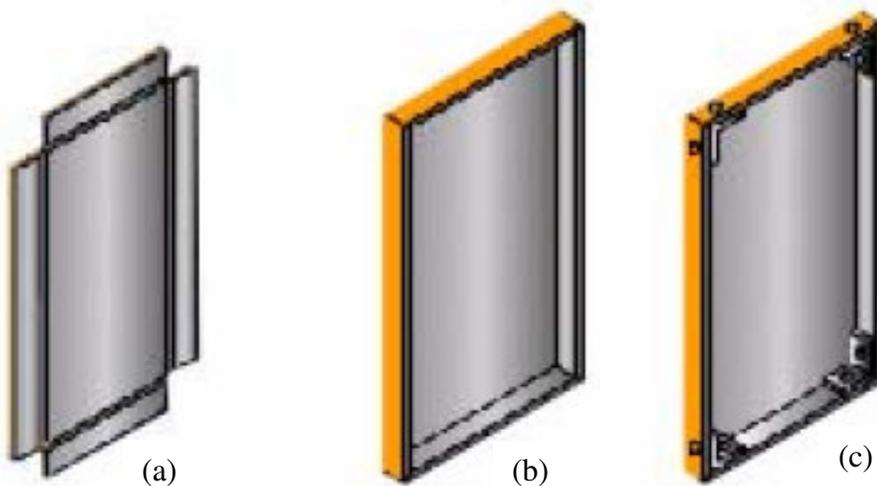


Figura 2.16 – Seqüência de produção de um painel dobrado.

(a)–painel estampado (b)-painel dobrado (c)-painel dobrado com cantoneiras travas nos quatros cantos.

#### **2.2.4 - Painel sólido de alumínio.**

São painéis formados por chapas de alumínio – liga 3105, tratamento térmico H247 espessura 1,5 mm com pintura em acabamento especial através do processo “coil coating” que proporciona alta durabilidade e uniformidade na cor além de alta resistência às intempéries e raios UV.

Podendo ser ofertado em duas opções de pintura:

- Kynar 500 – a superfície visível da chapa de alumínio (espessura de 1,5 mm) recebe as seguintes camadas de acabamento: primer + pintura Kynar 500 + verniz + filme protetor – UV;
- Polyester – a superfície visível da chapa de alumínio recebe uma camada de pintura polyester e o filme protetor.

Sua aplicação se concentra onde se deseja acabamento com grande apelo visual tais como: fachadas e interiores de prédios; mobiliário; pilares e vigas; comunicação visual; “stands”; forros; divisórias e outras aplicações.

O painel oferece as seguintes vantagens:

- Forte apelo visual – beleza e modernidade;
- Versatilidade de utilização;
- Leveza – diminuição de peso;
- Conformabilidade – pode ser dobrado, curvado com facilidade;
- Redução de custos em manutenção;
- Reciclável;
- Incombustível.

#### **2.2.5 - Painel com estrutura em sanduíche**

São painéis construídos seguindo uma estrutura sanduíche, ou seja, formados por um núcleo e o mesmo núcleo revestido por chapas por ambos os lados.

Froud [7] já em seu artigo “Your sandwich order, Sir” de 1980 e, Meifeng He [8] demonstram como um painel sanduíche pode ser projetado considerando os critérios de rigidez e

resistência. Muitos outros trabalhos posteriores vêm propondo combinação de matéria prima das chapas de revestimento e do núcleo, e para esse último também em sua forma geométrica.

O uso de materiais compostos de fibra vem ganhando impulso na área civil bem como na engenharia estrutural; porém, o alto custo dos materiais compostos em relação aos materiais tradicionais tem dificultado a sua aplicação. Uma proposta de material composto com aplicação na área civil é a utilização de painel em concreto aerado na autoclave e revestido em ambos os lados com laminado de fibra de vidro e epoxy, um estudo a respeito foi apresentado por Humphreys [9] é um exemplo disso.

O crescente uso dos painéis sanduíche com núcleo em colméia é devido ao seu baixo peso combinado com: grande resistência à flexão e rigidez flexional, boa resistência à fadiga, excelente acústica e isolamento térmica.

#### **2.2.6 - Painel com o núcleo em colméia de papelão.**

Painel com núcleo em colméia de papelão e revestido em ambos os lados com laminado de madeira são amplamente usados na fabricação de portas (figura 2.17) e em projetos de embalagem no qual se faz necessário ter um bom amortecimento ao impacto [10]. O núcleo em colméia de papelão também pode ser revestido com placas de gesso atribuindo ao painel uma alta resistência a mudanças de temperatura ambiente com risco de deformação dimensional reduzidíssima.

O padrão regular das células garante um carregamento uniforme.

Uma outra aplicação do núcleo em colméia de papelão é em porta com chapas metálicas, no qual o núcleo da porta consiste de uma estrutura de colméia feita de tiras de papel reciclados, unidas de maneira a formar uma folha e que ao expandir resulta em uma estrutura de colméia com grande resistência, porém com peso extremamente leve.

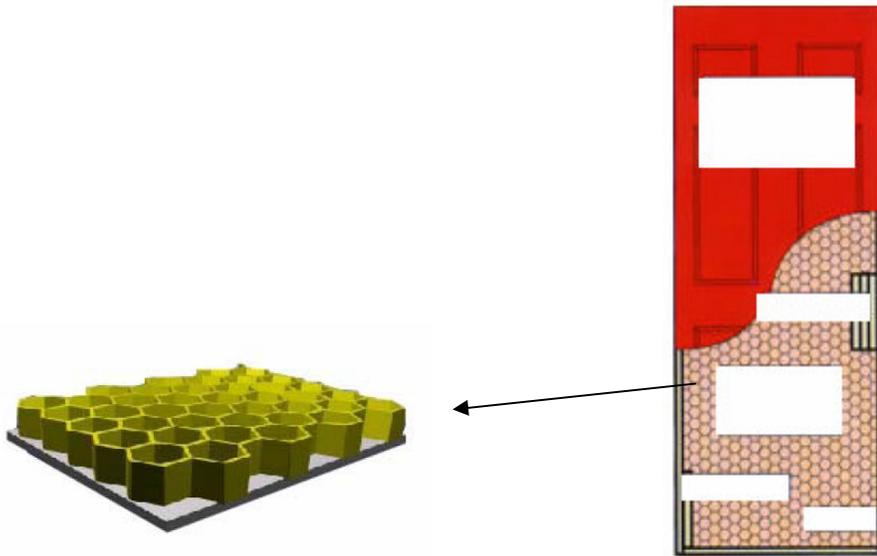


Figura 2.17-Painel com o núcleo em colméia de papelão.

### 2.2.7 - Painel sanduíche com elementos metálicos e núcleo celular

Painéis metálicos celular são formados por uma estrutura altamente porosa com 20% ou menos de seu volume interior ocupado por metal (10). Algumas como a colméia hexagonal, é largamente usada para capacitarem projetos de painéis sanduíches estruturais de baixo peso, o qual possibilita absorver energia de impacto, impedir o transporte térmico através das faces do painel sanduíche e também para barreira acústica. As estruturas de colméia são compostas de placas ou chapas que formam as bordas da célula. Essas células podem ser arranjadas para criar formas triangulares, quadradas, hexagonal ou outras formas correlacionadas.

As células são repetidas nas duas direções criando um sólido celular e com toda a estrutura celular fechada [13e 14]. Essas estruturas celulares estão demonstradas nas figuras 2.18-a, b, c.

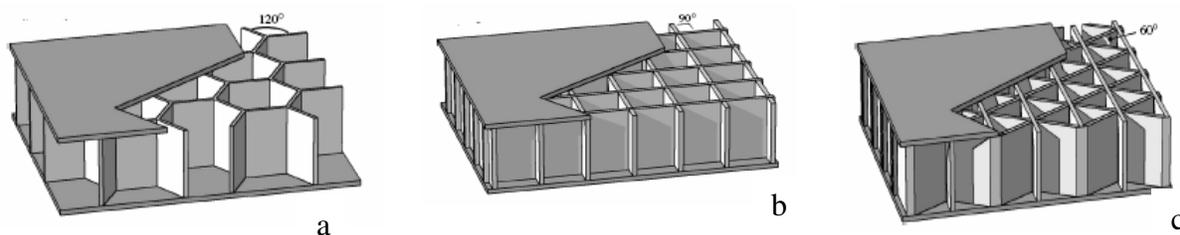


Figura 2.18 - Painel sanduíche estrutural com núcleo fechado  
 (a) Colméia hexagonal, (b) Colméia quadrada (c) Colméia triangular.

Tem-se um painel específico com a faixa de aplicação crescente a qual consiste de um núcleo em forma de colméia e em alumínio revestido em ambos os lados por duas chapas finas de alumínio as quais são unidas ao núcleo com adesivo termoplástico. Em um dos lados do conjunto painel cola-se um laminado de pedra natural, com espessura entre 3 a 5 mm, esse painel é usualmente conhecido como “Stone panel”.

A colméia de alumínio proporciona ao painel uma alta flexibilidade e alta resistência ao impacto mantendo toda beleza natural da superfície da pedra, como por exemplo, o granito.

Na literatura encontram-se muitos outros trabalhos relacionados ao estudo sobre painéis sanduíche como o de Dharmasena [11] envolvendo o comportamento do painel sanduíche metálico estrutural submetido a um carregamento dinâmico de alta intensidade. Cooke [12] estudou a resistência ao colapso de um painel sanduíche metálico exposto ao fogo, chamando atenção ao amolecimento do adesivo e a necessidade de se ter cuidado ao desenvolver as fixações dos painéis. Murthy [15] realizou um estudo sobre a rigidez e resistência mecânica do painel sanduíche formado por placas de fibra de vidro com resina epóxi e o núcleo colméia em NOMEX, uma forma de papel em KEVLAR<sup>TM</sup> impregnado com resina fenólica. Hong Li [16] apresentou uma proposta de aplicar o painel sanduíche metálico como opção na fabricação de um trocador de calor, onde foi observado o comportamento da união entre as placas externas com o núcleo, realizada por meio de um filme de cobre.

### 2.2.8 - Painéis de madeira

Os painéis de madeira dividem-se em cinco grandes grupos:

- MDF;

- Aglomerado;
- OSB;
- Compensado;
- Madeirite.

#### ▪ **Painel de MDF.**

O MDF é o painel produzido a partir de fibras de madeira, aglutinadas com resinas sintéticas através de temperatura e pressão destinadas principalmente à indústria moveleira.

O artigo de Xing [17] indica os resíduos da árvore abeto vermelho, que é da família das pináceas, como o mais indicado na fabricação do MDF e também cita os efeitos da pressão e o seu tempo de duração em que a fibra fica submetida durante o processo produtivo.

O MDF possui consistência similar à da madeira maciça, o qual permite acabamentos do tipo envernizamento, pinturas em geral ou revestimentos com papéis decorativos, lâminas de madeira ou PVC. A sua consistência maciça permite também usinagem de filetes e abertura de furos [18].

#### ▪ **Painel de Aglomerado**

O painel de aglomerado é formado a partir da redução da madeira em partículas, que após a obtenção das partículas de madeira, estas são impregnadas com resina sintética e arranjadas de maneira consistente e uniforme, formando um colchão. Esse colchão, pela ação controlada do calor, pressão e umidade, adquire a forma definitiva e estável denominada aglomerado. O painel de aglomerado pode ser pintado ou revestido com vários materiais, destacando-se papéis impregnados com resinas melamínicas, papéis envernizáveis e lâminas ou folhas de madeira natural. Grande parte da demanda de painéis de aglomerado está associada ao setor moveleiro.

Suas características mecânicas, grandes dimensões e variedades de tipos adaptáveis a cada uso constituem os principais pontos de vantagem que definem sua aplicação.

#### ▪ **Painel OSB**

OSB (Oriented Strand Board) é um painel estrutural formado por tiras de madeira orientadas perpendicularmente, em diversas camadas, de acordo com a EN 300 OSB (Norma Européia), o que aumenta sua resistência mecânica e rigidez. Essas tiras são unidas com resinas

sintéticas aplicadas sob altas temperaturas e pressão utilizando um processo produtivo automatizado.

O painel OSB é um material que em conjunto com perfis metálicos ou de madeira, e outras tecnologias integradas já presentes no Brasil, possibilita a execução de um inovador sistema de construção que é aplicado em todo o mundo, tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares, bem como para construções comerciais leves.

O painel OSB foi concebido para oferecer uma resistência mecânica superior, maior versatilidade de uso, grande durabilidade e uma inquestionável trabalhabilidade. O OSB é trabalhado como qualquer outro tipo de madeira: é fácil de manusear e não exigem tratamentos especiais, somente os cuidados exigidos por outros painéis de madeira. Além disso, apresenta bom desempenho na maioria das aplicações nas quais se usam os compensados de madeira.

Os fabricantes do produto destacam as seguintes características: sem espaços vazios em seu interior; sem problemas de nós soltos nem fendilhado; sem problemas de laminação; qualidade consistente e uniforme espessura perfeitamente calibrada (menos perdas); resistência a impactos; excelentes propriedades de isolamento termo-acústico; atrativo para arquitetos e decoradores; preço competitivo.

#### ▪ **Painel Compensado**

A fabricação do painel compensado inicia com o amolecimento de uma tora de pinus por meio do vapor e posteriormente colocada em um torno. Uma lâmina descasca finas camadas de madeira transformando-as em folhas de madeira contínua. Quando seca, essa folha de madeira é muito forte em uma direção (ao longo da fibra) e muito fraca em outra (na transversal da fibra). Diversas camadas dessa folha de madeira (geralmente entre cinco e sete) são unidas em camadas, com a direção das fibras alternando-se entre as diferentes camadas. Entre as camadas usa-se cola. Essa "pilha" é aquecida e submetida à pressão para formar um painel rígido. Devido à direção das fibras nas camadas de folha de madeira alternadas, o painel é extremamente forte em todas as direções.

O painel compensado é normalmente utilizado na fabricação de peças de mobiliário e na construção de casas.

O compensado é produzido sob duas principais especificações:

a) para uso interno - com colagem à base de resina de uréia-formol, sendo empregado basicamente na indústria moveleira;

b) para uso externo - com colagem à base de resina de fenol-formol, sendo normalmente utilizado na construção civil.

▪ **Painel Madeirite.**

Painéis de madeirite são chapas de madeira com o maior uso na construção civil. As chapas são formadas por um número ímpar de camadas superpostas de lâminas de madeira, prensadas com cola branca ou fenólica, dispostas de maneira que as fibras das lâminas se cruzem.

Tem se comercialmente três tipos de madeirite que são:

- Madeirite resinado – produzido com cola branca e com aplicação na construção de vários tipos de formas, muro, barracas, canteiros de obra, na verdade o seu uso é muito amplo sendo aplicado em diversas etapas da construção civil devido ao seu baixo custo;

- Madeirite fenólico – produzido com cola fenólica e com aplicação na construção de formas, palcos, construções pesadas e com a possibilidade de ser reutilizado várias vezes, porém tem o custo maior que o madeirite resinado;

- Madeirite plastificado – produzido com cola fenólica e tem as superfícies revestidas com um filme resistente às intempéries. Aplicado na construção nas formas de concreto aparente, piso de carroceria de caminhões e outras.

## **Capítulo 3**

### **Desenvolvimento dos conjuntos painéis**

Neste capítulo, será feita uma explanação sobre as etapas do desenvolvimento do conjunto painel colado e rebitado, descrevendo os processos de fabricação com suas vantagens e desvantagens, assim como as teorias que os envolvem.

Como um dos objetivos desse estudo é propor que o conjunto painel colado e rebitado seja uma alternativa para o conjunto painel soldado optou-se por descrever também os processos produtivos que envolvem a manufatura do conjunto painel soldado, com o objetivo de proporcionar dados para se efetuar uma comparação entre os mesmos.

Além das características técnicas dos materiais utilizados em ambos os protótipos, também foram apresentados esboços dos projetos mecânicos dos conjuntos painéis.

#### **3.1 – Conjunto painel colado e rebitado.**

##### **3.1.1 – Etapas do desenvolvimento.**

O desenvolvimento de um novo conjunto painel teve como desafio propor alternativas para alguns dilemas existentes na atual proposta, assim como nos processos produtivos utilizados na manufatura do mesmo, tais como:

- Pressão da sociedade para se utilizar processos limpos;
- Utilizar processos e materiais com apelo ecológico;
- Reduzir o consumo de energia elétrica no processo produtivo;
- Otimização do “lay out” da produção;
- Redução do tempo de produção;
- Manter um produto de qualidade.

Primeiramente foram definidas algumas premissas de projeto que nortearam o desenvolvimento e que as mesmas influenciariam no processo produtivo, assim como no “lay out” da fábrica, assim temos:

- Eliminar a operação de pintura;
- Eliminar o processo de soldagem;
- Atender aos requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da norma NBR-NM 207:1999 [19], que regulamenta a fabricação de elevadores no MERCOSUL, a qual faz duas referências: resistir à aplicação da carga de 300 N sem ocorrer deformações permanentes e ter a característica de ser corta fogo. Esse requisito será explanado no item referente aos ensaios.

Devido a essas premissas, algumas ações e definições foram desencadeadas, primeiramente optou se pelo uso da chapa pré-pintada na manufatura do painel bandeja devido ao aspecto estético e nos demais componentes, travessas e reforço Ômega, optou-se pela chapa galvanizada, sendo dessa maneira possível a eliminação do processo de pintura.

O segundo ponto observado foi que o processo de soldagem, como alternativa de união dos componentes manufaturados com as respectivas chapas, não se apresentava como viável, pois não conferia rapidez ao processo e é de difícil execução, devido a necessidade de unir material galvanizado a outro pintado. Por conseqüência, definiu-se o uso da fita adesiva VHB e rebites POP para completar o processo de união entre os componentes da nova proposta.

A definição em se usar rebite POP em aço inoxidável foi devido a sua simplicidade de montagem, alta resistência mecânica e também evitar o surgimento de pontos de oxidação no conjunto painel que poderia comprometer sua integridade ao longo dos anos.

A utilização da fita adesiva VHB, não foi tão simples de equacionar, pois a mesma, além de possuir as características mecânicas das atuais fitas, precisava ter a característica de ser retardante ao fogo, ou seja, não propagar fogo através de sua estrutura e também ter a classificação V0 conforme definido pelo laboratório UL na norma UL-94B. Essas características se fizeram necessário por duas razões: garantir eficiência na união entre os componentes, mantendo os unidos durante os ensaios de qualificação e quando submetido o conjunto painel ao ensaio de corta fogo, o flamejamento não deveria ultrapassar os 10 segundos. Essa fita não existia no

mercado, se fez necessário desenvolver uma parceria com a empresa 3M do Brasil, que é o fabricante das fitas VHB, Devido a otimista projeção de consumo dessa nova fita, houve interesse da 3M em desenvolvê-la.

Após alguns ensaios de adesividade, no qual a fita foi submetida a um ensaio preliminar de torção e de produção, chegou-se na definição de usar tira de 0,6 x19 mm. A respectiva fita foi homologada pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo (IPT) como sendo V0, característica já mencionada anteriormente,

Com o desenvolvimento da fita VHB concluído e as demais premissas resolvidas, um protótipo foi manufaturado seguindo as especificações do desenho demonstrado nas figuras 3.1 e 3.2.

### **3.1.2 – Descritivo do conjunto painel colado e rebitado.**

O conjunto painel colado e rebitado desenvolvido é composto de um painel metálico em chapa de aço baixo carbono (SAE 1006/1010) pré-pintado com espessura de 1,5 mm, ou seja, a chapa utilizada já está pintada com tinta de acabamento. O painel é dobrado em forma de bandeja, tendo duas travessas com espessura de 1,5 mm e perfil específico, coladas com a fita adesiva VHB (0,6x19) e unidas ao painel com os rebites de repuxo POP ( $\emptyset$  4,8x8 mm) em pontos específicos mostrados na figura 3.2, sendo uma na extremidade superior e a outra na inferior. Há também um reforço ômega com espessura de 1,2 mm, colado no centro e ao longo do painel, e suas extremidades rebitadas nas travessas correspondentes.

As duas travessas e o reforço ômega foram manufaturas com chapas galvanizadas de aço baixo carbono (SAE 1006/10101)

A figura 3.1 abaixo mostra o conjunto painel colado e rebitado com seus componentes, devidamente montados e também indicando as dimensões máximas do painel.

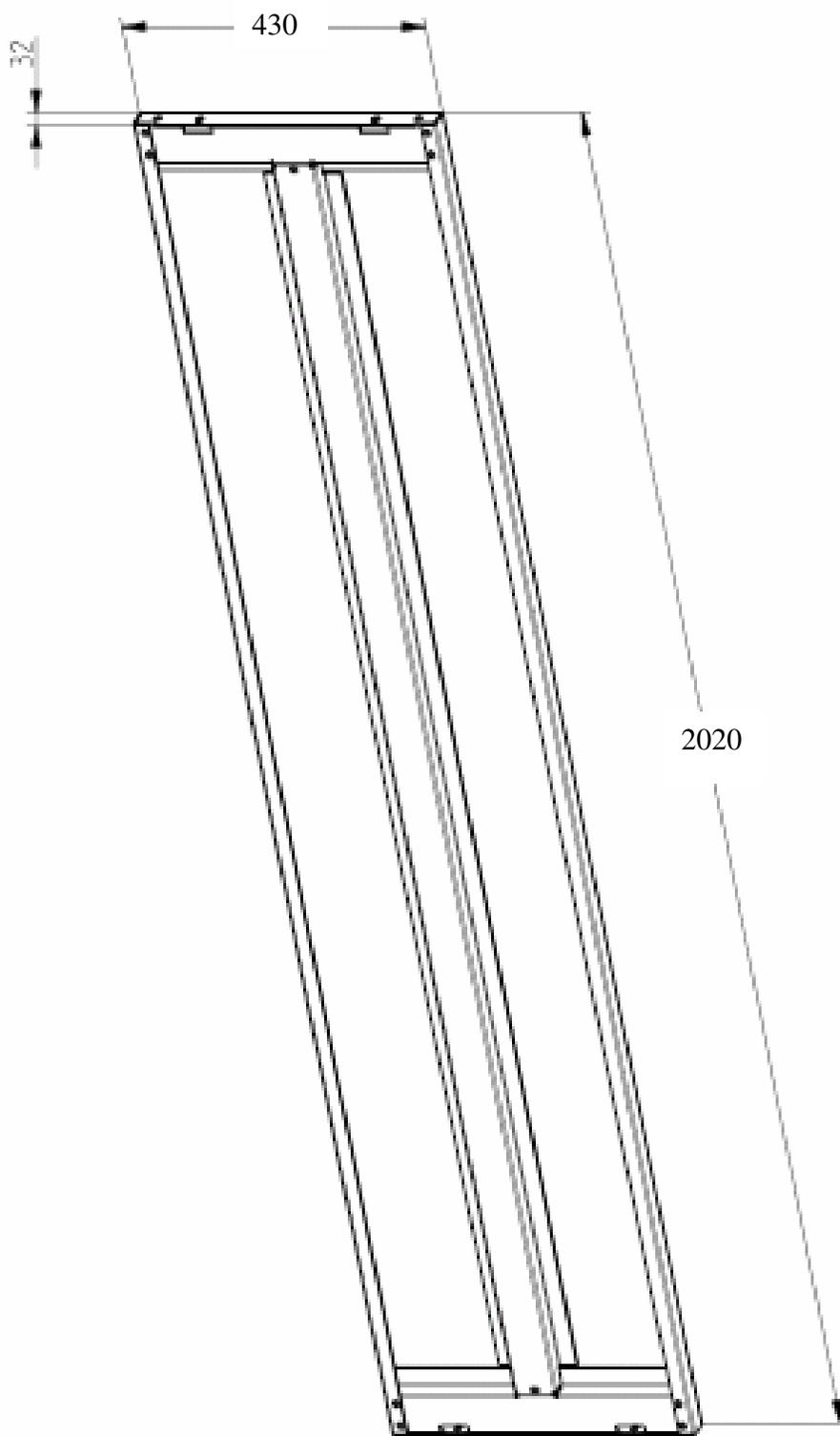


Figura 3.1 - Esquema do conjunto painel colado e rebitado (dimensões em mm)

A figura 3.2 abaixo mostra o posicionamento dos componentes, as tiras da fita adesiva VHB e dos rebites.

