

# Análise do Emprego de Estruturas de Alumínio em Suporte de Cargas

*Juliana Nobre de Mello Motta<sup>1</sup>  
Luiz Carlos Mendes<sup>2</sup>*

## Resumo

As estruturas de alumínio apresentam uma boa representatividade na Engenharia Civil pelas suas levezas e capacidades resistentes. São estruturas de pouca manutenção devido à resistência à corrosão e ao fácil transporte. O objetivo deste artigo é analisar as estruturas de alumínio mostrando as características do material, sua evolução no decorrer do tempo, suas aplicações e dimensionamento em estruturas submetidas à cargas estáticas e dinâmicas. As aplicações do material são investigadas de acordo com as características para a sua adequada utilização. A análise estrutural baseia-se na capacidade resistente de placas de alumínio inseridas em sistemas estruturais de mesmo material. A investigação é realizada com o auxílio da Computação Algébrica Simbólica, e são elaborados diversos gráficos para ilustrar o comportamento e funcionalidade da estrutura.

**Palavras-chave:** estruturas de alumínio, estruturas portantes, flexão, compressão, normas de alumínio.

## Introdução

O alumínio, ou mais precisamente as ligas de alumínio, vem ganhando significativo espaço no mercado das construções metálicas. Características como a leveza, resistência à corrosão e boa trabalhabilidade colocam as estruturas de alumínio como vantajosas em relação às estruturas de aço em muitas situações. Uma vez que o alumínio vem sendo a solução mais empregada em diversos sistemas estruturais, faz-se necessário analisar esse material quanto aos mecanismos de dimensionamento estrutural.

O alumínio puro é fraco, com uma capacidade resistente de tensão que varia de 90 a 140 N/mm<sup>2</sup>, dependendo do temperamento. É empregado para condutores elétricos e para produtos como painéis, latas, embalagens, mas para uso estrutural o alumínio tem que ser reforçado pelas ligas metálicas. As ligas mais fortes têm uma resistência à tração de mais de 500 N/mm<sup>2</sup>. Há cerca de oito séries de ligas básicas em que o material é produzido.

Em 1825 o cientista dinamarquês Hans Oersted conseguiu isolar partículas de alumínio metálico. Dois anos depois, Friedrich Wöhler, professor de química

na Universidade de Göttingen, na Alemanha, começou a repetir as experiências de Oersted, persistiu por 20 anos e acabou por produzir o primeiro pedaço de alumínio, grande o suficiente para revelar algumas das propriedades especiais do metal, especialmente a sua leveza e brilho. Na década de 1850 o químico francês Henri Saint-Claire Deville, um professor na Universidade Sorbonne, França, pesquisou cientificamente o alumínio. Napoleão III investiu para desenvolvê-lo comercialmente. O processo de Wöhler de produtos químicos para a obtenção de alumínio contava com o potássio, o que tornava o procedimento muito caro. Saint-Claire Deville desenvolveu um método mais econômico para a obtenção de sódio, e usá-lo em vez do potássio no processo de Wöhler. Ainda sim o custo era muito elevado. Ao longo dos trinta anos subsequentes o processo de Deville foi explorado em vários países, incluindo-se a Grã-Bretanha, para produzir o que foi nessa fase, um metal de luxo (DWIGHT, 1999).

O grande avanço ocorreu em 1886, quando o cientista americano Charles M. Hall e o francês Paul Héroult inventaram o processo eletrolítico para obtenção de alumínio. Isso só foi possível com o advento da energia elétrica. Dois anos depois houve o desenvolvimento por

- 
- 1 Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 365, Niterói, CEP 24210240 Rio de Janeiro, Brasil. [julinobre@gmail.com](mailto:julinobre@gmail.com).
  - 2 Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 365, Niterói, CEP 24210240 Rio de Janeiro, Brasil. [lcarlos@predialnet.com.br](mailto:lcarlos@predialnet.com.br).

Karl Bayer, da Alemanha, de um processo econômico para a obtenção de alumina a partir de bauxita. O processo de Hall-Héroult, utilizando alumina de Bayer, reduziu o preço do alumínio por um fator de dez e o alumínio se transformou em um metal de aplicação industrial (DWIGHT, 1999).

