

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Tiago Alves de Souza**

**PROCESSO DE CALANDRAGEM DE TUBOS PARA  
FABRICAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA DE  
ALUMÍNIO PARA EVENTOS: OVALIZAÇÃO**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Tiago Alves de Souza**

**PROCESSO DE CALANDRAGEM DE TUBOS PARA  
FABRICAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA DE  
ALUMÍNIO PARA EVENTOS: OVALIZAÇÃO**

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté para obtenção do  
Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof.º MSc. José Carlos Sávio de  
Souza

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

S729p Souza, Tiago Alves de  
Processo de calandragem de tubos para fabricação de  
estrutura metálica de alumínio para eventos: ovalização. / Tiago  
Alves de Souza. - 2017.

30f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Me. José Carlos Sávio de Souza,  
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Estrutura de alumínio. 2. Calandragem. 3. Tubo. 4.  
Ovalização. I. Título.


**Tiago Alves de Souza**

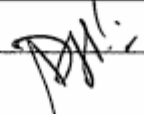
**PROCESSO DE CALANDRAGEM DE TUBOS PARA FABRICAÇÃO DE  
ESTRUTURAS METÁLICAS DE ALUMÍNIO PARA EVENTOS: OVALIZAÇÃO**

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté para obtenção do  
Título de Engenheiro Mecânico.

Data: 24/11/2017  
Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Carlos Sávio de Souza Universidade de Taubaté  
Assinatura 

Prof. ALUISIO PINHO DA SILVA Universidade de Taubaté  
Assinatura 

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por tudo o que fez e faz por minha vida. Me livrou da morte no dia trinta de junho de dois mil e dezessete. Minha vida é dEle.

Ao orientador Prof. MSc. Sávio de Souza por estar ao meu lado nesse momento intenso de elaboração deste Trabalho de Graduação, me auxiliando e encorajando a prosseguir.

Ao coordenador Prof. MSc. Fábio Santejani, pela paciência e toda ajuda que me foi dada.

A Universidade de Taubaté, seu corpo docente e direção por me ter proporcionado o conhecimento.

Aos meus pais, David e Sueli, pelas lições que levarei para a vida toda. Vocês estão em meu coração. Nada que fizemos pagará o esforço que tiveram em cuidar de todos nós.

Aos meus irmãos e irmãs. Somos oito. Obrigado pelo amor de irmão.

A Ana Clara, minha bela noiva, pelo amor, paciência e carinho. Sua garra me inspira. Tenho orgulho de você.

A todos os amigos e amigas que fiz durante a faculdade, em especial ao Gabriel, Jonathan, Raphaela, Nicolas, Jonas, Lucas e Lina. Obrigado pela amizade e paciência. Vocês me ajudaram muito e já fazem parte da minha vida. Vou me lembrar de vocês e espero vê-los em breve.

Ao Prof. Dr. Aluísio, que sem hesitar aceitou em participar da banca, pelas sugestões que muito acrescentaram na conclusão deste trabalho.

A empresa Alutent que muito me tem ajudado.

Ao Sr. Maurinho por compartilhar seu vasto conhecimento, agregando ricamente no conteúdo deste trabalho.

Ao Giorgio que me impulsionou na idéia inicial deste trabalho de graduação. Obrigado por cada ajuda.

Agradeço a cada um de vocês! Jamais desistam!!

## RESUMO

As estruturas metálicas de alumínio com módulos circulares que são utilizadas em eventos possuem peças que sofrem conformação plástica, e um dos processos é a calandragem. Um dos defeitos deste processo é a ovalização que embora seja um defeito inerente ao processo é necessário estudar o mesmo por não haver nenhum padrão ou parâmetros que definem a máxima e a mínima tolerância de fabricação na calandragem. O objetivo desta dissertação é verificar e comprovar como a ovalização de um tubo calandrado influencia num módulo circular, peça integrante da estrutura metálica de alumínio e discutido também meios de se minimizar este defeito. Usaremos o método indutivo para descrevermos este estudo de casos, utilizando a técnica de observação por meio de coleta de dados das amostras obtidas. Os resultados obtidos comprovaram que há ovalização no tubo e é dependente do raio que se deseja calandrar. Concluiu-se que apesar do defeito de ovalização a estrutura não sofre nenhum revés, fazendo com que a segurança estrutural não seja afetada.