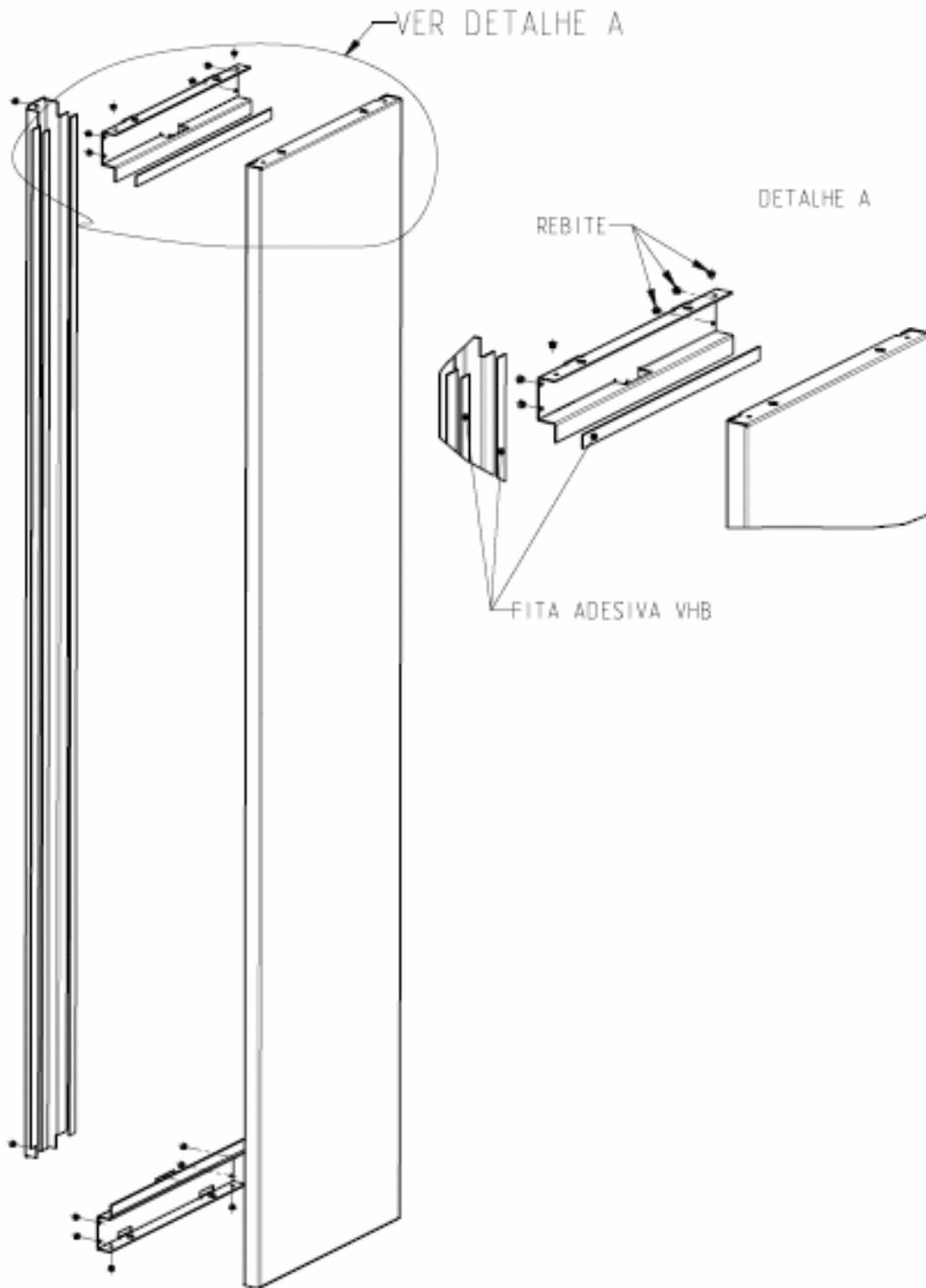


Figura 3.2 - Detalhes da montagem dos componentes de um conjunto painel colado.

### **3.1.3 – Descritivo da matéria prima.**

Com o objetivo de facilitar a visualização em detalhe dos materiais envolvidos na manufatura do conjunto painel colado e rebitado, foi disponibilizado a seguir o descritivo mencionando suas características, vantagens e desvantagens peculiares de cada material.

#### **a) - Chapa pré-pintada**

São chapas de aço carbono zincadas por imersão a quente (NBR 7008) ou eletrozincadas (NBR 6658), pintadas em ambas as faces com um primer à base de epóxi cromato de zinco e a face de acabamento recebe uma camada de esmalte sintético. As chapas são pintadas através do processo contínuo e automático chamado sistema “Coil Coating” de alta precisão que garante a mais elevada confiabilidade no produto final, possuindo uma grande variedade de acabamentos, cores e diferentes intensidades de brilho, sendo a superfície acabada protegida com um filme de polietileno. Essas chapas suportam os principais processos de industrialização sem alterar a qualidade final do produto conforme informado pelo fornecedor [20] tais como:

- Corte;
- Dobramento;
- Puncionamento;
- Estampagem profunda;
- Perfilação;
- Solda a frio;
- e outros processos.

Vantagens na aplicação das chapas pré-pintadas:

- Qualidade - no sistema “*Coil Coating*”, a limpeza do material e a aplicação da tinta ocorrem em ambiente e processo totalmente controlados, resultando um produto de altíssima qualidade e superior em todos os sentidos quando comparado com qualquer processo de pós-pintura;
- Meio ambiente - com a utilização do pré-pintado, elimina-se o desengraxe do metal, pré-tratamento, pintura e, conseqüentemente, suas complicações junto aos órgãos

governamentais de proteção ao meio ambiente. Em muitas fábricas, ao se eliminar estes processos, desaparecem problemas como poluição do ar, água e sobras (borras, solventes, etc.). Como resultado, a adoção do pré-pintado pode evitar multas, ações judiciais e penalidades;

- Produção - com a eliminação dos equipamentos relacionados direta ou indiretamente com a pintura, geram-se novos espaços que podem ser utilizados para o crescimento da produção, como novas linhas de montagem. Desaparecerão também os gargalos de pintura e o tempo de produção será totalmente voltado à montagem do produto, aumentando consideravelmente a produtividade;
- Redução de Custos - este é o item mais importante a ser destacado em consideração na real comparação dos benefícios do metal pré - pintado com o pós – pintado; devem-se considerar os custos aparentes e não aparentes, tais como:

#### Estoque

- Custos de Armazenagem para as tintas, produtos químicos, solventes, desengraxantes e aplicadores.

#### Espaço Físico

- Equipamentos de limpeza, linha de pré-tratamento, linha de primer, linha de pintura, estações de retrabalho, esteiras transportadoras.

#### Meio Ambiente

- Programas de limpeza, programas de adequação, ações judiciais, multas e penalidades.

#### Custos Operacionais

- Energia, filtros, manutenção de equipamentos, lubrificantes, “Set-ups”, paradas de linha, atrasos, rejeições, retrabalho, peças de reposição.

#### Manuseio do Material

- Recebimento, inspeção, requisição, perdas, plano de reposição, manutenção preventiva.

### Custos Trabalhistas

- Adicional de periculosidade, adicional por insalubridade, ações trabalhistas, custos advocatícios.

### Remoção de resíduos da produção.

- Limpeza de resíduos, suprimento de produtos para limpeza, manutenção, tanques de limpeza.

### **b) - Chapa fina de aço carbono galvanizada.**

A chapa fina de aço carbono galvanizada DIN 1623 St 1203, laminada a frio e galvanizada tem a equivalência à chapa de aço carbono zincada pelo processo contínuo de imersão a quente definida na norma NBR 7008 com as seguintes características:

- Limite de Resistência à Tração: 270 a 420 N/mm<sup>2</sup>;
- Alongamento mínimo 28 %;
- Acabamento superficial: QP, obtida por uma passagem no laminador a frio;
- Bordas aparadas;
- Classificação: ZC (zincagem comum);
- Revestimento: B (Massa mínima de zinco por face = 100 g/m<sup>2</sup>).

A chapa zincada foi escolhida para eliminar a necessidade de se efetuar um tratamento de proteção à corrosão posterior à fabricação dos respectivos itens e também por apresentar uma boa deformabilidade a frio e usinabilidade, ou seja, fácil de dobrar, cortar e estampar.

### **c) - Rebite de repuxo POP**

O rebite POP é largamente adotado em todas as indústrias, tais como: eletro-doméstico, estruturas metálicas, brinquedos, instalações industriais e também na aviação, pois é a solução ideal para se obter fixações rápidas, simples e segura. Utilizou-se rebite POP tipo A, cabeça chata compondo suas partes (rebite e mandril) de aço inoxidável AISI 304 com diâmetro de 4,8 mm.

Foram utilizados 14 rebites para unir os componentes que formam o conjunto painel, os mesmos possuem as seguintes cargas mínimas de ruptura definidas na DIN 7337 [21], que são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Limite de resistência do rebite POP inoxidável.  
(diâmetro 4,8 mm)

Carga mínima (N)	
Tração	Cisalhamento
4500	3800

#### **d) - Fita adesiva VHB (Very High Bonding)**

A empresa 3M do Brasil desenvolveu a fita adesiva que une a travessa superior e inferior ao painel, assim como o reforço ômega ao painel. É uma Fita VHB dupla face de espuma acrílica, com adesivo de alto desempenho e extraordinária força de fixação. A fita aplicada possui alta tensão de ruptura, alta resistência ao cisalhamento, alta adesividade, excelente resistência a solventes, umidade e intempéries e boa conformabilidade. Essa fita apresenta a característica especial por ter propriedade retardante de chama (flame retardant – FR), não propagando fogo através de sua estrutura. Devido a essa característica, tornou se viável a sua utilização em painéis de porta aplicada em elevadores.

Conforme informação do fornecedor [22], a fita adesiva VHB não se degrada ao longo dos anos, pois a mesma não sofre as intempéries ou ação de agentes químicos quando aplicada em portas de elevadores.

Característica mecânica da fita (dados fornecidos pelo fabricante 3M):

- Tensão normal de descolamento após 72 h =  $0,62 \text{ N/mm}^2$ ;
- Cisalhamento dinâmico após 72 h =  $0,46 \text{ N/mm}^2$ .

A fita foi aplicada ao longo da dobra das travessas e do reforço ômega para garantir uma estabilidade no conjunto, obtendo boa planicidade na face do painel dobrado e a eliminação dos possíveis ruídos provenientes da vibração entre o reforço ômega e o painel dobrado.

Utilizou-se uma fita com espessura de dorso igual a 0,6 mm e com largura de 19 mm. A espessura de 0,6 mm foi suficiente para compensar as variações do processo produtivo e garantir uma boa fixação entre os componentes.

**Cálculo dos esforços da fita utilizada na colagem da travessa superior ao painel:**

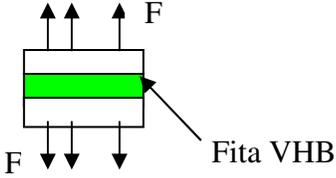
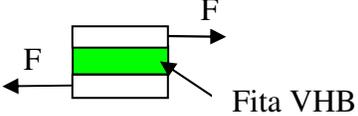
Baseado na teoria da resistência dos materiais [23], [24] e [25] e com as características mecânicas da fita adesiva VHB informadas pelo fabricante [22] foram obtidos os esforços atuantes na fita que une a travessa superior ou inferior ao painel dobrado. Os esforços estão demonstrados na tabela 3.2

Utilizou-se uma tira da fita adesiva VHB com 410 mm de comprimento para fixar cada travessa, e com a largura de 19 mm da fita obteve-se uma área colante de:

$$\text{Área colante} = 19 \times 410 = 7790 \text{ mm}^2$$

A área colante mencionada acima é uma das parcelas na equação da resistência dos materiais.

Tabela 3.2 – Esquema dos esforços aplicados na fita VHB utilizada para unir uma travessa ao painel dobrado.

1- Tensão normal (conforme ASTM D-897)	2- Cisalhamento dinâmico (conforme ASTM D-1002)
	
$\sigma = \text{Força} / \text{área}$	$\tau = \text{Força} / \text{área}$
Limite de resistência à tração após 72 h $0,62 \text{ N/mm}^2$	Limite ao Cisalhamento após 72 h $0,46 \text{ N/mm}^2$
$F = 4830 \text{ N}$	$F = 3583 \text{ N}$

**3.1.4 - Processos produtivos aplicados.**

Na fabricação dos componentes desse protótipo se fez uso dos processos e ferramentas convencionais utilizados em uma serralheria tais como: corte, dobra e estampa. Contudo, na montagem dos componentes se fez uso de dois processos básicos de produção utilizado na junção de dois ou mais componentes, que são: rebitagem e a colagem, os quais diferenciam o conjunto painel colado e rebitado dos conjuntos painéis manufaturados atualmente com soldagem MIG.

Devido a isso, segue um descritivo dos dois processos mencionados.

**a) – Rebitagem.**

Os rebites mantêm unidos os componentes em qualquer aplicação, pois os mesmos se encontram em alto estado de deformação plástica, sendo possível liberar as peças unidas somente através da sua destruição.

A vantagem dos rebites POP é poderem ser eles aplicados por operadores não especializados em uma única operação. As margens de erro na aplicação estão eliminadas, pois a rebitagem é controlada pelo mandril que somente se rompe quando as peças estiverem unidas e o remanche completamente formado. Os equipamentos utilizados para a aplicação dos rebites são leves e portáteis, dispensam regulagens especiais e podem ser operados em qualquer posição.

**b) – Colagem ou adesão**

No último meio século, ocorreu um crescimento considerável na tecnologia de adesão que possibilitou substituir os vários métodos de fixação mecânica (rebite, parafusos, grampos, etc) por adesivo, graças ao esforço contínuo de pesquisa científica e ao desenvolvimento tecnológico em diferentes áreas do conhecimento [26].

A união com adesivo tem maior uniformidade ao distribuir as tensões, baixa concentração de tensão e melhor vida à fadiga. Essas são algumas das vantagens de unir diferentes estruturas, porém a impossibilidade da desmontagem das peças adesivadas para inspeção de danos e a falta de métodos satisfatórios não destrutivos tendem a restringir seu uso. Devido à aplicação de ensaios não destrutivos com o auxílio do ultra-som essa tendência vem se alterando.

Anand [26], em seu artigo referente à avaliação da influência do adesivo na estabilidade dimensional de painel estrutural em policarbonato (PC), menciona que o adesivo pode ser considerado uma das mais confiáveis alternativas nas tradicionais técnicas de união. O autor

menciona que os adesivos flexíveis garantem, ao conjunto colado, vedação do ambiente externo (efeito estanque) e isolamento de vibrações externas.

### **Procedimento para uma boa adesão:**

A eficiência do processo de colagem depende do grau de limpeza em que se encontram as superfícies do substrato a serem unidas. Assim, o processo deve garantir que as superfícies a serem coladas estejam limpas, secas e bem coesas.

Para se obter uma boa adesão entre o adesivo e o substrato deve-se tomar alguns cuidados, tais como:

- Limpar as superfícies a serem coladas com álcool isopropílico;
- Aplicar a fita na primeira superfície. Passar uma espátula rígida sobre a fita, pressionando-a sobre a superfície a fim de garantir um bom contato;
- Remover o liner protetor e promover a colagem com a segunda superfície, aplicando forte pressão através de um rolete de borracha garantindo contato total entre adesivo - superfície – adesivo;
- Pressionar as partes para promover um bom contato entre o adesivo e o substrato, garantindo uma boa adesão;
- Após 20 minutos da colagem, a adesão atingiu 50 % e após 24 horas, atinge 90% e 100% após 72 horas, considerando a temperatura de 21 °C, ou seja, a adesão da fita aumenta conforme o adesivo flui sobre a superfície;
- Temperatura ideal para aplicação está entre 21 °C e 38 °C;
- Não se recomenda aplicação das fitas quando a temperatura ambiente estiver abaixo de 10 °C porque o adesivo se encontra tão rígido que impedirá a adesão adequada;
- Observar que, para as superfícies com baixa energia, recomenda-se aplicar primer para garantir um bom nível de adesão, tais como: concreto, madeira, cobre, latão, PVC, vidro, azulejo e etc.

### 3.2 – Conjunto painel soldado.

O conjunto painel soldado foi manufaturado utilizando-se os mesmos componentes aplicados no conjunto painel colado e rebitado, diferenciando somente no acabamento das chapas, as quais não possuem acabamento galvânico superficial devido a necessidade do processo de soldagem MIG utilizado na junção dos componentes. Salientado que o dimensional, os valores da espessura e a forma geométrica são iguais para ambos os protótipos.

Outra diferença é que após a finalização desse protótipo soldado, o mesmo passou por um processo de pintura para garantir uma proteção superficial contra a corrosão e, em adicional, a superfície visível ao usuário recebeu uma camada de tinta de acabamento, melhorando assim o aspecto visual e a proteção.

O processo MIG foi escolhido por sua estabilidade e por possibilitar boa penetração do cordão de solda.

O eletrodo nu de aço para soldagem sem revestimento superficial de cobre com a referência AWS A5 18 ER70S-6 (fornecedor Belgo Mineira) foi utilizado na soldagem e com a seguinte combinação de gases: 75-80% Ar + 20-25% CO<sub>2</sub>, diâmetro do arame = 0,8 mm. As propriedades mecânicas da solda estão indicadas na tabela 3.3 conforme norma AWS.

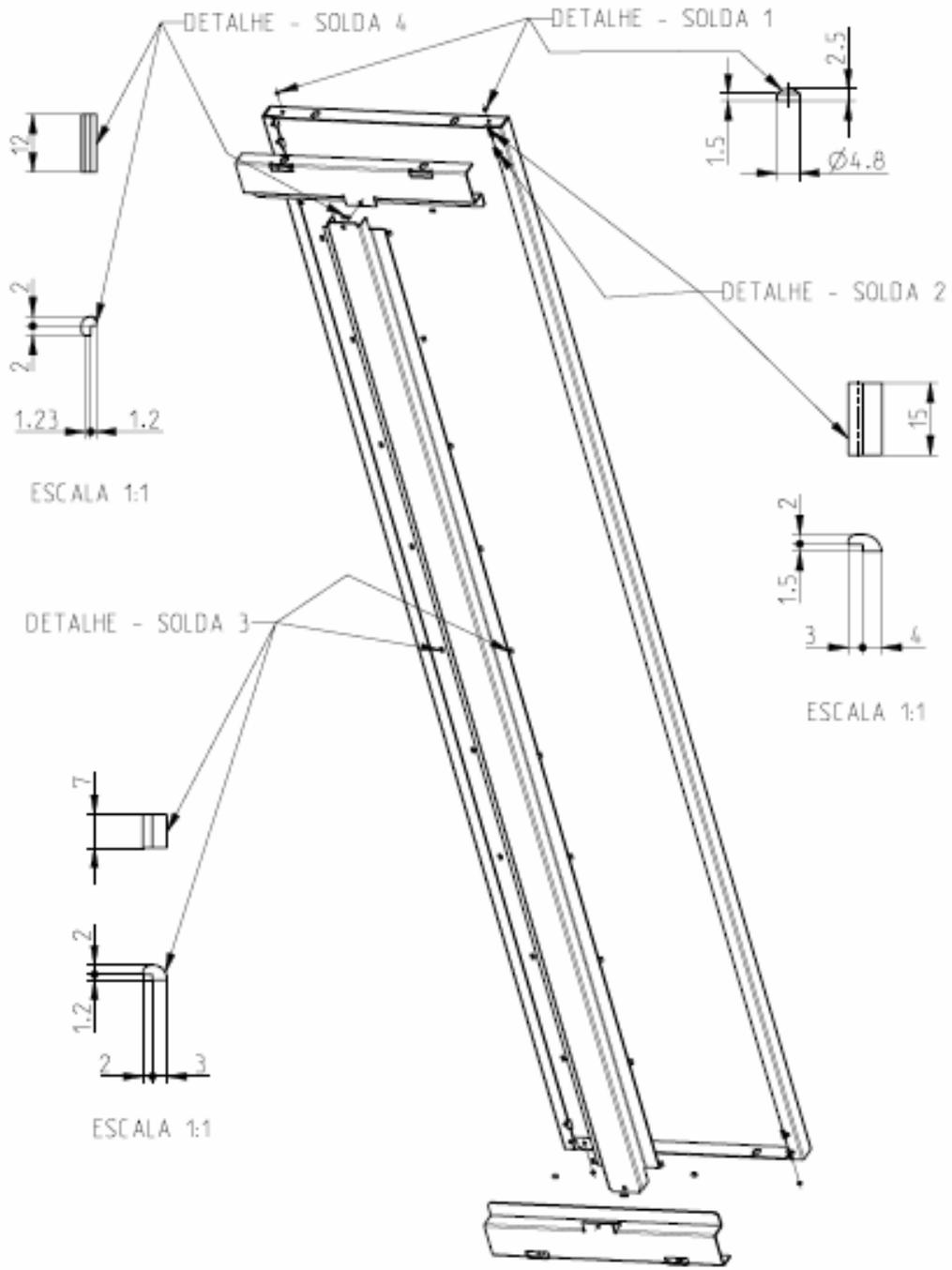
Tabela 3.3 - Propriedades Mecânicas da solda MIG.

Ensaio	Norma AWS	Valores típicos
Limite de Resistência	480 (MPa) min.	560 MPa
Limite de Escoamento	400 (MPa) min.	470 MPa
Alongamento	22 % min.	25 %

#### 3.2.1 - Diagrama dos cordões de solda (processo MIG).

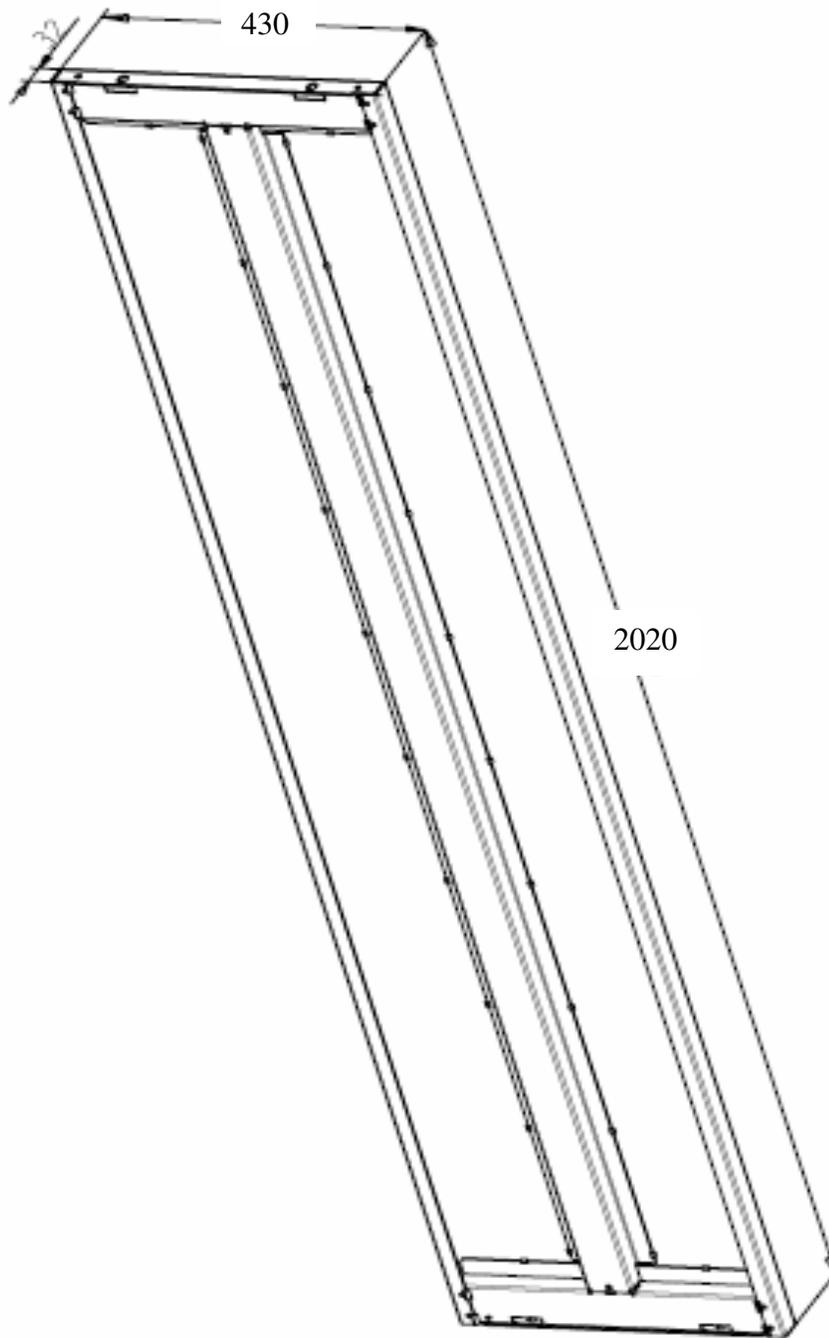
Tomou-se o cuidado de posicionar os cordões de solda nos mesmos pontos onde se utilizaram os rebites no conjunto painel colado e rebitado, exceto para se soldar o reforço ômega, pois se fez necessário distribuir cordões com 7 mm, em ambas as abas, ao longo de seu comprimento, totalizando vinte cordões.

A figura 3.3 abaixo apresenta os tipos de cordões de solda com suas dimensões e as devidas referências de posicionamento dos mesmos.



**Figura 3.3-Detalhes dos componentes e dos cordões de solda de um painel soldado**

Pode-se comparar a figura 3.4 abaixo, a qual apresenta o conjunto painel soldado com seus componentes devidamente montados e as suas dimensões máximas, com o conjunto painel colado e rebitado mostrado na figura 3.1 e perceber a semelhança entre eles.



**Figura 3.4-Esquema do Conjunto painel soldado (dimensões em mm)**

### 3.2.2 - Processos produtivos aplicados.

Os processos produtivos utilizados na fabricação do protótipo foram:

- a) Processo de soldagem GMAW (MIG - MAG);
- b) Processo para proteção à corrosão.

Os demais processos empregados na fabricação, tais como corte, dobra e outros não foram mencionados, porque a obtenção dos componentes utilizados na montagem dos dois protótipos realizou se da mesma maneira, não se fazendo, portanto, necessário mencionar as diferenças.