A produção anual mundial de alumínio, em 1943, no auge da segunda guerra, foi de cerca de dois milhões de toneladas (quatorze vezes o valor de 1933), e toda a produção estava sendo utilizada para a fabricação de aviões de guerra. Em 1945 esse mercado retraiu e a indústria de alumínio tinha que encontrar outras saídas. Isto não foi um grande problema, porque o alumínio poderia ser usado como um substituto para materiais convencionais que tiveram sua produção reduzida durante o período da guerra (DWIGHT, 1999).

Nos anos seguintes, o metal alumínio recém-disponível foi empregado em uma vasta gama de utilizações. Um exemplo famoso a partir desse momento é a implantação da estátua de Eros, Figura 1, em Piccadilly Circus, em Londres, (DWIGHT, 1999).



**Figura 1** – Estátua de Eros Piccadilly, Londres.

Outro exemplo é o telhado de chapa metálica da cúpula da igreja de San Gioacchino em Roma em 1897.

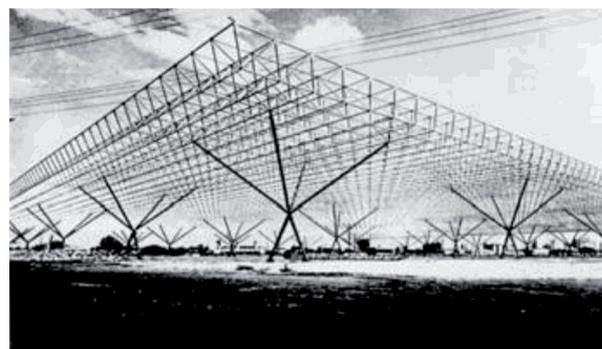
Alguns primeiros veículos, no início do século XX, usavam o alumínio como componente da estrutura de sua carroceria. Outra aplicação do alumínio como uma estrutura metálica foi verificada no seu uso em aeronaves, primeiro em dirigíveis e, posteriormente, em aviões. O pioneiro foi o dirigível alemão Conde Ferdinand, nome geral Zeppelin, a quem se pode considerar como o pai de alumínio estrutural. Sua primeira nave “zeppelin” (o LZ1), que fez seu vôo inaugural sobre o Lago Constance, na Alemanha, em 1900, tinha 130 m de comprimento por 11,5 m de diâmetro. O quadro foi fabricado a partir de pequenas seções formadas a partir de lâminas. O LZ1 era feito em alumínio puro, mas para projetos posteriores, tornou-se mais leve a sua

estrutura, mudando-se para duralumínio de Wilms. Os dirigíveis de alumínio moldados continuaram a operar nos céus até a década de 1930, mas foram abandonados em 1937 após um grande desastre, já que hidrogênio era muito perigoso e de fácil combustão sobre a estrutura (DWIGHT, 1999).

Um grande passo para a frente na fabricação de alumínio foi o seu uso em aeronaves militares na 2ª Guerra Mundial. Em 1939 criaram-se projetos sofisticados, usando-se mais fortes ligas mais resistentes e avanços na análise estrutural (DWIGHT, 1999).

Aplicações estruturais de alumínio têm crescido consideravelmente nas últimas décadas. A facilidade de transporte, o baixo peso, a alta resistência em relação ao seu peso, fazem com que o alumínio seja um material favorável no emprego de aeronaves, trens de altas velocidades, balsas, etc. Na engenharia civil por vezes o baixo peso é determinante na escolha do alumínio como material estrutural principal, como por exemplo em pontes móveis e decks de helicópteros em plataformas no alto mar. No entanto, mais frequentemente, outras propriedades favoráveis tais como resistência à corrosão, a fácil fabricação de perfis por extrusão e a estética de alto brilho tem tornado o alumínio como o material preferencial para as estruturas principais.

Várias aplicações de estruturas de alumínio podem ser encontradas na América Latina. Em São Paulo foi contruído, em 1969, o Pavilhão de Exposições do Anhembi. Esse pavilhão abrange uma área de cerca de 67600 m<sup>2</sup> com malha de 60 por 60 m. A altura da camada treliçada é 2,36 m. Ele foi inteiramente parafusado no chão e posteriormente foi levantado no nível de 14 m por meio de 25 guindastes localizados nos cantos da tela, na posição dos pilares reais. O peso da estrutura treliçada ficou em 16 kg/m<sup>2</sup>; o número de barras foi de 56 820 e o comprimento total dessas, uma após outra, formam 300 km. Usando-se um número de 550000 parafusos em 13724 nós. Os materiais foram: ligas de alumínio das séries 6063 e 6351 T6 para barras cilíndricas, Al 99,5 para chapas, parafusos de aço galvanizado para conexões (MAZZOLANI, 1999).