**Palavras-chave:** Estrutura de alumínio; calandragem; tubo; ovalização.

## **ABSTRACT**

The aluminum metal structures with circular modules that are used in events have pieces that undergo plastic forming, and one of the processes is the calendaring. One of the defects of this process is the ovalization that although it is an inherent defect in the process it is necessary to study the same because there is no standard or parameters that define the maximum and the minimum tolerance of manufacture in calendaring. The purpose of this dissertation is to verify and verify how the ovalisation of a calendered tube influences a circular module, integral part of the aluminum metal structure and also discussed means of minimizing this defect. We will use the inductive method to describe this case study, using the observation technique through data collection of the samples obtained. The obtained results proved that there is ovalisation in the tube and it is dependent on the radius to be calendered. It was concluded that despite the defect of ovalization the structure does not suffer any setback, making the structural safety not be affected.

**Keywords:** Aluminum structure; calendaring; pipe; ovalization.

“Suba o primeiro degrau com fé. Você não tem que ver toda a escada.  
Você precisa só dar o primeiro passo.”  
(Martin Luther King Jr.)



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Posição dos rolos de uma calandra.....	16
<b>Figura 2</b> – Calandra de tubos e perfis.....	17
<b>Figura 3</b> – Defeitos na calandragem.....	17
<b>Figura 4</b> – Estrutura para evento com módulos circulares.....	18
<b>Figura 5</b> – Estrutura para evento com módulos circulares.....	19
<b>Figura 6</b> – Módulo circular.....	19
<b>Figura 7</b> – Calandra de perfil motorizada.....	21
<b>Figura 8</b> – Primeira etapa da calandragem.....	22
<b>Figura 9</b> – Segunda etapa da calandragem.....	23
<b>Figura 10</b> – Terceira etapa da calandragem.....	23
<b>Figura 11</b> – Quarta etapa da calandragem.....	24
<b>Figura 12</b> – Quinta etapa da calandragem.....	24
<b>Figura 13</b> – Paquímetro Universal.....	25
<b>Figura 14</b> – Tubo antes de calandrar.....	26
<b>Figura 15</b> – Tubo após calandrar.....	26
<b>Figura 16</b> – Posição de medidas da espessura.....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Principais ligas, formatos, características e aplicações do alumínio.....	13
<b>Tabela 2</b> – Medidas encontradas no diâmetro.....	26
<b>Tabela 3</b> – Medidas encontradas na espessura.....	27

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	12
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO ALUMÍNIO E SUAS LIGAS .....	12
2.1.1 OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO.....	12
2.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS .....	12
2.1.3 LIGAS DO ALUMÍNIO.....	13
2.1.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	15
2.1.5 TÊMPERAS .....	15
2.1.6 TRATAMENTOS TÉRMICOS .....	15
2.2 PROCESSO DE CALANDRAGEM DE TUBOS.....	16
2.2.1 CALANDRAS PARA TUBOS E PERFIS .....	17
2.2.2 DEFEITOS NA CALANDRAGEM.....	17
2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS DE ALUMÍNIO .....	18
2.3.1 ESTRUTURA COM MÓDULO CIRCULAR .....	18
2.3.2 APLICAÇÃO DA CALANDRAGEM NA ESTRUTURA.....	19
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 MÁQUINA.....	20
3.2 SELEÇÃO DO MATERIAL .....	21
3.3 CORTE DO TUBO ANTES DA CALANDRAGEM.....	22
3.4 CALANDRAGEM DO TUBO.....	22
3.5 CORTE FINAL DO TUBO .....	25
3.6 INSTRUMENTO UTILIZADO .....	25
3.6.1 PAQUÍMETRO UNIVERSAL .....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

O alumínio, por suas ótimas propriedades físico-químicas - das quais se destacam o baixo peso específico, a alta resistência a corrosão, a alta condutibilidade elétrica e térmica e uma gama extensa de reciclagem – apresenta uma variedade ampla de utilização, tornando-se o metal não-ferroso mais consumido em todo o mundo.