#### a) - Processo de soldagem GMAW (MIG – MAG)

A soldagem a Arco Gás-Metal (Gás Metal Arc Welding – GMAW) é um processo de soldagem que usa o calor de um arco elétrico entre um eletrodo nu consumível (diâmetro de 0,8 até 1,6 mm), alimentado de maneira contínua, e o metal de base. O calor funde o final do eletrodo e a superfície do metal base para formar a solda. A proteção do arco e da poça de solda fundida vem inteiramente de um gás alimentado externamente, que pode ser inerte, ativo ou uma mistura destes; o calor é produzido através da passagem de corrente elétrica com grande densidade resultando em elevadas velocidades de fusão [27] e [28]. O processo de soldagem está esquematizado através da figura 3.5.

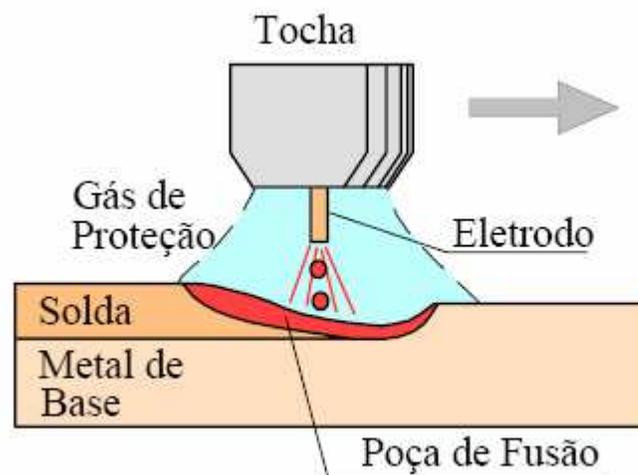


Figura 3.5 – Esquema da tocha e a poça de fusão da soldagem MIG / MAG

A soldagem MIG/MAG é um processo bastante versátil com as seguintes vantagens e desvantagens:

▪ **Vantagens:**

- Processo com eletrodo contínuo gerando alta produtividade;
- Alta taxa de deposição maior que a de soldagem com eletrodo revestido;
- Menos gás e fumaça na soldagem;
- Alta versatilidade (quanto ao tipo de material e espessuras);
- Larga capacidade de aplicação;
- Elevada penetração;
- Solda uma faixa ampla de espessuras e materiais;
- Fácil automatização;
- Ausência de operação de remoção de escoria;
- Exigência de menor habilidade do soldador;
- Permite soldagem em qualquer posição.

▪ **Desvantagens:**

- Maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem que influencia diretamente na qualidade do cordão de solda depositado;
- Maior custo do equipamento e de manutenção do mesmo, comparando com o equipamento para soldagem com eletrodos revestidos;
- Menor variedade de consumíveis;
- Proteção do arco sensível à corrente de ar.
- Aparecimento de tensões residuais [29]

**b) - Processo para proteção à corrosão**

Para garantir agilidade na seqüência do processo produtivo depois de completada toda a montagem dos componentes através da soldagem MIG, faz-se necessário prover a linha de produção com um sistema automático de tratamento superficial de proteção contra a corrosão, pois os mesmos foram fabricados com chapa de aço carbono sem acabamento. Todos eles se encontram em estado instável e tendem espontaneamente a reagirem com o meio ambiente,

formando óxidos de ferro, que, gradativamente, destroem o aço pela corrosão atmosférica, inviabilizando o seu uso após algum tempo. [30]

Devido à necessidade de garantir velocidade de produção, optou-se pelo processo de pintura por imersão e, nesse processo, é preciso montar a seqüência dos banhos, assim como efetuar o controle dos seus parâmetros, para se obter uma barreira impermeável protetora na superfície exposta do aço através de algumas etapas, até o final da aplicação de uma camada de tinta de acabamento.

No processo automático de pintura por imersão, devem-se levar em consideração alguns itens para garantir a eficiência do mesmo, tais como:

- As peças a serem tratadas deverão ter uma geometria que permita o fácil escoamento das soluções dos banhos, garantindo uma homogeneidade, ou seja, não deverá existir a possível retenção de líquidos em nenhuma parte das peças.

- As peças não deverão se tocar.

- O excesso de líquido deverá escorrer para evitar a contaminação da etapa seguinte

Observe-se que esse painel, antes de sua real utilização, receberá uma camada final de tinta de acabamento que atuará como barreira protetora, além da finalidade estética.

Todas as etapas do processo podem ser encontradas no Anexo III.

### **3.2.3 - Dimensionamento dos cordões de solda.**

Vários tipos de cordões de solda foram utilizados para garantir a união dos componentes da porta. Segue um descritivo dos cordões, no qual se menciona o comprimento e a resistência mecânica e os mesmos estão indicados na figura 3.3.

- 4 cordões tipo botão com diâmetro de 4,8 mm utilizado para fixar a aba superior e inferior do painel nas respectivas travessas (solda 1);

- 8 cordões com comprimento (L) = 15 mm sendo 4 cordões em cada travessa ligando-as na dobra lateral traseira do painel (solda 2);

- 20 cordões com L= 7 mm sendo 10 cordões em cada lado das abas do reforço ômega montado no centro do painel na parte de trás (solda 3);

- 2 cordões com L=12 mm utilizado para fixar as extremidades do reforço ômega nas travessas (solda 4).

**Tabela 3.4 - Valores das tensões recomendadas pela AWS**

Tensão Admissível conforme AWS (N/mm <sup>2</sup> )	
Tração ( $\sigma$ )	Cisalhamento ( $\tau$ )
90	80

**- Cálculo da carga nos cordões de solda:**

Considerando que o perfil dos cordões seja um triângulo retângulo, ocorrem, na altura relativa da hipotenusa (45°) dos cordões, esforços de cisalhamento e, com as recomendações das tensões admissíveis mencionadas na tabela 3.4, obtêm-se as seguintes cargas:

Cordão 2:

- Dimensão da diagonal do cordão = 2,34 mm;
- Comprimento = 15 mm;
- Área resistente = 35,1 mm<sup>2</sup>;
- Pela Resistência dos materiais temos:

$$\tau_{adm} = F_{adm} / \text{Área resistente};$$

- Força admissível no cordão 2 = 2808 N;

Cordão 3:

- Dimensão da diagonal do cordão = 2,21 mm;
- Comprimento = 7 mm;
- Área resistente = 15,47 mm<sup>2</sup>;
- Força admissível no cordão 3 = 1238 N;

Cordão 4:

- Dimensão da diagonal do cordão = 2,0 mm;
- Comprimento = 12 mm;
- Área resistente = 24 mm<sup>2</sup>;

- Força admissível no cordão 4 = → 1920 N.

### 3.3 – Planilha de custos

A tabela 3.5 mostra quanto representa cada item no custo industrial dos conjuntos painéis, foi considerada a matéria prima utilizada na manufatura de cada conjunto painel, assim como o custo da mão de obra empregada em cada processo.

Tabela 3.5 – Custo industrial do conjunto painel colado e rebitado e do conjunto painel soldado

<b>Conjunto painel colado e rebitado</b>					
<b>Item</b>	<b>Quant.</b>	<b>“Blank” (mm)</b>	<b>Peso (kgf)</b>	<b>Custo M.P. (R\$)</b>	<b>Descrição M.P.</b>
Painel	1	2077x524	13,1	58,56	Chapa Pré - pintada 1,5 mm
Travessa	2	414x133,3	1,32	5,92	Chapa Pré - pintada 1,5 mm
Reforço ômega	1	1897x161,2	2,93	8,01	Chapa galvanizada 1,2 mm
Rebite POP	14			1,96	Ø 4,8x8 - Inox.
Fita adesiva VHB	4,5 m			18,36	0,6x19 mm - 3M
Custo da mão de obra - serralheria				25,93	20 minutos
Custo da mão de obra - montagem				10,07	10 minutos
<b>Custo total</b>				<b>128,81</b>	
<b>Conjunto painel soldado</b>					
<b>Item</b>	<b>Quant.</b>	<b>“Blank” (mm)</b>	<b>Peso (kgf)</b>	<b>Custo M.P. (R\$)</b>	<b>Descrição M.P.</b>
Painel	1	2077x524	13,1	39,04	Chapa sem acabamento 1,5 mm
Travessa	2	414x133,3	1,32	4,01	Chapa sem acabamento 1,5 mm
Reforço Ômega	1	1897x161,2	2,93	8,01	Chapa galvanizada 1,2 mm
Eletrodo				3,25	Solda MIG - eletrodo Ø 0,8 mm
Pintura				10,88	Processo automático - por imersão (sem pintura de acabamento).
Custo da mão de obra - serralheria				25,93	20 minutos
Custo da mão de obra - montagem				33,65	25 minutos
<b>Custo total</b>				<b>125,55</b>	Sem pintura de acabamento

Observar que ao custo do painel soldado falta acrescentar a parcela referente à pintura de acabamento executada no cliente.

## **Capítulo 4**

### **Metodologia utilizada para demonstrar a viabilidade do conjunto painel colado e rebitado como alternativa ao painel soldado.**

Definiu-se que a demonstração da viabilidade técnica do conjunto painel colado e rebitado como alternativa ao conjunto painel soldado efetuar-se-á através da realização de dois diferentes ensaios em cada protótipo, sendo um de flexão com aplicação de carga de 300 N e o outro, de torção. A diferença básica entre os protótipos está no processo de manufatura aplicado na fabricação de ambos: em um deles utiliza-se o processo de soldagem MIG e no outro, a junção mecânica entre seus componentes, efetuada por meio de fita adesiva VHB e rebites.

O painel soldado vem sendo produzido ao longo dos anos utilizando-se de processos de soldagem em completo estágio de desenvolvimento, tal como o processo MIG / MAG.

Definiu-se que os dois protótipos fossem manufaturados com as mesmas dimensões, de real aplicação, e matéria prima (SAE 1006/1010) para assim eliminar qualquer dúvida sobre a possível interferência dos mesmos nos resultados dos ensaios.

O ensaio de flexão que mensura a rigidez dos conjuntos painéis resume na aplicação contínua de uma carga de 300 N, em uma área de 5 cm<sup>2</sup>, no centro do conjunto painel ou em seu ponto mais fraco, para verificar a existência de deformações plásticas residuais após a remoção da carga. O outro ensaio consiste em efetuar a torção longitudinal do conjunto painel aplicando uma carga de 500 N, durante cinco minutos, com o objetivo de verificar a integridade dos elementos de junções mecânicas dos componentes quando submetido a esse tipo de esforços.

#### **4.1 - Introdução**

Os painéis, objeto desses ensaios, têm como principal foco de aplicação os elevadores residenciais e comerciais, utilizados no transporte vertical de pessoas, e essa aplicação específica

em elevador deve atender a alguns requisitos de segurança definidos nas normas, hoje estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da norma NBR-NM 207:1999, [19] que regulamenta a fabricação de elevadores no MERCOSUL. As condições de execução e os critérios de aceitação do ensaio de resistência mecânica do conjunto painel estão mencionados no item 7.2.3.1 da referida norma e descritos a seguir.

- Ensaio à flexão que consiste em aplicar uma carga contínua e perpendicular ao conjunto painel de 300 N, distribuídos uniformemente em uma área circular ou quadrada de 5 cm<sup>2</sup>, em qualquer ponto desde que seja o mais fraco. Critérios de aceitação:

- a) Resistir sem deformação elástica maior que 15 mm;
- b) Resistir sem deformação permanente após a remoção da carga;
- c) Operar satisfatoriamente depois do ensaio.

Algumas empresas fabricantes de elevadores, além de atender ao requisito da norma NBR NM 207, mencionada anteriormente, também submetem o conjunto painel a esforços de torção, aplicando uma carga máxima de 500 N durante cinco minutos, de maneira a provocar torção do painel montado em um dispositivo especial que proporciona a execução desse tipo de ensaio.

Esse ensaio tem a função de verificar a confiabilidade da construção e/ou analisar a integridade do conjunto painel, simulando uma possível condição de mau uso do mesmo ou um incidente não previsível. Os seguintes critérios de aceitação deverão ser atendidos:

- a) Não ocorrer deformação plástica;
- b) Não ocorrer danos ou avarias no conjunto painel;
- c) Não ocorrer separação dos componentes.

O procedimento detalhado para se efetuar o ensaio de torção não consta em documentação, entretanto as diretrizes básicas mencionadas do mesmo foram cuidadosamente seguidas em sua execução e os dados registrados.

#### **4.2 – Ensaio à flexão - Aplicação da carga de 300 N.**

Fixou-se o conjunto painel na posição vertical a um pórtico, devidamente no prumo, por meio de quatro tirantes e porcas M10, sendo dois em cada extremidade, conforme mostram as

figuras 4.1 (a) e (b). Essa fixação garante a rigidez necessária para se mensurar a deformação especificada como critério de aceitação.

Aplicou-se a carga no lado oposto ao reforço ômega em três pontos (P1, P2 e P3), mostrado na figura 4.2, e três medições foram tomadas em cada ponto. Os pontos foram distribuídos na linha central conforme mostra a figura 4.2, por ser a região de menor resistência mecânica.

Aplicou-se a carga de 300 N, usando um conjunto atuador circular, o qual tem a extremidade em poliuretano com diâmetro de 25 mm, mostrado na figura 4.4, que resulta na área de 5 cm<sup>2</sup>, especificada na norma NBR-NM 207. O conjunto atuador teve uma das extremidades fixada a uma célula de carga e a outra extremidade, fixada a um tirante especial M12, conforme ilustra a figura 4.2.

O funcionamento desse sistema (atuador, tirante especial e célula de carga) consiste, primeiramente, em encostar a extremidade em poliuretano do conjunto atuador na face do conjunto painel, girar o tirante especial M12 que, por consequência, comprime a célula de carga e que, por sua vez, transfere o esforço ao painel por meio do conjunto atuador. Gira-se o tirante especial M12 até obter os 300 N de carga. Tal procedimento foi registrado através de gráficos.

A deformação é registrada através de um sensor foto elétrico a laser (Fig.4.3), posicionado no lado oposto à aplicação da carga, na mesma direção dos pontos P1, P2 e P3 distante a 80 mm da face do conjunto painel.

### **Equipamentos utilizados:**

#### a) Célula de carga

- Modelo Alfa Instrumentos (0 a 1000 N)
- Sensibilidade – 2mV/V
- Validade da aferição – Setembro / 2008

#### b) Sensor foto elétrico a laser.

- Fabricante: Baumer Electric
- Referência: OADM 2014460/S14C
- Faixa de aplicação = 30 a 130 mm.

- c) Software Catman Easy versão 2.0, utilizado para gerar os gráficos de aplicação da carga (N) em função da deformação (mm).
- d) Trena (3 m)
- e) Conjunto atuador (diâmetro 25 mm).

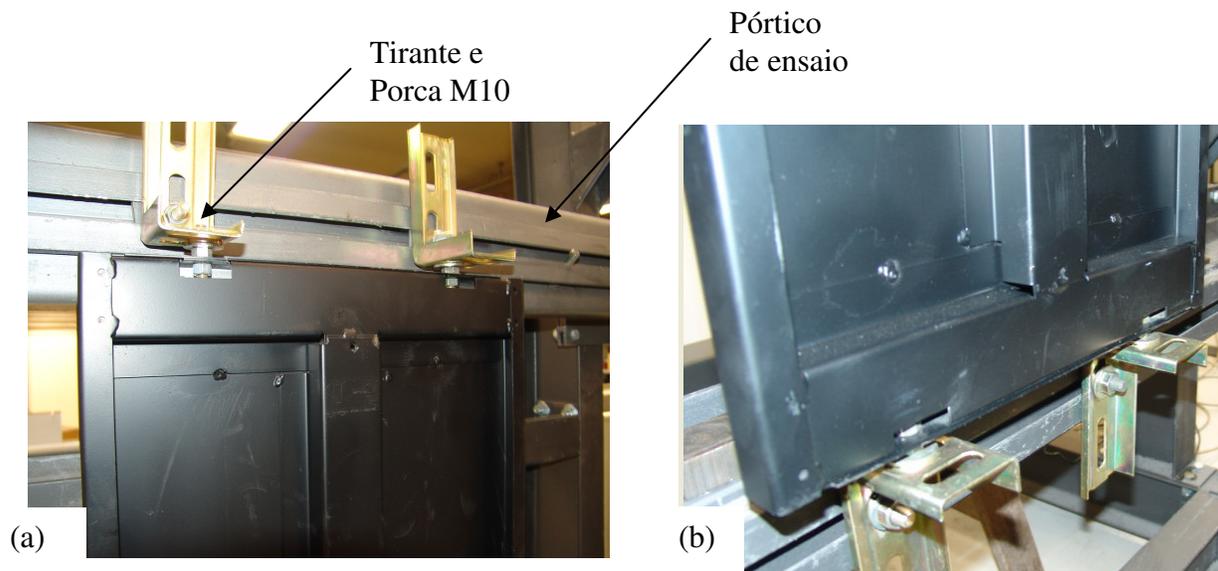


Figura 4.1 – Fotografia do conjunto painel soldado montado no pórtico, no prumo, para o ensaio de flexão. (a) em sua extremidade superior (b) em sua extremidade inferior.

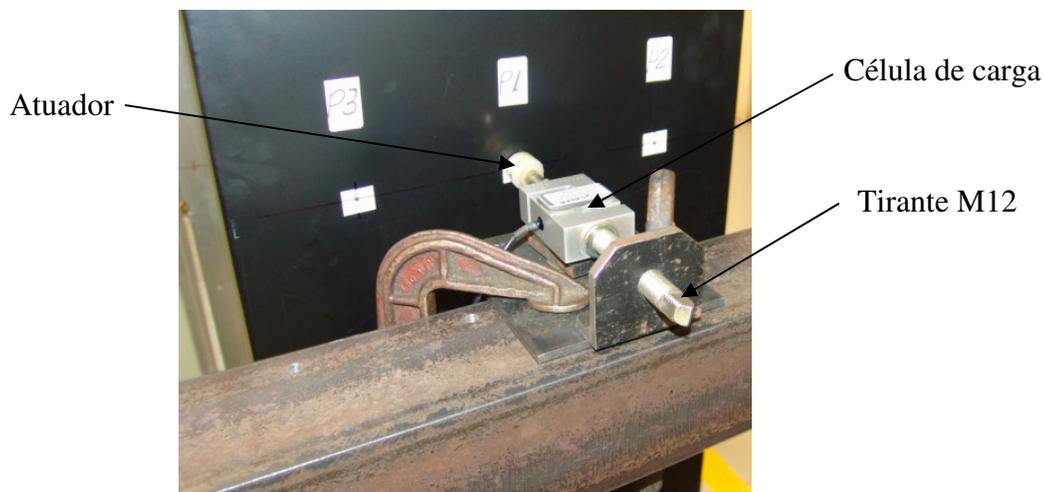


Figura 4.2 – Fotografia da célula de carga montada no pórtico atuando no ponto P1 do conjunto painel soldado, para o ensaio de flexão.



Figura 4.3 – Fotografia do Sensor foto elétrico – Posicionado no ponto P2 do conjunto painel colado e rebitado.

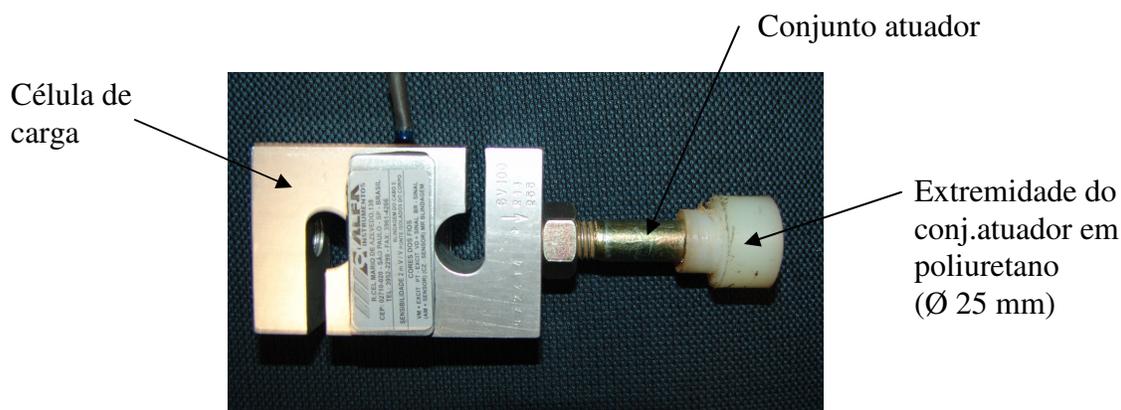


Figura 4.4 – Fotografia da célula de carga com o conjunto atuador montado

#### 4.3 – Ensaio de torção

O ensaio de torção tem o objetivo de avaliar a rigidez e a integridade do conjunto mecânico, submetendo as junções mecânicas a grandes esforços. O ensaio também permite simular situações não previsíveis em sua aplicação e avaliar a qualidade atribuída durante o processo de fabricação, pois é sabido que ocorrem desvios durante o processo produtivo. Devido a isso, foram controlados os conjuntos painéis e a sua planeza mensurada.

Os itens controlados:

- **Conjunto painel colado e rebitado**

- a. Qualidade da rebiteagem e utilização dos rebites especificados;

- b. Qualidade da adesão da fita adesiva VHB e a verificação da correta união dos componentes;
- c. Dimensional.
- **Conjunto painel soldado**
  - a. Qualidade dos cordões da solda e a execução de todos os cordões especificados.
  - b. Dimensional

Foram controlados todos os itens mencionados acima e os mesmos se apresentaram dentro da especificação exigida.

#### 4.3.1 - Medição da planeza nos painéis:

A verificação da integridade e ou rigidez do conjunto painel após o ensaio de torção foi feita através da comparação da planeza em que os mesmos se encontravam antes e depois da realização do ensaio de torção.

Assentou-se o conjunto painel horizontalmente em quatro pontos de apoio, coxins ajustáveis, devidamente nivelados, e três medições foram efetuadas em cada um dos nove pontos (P1 até P9) identificados no painel, conforme mostra a figura 4.5, cujos resultados estão demonstrados na tabela - 4.1.

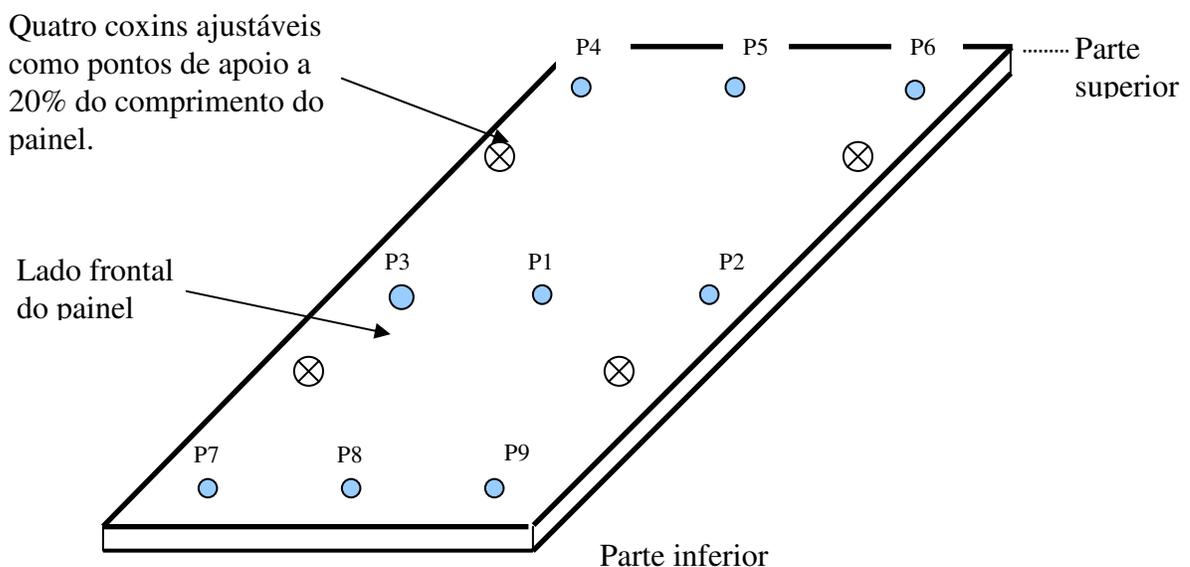


Figura 4.5 - Arranjo dos pontos de medição da planeza.

#### 4.3.2 - Dispositivo para medição da planeza.

O dispositivo é composto de uma estrutura metálica montada com perfis em alumínio sobre dois cavaletes metálicos rígidos (Figura 4.6). Garantiu-se o nivelamento dos conjuntos painéis, através de quatro coxins ajustáveis (Figura 4.6), dispostos entre o dispositivo e o conjunto painel.

Os perfis laterais do dispositivo permitem que uma travessa com o relógio comparador montado se desloque ao longo do conjunto painel (Figura 4.7), permitindo posicionar o relógio comparador nos devidos pontos (P1 a P9) marcados no conjunto painel (Figura 4.10).

O relógio comparador foi zerado no ponto P1 com um pré-deslocamento de 5 mm, conforme mostra a figura 4.8.

O retorno dos conjuntos painéis ao dispositivo, na mesma posição, após os ensaios, está garantido através do posicionamento de três topes encosto, sendo dois em uma das laterais e o outro, na parte superior do dispositivo, conforme mostra a figura 4.7.

Realizou-se o nivelamento dos painéis com o auxílio do nível de bolha de água, conforme mostra a figura 4.9.



Figura 4.6 – Fotografia do dispositivo para medição da planeza.