**Figura 2** – Pavilhão do Anhembi – sistema estrutural.



**Figura 3** – Pavilhão do Anhembi – levantamento da estrutura.

Muito semelhante é o caso da Rio Centro, onde foi usada a mesma malha, cobrindo uma área total de 33 000 m<sup>2</sup>.

O Memorial em La Baie em forma de pirâmide (Quebec, Canadá) para lembrar os danos devido a uma inundação na década de 80.



**Figura 4** – Memorial de La Baie.

Os estudos atuais têm sido dedicados a analisar o comportamento estrutural de membros extrudados e soldadas por meio de pesquisa teórica e experimental.

## Aplicações

As aplicações estruturais que melhor ajuste dessas propriedades no campo da engenharia civil são as seguintes:

- Sistemas de coberturas em que cargas acidentais são pequenas em comparação com cargas permanentes, como no caso de estruturas que abrangem grandes áreas.
- Estruturas localizadas em lugares inacessíveis longe da oficina de fabricação, para que a economia de transporte e a facilidade de construção sejam de extrema importância, como

por exemplo torres de transmissão de energia, que podem ser transportadas por helicóptero.

- Estruturas situadas em ambientes corrosivos como estruturas hidráulicas e *offshore*.
- Estruturas para fins especiais, para o qual as operações de manutenção são particularmente difíceis, como no caso de torres de iluminação, torres de antenas e assim por diante.

## Comparação com o aço

Alumínio e aço são materiais diferentes, mas problemas de projeto normalmente são semelhantes. Alumínio difere de aço em suas propriedades físicas (baixa massa, rigidez e expansão linear) e químicas (resistência a corrosão). Ele é selecionado na preferência ao aço nas áreas onde suas propriedades especiais são determinantes. Existem muitas aplicações onde o alumínio encontrou o seu nicho.

Alumínio em sua forma de liga é um metal dúctil e forte, tem muita similaridade com aço estrutural. Suas propriedades mecânicas tendem ser inferiores às do aço, as ligas são comparáveis em força, mas menos dúcteis (DWIGHT, 1999).

O alumínio é um material naturalmente não-magnético em comparação com o aço (DWIGHT, 1999).

## Vantagens

Os fatores que tornam vantajoso o uso de ligas de alumínio são:

- a) leveza, o baixo peso específico de ligas de alumínio que é um terço do aço, torna possível:
  - simplificar as fases de construção;
  - transporte de componentes totalmente pré-fabricados;
  - reduzir as cargas transmitidas às fundações;
  - economizar energia, quer durante a construção ou em serviço;
  - reduzir o trabalho físico.
- b) resistência à corrosão, a formação de uma película protetora de óxido sobre a superfície faz com que seja possível:
  - reduzir as despesas de manutenção;
  - proporcionar um bom desempenho em ambientes corrosivos;
  - pode ser utilizado normalmente sem pintura; no entanto, as mais fortes ligas corroem em alguns ambientes hostis e podem necessitar de proteção.

- c) Processo de extrusão.  
Nesta técnica a forma padrão de produção de perfis de alumínio, é muito mais versátil do que os procedimentos de rolamento em aço. É um grande recurso no projeto em alumínio, que torna possível:
- melhorar as propriedades geométricas da seção transversal, projetando uma forma que, simultaneamente, dá o peso mínimo, e a maior eficiência estrutural;
  - a obtenção de formas sem uso de soldas ou parafusos;
  - simplificar os sistemas de ligação entre um componente diferente, melhorando assim os detalhes.
- d) Soldabilidade.  
A maioria das ligas podem ser soldadas a arco tão prontamente quanto o aço. A soldagem é mais rápida.
- e) Usinabilidade.  
Moagem pode ser uma técnica de fabricação econômica para o alumínio. O uso de máquinas de moldagem maciça permitiu que os grandes painéis fossem integralmente produzidos por usinagem. Esse desenvolvimento é grande interesse para as aeronaves.
- f) Desempenho em baixas temperaturas.  
O alumínio é eminentemente adequado para aplicações criogênicas, porque não é propenso à ruptura frágil à baixa temperatura, o que ocorre com o aço.