O Trabalho de Graduação *Processo de Calandragem de Tubos para Fabricação de Estrutura Metálica de Alumínio para Eventos: Ovalização* aborda os aspectos do alumínio desde a sua obtenção na natureza, características, ligas, propriedades mecânicas, têmperas, tratamentos térmicos, até processos industriais, dos quais destaco o processo de calandragem de tubos.

Há muitos componentes que são usados em estruturas que sofrem processos de conformação plástica e a calandragem de tubos é o mais complexo e com alta dificuldade em sua fabricação dependendo também da habilidade do operador. Numa calandragem necessariamente precisa ser observada a liga do material a ser conformado, o modelo da máquina e sua capacidade de dobra, tipo de geometria da peça, entre outras coisas, para que seja minimizada os possíveis defeitos como, por exemplo, a ovalização do tubo.

A elaboração deste Trabalho de Graduação tem por objetivo analisar o defeito de ovalização, característico da calandragem de tubos, e apresentar a causa raiz do problema e as suas possíveis soluções.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

#### 2.1.1 OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2007), para se obter o alumínio é necessário um processo de três etapas: Mineração, Refinaria e Redução, sendo a bauxita o minério do qual o alumínio é extraído, o qual é refinado formando a alumina que por sua vez é reduzido ao alumínio em forma de lingotes, placas, tarugos e metal primário.

#### 2.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

Uma vasta combinação de propriedades faz com que o alumínio seja um dos metais mais versáteis utilizados na engenharia, arquitetura e indústria em geral.

A relação de suas características químicas e físicas (ABAL, 2007) é:

- Ponto de fusão: 660°C
- Peso específico: 2,70 g/cm<sup>3</sup>
- Resistência a corrosão: elevada resistência
- Condutibilidade elétrica: 62% da IACS (International Annealed Copper Standard).
- Condutibilidade térmica: 4,5 vezes maior que o aço
- Refletividade: acima de 80%
- Magnetismo: não possui
- Barreira: barreira a luz e impermeável à umidade e oxigênio.
- Resistência a tração: 90 MPa (alumínio comercial puro)
- Reciclagem: infinitamente reciclável

### 2.1.3 LIGAS DO ALUMÍNIO

Adicionando elementos como manganês, cobre, silício, zinco, magnésio ou outros metais no alumínio conseguimos uma variedade de ligas, formatos, características e aplicações (ABAL, 2007), conforme é descrito na Tabela 1.

**Tabela 1 - Principais ligas, formatos, características e aplicações do alumínio**

(continua)