Figura 4.7 – Fotografia do dispositivo com três pontos de encosto

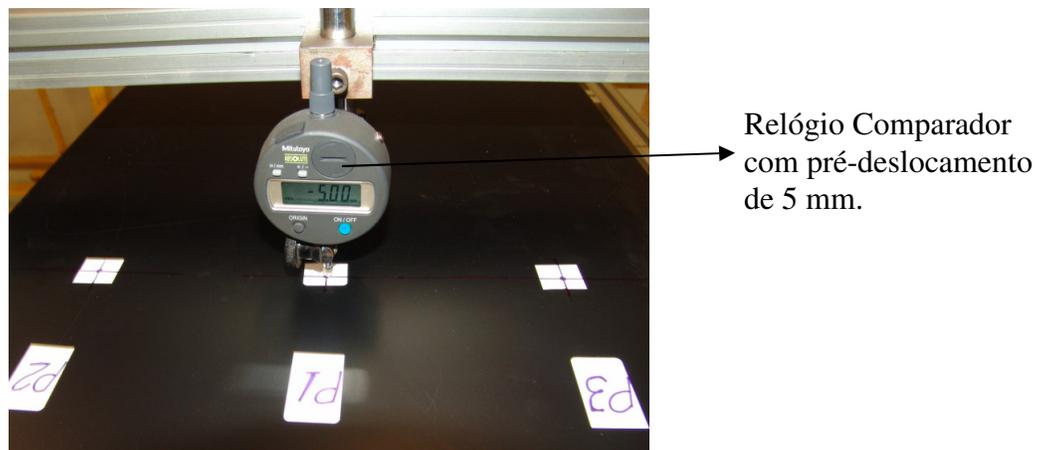


Figura 4.8 – Fotografia do relógio comparador posicionado no ponto P1 (Conj. painel soldado).

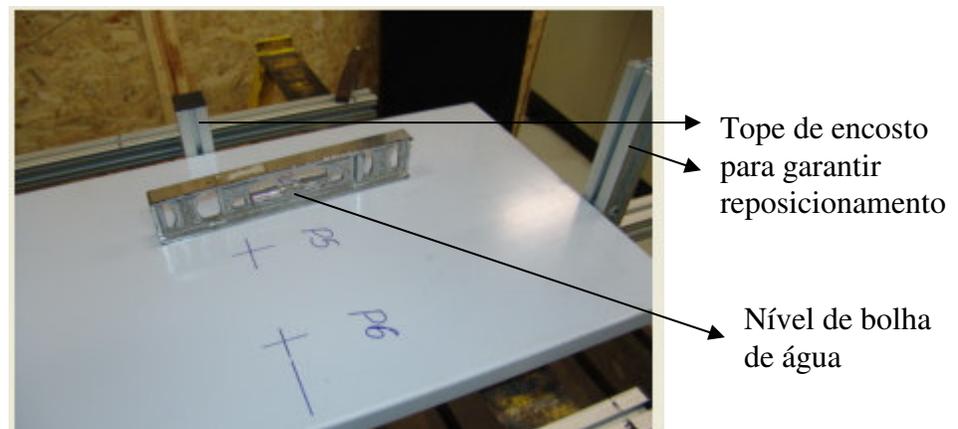


Figura 4.9 – Fotografia da verificação do nivelamento do conjunto painel colado.



Figura 4.10 – Fotografia da medição da planeza do ponto P5 no conj. painel colado.

#### 4.3.3 – Resultados da medição da planeza antes do ensaio de torção.

Foram tabulados todos os valores obtidos através do procedimento mencionado anteriormente na tabela 4.1 e, com o uso do cálculo das médias aritméticas aplicado nas três medições obtidas para cada ponto (P1 a P9), determinou-se a planeza para cada painel.

Como mencionado anteriormente, o relógio comparador foi zerado no ponto P1, ficando o mesmo como ponto zero para ambos os conjuntos painéis, servindo de referência para visualizar a variação da planeza ponto a ponto (P1 a P9).

Tabela - 4.1- Medição da planeza antes do ensaio de torção em ambos os protótipos.  
Dimensões em milímetros (mm).

Pontos	Painel colado e rebitado				Painel soldado			
	a	b	c	Média	a	b	c	Média
P1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
P2	5,4	5,5	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
P3	4,9	4,9	5,0	4,9	5,5	5,6	5,6	5,6
P4	5,6	5,6	5,6	5,6	6,5	6,5	6,5	6,5
P5	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0
P6	6,3	6,4	6,4	6,4	6,3	6,3	6,3	6,3
P7	4,5	4,5	4,5	4,5	4,7	4,8	4,7	4,8
P8	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2
P9	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

a- primeira medição, b- segunda medição, c- terceira medição

Para melhor visualização dos reais valores da planeza dos painéis foram compilados os valores médios indicados na tabela 4.1, de maneira que se tomou o ponto P1 como plano de referência zero, ou seja, todos os demais valores da planeza estão referenciados no ponto P1. Os valores reais da planeza estão demonstrados na tabela 4.2, lembrando que o sinal negativo e positivo nos valores da tabela 4.2 indica que o ponto está abaixo ou acima do ponto P1.

Pode-se observar na tabela 4.2 que a máxima variação da planeza ocorreu no ponto P6 para o conjunto painel colado e rebitado e no ponto P4 para o conjunto painel soldado. Esses valores indicam que os conjuntos painéis foram manufaturados com a mesma qualidade de produção, não comprometendo, contudo, os resultados finais dos ensaios.

Tabela - 4.2- Variação da planeza nos respectivos pontos antes do ensaio de torção.  
Dimensões em milímetros (mm).

<b>Variação da planeza pré-existente nos pontos antes do ensaio de torção</b>		
	<b>Painel colado</b>	<b>Painel soldado</b>
Pontos	Media	Media
P1	0,0	0,0
P2	- 0,5	- 0,5
P3	+ 0,1	- 0,6
P4	- 0,6	- 1,5
P5	- 0,9	- 1,0
P6	- 1,4	- 1,3
P7	+ 0,5	+ 0,2
P8	+ 0,7	+ 0,8
P9	+ 0,5	+ 0,5

- O limite máximo para o deslocamento tolerado na medição da planeza nos painéis não deve ultrapassar 2 mm.

#### 4.3.4 - Aplicação do ensaio de torção.

Posicionou-se o conjunto painel no dispositivo de torção com o lado frontal para cima. Os pontos de fixação Fp1 e Fp2 (Fig.4.11) indicam que a extremidade inferior do conjunto painel foi travada ao dispositivo, por meio de um sistema de sanduíche formado por duas barras rígidas metálicas, sendo uma das barras soldada à mesa do dispositivo e a outra barra, montada sobre a parte inferior do conjunto painel, é fixada à barra soldada com parafusos e porcas.

A mesa do dispositivo está rigidamente fixada ao piso, o que garante solidez ao dispositivo na execução do ensaio de torção (Figura 4.13). A fixação da parte superior do painel ocorreu da mesma maneira, utilizando-se o princípio do sistema sanduíche, ou seja, travou-se o painel por meio de outras duas rígidas barras metálicas, conforme mostra a figura 4.12. A fixação das duas barras rígidas se fez por meio de um parafuso olhal montado com porcas, em uma das extremidades (ponto F4), e o mesmo foi utilizado como ponto de conexão com a célula de carga.

A outra extremidade das barras foi fixa a uma mesa metálica (ponto Fp3) a qual, permite a sua articulação, possibilitando o movimento de torção do painel, porém evita que o mesmo se desloque para baixo ou para cima. Conectou-se uma célula de carga, no parafuso olhal (ponto F4). A outra extremidade da célula de carga foi conectada a uma talha, com auxílio de cabo de aço. Formou-se assim uma linha de atuação que permitiu a aplicação gradativa de uma força de tração até o limite de 500 N (Figura 4.14).

O diagrama ilustrado na figura 4.11 mostra, de maneira gráfica, as forças de atuação e os pontos de fixação correspondentes em cada extremidade do painel.

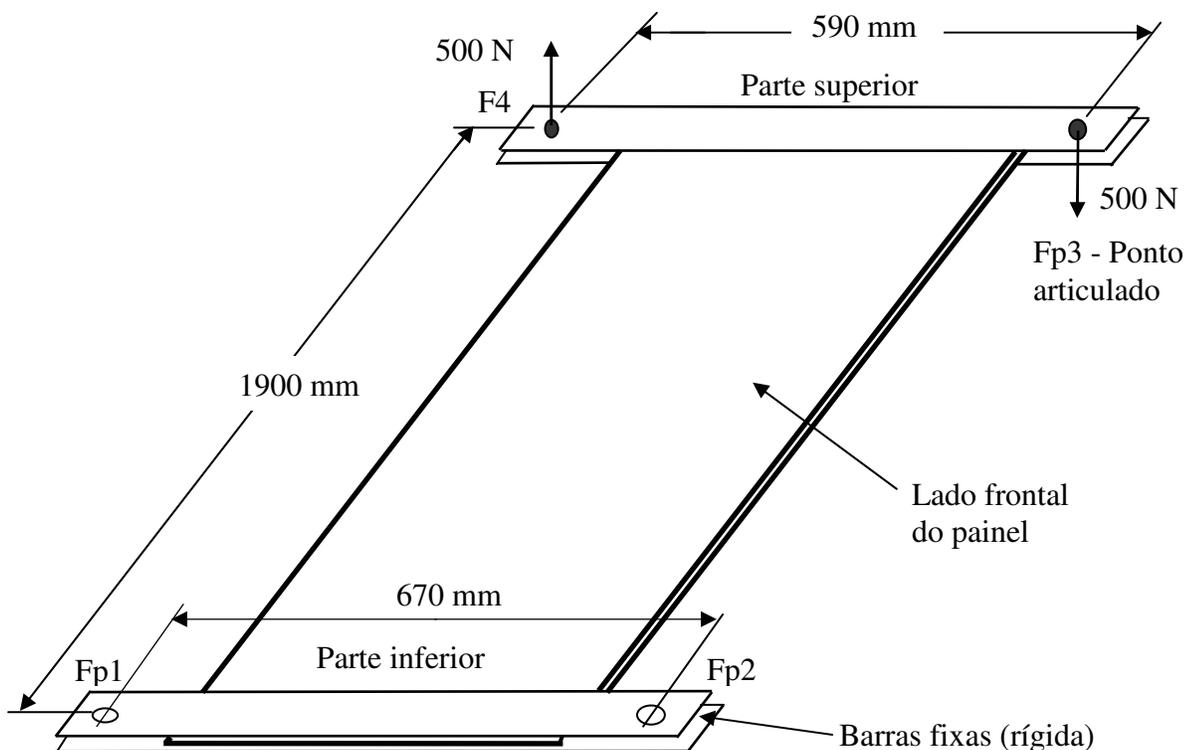


Figura 4.11 – Diagrama de aplicação das forças e os pontos de fixação no painel.

F4 – Ponto de conexão entre o conjunto painel e a célula de carga e esta com a talha, por meio da qual se realizou o içamento do conjunto painel até atingir a carga de 500 N.

Fp3 – Ponto articulado, o qual possibilita a angulação do painel, porém evita que o mesmo se desloque para baixo ou para cima.

Fp1 e Fp2 – Dois pontos fixos na parte inferior do dispositivo, os quais neutralizam qualquer movimento do painel.

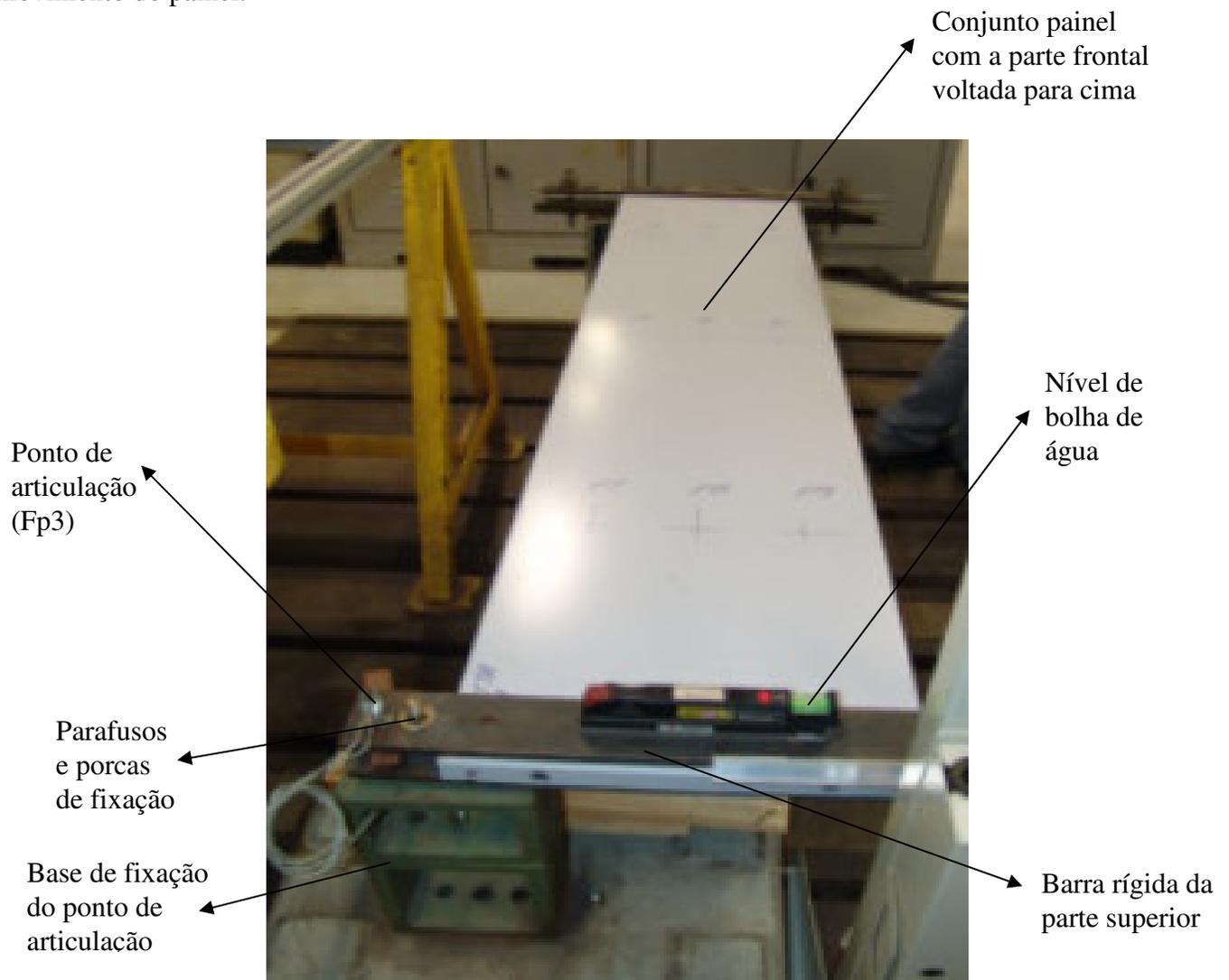


Figura 4.12 – Fotografia do dispositivo de torção com o nível de bolha d'água.

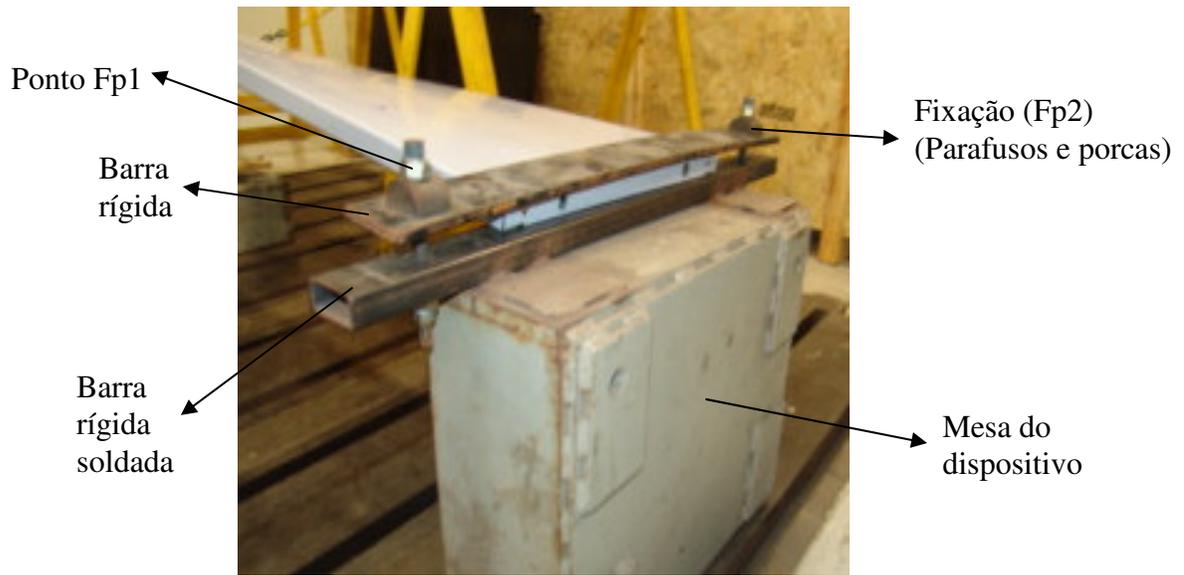


Figura 4.13 – Fotografia da parte fixa do Dispositivo de torção com o painel.

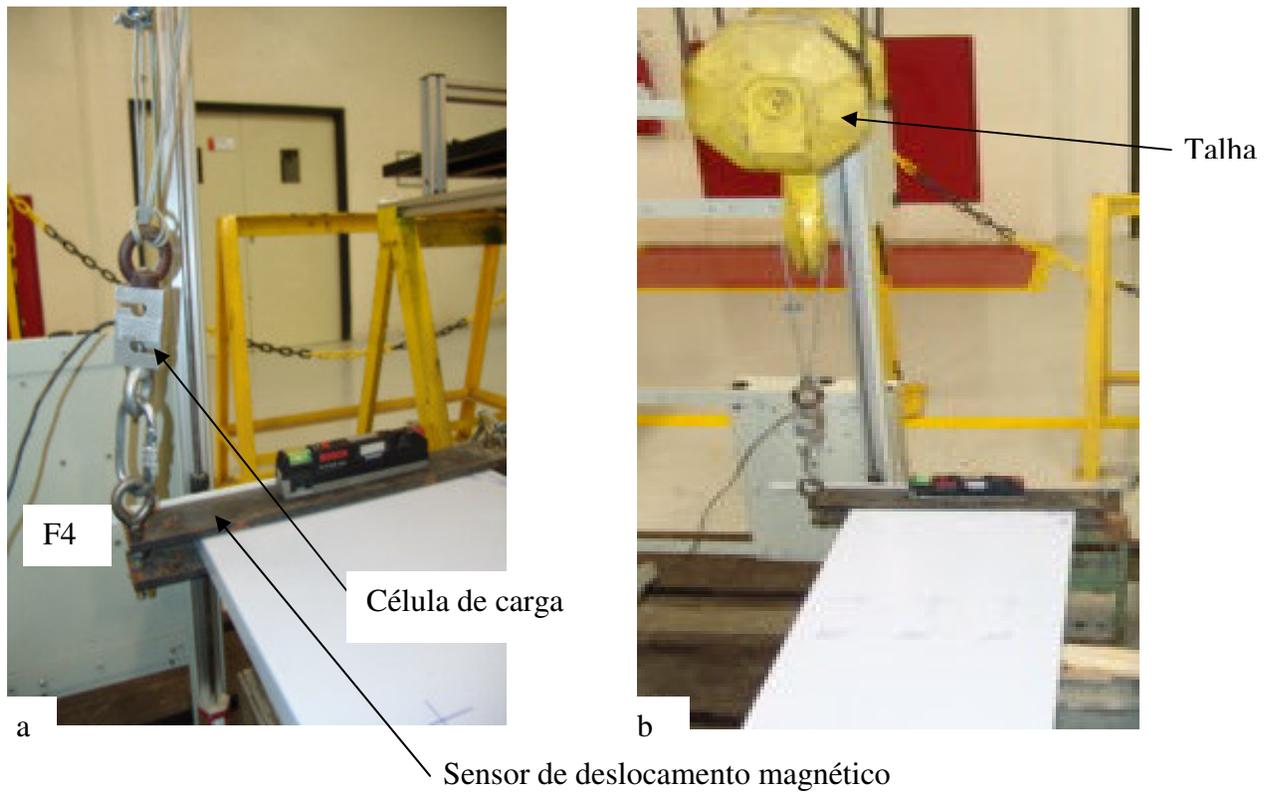


Figura 4.14 – (a) Fotografia da célula de carga conectada ao dispositivo de torção  
(b) Fotografia da célula de carga conectada na talha.

## **- Equipamentos**

### **Lista de equipamentos utilizados:**

- 1) Célula de carga
  - Modelo Alfa Instrumentos (0 a 1000 N)
  - Sensibilidade – 2mV/V
  - Validade da aferição – Set. / 2008
- 2) Sensor de deslocamento magnético.
  - Fabricante: MTS – System Corporation
  - Referência: Temposonics – Serie G.
  - Modelo: GPS2000MD602AD
- 3) Software Catman Easy versão 2.0, utilizado para gerar os gráficos:
- 4) Relógio comparador Mitutoyo Absolute (Tipo 0,01 mm).
  - Model: ID – S1012M
  - Serial N° - 039020
- 5) Trena 3m.
- 6) Paquímetro digital (150 mm)
  - Sylvac (Swiss)
  - Validade da aferição: Dezembro / 2008

### **4.3.5 - Execução do ensaio de torção**

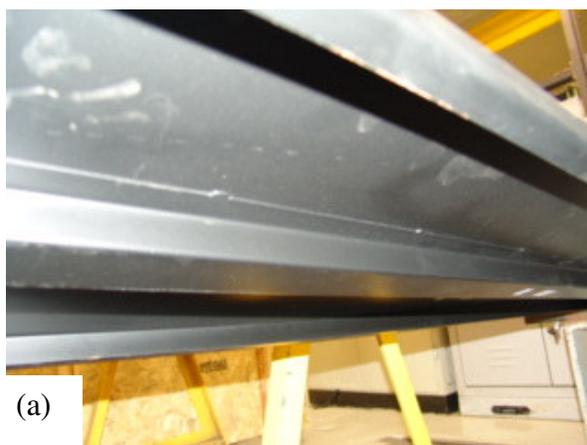
Montou-se o conjunto painel corretamente no dispositivo, conforme ilustrado anteriormente (Fig.4.11). Garantiu-se que o conjunto painel estivesse nivelado e iniciou-se a aplicação da carga de 500 N, de maneira contínua, por meio do içamento da talha, estando a mesma conectada à célula de carga. O içamento da talha provoca o levantamento simultâneo do canto do conjunto painel no ponto F4 e, por conseqüência, a torção do mesmo, conforme mostram as figuras 4.15 e 4.16.

O esforço realizado pela talha é registrado pela célula de carga; o deslocamento vertical do conjunto painel é quantificado por meio do sensor de deslocamento magnético, montado próximo do ponto de atuação da mesma (F4). Foram conectados, eletricamente, a célula de carga e o sensor de deslocamento magnético a um Notebook, no qual está instalado o software Catman

Easy versão 2.0. Este relaciona os esforços, ou seja, a carga limitada em 500 N com o deslocamento vertical e também a mesma carga aplicada em função do tempo, gerando duas curvas independentes, sendo duas para cada tipo de conjunto painel ensaiado.



Figura 4.15 – Fotografia do conj. painel colado durante ensaio de torção.



(a)



(b)

Figura 4.16 – (a) Fotografia da vista inferior do conjunto painel soldado durante ensaio de torção. (b) Fotografia da vista inferior do painel soldado e do ponto de giro do dispositivo de torção.

## Capítulo 5

### Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios mencionados anteriormente em que os dois protótipos foram submetidos.

#### 5.1 - Resultado do ensaio de flexão - Aplicação da carga de 300 N.

Executaram-se nove medições em cada conjunto painel sendo três medições em cada ponto (P1, P2 e P3) e efetuou-se o cálculo da média aritmética, conforme mostra a tabela 5.1 para o conjunto painel colado e rebitado e na tabela 5.2 para o conjunto painel soldado. As médias serão objeto de comparação entre os deslocamentos dos conjuntos painéis.

Tabela 5.1 - Resultados do ensaio de flexão com aplicação da carga 300 N no conjunto painel colado e rebitado

Deslocamento elástico em mm			
Medição	P1	P2	P3
a	4,8	6,1	6,4
b	4,8	6,5	6,3
c	4,8	6,2	6,4
Média simples do deslocamento	4,8	6,3	6,4

a- primeira medição, b- segunda medição, c- terceira medição

Tabela 5.2 - Resultados do ensaio de flexão (carga 300 N) no conjunto painel soldado

Deslocamento elástico em mm			
Medição	P1	P2	P3
1	3,3	4,9	4,9
2	3,3	4,9	4,8
3	3,2	4,8	4,8
Média simples do deslocamento	3,3	4,9	4,8

1- primeira medição, 2- segunda medição, 3- terceira medição.

### 5.1.1 - Curvas da carga (N) em função da deformação (mm)

As nove medições efetuadas em cada conjunto painel conforme mencionado geraram 18 diferentes curvas da carga de 300 N em função do deslocamento (mm) para cada ponto de medição. As figuras 5.1 a 5.3 mostram uma série de três curvas geradas através da medição “a” nos pontos P1, P2 e P3 no conjunto painel colado e rebitado. As demais curvas se encontram no Anexo I.