## Desvantagens

É importante também apontar as desvantagens do alumínio em relação ao aço para a aplicação consciente do material. Essas características que tornam desvantajoso o uso do alumínio são a seguir descritos:

- a) Rigidez:  
sua rigidez baixa torna a estabilidade o aspecto predominante do projeto.
- b) Resistência ao fogo:  
o alumínio tem ponto de fusão menor que o aço.
- c) Flambagem:  
devido ao baixo módulo de elasticidade a carga crítica do alumínio devido a flambagem é inferior ao de um aço de mesma esbeltez.
- d) Efeito da temperatura.  
alumínio enfraquece mais rapidamente do que o aço com o aumento da temperatura.

Algumas ligas começam a perder resistência quando estiver operando acima de 100°C.

- e) Fadiga:  
Componentes de alumínio são mais suscetíveis a ruptura por fadiga do que os de aço.
- f) Expansão térmica:  
Alumínio se expande e contrai duas vezes mais que aço numa mesma temperatura.
- g) Deflexão:  
Devido ao menor módulo de elasticidade, a flecha elástica torna-se maior do que a do aço. Isso é muitas vezes a condição determinante de cálculo no projeto.

## Cálculo

### Mecanismos de tensão axial

#### – *Esbeltez*

A habilidade de um elemento de resistir a flambagem local depende da sua esbeltez parâmetro  $\beta$ .

#### *Classes de esbeltez:*

Classe 1 – seção dúctil. Resistência ao colapso sem instabilidade local da seção.

Classe 2 – seção compacta. Capaz de desenvolver o limite de resistência plástica, mas as propriedades de endurecimento do material são impedidas pelo início da instabilidade plástica.

Classe 3 – seção semi-compacta. Capaz de desenvolver o limite de resistência elástica, sem entrar na faixa inelástica devido a fenômenos de instabilidade. Apenas pequenas deformações plásticas.

Classe 4 – seção frágil. Ocorrência de flambagem local. Deformações plásticas não são permitidas na seção, cujo comportamento é extremamente frágil.

### Seções soldadas

No caso de seção soldada, ocorre a chamada zona afetada pelo calor (*haz – heat affected zone*).

O único tipo de material onde este fenômeno não ocorre é aquele tratado pela têmpera na condição O.

O fator de redução da espessura dessa zona depende da liga do material utilizado. Tal fator é utilizado para reduzir a espessura da seção na zona afetada.

Seguindo-se:

$$\rho_{0,haz} = \frac{f_{0,haz}}{f_0} \quad (1)$$

$$\rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u} \quad (2)$$

onde

$f_{0,haz}$  – tensão característica do material para 0,2% de escoamento na zona afetada pelo calor;

$f_0$  – tensão característica do material para 0,2% de escoamento;

$f_{u,haz}$  – tensão de escoamento no estado de limite último do material na zona afetada pelo calor.

$f_u$  – tensão de escoamento no estado de limite último do material;

$\rho_{0,haz}$  – fator de redução da seção transversal para 0,2% de escoamento;

$\rho_{u,haz}$  – fator de redução da seção transversal no estado de limite último.

#### – Força axial

O valor da força axial de projeto  $N_{Ed}$  deve atender à:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (3)$$

onde  $N_{Rd}$  é a força normal resistente da seção transversal.

### Mecanismo de cisalhamento

#### – Esbeltez

Para o cálculo do cisalhamento em barras, seções não esbeltas são definidas pela condição:

$$\frac{h_w}{t_w} < 39 \varepsilon \quad (4)$$

onde  $h_w$  é a altura da alma,  $t_w$  é a espessura da alma e  $\varepsilon$  é o parâmetro de esbeltez.

#### – Verificação do cisalhamento

A força cortante máxima de projeto  $V_{Ed}$  deve atender a:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad (5)$$

onde:  $V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo.

### O mecanismo de flexão

#### – Esbeltez em barras

Para o cálculo do momento resistente em barras o parâmetro  $\beta$  deve ser tomado a partir da expressão:

$$\beta = \frac{b}{t} \quad (6)$$

onde  $b$  é a largura e  $t$  é a espessura da peça.

#### – Esbeltez em chapas

Para o cálculo do momento resistente em chapas o parâmetro  $\beta$  deve ser tomado a partir da expressão:

$$\beta = 0,40 \frac{b}{t} \quad (7)$$

onde  $b$  é a largura e  $t$  é a espessura da peça.