Ligas	Formatos	Características	Aplicações
1050	Chapas Bobinas Tubos	Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade e soldabilidade. Baixa resistência mecânica. Apropriada para anodização decorativa.	Refletores, luminárias, utensílios domésticos, tanques e cubas estruturais nas indústrias química e alimentícia, trocadores de calor.
1100 1200	Chapas Bobinas	Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade e soldabilidade. Baixa resistência mecânica. Apropriada para anodização decorativa.	Painéis decorativos, etiquetas metálicas, utensílios domésticos, refletores, aletas.
1350	Vergalhões Barras Chatas Tubos	Alta soldabilidade Alta resistência à corrosão. Alta condutividade elétrica. Boa conformabilidade.	Condutores Elétricos.
2011	Vergalhões	Alta resistência mecânica. Boa usinabilidade. Média resistência à corrosão. Não recomendada para solda.	Peças usinadas em torno automático.
3003	Tubos Chapas Bobinas	Média resistência mecânica. Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Boa soldabilidade.	Trocadores de Calor, isolamento térmico, indústria química, utensílios domésticos, carrocerias, coberturas para construção civil.
3104	Chapas Bobinas	Boa resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Moderada resistência mecânica.	Carrocerias para ônibus e caminhões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, latas para bebidas e alimentos, coberturas para construção civil, calhas.
3105	Chapas Bobinas	Boa resistência mecânica. Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Boa soldabilidade.	Carrocerias de ônibus e caminhão, piso antiderrapante.
5005	Chapas Bobinas Telhas	Alta resistência mecânica e à corrosão. Alta conformabilidade. Alta soldabilidade.	Utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, coberturas para construção civil (telhas), calhas e forros.

**Tabela 1 - Principais ligas, formatos, características e aplicações do alumínio**

(conclusão)

Ligas	Formatos	Características	Aplicações
5052	Chapas Bobinas Lâminas Telhas	Alta resistência mecânica e à corrosão. Alta soldabilidade. Boa conformabilidade.	Carrocerias para ônibus e caminhão, placas de sinalização, indústria naval, persianas, ilhoses, peças estampadas com alta solitação mecânica, vagões ferroviários, piso antiderrapante, coberturas para construção civil (telhas).
6060	Vergalhões Barras Chatas Tubos Perfis	Alta resistência à corrosão. Média resistência mecânica. Boa conformabilidade. Apropriada para anodização decorativa fosca.	Perfis para construção civil, caixilharia em geral, tubos de irrigação, móveis, iluminação e ornamentos.
6061	Tubos Vergalhões Perfis	Alta resistência mecânica e à corrosão. Boa conformabilidade e soldabilidade.	Estruturas, construção naval, veículos, indústria moveleira, rebites, vagões, oleodutos.
6063	Vergalhões Barras Chatas Tubos Perfis	Alta resistência à corrosão. Média resistência mecânica. Boa conformabilidade. Apropriada para anodização decorativa fosca.	Perfis para construção civil, caixilharia em geral, tubos de irrigação, móveis, iluminação e ornamentos.
6101	Vergalhões Barras Tubos Perfis	Alta condutividade elétrica. Boa resistência à corrosão. Média resistência mecânica.	Condutores e barramentos elétricos.
6261	Vergalhões Tubos Perfis	Boa resistência mecânica. Boa resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Média usinabilidade.	Carrocerias de veículos, estruturas e equipamentos.
6262	Vergalhões	Ótima usinabilidade. Alta resistência mecânica. Alta resistência à corrosão. Apropriada para anodização decorativa.	Peças usinadas em torno automático.
6351	Vergalhões Tubos Perfis	Alta resistência mecânica. Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Boa usinabilidade.	Engenharia estrutural, construção de navios, veículos e equipamentos, peças usinadas em tornos automáticos, forjamento a frio.
8011	Bobinas (Folhas)	Alta soldabilidade. Boa resistência à corrosão. Boa conformabilidade. Baixa resistência mecânica.	Embalagens de produtos farmacêuticos, alimentícios e flexíveis em geral, tampas, pratos e bandejas descartáveis, aletas para refrigeração, tubos helicoidais.

Fonte: Shockmetais

Observando a liga 6351 na Tabela 1, uma das suas aplicações é na engenharia estrutural, fazendo com que esta liga seja amplamente utilizada na fabricação de estruturas metálicas para eventos, pois possui alta resistência mecânica e boa conformabilidade (ALCOA, 2010).