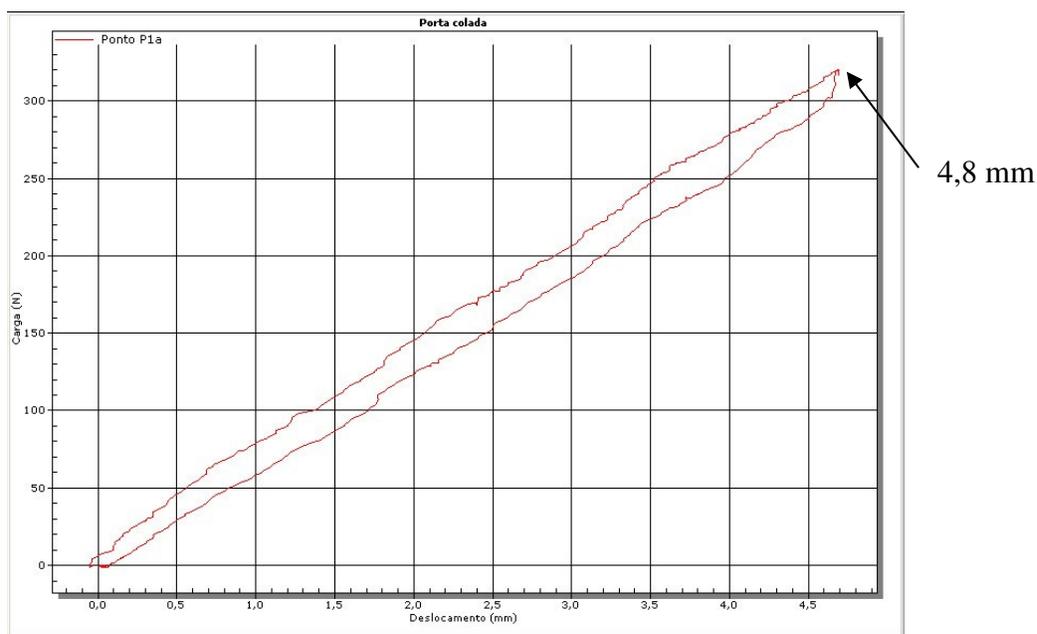


Figura 5.1 – Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P1, medição a.

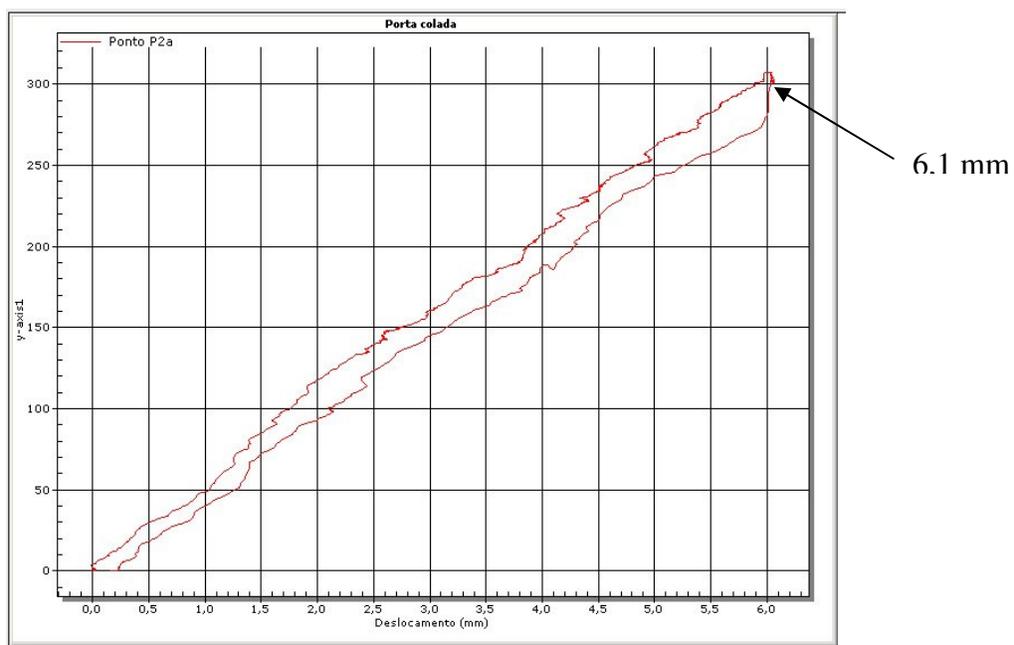


Figura 5.2 – Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P2, medição a.

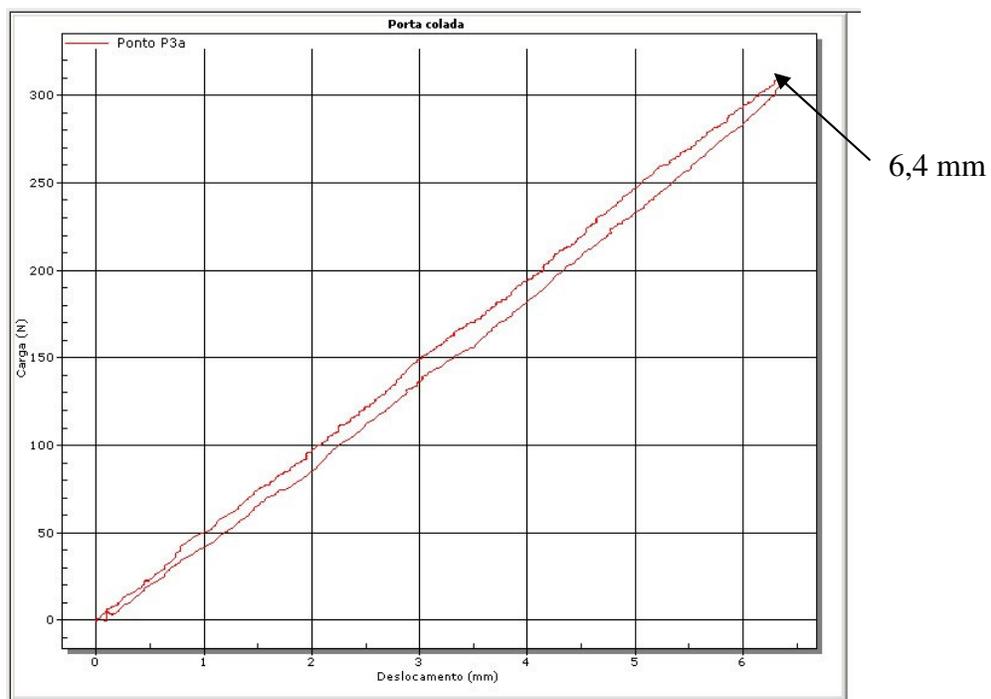


Figura 5.3 – Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel colado e rebitado efetuado no ponto P3, medição a.

As figuras 5.4, 5.5 e 5.6 a seguir mostram uma outra série de três curvas geradas através da medição - 1 nos pontos P1, P2 e P3 do conjunto painel soldado. As outras seis curvas estão disponíveis no Anexo I.

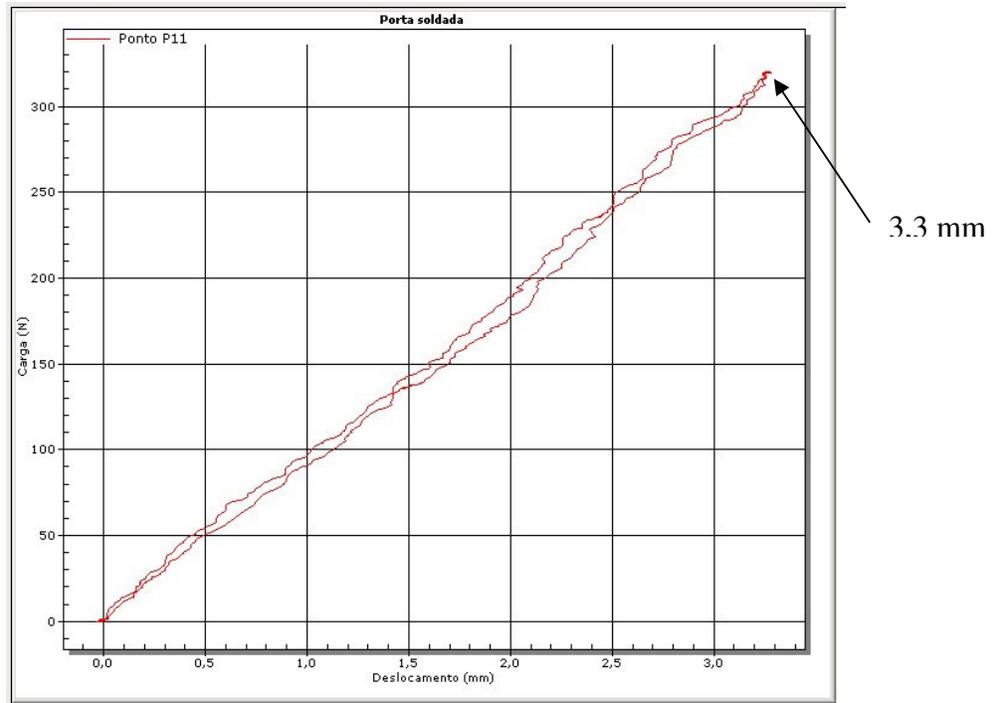


Figura 5.4 - Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P1, medição 1.

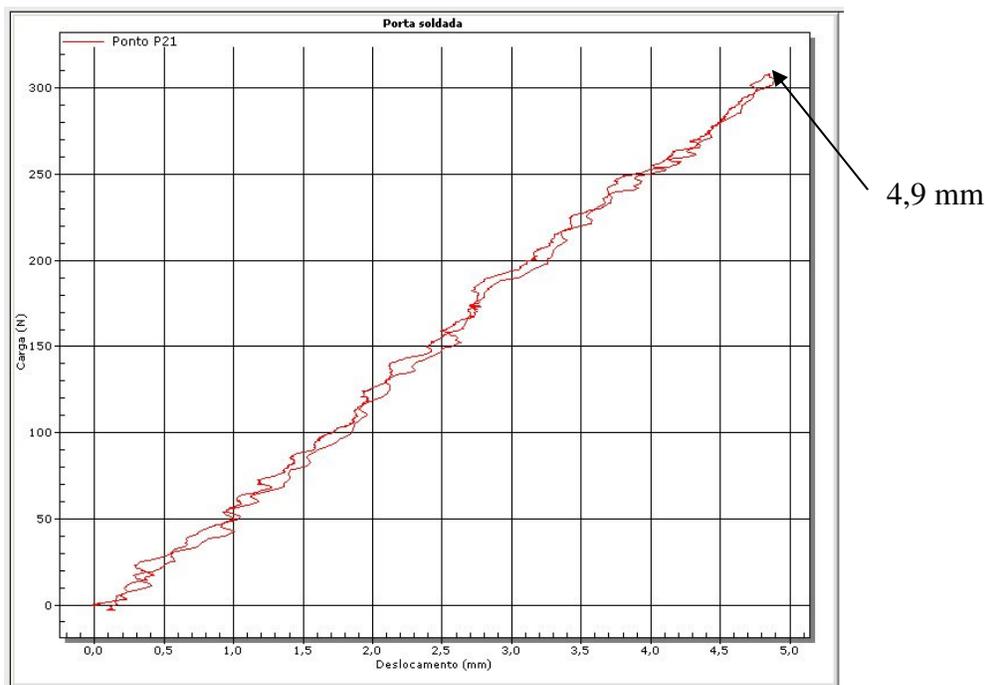


Figura 5.5 - Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P2, medição 1.

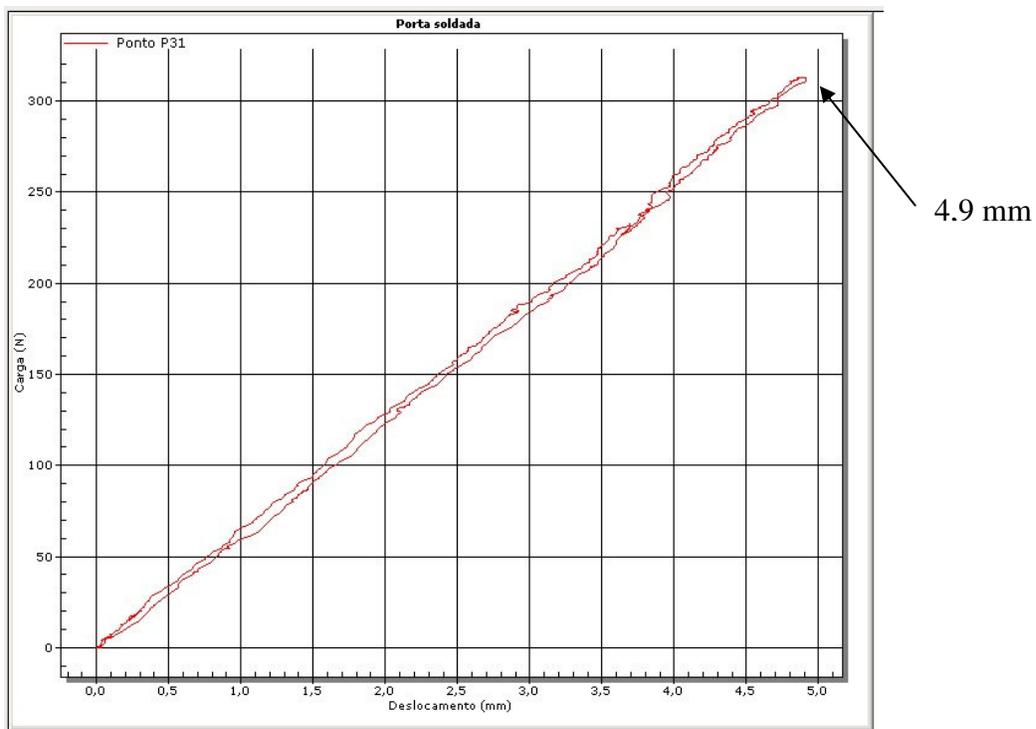


Figura 5.6 - Curva da carga (N) em função do deslocamento (mm) para o conjunto painel soldado efetuado no ponto P3, medição 1.

## **5.2 - Resultado do ensaio de torção**

Durante a execução do ensaio de torção gerou-se curvas que relacionam a carga aplicada (500 N) com o deslocamento vertical no ponto onde se efetuou o içamento do conjunto painel conforme mostrado na descrição do ensaio anteriormente. Também originou curvas que relacionam a carga aplicada (500 N) com o tempo em que à mesma ficou atuando. Tempo esse definido por procedimento em 5 minutos no mínimo.

### **5.2.1 - Análise da curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm)**

Conjunto painel colado e rebitado: Observou-se na figura 5.7 que durante a aplicação da carga de 500N ocorreu um deslocamento vertical de 250 mm, registrado pelo sensor de deslocamento e após a retirada da carga o deslocamento retornou ao ponto zero mostrando que não ocorreu deslocamento permanente.

Conjunto painel soldado: A figura 5.8 demonstra a ocorrência de um deslocamento vertical de 185 mm com a mesma carga de 500N aplicada, porém ao removê-la o deslocamento não retornou ao ponto zero confirmando a existência de um deslocamento permanente de 35 mm.

Vale observar que a carga negativa mostrada nas curvas da figura 5.7 e 5.8 ocorreram devido à ação do peso das barras rígidas que fixam o conjunto painel ao dispositivo de torção, pois a talha em seu retorno passou de sua posição original (ponto zero) permitindo o aparecimento de uma carga negativa, a qual não tem influência nos resultados do ensaio.

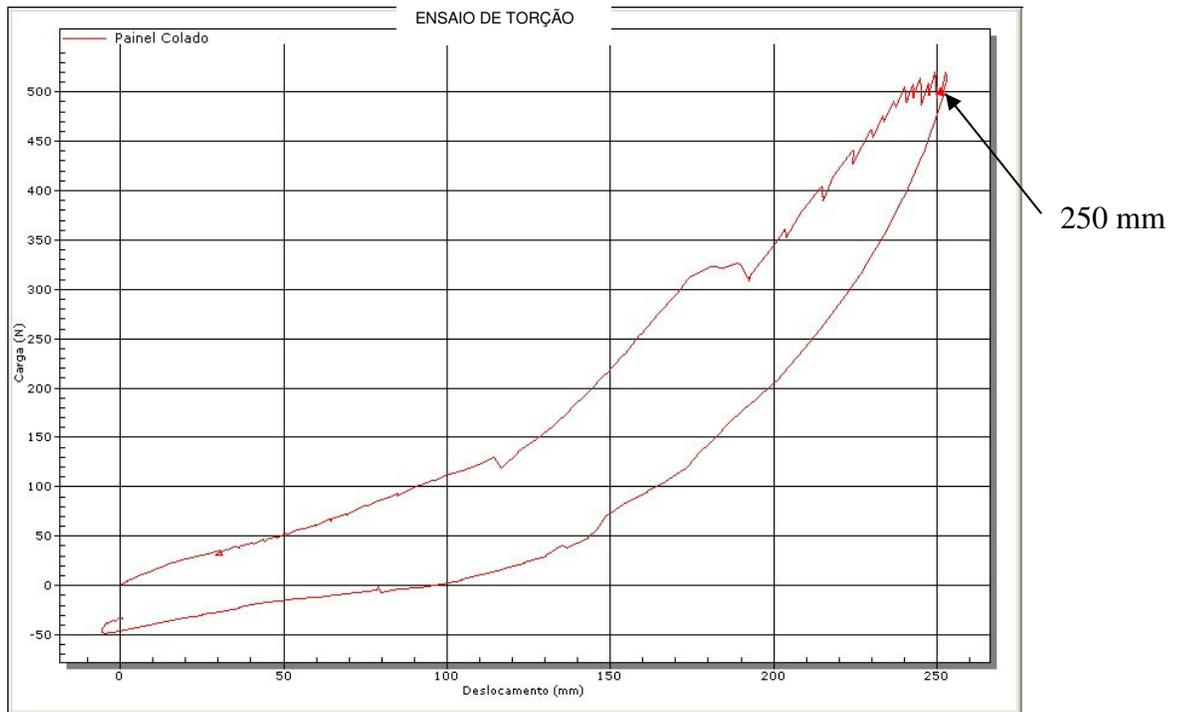


Figura 5.7 – Curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm) efetuado no conjunto painel colado e rebitado

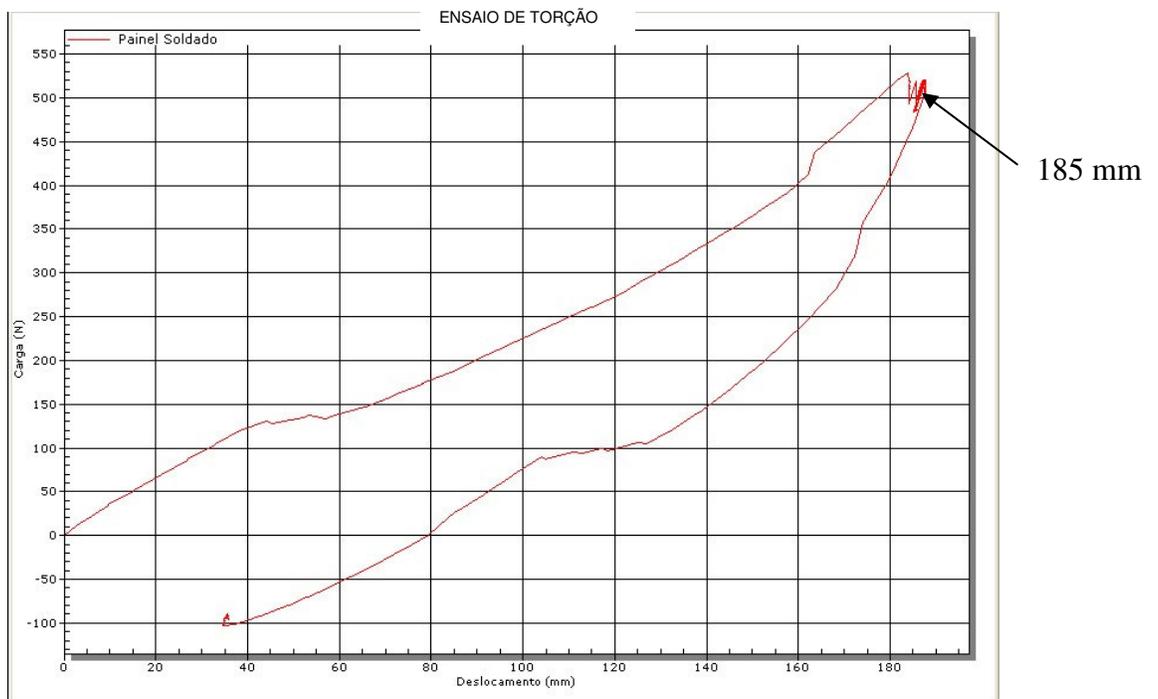


Figura 5.8 – Curva da carga (N) em função do deslocamento vertical (mm) efetuado no conjunto painel soldado

### 5.2.2 - Análise da curva da carga (N) em função do tempo (s)

A figura 5.9 mostra que o conjunto painel colado e rebitado ficou submetido ao esforço da carga de 500 N durante o período de 550 segundos e a figura 5.10 confirma que o conjunto painel soldado ficou submetido ao mesmo período de tempo.

As curvas apresentadas nas figuras 5.9 e 5.10 reiteram que os dois protótipos foram submetidos às mesmas condições / parâmetros de ensaio.

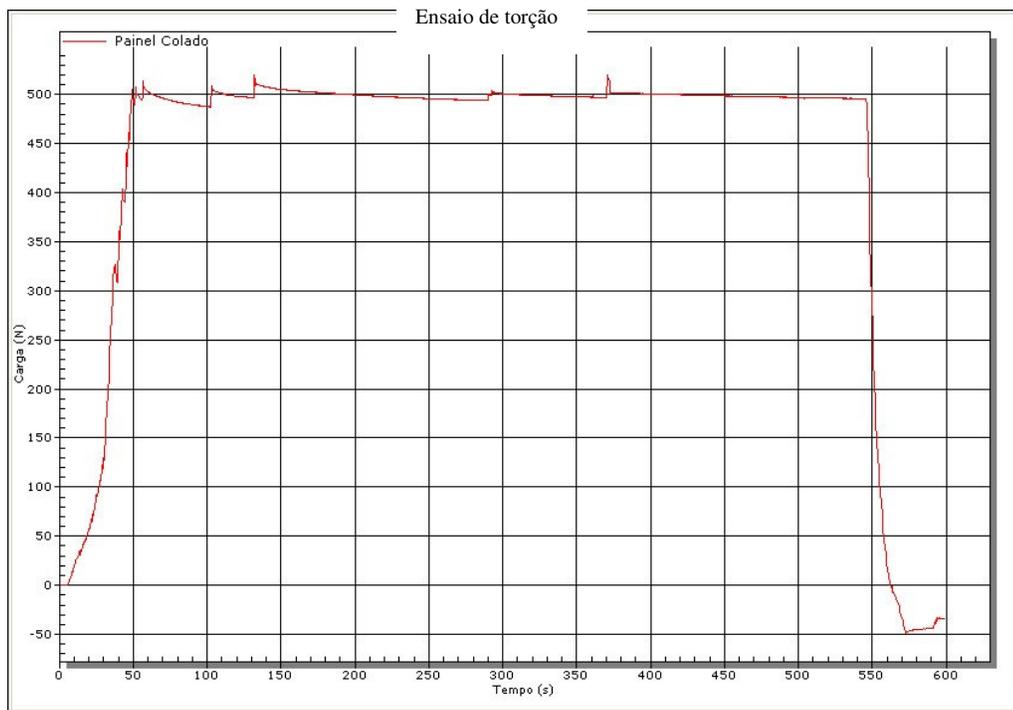


Figura 5.9 - Curva da carga (N) em função do tempo (s) efetuado no conjunto painel colado e rebitado

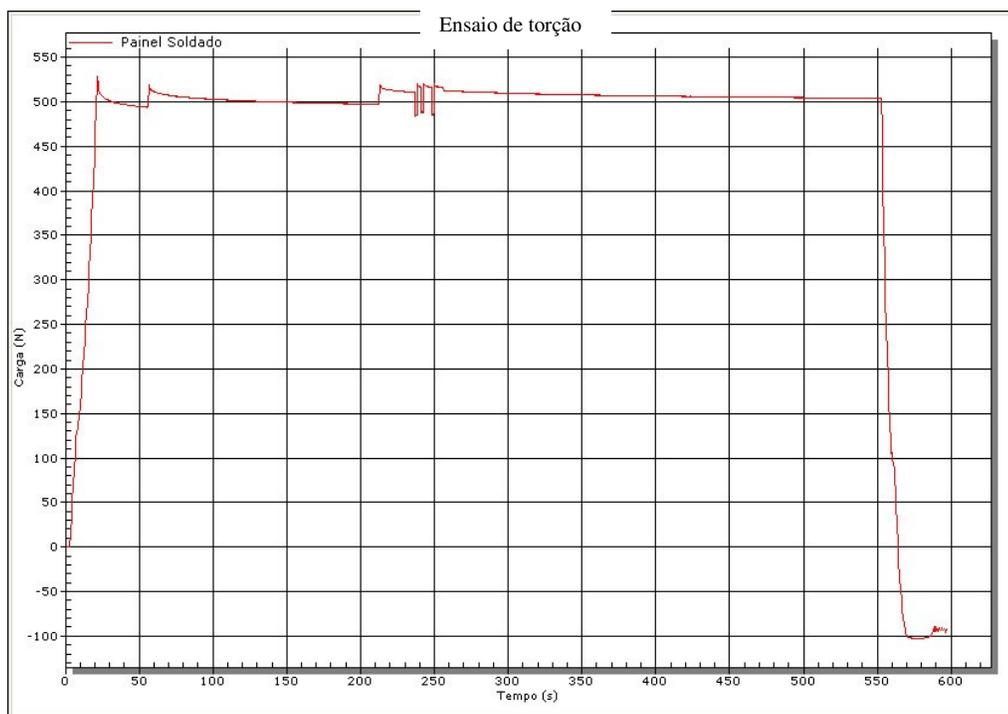


Figura 5.10 - Curva da carga (N) em função do tempo (s) efetuado no conjunto painel soldado

### 5.3 - Medição da planeza após o ensaio de torção

Efetuiu-se a medição da planeza no conjunto painel colado e rebitado da mesma maneira, em que foi realizada antes do ensaio de torção. O relógio comparador foi utilizado, entretanto para o conjunto painel soldado se fez uso de um paquímetro, pois o deslocamento permanente do mesmo impossibilitou a montagem do relógio comparador no dispositivo. Os pontos de medição (P1 a P9) foram os mesmos assim como o critério de se realizar três medições em cada ponto.