#### – Verificação da flexão

O momento de projeto  $M_{Ed}$  deve satisfazer à condição:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (8)$$

O momento resistente da seção  $M_{Rd}$  é dado pelo menor valor entre o momento resistente na ruptura local e o momento resistente no escoamento global.

### Análise

A análise consiste no cálculo de uma placa de alumínio, que deve ter como carga de utilização o grupo 5 da Norma Britânica de equipamentos temporários de trabalho (BS EN 12811-1:2003).

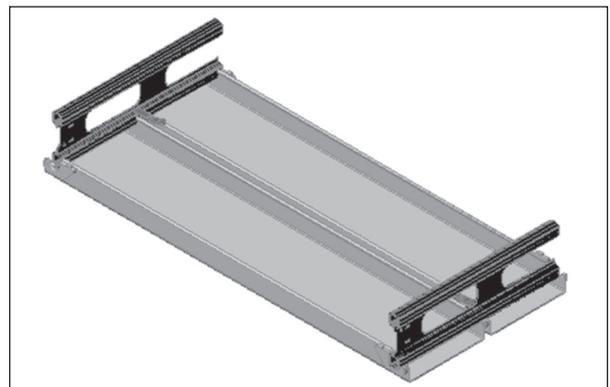


Figura 5 – Estrutura analisada (vista de baixo para cima).

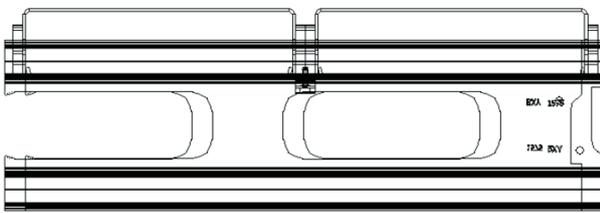


Figura 6 – Corte transversal.



Figura 7 – Barra que apoia as chapas.

O objetivo é calcular a capacidade das peças variando a largura e a espessura.

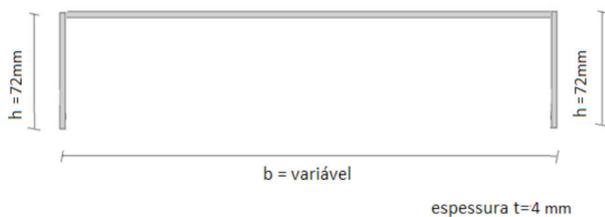


Figura 8 – Geometria da chapa analisada.

– Carregamentos

Os diferentes carregamentos de serviço não são aplicados em conjunto. São feitas combinações para cada um deles com a carga permanente.

Classe	$q_1$ kN/m <sup>2</sup>	$F_1$ kN	$F_2$ kN	$q_2$ kN/m <sup>2</sup>	$a_p$
1	0,75	1,5	1	0	0
2	1,5	1,5	1	0	0
3	2	1,5	1	0	0
4	3	3	1	5	0,4
5	4,5	3	1	7,5	0,4
6	6	3	1	10	0,5

Figura 9 – Grupos de cargas de serviço.

– Gráficos de solicitações

O primeiro gráfico mostra a variação da força cortante para as diferentes seções de placas:

Os diferentes carregamentos de serviço não são aplicados em conjunto. São realizadas combinações para cada um deles com a carga permanente.

A carga  $q_1$  é um carregamento uniformemente distribuído em toda a placa. As forças cortantes devido a essa carga crescem linearmente em função das dimensões de área aplicada.

A carga  $q_2$  é um carregamento uniformemente distribuído em uma área parcial da placa definida pelo fator  $a_p$ . As forças cortantes devido a essa carga crescem linearmente em função das dimensões de área aplicada.

A carga  $F_1$  é uma carga concentrada em uma área de 500 mm x 500 mm. Nessa carga ocorreu um ponto de inflexão decorrente da mudança de carregamento devido à proporcionalidade. Até  $b = 250$  mm foi considerado o valor mínimo de 1,5 kN para carga  $F_1$ , dessa forma a força cortante se mantém constante. Para  $b > 250$  mm ocorre a mudança de carregamento em função da área aplicada, justificando-se o crescimento linear da força cortante a partir desse ponto.

A carga  $F_2$  é uma carga concentrada em uma área de 200 mm x 200 mm. O valor de  $F_2$  se mantém constante, já que o valor mínimo de norma é igual ao valor da carga na área 200 mm x 200 mm não sendo necessário efetuar a proporcionalidade.