#### 2.1.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas são (ABAL, 2007):

- Limite de resistência a tração: 48 MPa (alumínio puro recozido). Valor aumenta de acordo com a liga, trabalho a frio e tratamento térmico, quando possível.
- Limite de escoamento: 12,7 MPa (alumínio puro recozido). Pode aumentar conforme trabalho a frio e tratamento térmico.
- Dureza: significativamente baixa em relação com a maioria dos aços.
- Módulo de elasticidade: 7030 kg/mm<sup>2</sup> e com adição de elementos de liga pode chegar a 7500 kg/mm<sup>2</sup>.
- Tensão de fadiga: 50 milhões de inversão de tensão, e alterando a liga, podendo variar de 25% a 50% da tensão de ruptura.

#### 2.1.5 TÊMPERAS

“Têmpera é uma condição aplicada ao metal ou liga, através de deformação plástica a frio ou de tratamento térmico, propiciando-lhe estrutura e propriedades mecânicas características.” (ABAL, 2007).

As ligas de alumínio são divididas em dois grupos (ABAL, 2007): tratáveis termicamente e não-tratáveis termicamente, sendo as ligas tratáveis trabalhadas a frio, para posterior tratamento térmico para aumento da resistência mecânica e as ligas não-tratáveis podem ser submetidas a tratamentos de estabilização e recozimento plenos ou parciais.

Segundo a norma ABNT NBR 6835 e de acordo com os processos a que são submetidas, as têmperas são classificadas como: “F” – fabricada, “O” – recozida, “H” – encruada, “W” – solubilizada e “T” – tratada termicamente (ABAL, 2007).

#### 2.1.6 TRATAMENTOS TÉRMICOS

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio o objetivo do tratamento térmico é remover ou reduzir as segregações, formar estruturas estáveis e controlar características metalúrgicas, como por exemplo, as propriedades mecânicas.

Os principais tipos de tratamentos são a homogeneização, solubilização e envelhecimento, recozimento pleno, recozimento parcial e estabilização (ABAL, 2007).



## 2.2 PROCESSO DE CALANDRAGEM DE TUBOS

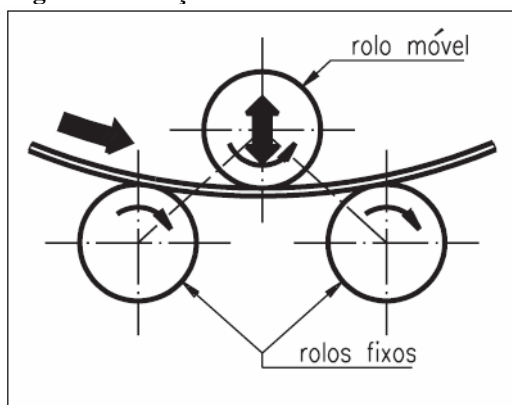
Dentre os processos de conformação plástica estão a laminação, a estampagem, o forjamento, a extrusão, a trefilação e a calandragem (Rodrigues & Martins, 2010).

O processo de calandragem consiste num processo de conformação plástica para conformar chapas, perfis ou tubos, fazendo passar o material entre um conjunto de rolos convenientemente posicionados (Rodrigues & Martins, 2010).

Contrariamente ao que acontece com outros processos tecnológicos, como é na fundição, na qual as peças são produzidas através do vazamento do material no estado líquido em moldes, ou a usinagem, onde os componentes são obtidos a partir da remoção de material na forma de cavacos, nos processos de conformação plástica a alteração de forma é feita no estado sólido, conseguida com ferramentas que promovem o escoamento do material em regime plástico. Esta característica torna os processos de deformação plástica muito eficiente no aproveitamento da matéria-prima e na consequente diminuição dos desperdícios, em oposição ao que se passa noutros processos tecnológicos (Rodrigues & Martins, 2010).

A calandragem permite a dobragem continua da matéria prima e visa a mudança de forma do componente e não da sua seção transversal. As máquinas ferramentas que permitem este tipo de operação denominam-se calandras e são formadas em sua maioria por um conjunto de três rolos (Rodrigues & Martins, 2010). São dois rolos fixos e um rolo móvel, sendo que o fixo apenas gira enquanto que o móvel além de girar pode ser movimentado para cima e para baixo, conforme mostra Figura 1. Assim, o raio de curvatura varia de acordo com a distância entre rolos (EBAH).