Lembrando que os conjuntos painéis retornaram ao dispositivo de medição da planeza e que o mesmo garantiu o correto reposicionamento, ou seja, manteve as mesmas referências devido aos topos de encosto existente no dispositivo.

Tabela - 5.3 - Medição da planeza efetuada após o ensaio de torção.  
Dimensões em milímetros (mm).

Pontos de medição	Painel colado e rebitado				Painel soldado			
	a	b	c	Média	a	b	c	Média
P1	5,0	5,0	5,0	5,0	108,3	108,2	108,3	108,3
P2	5,5	5,4	5,4	5,4	111,2	111,0	111,1	111,1
P3	5,0	5,0	5,0	5,0	104,4	104,3	104,5	104,4
P4	5,5	5,5	5,5	5,5	93,0	93,0	93,2	93,0
P5	5,8	5,8	5,7	5,8	101,1	100,9	101,0	101,0
P6	6,3	6,3	6,3	6,3	108,2	108,1	108,1	108,1
P7	4,7	4,7	4,7	4,7	116,5	116,5	116,4	116,5
P8	4,4	4,5	4,4	4,4	116,4	116,4	116,3	116,3
P9	4,4	4,4	4,4	4,4	115,1	115,2	115,2	115,2

a- primeira medição, b- segunda medição, c- terceira medição

#### 5.4 – Deslocamento máximo permanente dos conjuntos painéis

Tabulando os dados da tabela 5.3 os quais representam os deslocamentos máximos permanentes dos conjuntos painéis obtidos por meio das medições dos ensaios, definindo como referência de nivelamento, ou seja, tomando o ponto P1 como ponto zero para os respectivos conjuntos painéis. Temos os reais resultados da planeza mostrados na tabela 5.4 abaixo.

Tabela 5.4.-Deslocamento máximo permanente nos pontos (P1 a P9)  
para ambos os painéis após o ensaio de torção.

Dimensões em milímetros (mm).

Deslocamento máximo permanente nos pontos após ensaio de torção		
	Painel colado	Painel soldado
Pontos	Média	Média
P1	0,0	0,0
P2	- 0,4	- 2,8
P3	- 0,0	+ 3,9
P4	- 0,5	+ 15,3
P5	- 0,8	+ 7,3
P6	- 1,3	+ 0,2
P7	+ 0,3	- 8,2
P8	+ 0,6	- 8,0
P9	+ 0,6	- 6,9

Devido ao visível deslocamento permanente ocorrida no conjunto painel soldado após ensaio de torção conforme mostra a figura 5.12, executou se mais quatro medições, sendo uma em cada canto do painel distante a 20 mm das bordas, essas medições estão na tabela 5.5.

A visualização geral dos pontos de medição da planeza se encontra na figura A.II.1 do Anexo II.

Tabela 5.5 – Medição do deslocamento máximo permanente efetuado nos quatro cantos dos conjuntos painéis após ensaio de torção. Dimensões em milímetros (mm).

Tipo do Conjunto painel	Pontos			
	P10	P11	P12	P13
Painel soldado	114,0	84,6	113,3	118,0
Painel colado	114,3	114,4	113,5	112,5

O procedimento para efetuar a medição do deslocamento máximo permanente no conjunto painel soldado teve que ser adaptado com o uso do paquímetro, ilustrado na figura 5.11, devido ao alto grau de deslocamento do conjunto painel e as limitações de espaço no dispositivo; essa condição esta ilustrada na figura 5.12 com o conjunto painel montado no dispositivo.

Lembrando que para o conjunto painel colado e rebitado essa medição foi efetuada por meio do relógio comparador mostrado anteriormente.



Figura 5.11 – Medição do deslocamento máximo permanente no conjunto painel soldado com o paquímetro

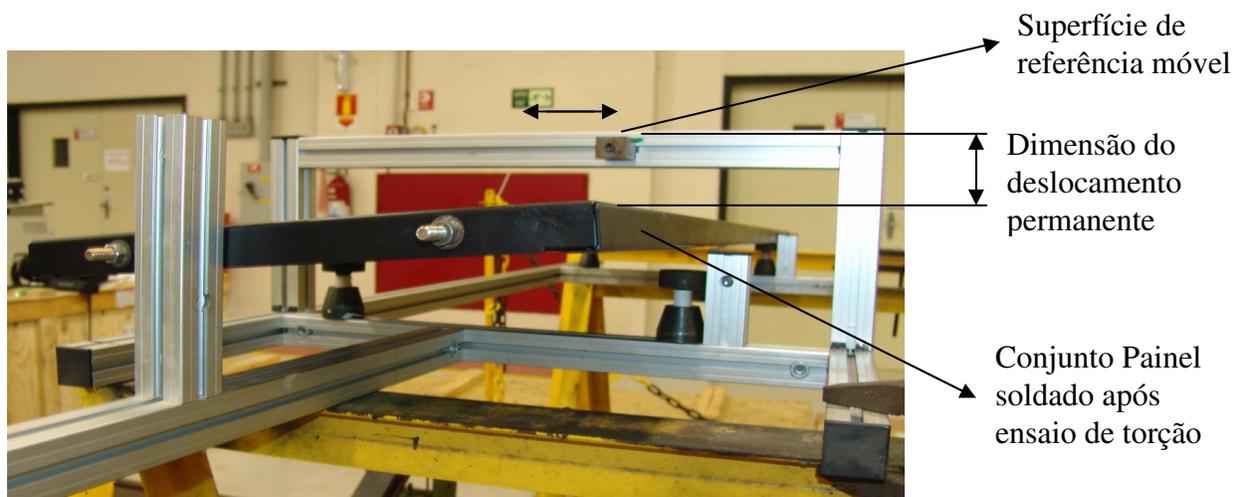


Figura 5.12 – Medições do deslocamento máximo permanente nos quatro cantos do conjunto painel soldado

Para melhor visualização dos valores reais do deslocamento máximo permanente dos painéis compilou se os dados mostrados na tabela 5.5 e tomando com referência o ponto P11 para o conjunto painel colado e rebitado e o ponto P13 para o conjunto soldado, ou seja, como ponto zero, por estarem mais distantes da superfície de referência móvel mostrada na figura 5.12 acima.

Obteve se dessa maneira os valores máximos do deslocamento permanente, os quais estão apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Deslocamento máxima permanente dos conjuntos painéis após o ensaio de torção  
Dimensões em milímetros (mm).

Tipo do Painel	Pontos			
	P10	P11	P12	P13
Painel soldado	4,0	33,4	4,7	0,0
Painel colado	0,1	0,0	0,9	1,9

## 5.5 – Verificação das uniões dos componentes após ensaio de torção.

A verificação tem o objetivo de avaliar a manutenção da integridade das partes e junções mecânicas entre os componentes devido à solicitação dos esforços. Observou se alguns pontos nos respectivos conjuntos painéis mencionados a seguir.

### 5.5.1 - Conjunto painel colado e rebitado

- Rebites: Não sofreram deformações e mantiveram as travessas unidas ao painel.

- Fita adesiva VHB: Manteve as travessas e o reforço ômega unido ao painel sem qualquer fissura em seu dorso.

- Conjunto painel: Pode-se considerar que não sofreu deslocamento permanente, pois o valor mostrado na tabela 5.6 é menor que o padrão estabelecido em 2 mm, e esse deslocamento não compromete a sua funcionabilidade.

A verificação efetuada nos rebites e na fita adesiva VHB foi visual, e o deslocamento no painel foi por meio do sensor de deslocamento foto elétrico.

### **5.5.2 - Conjunto painel soldado**

- Cordões de solda: Visualmente todos os cordões se mantiveram íntegros, porém executou-se ensaio com líquidos penetrantes em alguns cordões e se comprovou a não existência de micro trincas.

- Conjunto painel: Sofreu deslocamento permanente acima do limite especificado conforme mostra a tabela 5.6, e com esses limites de deformação, a funcionalidade do conjunto painel fica comprometida, inviabilizando o seu uso.

## **5.6 – Discussão**

A validação da proposta apresentada nesse trabalho em que o painel colado e rebitado como alternativa a um painel soldado, será efetuada por meio da análise comparativa dos resultados obtidos dos ensaios de flexão e torção executados nos dois protótipos manufaturados com as mesmas dimensões, geometria e material prima, isolando, dessa maneira qualquer influência dos mesmos nos resultados dos ensaios.

Visto que na manufatura dos atuais painéis são utilizados processos de soldagens, tais como: soldagem por resistência (solda a ponto), MIG/MAG ou mesmo TIG, na união entre os componentes, assim se fez necessário desenvolver um novo projeto do painel colado e rebitado e que todas as etapas do desenvolvimento estão relatadas no Capítulo 3.

A escolha da chapa pré-pintada e galvanizada como matéria prima para fabricação do painel bandeja, as travessas e reforço ômega proporcionaram a eliminação da linha de pintura na área de

produção, proporcionando maior flexibilidade ao “lay out” de produção e otimização de áreas e redução no consumo de energia elétrica.

Com a eliminação do processo de pintura, as complicações com os órgãos governamentais responsáveis em garantir o correto tratamento dos refugos oriundos do processo de pintura e o correto manuseio dos produtos envolvidos durante o processo, pois os mesmos são altamente poluentes, foram encerradas. Por conseqüência, a responsabilidade em garantir e seguir todos os procedimentos de proteção ao meio ambiente exigidos por norma e também obter a licença de funcionamento foi transferida ao fornecedor da chapa pré-pintada e galvanizada, o qual possui estrutura para garantir todos esses requisitos com um custo menor quando comparado com a continuidade do processo de pintura internamente.

A opção de se utilizar chapa pré-pintada e galvanizada na manufatura dos componentes inviabilizou a utilização da soldagem como processo de união mecânica entre eles, pois a mesma causaria danos ao material acabado, devido a isso, optou-se pela união com rebites e fita adesiva VHB.

A opção em se utilizar rebites em aço inoxidável foi devido a sua alta resistência mecânica e para evitar o surgimento de algum ponto de oxidação caso fosse utilizado rebite com haste em aço carbono, além de ser um processo simples de ser executado. Os rebites têm duas funções no conjunto painel, a principal é garantir a união dos componentes durante o ensaio de resistência ao fogo de trinta minutos exigidos pela norma NBR NM207-1999, pois durante esse ensaio a temperatura do painel atinge aproximadamente 700° C, carbonizando a fita adesiva e, conseqüentemente, levando ao colapso do conjunto painel. A outra função é resistir com a fita adesiva os esforços aplicados ao conjunto.

A decisão de se utilizar fita adesiva passou primeiramente pelo estudo do histórico de sua aplicação, como no estudo de ANAND [26] o qual menciona que o uso de adesivos está sendo considerado como uma das mais viáveis alternativas aos métodos tradicionais de junções, tais como: rebitagem, soldagem e aparafusamento na indústria automobilista, pois a eliminação da concentração de tensões é a maior vantagem da união adesivada e os adesivos flexíveis têm funções adicionais de vedação ao meio externo e isolamento acústica. RAMOS [31] menciona que sob condições de cargas dinâmicas, a propriedade viscoelástica da fita VHB fornece uma junta

elástica contínua entre as superfícies em contato, reduzindo assim a concentração de tensão. As fitas adesivas VHB são elásticas e absorvem e dissipam energia, permitindo expansão e recuperação da forma original sob ação de tensões. Essa característica da fita possibilita aplicações em sistemas que tem restrições à deformação plástica que é uma condição de aplicação em painéis de porta de elevador.

As fitas adesivas VHB são fabricadas com espuma acrílica a qual é viscoelástica naturalmente, evitando, que ao longo da junção do reforço ômega com o painel bandeja, a formação de concentração de tensões e garantido a distribuição uniforme das tensões sobre toda a superfície colada. As fitas permitem a expansão e recuperação à sua forma original após a retirada dos esforços externos empregados durante o ensaio de flexão e torção

Devido a essa propriedade da fita adesiva VHB, o painel colado e rebitado alcançou um deslocamento vertical de 250 mm, retornando ao ponto original sem registrar qualquer deslocamento vertical permanente, demonstrando ter um comportamento totalmente diferente do painel soldado, que apresentou um deslocamento permanente de 185 mm quando submetido ao mesmo ensaio de torção.

Um outro requisito da norma NM 207 a ser atendido é a condição do conjunto painel colado e rebitado resistir ao ensaio de fogo por trinta minutos sem apresentar qualquer flamejamento superior a dez segundos, além de manter a sua posição na qual originalmente foi instalada.

Como mencionado no Capítulo 3, não existia no mercado fita adesiva VHB com essa característica, ou seja, com a classificação V0, assim se fez necessário desenvolvê-la em parceria com a empresa 3M, fabricante da fita. A obtenção da nova fita e a sua devida classificação V0 pelo IPT, viabilizou o projeto do novo painel colado e rebitado.

O projeto desse novo painel colado e rebitado está representado por meio das figuras 3.1 e figura 3.2.

O painel soldado foi produzido seguindo o mesmo projeto correspondente ao painel colado e rebitado, diferenciando no tipo de acabamento das chapas utilizados, ou seja, sem acabamento, para não comprometer a eficiência do processo de soldagem MIG aplicado na junção dos componentes.

Houve a preocupação em executar os cordões de solda nos mesmo pontos onde se utilizou rebites na fixação dos componentes.

Os cordões de solda executados ao longo do reforço ômega, sendo dez em cada aba, totalizando vinte cordões com comprimento de 7 mm garantiram ao conjunto soldado uma maior rigidez. Cada cordão de solda com 7 mm resiste a uma força admissível de cisalhamento equivalente a 1238 N, valor mais do que suficiente para suportar os esforços externos. Os detalhes do projeto do painel soldado e o devido posicionamento dos cordões de solda estão mostrados nas figuras 3.3 e 3.4.

Observou-se que o painel soldado ao sofrer uma leve batida na superfície frontal provoca um desconforto acústico devido à vibração provocada pelo contato das superfícies compreendida entre dois cordões de solda subsequentes, devido às frestas entre a traseira do painel bandeja e as abas do reforço ômega. Por outro lado, o conjunto painel colado e rebitado não apresenta esse desconforto acústico, devido à existência da fita adesiva VHB ao longo das abas do reforço ômega, pois a mesma tem a característica de ser isolante acústico/amortecedora de ruído. Todas essas características proporcionam ao conjunto painel colado e rebitado uma condição favorável a não propagação desse desconforto acústico (ruído), condição essa que é perceptível ao usuário e que vem valorizar a qualidade final do conjunto painel.

Referente às possíveis tensões residuais existentes no painel soldado nada se pode concluir, pois não se realizou qualquer tipo de medição, porém GUROVA [29] menciona que a tensão residual pode ser definida como qualquer tensão interna existente no volume de um material sem aplicação de carga externa. As tensões residuais surgem quando a superfície externa da solda esfria mais rapidamente do que em seu interior, provocando as contrações térmicas.

Esse fenômeno é atenuado devido às pequenas dimensões dos cordões de solda e a espessura fina da chapa do painel, pois os mesmo não retêm grandes quantidades de calor.

Uma maneira de se eliminar as possíveis tensões residuais do conjunto painel seria praticar o alívio de tensões, porém, se torna inviável devido as grandes dimensões do painel e ao custo que seria agregado ao produto final.

Com a crescente tendência em utilizar os painéis sanduíche em elevadores, alguns enfoques devem ser mencionados, assim temos.

Painéis sanduíche com núcleo em colméia celular fornecem alta resistência mecânica com peso baixo, conforme mencionado por MEIFENG HE [8], DHAMASENA [11] e WANDLEY [13] e [14], porém a sua aplicação em painéis de porta fica limitada devido aos preços praticados e a dificuldade em viabilizar a sua fixação com os outros componentes, elevando os custos de produção em comparação com a alternativa proposta. O painel sanduíche com núcleo de papelão, mesmo possibilitando bom amortecimento ao impacto, conforme WANG [10] não atende ao requisito da norma NBR NM 207-1999 [19], em que o conjunto painel tem que ter resistência corta fogo durante trinta minutos.

Mesmo o painel sanduíche com núcleo em colméia metálica quando submetido ao fogo é necessário tomar cuidado devido ao gradiente térmico existente que poderá acarretar o amolecimento do adesivo utilizado na união das chapas externas com o núcleo levando o sistema ao colapso; devido a isso são necessários ensaios preliminares para se obter os parâmetros de resistência ao fogo do painel sanduíche escolhido. COOKE [12] realizou um trabalho sobre painéis sanduíche com aplicação em teto e parede expostos ao fogo no qual menciona que os painéis sanduíche têm muitas vantagens. Porém, se faz necessário ter cuidado para assegurar que não ocorra prematuramente a instabilidade e o colapso do sistema devido ao amolecimento do adesivo.

O trabalho de HONG LI [16] propôs a utilização de um filme de cobre com espessura de 50 µm para atuar como agente de união entre as placas externas (2 mm) e o núcleo de colméia (5 mm), sendo que a união entre os componentes se fez por meio de um processo denominado TLP (Transient Liquid Phase) com uma logística de execução cara e complicada, inviável de ser aplicado na fabricação de painéis de porta.

## Capítulo 6

### Conclusões e sugestões de trabalhos futuros

#### 6.1 Conclusões

Neste trabalho podem-se verificar por meio dos resultados obtidos nos dois ensaios aplicados em ambos os conjuntos painéis, a viabilidade técnica de se utilizar o processo de colagem, por fita adesiva VHB, e a rebiteagem usados em concomitância, como alternativa ao processo de soldagem usado na manufatura dos atuais painéis.

O conjunto painel colado e rebiteado foi desenvolvido com a finalidade de se criar uma condição que permitisse a comparação entre os processos produtivos, e assim, se fez necessário a manufatura de um conjunto painel soldado utilizando-se os mesmos componentes, diferenciando somente no acabamento superficial e possibilitando dessa maneira, eliminar as influências dimensionais e geométricas.

Um dos ensaios é uma exigência da norma NBR NM207 -1999 - item 7.2.3.1, que especifica a realização do ensaio de flexão, o qual consiste na aplicação contínua da carga 300N distribuída em uma área de 5 cm<sup>2</sup>. O outro ensaio é submeter o painel a esforços de torção, aplicando uma carga de 500N durante cinco minutos em um dos cantos do conjunto painel.

Após ensaio de flexão com a aplicação da carga 300N, com relação aos dois conjuntos painéis analisados, pode-se concluir:

- Os conjuntos painéis não apresentaram deslocamento permanente;
- O deslocamento permanente do conjunto painel colado e rebiteado foi de 6,4 mm e para o conjunto painel soldado foi de 4,9 mm, indicando que o conjunto painel soldado tem maior rigidez. Entretanto, ambos os conjuntos painéis estão aprovados de acordo com a

Norma NM 207 – 1999, pois atenderam aos critérios de aprovação: não ter deslocamento permanente e a deformação elástica não exceder aos 15 mm.

Os resultados do ensaio de torção salientaram a diferença de comportamento entre os conjuntos painéis quando submetidos a esse tipo de esforço, sendo o mesmo decisivo na demonstração da viabilidade técnica em se usar o processo de colagem e rebiteagem como alternativa à soldagem.

Para o conjunto painel colado e rebiteado, o ensaio de torção permite as seguintes conclusões:

- O deslocamento de 1,9 mm apresentado na tabela 5.6 referente à planeza, esta dentro do limite máximo definido como padrão de qualidade tolerado. Essa variação pode ser atribuída à acomodação do próprio conjunto painel devido as suas grandes dimensões. Esse deslocamento não compromete a sua funcionalidade;
- A fita adesiva VHB garantiu a união entre os componentes colados;
- Os rebites mantiveram a integridade.

O conjunto painel soldado, no ensaio de torção:

- Apresentou um deslocamento permanente máximo de 33,4 mm, comprometendo sua funcionalidade, sendo reprovado, pois não atendeu o critério de aceitação definido por procedimento que menciona a não existência de deslocamento após o ensaio de torção.

Focando no equilíbrio entre custo x benefício e nos pontos mencionados anteriormente, fazem do processo de colagem e rebiteagem utilizados na manufatura do conjunto painel a melhor opção a ser usado na construção de painéis de porta para elevadores, pois atende aos requisitos da norma NBR NM207 – 1999. O painel colado e rebiteado resistiu ao ensaio de flexão com a aplicação da carga 300N, a fita adesiva VHB atribuiu ao conjunto à característica de ser corta fogo, e também manteve a integridade dos componentes após o ensaio de torção.

Em adicional, o processo de união mecânica por meio de rebite e fita adesiva VHB está alinhado com a atual proposta de se utilizarem processos produtivos que não sejam tão agressivos ao meio ambiente, e o mesmo permite a eliminação da operação de pintura e das células de soldagem do chão de fábrica, flexibilizando o “lay out”.

## **6.2 – Proposta de estudos futuros:**

- 1- Utilização da solda a laser em substituição à MIG;
- 2- Utilização de adesivo mono componente em substituição à fita adesiva VHB, porém deve se garantir a flexibilidade da junção entre os componentes e ser resistente ao fogo (Classificação V0, conforme UL94B).

## Referências Bibliográficas

- [01] Kraus, Kermit – Installation Manual basic field practices for installation of elevator and escalator - cap.11- pp.333-370 - 1989
- [02] Barney, G.C, Cooper, D.A, Inglis, J. – Elevator & Escalator Micropedia – 1997
- [03] Gomes, Maristela Gomes da Silva e Vanessa Gomes da Silva – Painéis de Vedação 2ª edição Instituto Brasileiro de siderurgia / Centro Brasileiro de Construção em aço – cap.5 - pp.51-57. - 2004
- [04] Baux, C., Mélinge, Y., Lanos, C., Jauberthie, R., - Enhanced gypsum panels for fire protection – Journal of materials in civil engineering – pp.71-77 – 2008
- [05] Aicher, S., Klock, W., Reinhardt, H.W., - Fracture toughness of wood fiber gypsum panels from size effect law – Journal of engineering mechanics – pp.730-738 – 2006
- [06] Shawkat, W., Honickman, H., Fam, A., - Investigation of a novel composite cladding wall panel in flexure – Journal of Composite materials – v.42 - pp.315-330 – 2006
- [07] Froud, G.R. – Your sandwich order, Sir – Composites – 1980
- [08] He, Meifeng, Hu, Wenbin – A study on composite honeycomb sandwich panel structure – Materials and Design – v.29 - pp.709-713 - 2008.
- [09] Humphreys, M.F. – A new fiber composite sandwich panel – Queensland University of Technology – Australia – 2006
- [10] Wang, Dongmei - Deformation Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels – Int. Journal of Impact Engineering – v.36 - pp.110-114 - 2009.
- [11] Dharmasena, K., P., Wandley, H.N.G., Xue, Z. , Hutchinson, J.W., - Mechanical response of metallic honeycomb sandwich panel structures to high-intensity dynamic loading – Int. Journal of Impact Engineering – v.35 - pp.1036-1074 - 2008

- [12] Cooke, G.M.E, - Resisting collapse of steel-faced sandwich panel walls and ceilings exposed to fire – Journal of fire protection engineering – v.18 - pp.275-290 - 2008
- [13] Wandley, Haydn N.G. - Multifunctional periodic cellular metals – Philosophical Transactions of the Royal Society A - v.365 – pp.31-68 – 2006.
- [14] Wandley, Haydn N.G., Fleck, N.A., Evas, A.G. – Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures – Composites Science and Technology – v.63 - pp.2331-2343 - 2003.
- [15] Murthy, O., Munirudrappa, N., Srikanth, L., Rao, R.M.V.G.K., - Strength and Stiffness optimization studies on honeycomb core sandwich panels – Journal of reinforced plastics and composites – v.35 - pp.663-671 – 2006
- [16] Li, Hong, Li, Zhuo-Xin – Transient liquid phase diffusion bonding of steel sandwich panels under small plastic deformation: Lab experiment, modeling, and application – Journal of Sandwich structures and materials – v.10 - pp.247-266 - 2008.
- [17] Xing, C., Deng, J., Zhang S.Y., Riedl, B., Cloutier A. – Properties of MDF from black spruce tops affected by thermo mechanical refining conditions – Holz Roh Werkst – v.64 - pp.507-512 - 2006.
- [18] Davim, J.P., Clemente, V.C., Silva, S. – Drilling investigation of MDF (medium density fiberboard) – Journal of material processing Technology – v.203 - pp.537-541 - 2008.
- [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas – Rio de Janeiro - NBR-NM207-1999 (MERCOUR) – Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação (7.2.3 e 8.6.6).
- [20] Informativo técnico da Empresa TEKNO S.A. – referente a chapas pré-pintadas.
- [21] Instituto Alemão de Normalização DIN 7337 – Rebites de repuxo (POP)
- [22] Informativos técnicos da Empresa 3M do Brasil  
- Dados técnicos das fitas VHB - Agosto / 2000
- [23] Nash, William A. – Resistência dos materiais - São Paulo - Coleção Schaum – 1971 – Cap.13 – Juntas rebitadas e Cap.14 – Ligações soldadas.
- [24] Melconian, Sarkis – Mecânica técnica e Resistência dos materiais – São Paulo – Editora Erica - 2001 – ed.9 – Cap.1 e 3.