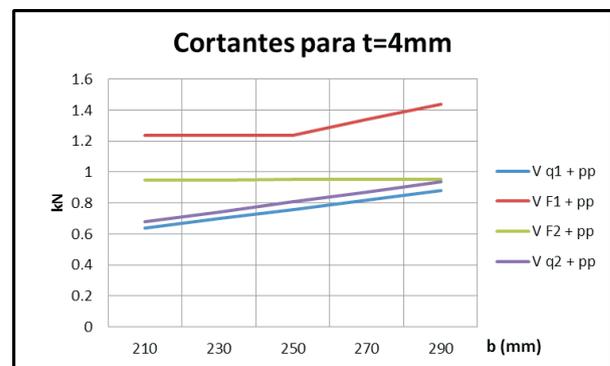


Figura 10 – Cortante para diferentes carregamentos.

Depois do gráfico de força cortante é desenhado o gráfico com a variação do momento para as diferentes seções de placas.

A mesma transição de proporcionalidade do carregamento  $F_1$  do gráfico de força cortante ocorre nos momentos fletores.



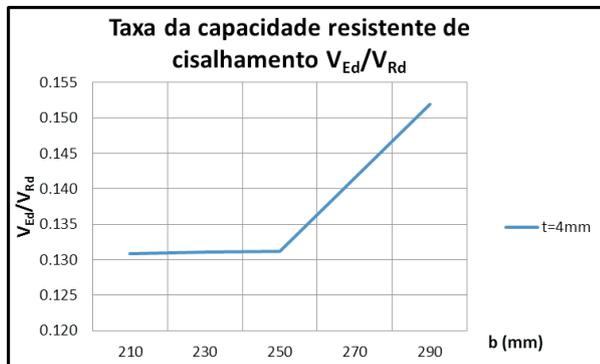
Figura 11 – Momento para diferentes carregamentos aplicados.

### – Taxas de capacidade resistentes

Foi calculado o mecanismo do cisalhamento para as diversas geometrias analisadas. A partir desse cálculo obteve-se a taxa de capacidade resistente das peças ao cisalhamento. Essa é calculada a partir da fração da força cortante solicitante em relação à força cortante resistente. Com base nesses valores foi gerado o gráfico para representar o comportamento das peças.

Como força cortante solicitante usou-se a combinação que resultou maior cortante, essa combinação é  $F_1 + pp$ .

Após o ponto de inflexão, onde  $b = 250$  mm, a taxa da capacidade resistente de cisalhamento cresce em função da mudança de proporcionalidade de carregamento.



**Figura 12** – Taxa da capacidade resistente de cisalhamento.

Foi calculado o mecanismo de flexão para as diversas geometrias analisadas. A partir desse cálculo obteve-se a taxa de capacidade resistente das peças à flexão. Com base nesses valores foi gerado o gráfico para representar o comportamento das chapas.

Como momento solicitante usou-se a combinação que resultou maior momento, essa combinação é  $F_1 + pp$ .

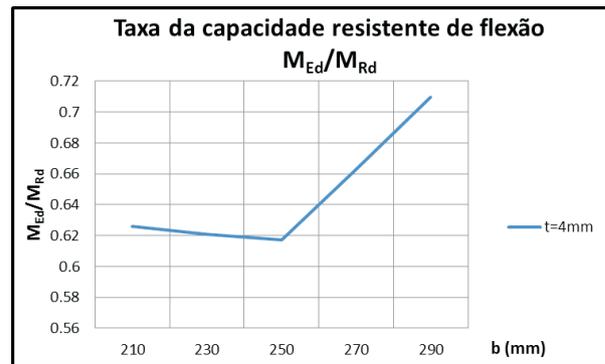
Até  $b = 250$  mm o momento solicitante é constante e o momento resistente cresce segundo a sua função. Com base nisso a taxa da capacidade resistente decresce.

Para  $b > 250$  mm o momento solicitante cresce linearmente e o momento resistente cresce, porém, numa proporção menor. O resultado disso é uma crescente taxa de capacidade de flexão.

Foi calculado o mecanismo de compressão para as diversas geometrias analisadas. A partir desse cálculo obteve-se a taxa da capacidade resistente das peças à força axial. Com base nesses valores foi gerado o gráfico para representar o comportamento das chapas.

A força axial solicitante é constante e assume

nessas situações o valor mínimo da BS EN 12811-1:2003.