- [25] Beer&Johnston – Mechanics of materials – Mc Graw Hill – 1999 - Ed.5 – Chapter 01
- [26] Anand, E.S., Marur, S.R., Wittbrodt, J., King, R. – Role of adhesives in the dimensional stability of polycarbonate structural panels – International Journal of adhesion & adhesives v.27 pp.338-350 - 2007
- [27] Degarmo E.Paul, J.T Black, Ronald A.Kohser - Materials and process in manufacturing – 1999 - eighth edition
- [28] Machado, Ivan Guerra – Soldagem e Técnicas conexas: Processos – 1996 cap.8 pp.193-218
- [29] Gurova, Tetyana, Quaranta, Francisco e Estefen Segen – Monitoramento do estado das tensões residuais durante fabricação de navios – Laboratório de Tecnologia Submarina – COPPE/UFRJ - 2006.
- [30] Corrosão e tratamentos superficiais dos metais, edição da Associação Brasileira de Metais 1971 – pp.131 – 218.
- [31] Ramos Fernando Murilo Gontijo. Painéis de vedação e de revestimento em aço inoxidável – Escola de Minas – UFOP – 1997 – Dissertação (Mestrado).
- [32] Van Vlack, Lawrence H. – Princípios de Ciência dos Materiais – São Paulo –Edgard Blucher Ltda – 1970 – Cap.2 – Ligações Químicas.
- [33] Aga, A.Z., Woldesenbet, E. – Bond thickness effect on impact response and damage of adhesively- bonded graphite/epoxy composites – Journal Adhesion Sci. Technology v.21 pp.21-34 - 2007

### **Referências não citadas**

- [34] Zhu, F., Zhao, L., Lu, G., Wang, Z., - Deformation and failure of blast-loaded metallic sandwich panels- Experimental investigations – Int. Journal of Impact Engineering – v.35 pp.937-951 - 2008
- [35] Boni, T.L., Almeida, S.F.M.- Laterally supported sandwich panels subjected to large deflections Part 1 – Test apparatus designed experimental results – Thin – walled structures .– v.46 - pp.413-422 - 2008
- [36] Accepted Practices for Post-Frame Building Construction: Metal Panel and Trim Installation Tolerances –National Frame Builders Association – Aug./2005.
- [37] Fontes: Estudo sobre painéis de Madeira de Angela Regina Pires Macedo; Carlos Alberto Lourenço Roque e Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - Abipa.

- [38] Gent A.N and Hamed G.R  
Encyclopedia of polymer Science and Technology.  
Publisher: John Wiley & Sons – 22/10/2001
- [39] Mesquita, Eduardo Luiz Álvares, Rugani, Léo Lucas, - Conformação dos aços inoxidáveis –  
Acesita – Dez./1997.
- [40] Modenesi, Pauli J. Prof., Marques, Paulo Villani Prof. – Introdução aos processos de  
soldagem – Soldagem I – pág.19 a 22 – Nov. / 2000 – UFMG. Depto. de Engenharia  
Metalúrgica.
- [41] Simmons, Colins H., Maguire, Dennis E. – Manual of Engineering Drawing – Second  
edition – Cap. 29 - Engineering adhesives - 2004.

## Anexo I

1 – Curvas provenientes do ensaio de flexão (aplicação da carga de 300 N), no painel colado e rebitado.

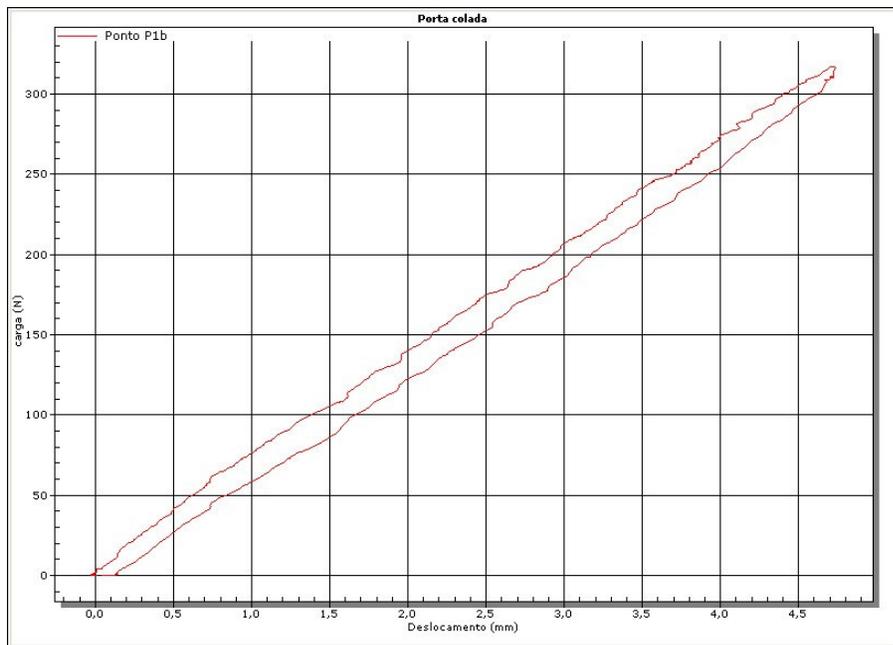


Figura A.I.1 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P1, medição b.

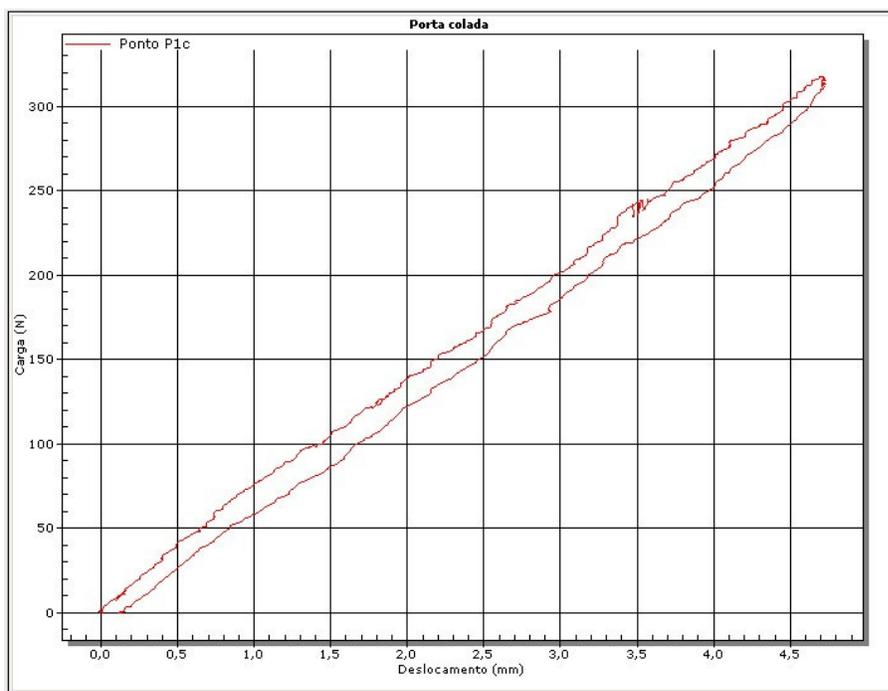


Figura A.I.2 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P1, medição c.

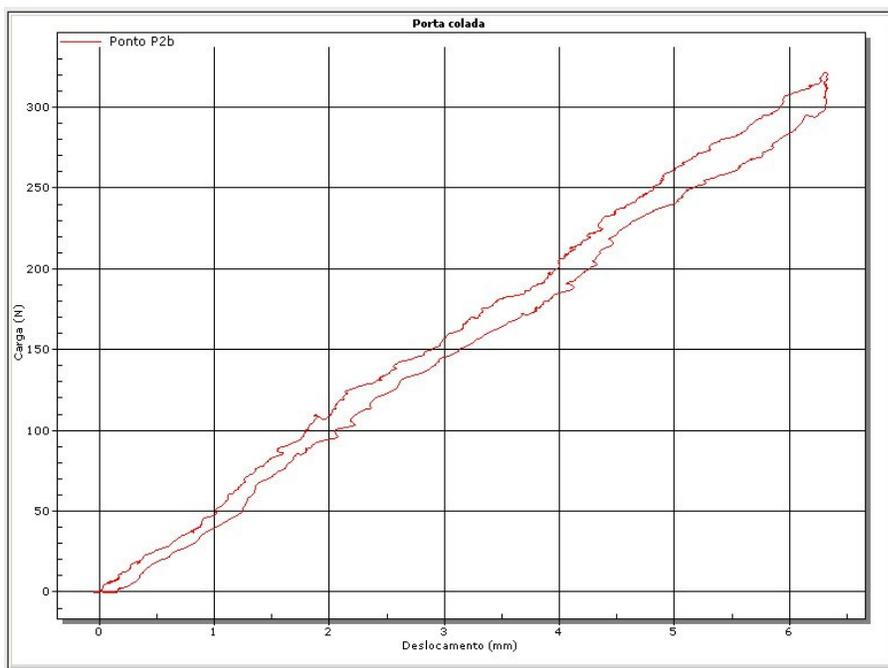


Figura A.I.3 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P2, medição b.

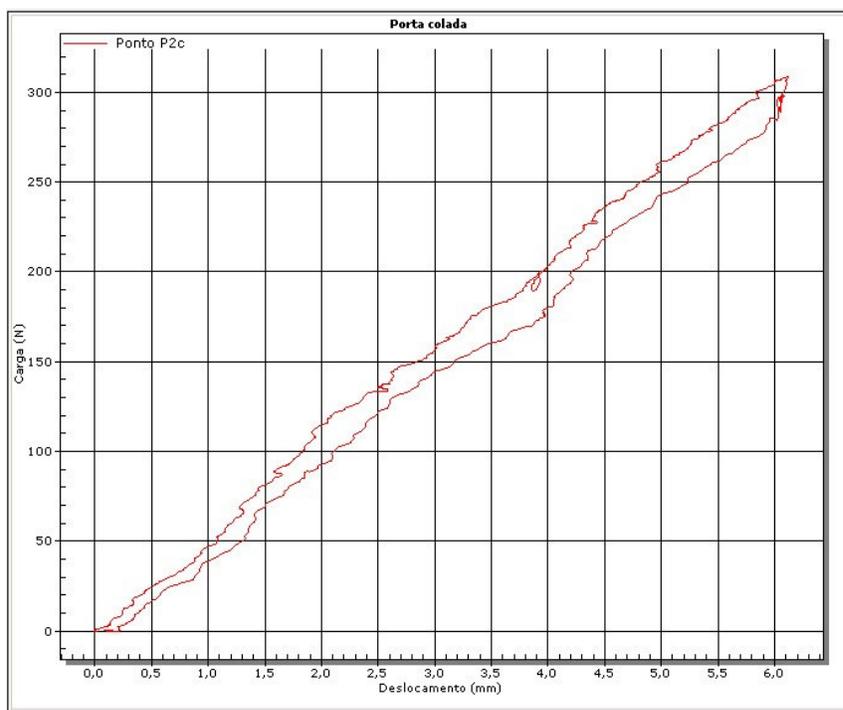


Figura A.I.4 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P2, medição c.

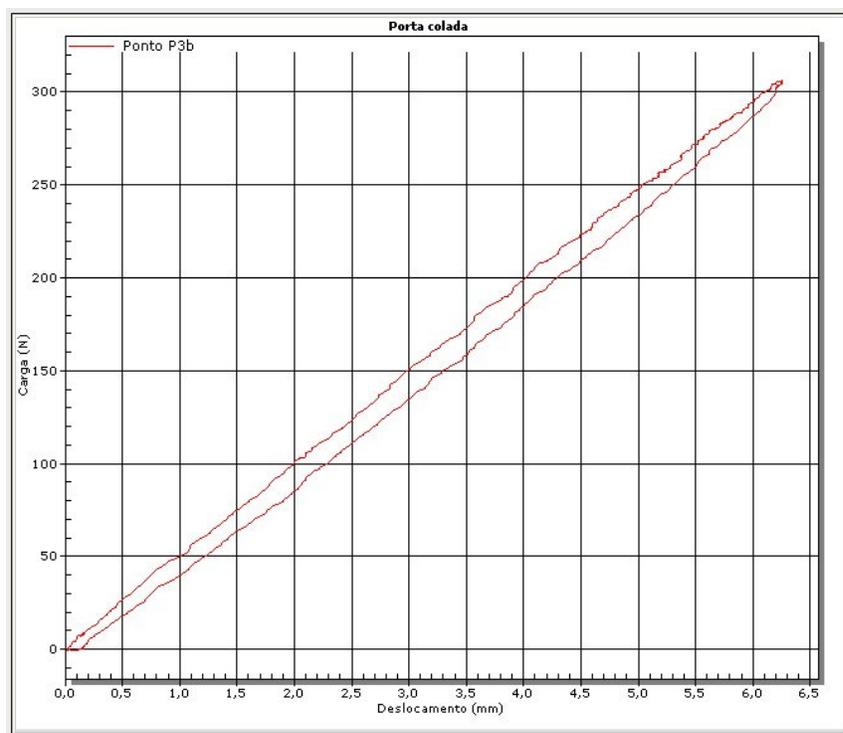


Figura A.I.5 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P3, medição b.

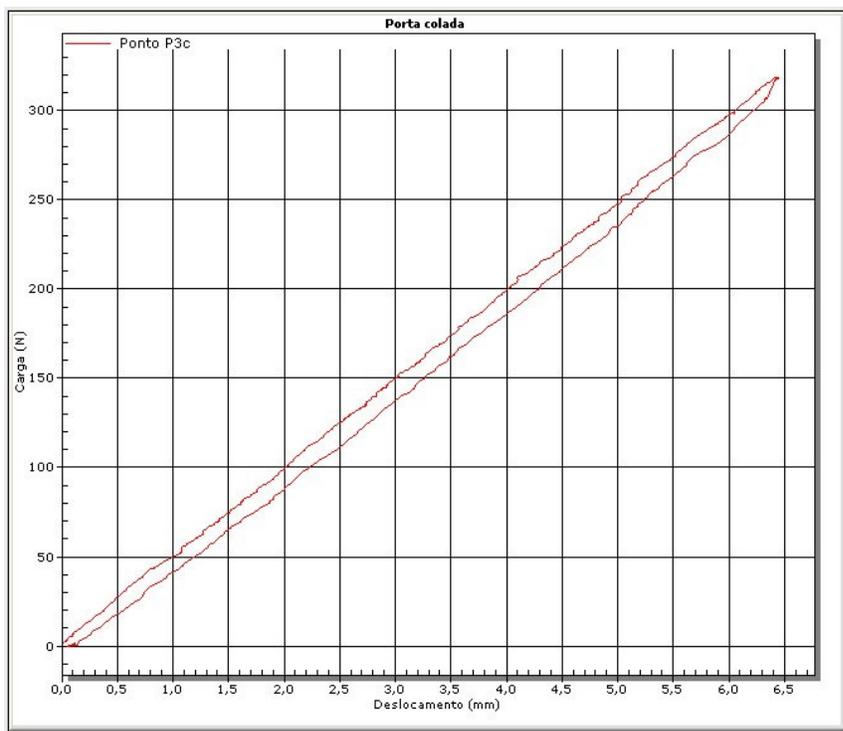


Figura A.I.6 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel colado e rebitado efetuado no ponto P3, medição c.

**2 – Curvas provenientes do ensaio de aplicação da carga de 300 N.no painel soldado.**

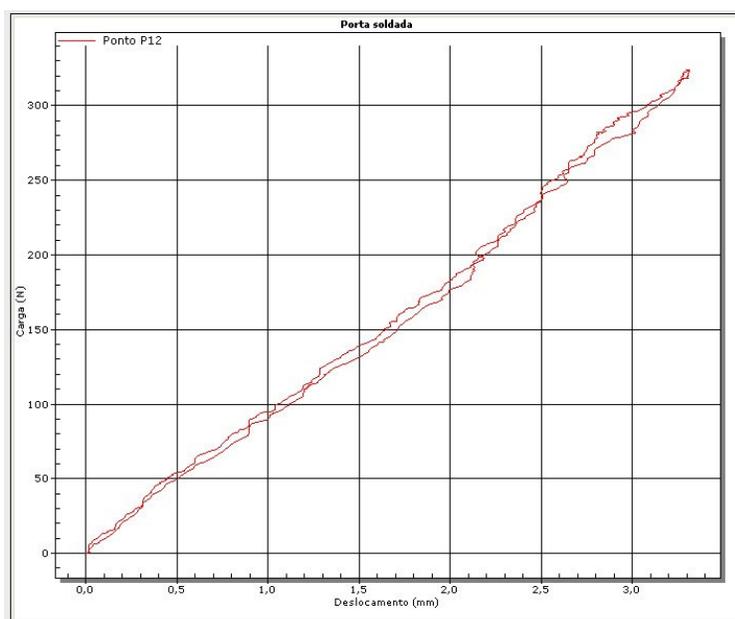


Figura A.I.7 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel soldado efetuado no ponto P1, medição 2.

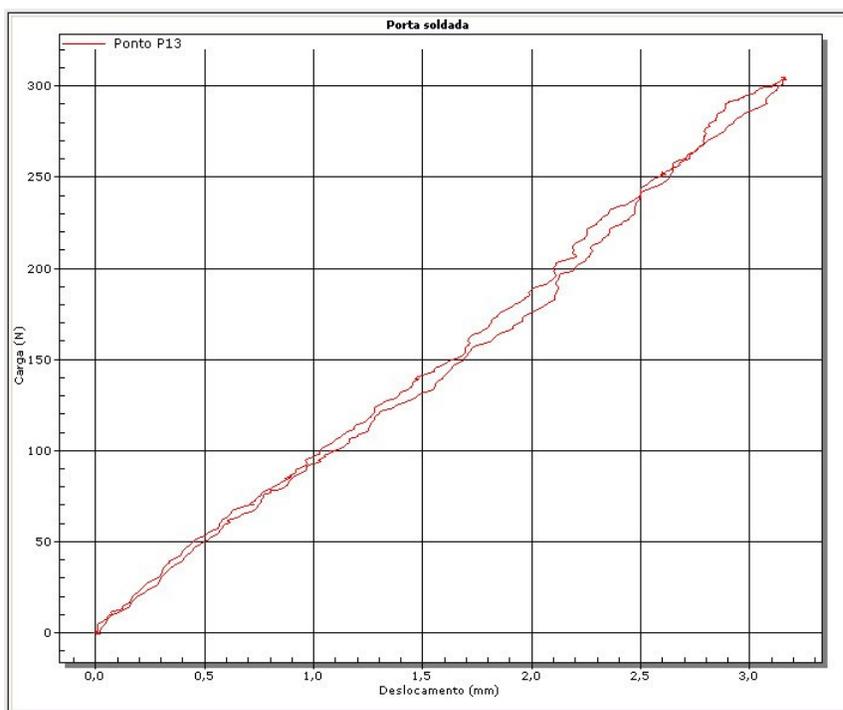


Figura A.I.8 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel soldado efetuado no ponto P1, medição 3.

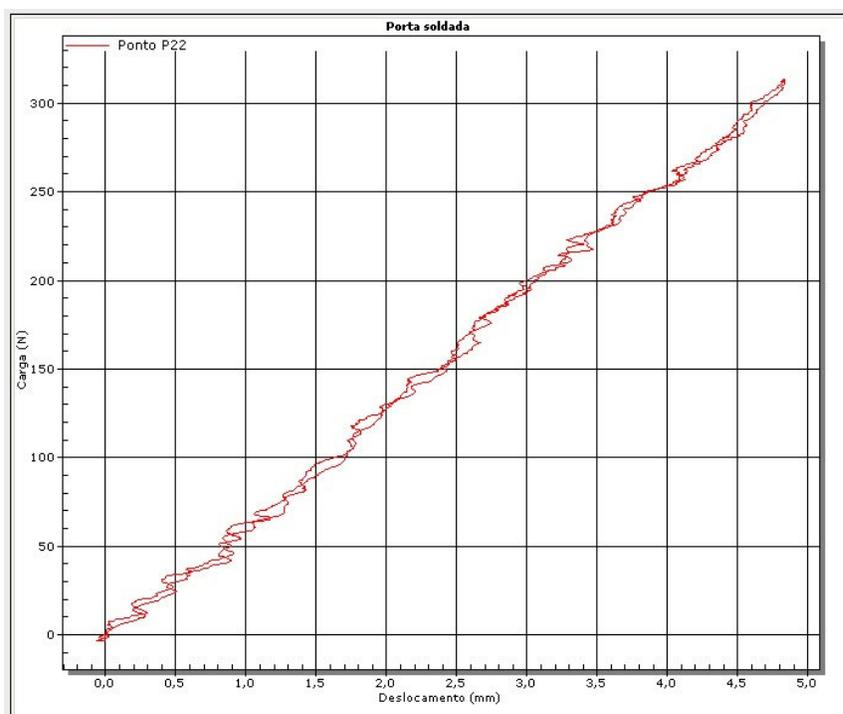


Figura A.I.9 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel soldado efetuado no ponto P2, medição 2.

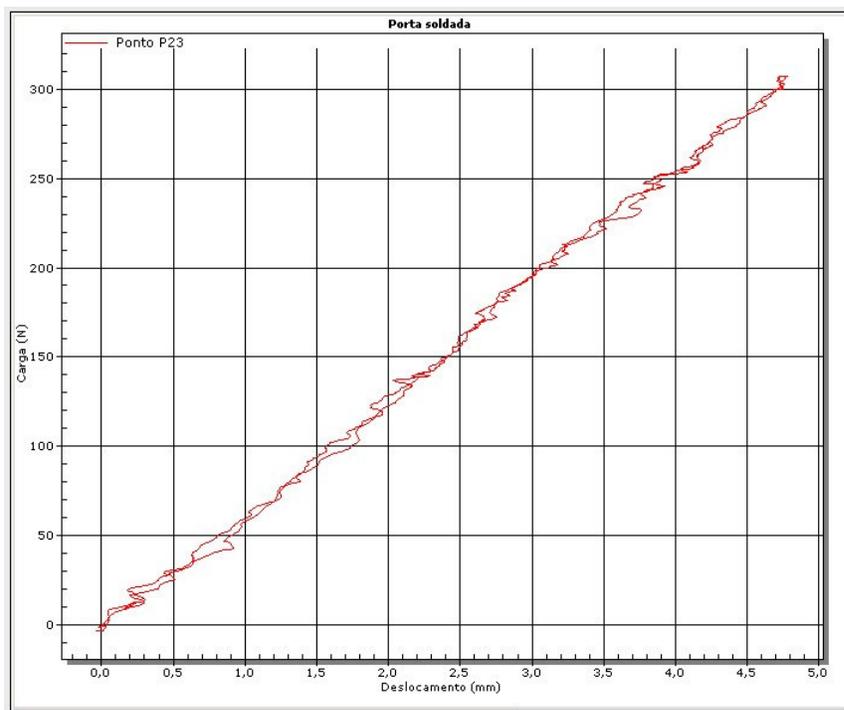


Figura A.I.10 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painei soldado efetuado no ponto P2, medição 3.

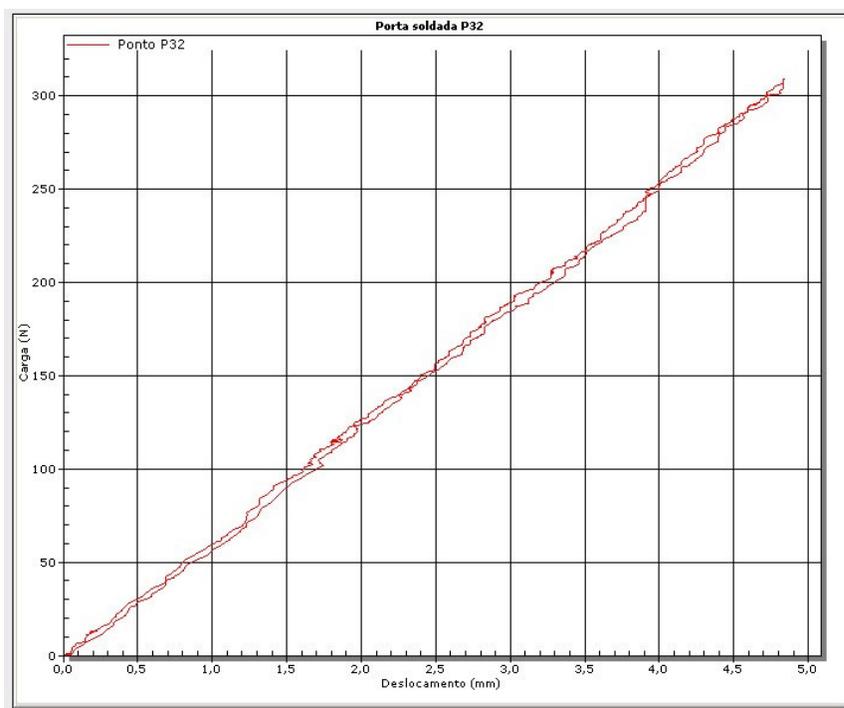


Figura A.I.11 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painei soldado efetuado no ponto P3, medição 2.

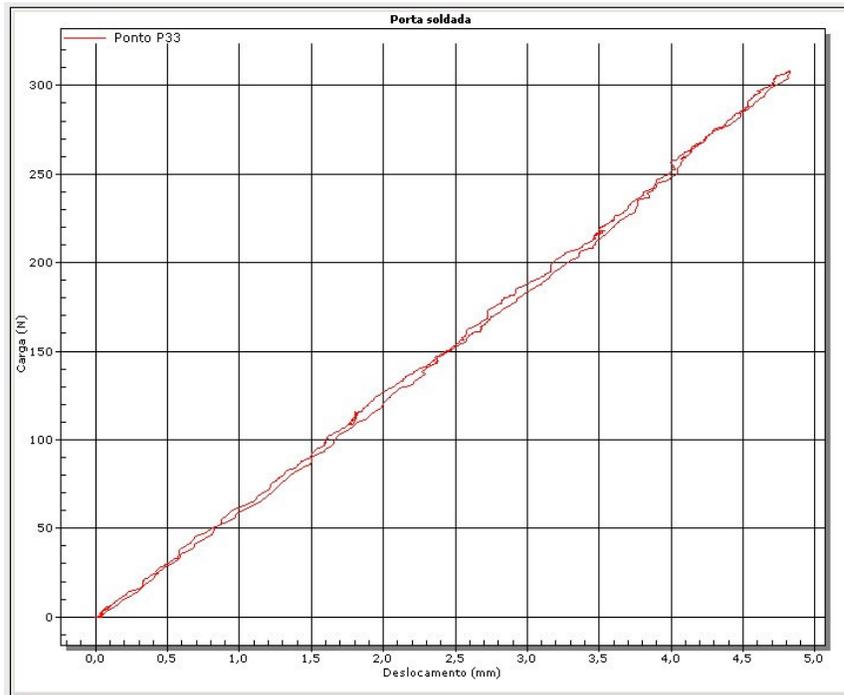


Figura A.I.12 – Curva a carga (N) em função do deslocamento (mm), para o Painel soldado efetuado no ponto P3, medição 3.

## Anexo II

Diagrama dos pontos de aplicação da carga 300N no ensaio de flexão e demais pontos utilizados na medição da planeza, nos dois painéis.

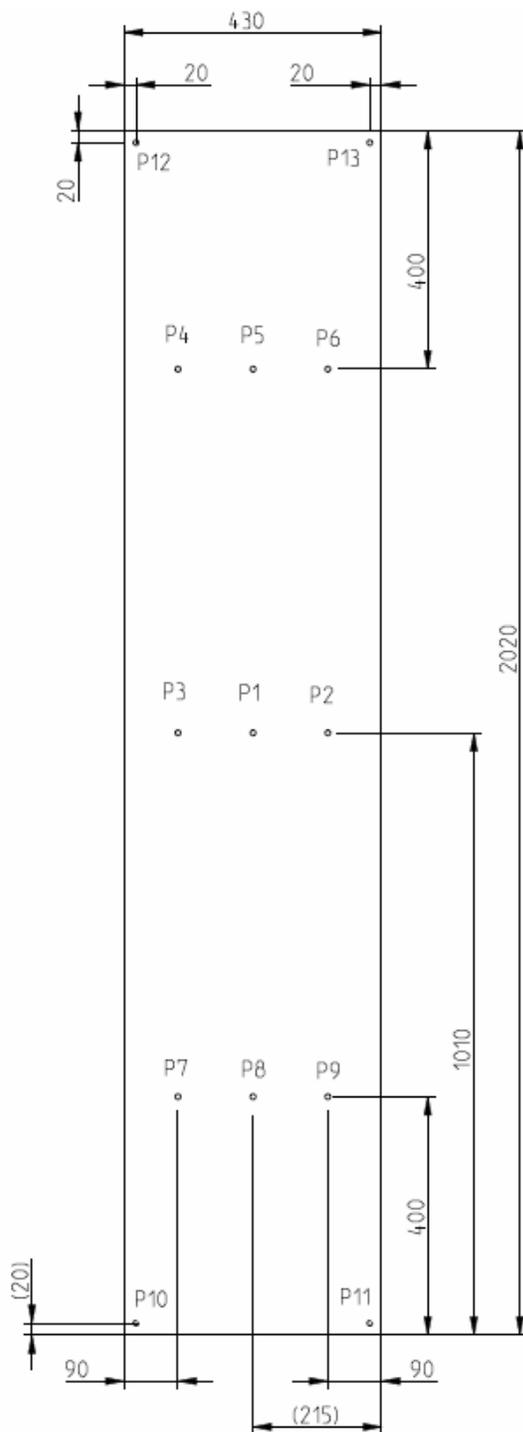


Figura A.II.1 – Pontos de referência das medições da planeza

## Anexo III

### Informativo sobre adesão, soldagem e corrosão.

#### Definição de adesão

Adesão é basicamente composta de forças moleculares de atração entre materiais diferentes, similares às forças magnéticas. A intensidade da força de atração é determinada pela energia superficial do material. Quanto maior a energia superficial, maior será a atração molecular e quanto menor a energia superficial, mais fraca será a atração molecular. Atração molecular forte resulta em aumento do contato interfacial entre adesivo e substrato. Em outras palavras, sobre uma superfície de alta energia, o adesivo pode fluir e molhar a superfície, assegurando maior contato entre as moléculas para que elas possam interagir e desenvolver as forças de adesão.

Exemplificando: quando a água entra em contato com uma superfície, ela se espalha em largas poças. Em comparação, a água em contato com uma superfície encerada divide-se em inúmeras esferas praticamente sem molhar a superfície.

A superfície livre de cera possui uma alta energia superficial e a atração molecular permite que a água flua. A superfície encerada é um exemplo de baixa energia superficial, onde o líquido ou adesivo não conseguem fluir.

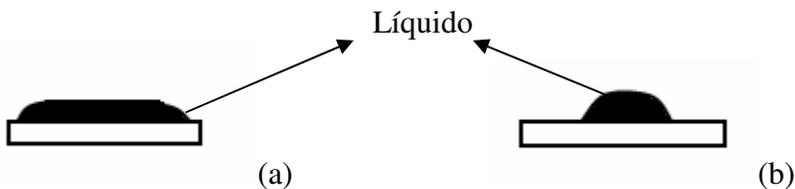


Figura A.III.1 - Efeito da energia superficial (a) – Alta energia superficial, (b) Baixa energia superficial.

Os desenhos acima ilustram o efeito da energia superficial no contato interfacial do adesivo. A alta energia superficial permite que as moléculas do adesivo e do substrato se aproximem para desenvolver as forças de adesão.

No mundo dos adesivos, existem alguns conceitos os quais auxiliam a compreender toda a mecânica que mantém dois ou mais corpos unidos. Assim, segue um breve comentário dos mesmos.

### **Conceito de Aderência**

O fenômeno aderência em tecnologia dos adesivos é explicado como a interação entre uma superfície sólida e uma segunda fase sólida ou líquida. Existem várias teorias que procuram explicá-lo, mas é com a reunião de todas que se pode aproximar da realidade.

a. Teoria mecânica ou de encaixe.

Esta teoria propõe que o adesivo penetra nas superfícies rugosas dos substratos criando uma travação mecânica.

b. Teoria Eletrostática.

A proposta desta teoria é que haja travação entre terminais polares dos compostos químicos do substrato e do adesivo. Não há formação de ligações químicas, estando presentes forças do tipo Wander Waals [32].

c. Teoria Química.

Admite-se a formação de ligações simples específicas entre a interface. Tais ligações incrementam a resistência mecânica na área unida.

### **Conceito de adesão e coesão**

Estes dois conceitos são essenciais no mecanismo de união entre substratos:

Coesão: são as forças de atração que mantêm juntas partículas similares, dentro de um mesmo corpo;

Adesão: são as forças de atração que mantêm juntas superfícies ou partículas diferentes. Ambas as forças são efetivas somente dentro de distâncias muito pequenas.

### **Fita adesiva VHB**

As fitas adesivas VHB são utilizadas em muitas aplicações industriais, tanto em ambiente interno como externo, e as mesmas poderão ter características únicas, tais como: alta tensão de ruptura, alta resistência ao cisalhamento, alta adesividade, excelente resistência a solventes, umidade e plastificantes, aprovação da UL, baixo “outgassing”, “liners” plásticos, conformabilidade. “Outgassing” é uma propriedade que algumas fitas têm de eliminar o ar que fica retido entre a fita e o substrato sobre o qual ela está aderida. Essa propriedade pode ser obtida através da formulação química deste adesivo ou através do processo mecânico, criando-se pequenos canais na fita, os quais fazem com que o ar escoe para os lados possibilitando a movimentação do adesivo, tornando a junção mais perfeita. As fitas poderão ser utilizadas na união de vários tipos de superfícies que incluem a maioria dos metais, madeira envernizada ou tratada com primer, vidro (superfície tratada com primer), grande variedade de plásticos, compósitos e superfícies pintadas. Consiste de um dorso flexível relativamente fino, coberto em uma ou nas duas faces com uma camada de adesivo sensível à pressão, aderindo à maioria das superfícies limpas e secas, com tato permanente à temperatura ambiente.

Dorso é o suporte da camada adesiva, podendo ser de papel liso, acetato de celulose, filmes plásticos (PVC, Poliéster, Polipropileno etc.), tecido de algodão e espumas plásticas.

Liner é um papel siliconizado ou filme de polietileno com propriedades de fácil desenrolamento, a fim de proteger o adesivo durante o armazenamento e manuseio da fita.

Nas aplicações com fita, os adesivos mais utilizáveis são:

- adesivos de resina e borracha;
- adesivos acrílicos.

AGA [33] menciona em seu artigo que a espessura do adesivo pode ser a mais fina quanto possível sem originar uma fraca união.

Os adesivos de resina e borracha são os mais comuns, sendo compostos de vários tipos de resinas e borracha natural e ou sintética. Apresentam as seguintes vantagens: alta adesão inicial, boa adesão sobre superfícies plásticas, custo relativamente baixo.

Desvantagem: menor resistência ao envelhecimento.

Os adesivos acrílicos são polímeros sintéticos de alta viscosidade, utilizados nas fitas de maior desempenho, com as seguintes vantagens: maior vida útil comparada aos adesivos de resina e borracha, alta adesão final, excelente transparência.

Os adesivos acrílicos são geralmente superiores em:

- Resistência interna (coesão).
- Resistência ao cisalhamento (deslizamento)
- Bom desempenho sob altas temperaturas
- Aumento na temperatura - diminuição da coesão
- Queda de temperatura - aumento da coesão
- Resistência aos raios ultravioleta.
- Bom desempenho sob intempéries
- Resistência a produtos químicos (óleos e solventes).

#### **Adesivos da família das resinas acrílicas:**

Estes adesivos dividem-se em duas classes: à base de solvente e à base de água, tendo boa resistência à luz e à água e, dependendo da sua formulação, uma boa resistência ao calor. Os tipos mais importantes são: os ácidos acrílicos, ésteres, cianoacrilatos, acrilonitrilo, acrilamida e copolímeros acrílicos.

- Adesivos de cianoacrilatos: têm capacidade de polimerizar-se e endurecer a temperatura ambiente, sem adição de um catalisador, por simples pressão de contato e umidade atmosférica.

#### **Adesivos da família das borrachas:**

- Adesivos de borracha nitrílica, aplicado na colagem de juntas de motor, sua resistência ao calor e à gasolina é muito boa.

- Adesivos de borracha natural, a borracha natural é obtida por coagulação do látex. O adesivo é muito utilizado por sapateiros, por causa de sua alta pegajosidade.

- Adesivos de borracha butadieno estireno (SBR), aplicado onde há necessidade de baixo tempo aberto.

- Adesivos de borracha butílica e de poliisobutileno, chamados de massas para calafetar ou selantes, na sua maioria, não possuem solventes e são aplicados na calafetação e vedação de chapas de alumínio.

### **Tipos de fitas VHB**

Fita de face única: constitui-se de um dorso de papel ou filme, coberto com adesivo em apenas um dos lados.

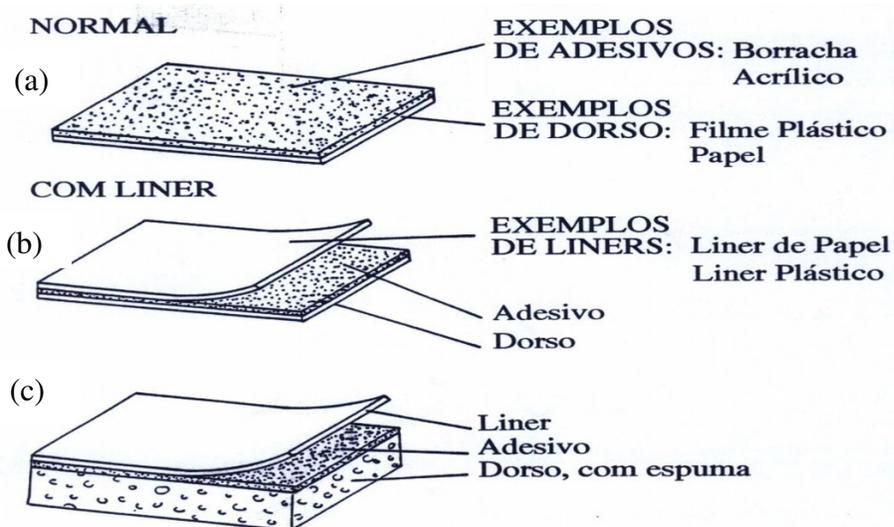


Figura A.III.2-a – Tipos de fita de face única. (a) Normal (b) com liner (c) com liner e dorso com espuma

Fita dupla-face: constitui-se de um dorso coberto de adesivo em ambas as faces, para união de superfícies similares ou diferenciais.

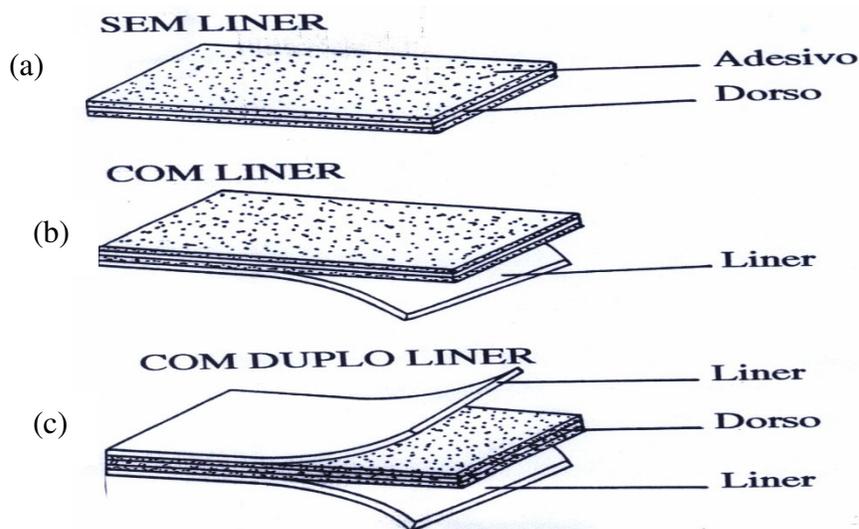


Figura A.III.3 – Tipos de fita dupla face. (a) sem liner (b) com liner (c) com duplo liner

Fita de adesivo transferível: constitui-se de filmes de adesivo sensível à pressão que se transferem às superfícies, a fim de propiciar características auto-adesivas, sem qualquer procedimento de ativação.

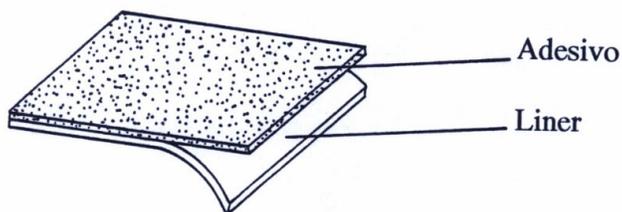


Figura A.III.4 – Fita de adesivo transferível.

### Considerações de projeto

a. Quantidade de fita a ser usada, como regra geral, assume-se que cada 55 cm<sup>2</sup> da fita irão sustentar 1 kg de carga estática. A quantidade da fita dependerá dos esforços aplicados.

b. Espessura da fita

Os fatores que determinam a espessura são:

- rigidez;

- irregularidade superficial;
- quantidade de pressão que pode ser aplicada em um substrato;
- a distância máxima entre a superfície do adesivo e a do substrato, devido à irregularidade superficial do mesmo, não pode ser maior que a metade da espessura da fita.

c. Comportamento quanto à expansão ou contração térmica.

A fita VHB apresenta uma ótima tolerância à variação dimensional térmica dos substratos em até três vezes a sua espessura. As fitas são mais flexíveis do que os fixadores mecânicos; assim, na necessidade de se obter maior rigidez, o sistema de fixação deverá ser avaliado.

### **Processo de soldagem GMAW (MIG – MAG)**

A transferência do metal de adição do eletrodo para a poça de fusão pode ocorrer basicamente por três mecanismos: aerossol (spray), globular e o curto circuito, os quais dependem de parâmetros operacionais tais como: nível de corrente, sua polaridade, diâmetro e composição do eletrodo e a composição do gás de proteção. Para a execução do protótipo de ensaio foi utilizado o mecanismo de transferência por curto circuito, por se tratar da maneira mais usual na soldagem de aços (particularmente com proteção de CO<sub>2</sub>) fora da posição plana e de peças com espessuras pequenas (até 6 mm) devido a pequenas correntes de operação e a sua independência da ação da gravidade. O eletrodo toca a poça de fusão periodicamente (de 20 a 200 vezes por segundo), ocorrendo a transferência de metal de adição durante estes curtos por ação da tensão superficial e das forças eletromagnéticas.

Dependendo do gás de proteção da poça podemos ter os seguintes processos:

a) Processo **MIG** (Metal Inert Gás) o qual poderá utilizar normalmente um gás monoatômico:

- argônio
- hélio
- argônio + 1% de O<sub>2</sub>
- argônio + 3% de O<sub>2</sub>

b) Processo **MAG** (Metal Active Gás) o qual poderá utilizar o seguinte gás:

- CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> + 5 a 10% de O<sub>2</sub>
- argônio + 15 a 30% de CO<sub>2</sub>
- argônio + 5 a 15% de O<sub>2</sub>
- argônio + 25 a 30% de N<sub>2</sub>

Os dois processos diferem entre si unicamente pelo gás que utilizam, pois os mesmos são responsáveis por uma série de alterações no comportamento das soldagens. Os gases influenciam nas características do arco, no tipo de transferência de metal do eletrodo à peça, na velocidade de soldagem, nas perdas por projeções, na penetração e na forma externa da solda, na perda de elementos químicos, na temperatura da poça de fusão, na sensibilidade à fissuração e porosidade, bem como na facilidade da execução da soldagem em diversas posições.

Os gases nobres (processo MIG) são preferidos por razões metalúrgicas, enquanto o CO<sub>2</sub> puro, por razões econômicas. Muitas vezes impossibilitado tecnicamente por um lado e economicamente por outro, acaba-se por utilizar a mistura dos dois gases.

O processo MAG é utilizado somente na soldagem de materiais ferrosos, enquanto o processo MIG pode ser utilizado tanto na soldagem de materiais ferrosos quanto não ferrosos como o alumínio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas.

A penetração da poça de fusão varia de acordo com o gás utilizado e os parâmetros ajustados, tal como:

- Gases ativos (MAG) - Maior penetração, proteção ao cordão, gerando alguns respingos.
- Gases inertes (MIG) - Boa penetração, proteção ao cordão e estabilidade.

A soldagem MIG/MAG é um processo bastante versátil com as seguintes **vantagens e desvantagens**:

a) Vantagens:

- Processo com eletrodo contínuo gerando alta produtividade;
- Alta taxa de deposição maior que a de soldagem com eletrodo revestido;
- Menos gás e fumaça na soldagem;

- Alta versatilidade (quanto ao tipo de material e espessuras);
- Larga capacidade de aplicação;
- Elevada penetração;
- Solda uma faixa ampla de espessuras e materiais;
- Fácil automatização;
- Ausência de operação de remoção de escoria;
- Exigência de menor habilidade do soldador;
- Permite soldagem em qualquer posição.

b) Desvantagens:

- Maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem que influencia diretamente na qualidade do cordão de solda depositado;
- Maior custo do equipamento e de manutenção do mesmo, comparando com o equipamento para soldagem com eletrodos revestidos;
- Menor variedade de consumíveis;
- Proteção do arco sensível à corrente de ar.

### **Processo para proteção à corrosão**

Para garantir agilidade na seqüência do processo produtivo depois de completada toda a montagem dos componentes através da soldagem MIG, faz-se necessário prover a linha de produção com um sistema automático de tratamento superficial de proteção contra a corrosão, pois os mesmos foram fabricados com chapa de aço carbono sem acabamento. Todos eles se encontram em estado instável e tendem espontaneamente a reagirem com o meio ambiente, formando óxidos de ferro, que, gradativamente, destroem o aço pela corrosão atmosférica, inviabilizando o seu uso após algum tempo.

Devido à necessidade de garantir velocidade de produção, optou-se pelo processo de pintura por imersão e, nesse processo, é preciso montar a seqüência dos banhos, assim como efetuar o controle dos seus parâmetros, para se obter uma barreira impermeável protetora na superfície exposta do aço através de algumas etapas, até o final da aplicação de uma camada de tinta de acabamento.

No processo automático de pintura por imersão, devem-se levar em consideração alguns itens para garantir a eficiência do mesmo, tais como:

- As peças a serem tratadas deverão ter uma geometria que permita o fácil escoamento das soluções dos banhos, garantindo uma homogeneidade, ou seja, não deverá existir a possível retenção de líquidos em nenhuma parte das peças.

- As peças não deverão se tocar.

- O excesso de líquido deverá escorrer para evitar a contaminação da etapa seguinte

### **Etapas do processo.**

- a) Desengraxe: Efetuado por imersão em tanque aquecido a 65° C aproximadamente, contendo desengraxante alcalino e água corrente com baixo teor de sais. O óleo retido no processo deve ser removido periodicamente do tanque e a troca do conteúdo do tanque deve ser efetuado semanalmente.
- b) Enxágüe: Efetuado á temperatura ambiente e com água corrente com baixo teor de sais e pH entre 6 a 8. A freqüência de troca do banho é semanal ou se os níveis de alcalinidade da água atingir limite máximo.
- c) Refino: Efetuado á temperatura ambiente (máximo 40°C) com refinador para fosfato e água corrente com baixo teor de sais e pH da solução deve estar entre 8 a 10. A freqüência de troca do banho é semanal.
- d) Fosfatização: A solução contida no tanque é composta por: líquido fosfatizante, aditivos de fosfato, soda cáustica, acelerador de fosfato e água corrente com baixo teor de sais nas devidas proporções. A solução é homogeneizada e aquecida até a temperatura de operação. A freqüência de troca do banho é anual ou no caso do banho se tornar inviável.
- e) Enxágüe: Efetuado à temperatura ambiente e com água corrente com baixo teor de sais e pH entre 5 a 7. A freqüência de troca do banho é semanal ou se os níveis de acidez da água atingir limite máximo.
- f) Passivação: Efetuado à temperatura ambiente (máximo 60°C) com líquido passivador e água corrente com baixo teor de sais e pH da solução deve estar entre 4 a 5. A freqüência de troca do banho é semanal.

**g)** Enxágüe com água desmineralizada: O banho é composto somente de água desmineralizada com pH entre 5,5 a 7,5 e mantido na temperatura ambiente.

**h)** Pintura: Banho composto por primer sintético, mono componente, secagem acelerada em estufa e água corrente com baixo teor de sais ou desmineralizada. A solução deve ser agitada no tanque com a frequência de 4 vezes o volume do tanque por hora e a sua temperatura deve estar entre 26 ° e 32° C. A frequência de troca ocorre somente em caso da tinta se tornar inviável. A aplicação do primer garante aderência à camada subsequente.

O primer é um produto geralmente fosco, que contém pigmentos anticorrosivos para conferir proteção necessária ao substrato, como cor e textura, podendo também atuar como barreira aos agentes agressivos do meio ambiente.

**i)** Cura: Temperatura de cura 80° a 100° C, tempo entre 10 a 20 minutos.

Ao finalizar o processo de pintura, devemos ter uma espessura de camada da tinta entre 15 a 25 µm e com aderência Gr0 e resistir ao ensaio de névoa salina até 240 horas no mínimo.

Observe-se que esse painel, antes de sua real utilização, receberá uma camada final de tinta de acabamento que atuará como barreira protetora, além da finalidade estética.