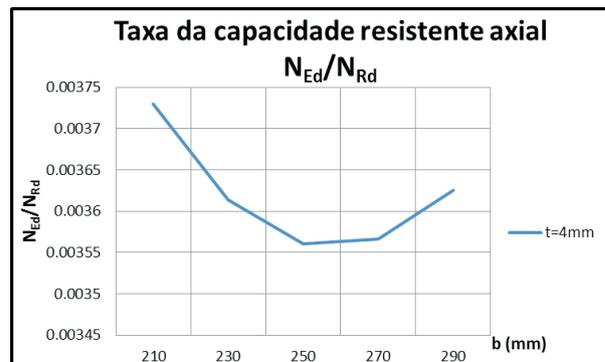


**Figura 13** – Taxa da capacidade resistente de flexão.

Foi calculado o mecanismo de compressão para as diversas geometrias analisadas. A partir desse cálculo obteve-se a taxa da capacidade resistente das peças à força axial. Com base nesses valores foi gerado o gráfico para representar o comportamento das chapas.

A força axial solicitante é constante e assume nessas situações o valor mínimo da norma BS EN 12811-1:2003.

Já a força normal resistente é função de duas condições. A primeira é a área efetiva que cresce proporcionalmente em relação a largura da peça. A segunda é o coeficiente do efeito do enfraquecimento na flambagem, que em conjunto com a curva de flambagem resultam numa nova curva.



**Figura 14** – Taxa da capacidade resistente à compressão.

Além da capacidade de cada mecanismo é realizada a combinação de todos eles. A taxa da capacidade dessa combinação pode ser interpretada no gráfico da Figura 15.

Não é necessária combinação entre força cortante e momento, já que para esse tipo de combinação a força cortante de dimensionamento deveria ser no mínimo metade do admitido pela seção (EN1999-1-1:2007+A1:2009).

Como a taxa da capacidade resistente na flexão é a mais significativa, os gráficos das combinações dos mecanismos ficam muito próximos dos gráficos de flexão.

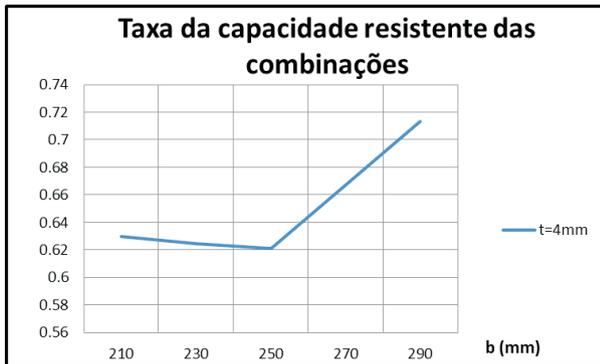


Figura 15 – Taxa da capacidade resistente da combinação.

Foi calculada a soldagem das placas. A partir desses dados foram ilustradas as taxas das capacidades resistentes de solda na Figura 16.

No gráfico da taxa resistente das soldas ocorre a mesma transição em função da variação de proporcionalidade do carregamento que nos outros gráficos.

Para a espessura  $t = 4$  mm as soldas atendem, conforme a Figura 16, já que a taxa é menor que 1.

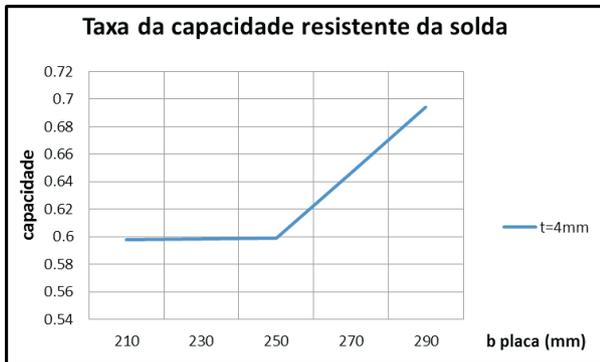


Figura 16 – Taxa da capacidade resistente das soldas para placas.

– *Análise de solicitações das barras*

As barras foram analisadas com seção transversal constante. Para a análise foram aplicadas as solicitações correspondentes as diferentes chapas experimentadas. O objetivo é relacionar o comprimento admissível da barra com as variadas geometrias das chapas.

Foram feitos os cálculos para cada condição geométrica no mecanismo de flexão. O gráfico representa a capacidade de comprimento da barra nesse mecanismo em função das placas.

O gráfico tem o seu ponto de inflexão em  $b = 250$  mm.

A carga distribuída até  $b = 250$  mm é variada uniformemente em função da largura da peça. Isso ocorre porque assumiu-se um valor de força cortante constante para todas as placas de largura menor que 250 mm. Quando se transforma esse valor da força cortante em uma carga distribuída na barra, numa placa de seção menor haverá uma maior carga distribuída. Para essa maior carga na barra, o comprimento resistido pela peça será menor.

Após  $b = 250$  mm, a força cortante aplicada na peça varia linearmente em função da largura da peça. Já que a força cortante é proporcional a largura da peça, ao divi-la pela largura acha-se um valor constante que é a carga distribuída na barra. Por isso o gráfico assume um valor constante.

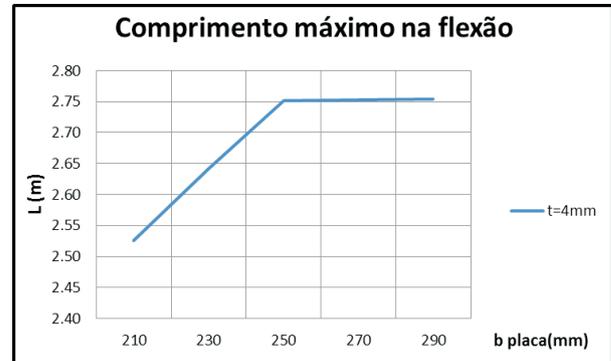


Figura 17 – Comprimento máximo na flexão.

Foram efetuados os cálculos para cada condição geométrica no mecanismo do cisalhamento. Os gráficos representam a capacidade de comprimento da barra nesse mecanismo em função das placas.

No mecanismo de cisalhamento ocorre o mesmo comportamento em função do carregamento distribuído que da flexão.

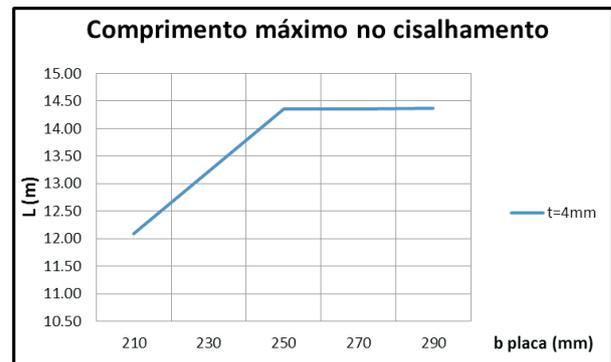


Figura 18 – Comprimento máximo no cisalhamento.

Como o comprimento máximo resistido na flexão

é muito menor que o comprimento máximo resistido pela força cortante, não é necessária combinação entre força cortante e momento. Já que para esse tipo de combinação a força cortante de dimensionamento deveria ser no mínimo metade do admitido pela seção (EN1999-1-1:2007+A1:2009).

Já que a barra não está sujeita à força normal, deve ser adotado o comprimento máximo resistido pela flexão. Mas, para execução de projeto deve-se adotar número inteiro de barras.

## Conclusões

Este trabalho empresta uma apresentação da análise de estruturas de alumínio com variações de espessuras e carregamentos que interagem entre si. Os fenômenos observados nas inflexões das solicitações resistentes e externas fornecem uma contribuição na análise mais detalhada para determinadas áreas de aplicações de cargas.

Foi observado que a capacidade resistente à flexão assume importância relevante nas peças envolvi-

das, acompanhada em grau de importância da aplicação da solda.

Com essa análise as estruturas podem ser dimensionadas de uma forma mais otimizada, tomando-se cuidado com as limitações impostas pelas normas e as observações obtidas das análises numéricas.

## Referências

- [1] BS EN 12811-1:2003. Temporary works equipment – scaffold. Inglaterra, 2003.
- [2] DWIGHT, JOHN. Aluminium Design and Construction. Londres, Inglaterra, 1999.
- [3] EUROCÓDIGO 9. EN 1999-1-1:2007+A1 2009. Design of aluminium structures – Part 1-1: General structural rules. Europa, 2009.
- [4] KISSELL, J. RANDOLPH E FERRY, ROBERT L. A Guide to Their Specifications and Design. Nova York, Estados-Unidos, 2002.
- [5] MAZZOLANI, F. M. The structural use of aluminium: Design and Applications, Finland, 1999.