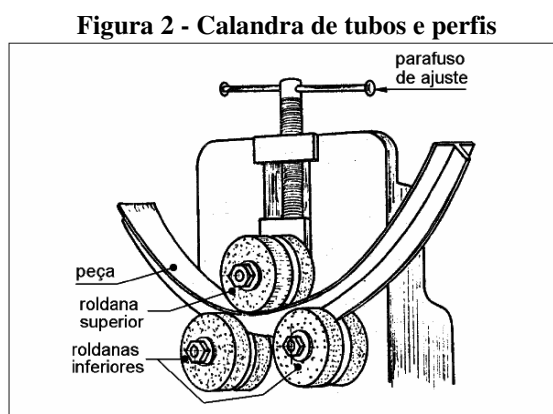
**Figura 1 - Posição dos rolos de uma calandra**



Fonte: EBAH

### 2.2.1 CALANDRAS PARA TUBOS E PERFIS

A calandra para tubos e perfis apresentam conjuntos de rolos ou cilindros sobrepostos com aproximadamente 200 mm de diâmetro. Podem curvar qualquer tipo de perfil: tubos, barras, cantoneiras, perfil em T, etc (EBAH). Ver Figura 2.

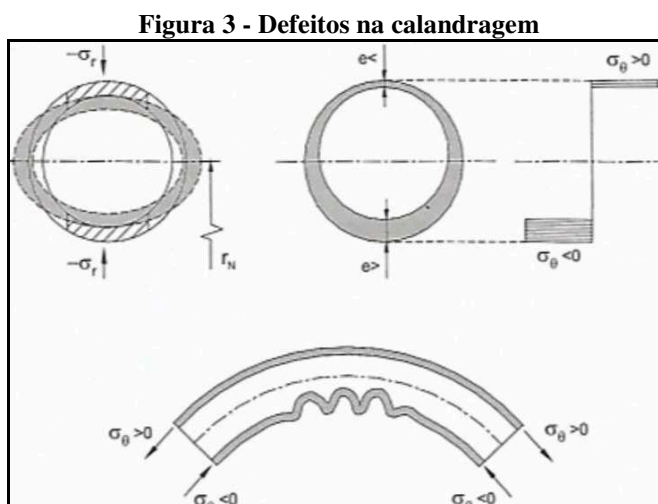


Fonte: EBAH

Quanto ao seu acionamento, as calandras podem ser manuais ou mecânicas. As manuais possuem um volante ou manivela para fazer o giro dos rolos. As mecânicas possuem um motor elétrico e redutor para movimentar os rolos (EBAH).

### 2.2.2 DEFEITOS NA CALANDRAGEM

Os defeitos característicos da calandragem de tubos são: ovalização, variações na espessura e enrugamento da parede inferior do tubo (Rodrigues & Martins, 2010), conforme mostra Figura 3. Para este Trabalho de Graduação estudaremos a ovalização, suas causas e possíveis minimizações deste defeito que é inerente a este processo de conformação plástica.



Fonte: Rodrigues & Martins, 2010

## 2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS DE ALUMÍNIO

### 2.3.1 ESTRUTURA COM MÓDULO CIRCULAR

Alguns dos fatores que faz com que o alumínio seja amplamente usado em estruturas de eventos é por ser um material leve e de boa durabilidade e resistência (JUST Estruturas). Estas estruturas, por possuir peças intercambiáveis, são de montagem e desmontagem rápida e prática (JUST Estruturas).

As Figuras 4 e 5 mostram estruturas com módulos circulares, fazendo com que a estrutura fique com aspecto circular.

**Figura 4 - Estrutura para evento com módulos circulares**



Fonte: UNITAU

**Figura 5 - Estrutura para evento com módulos circulares**

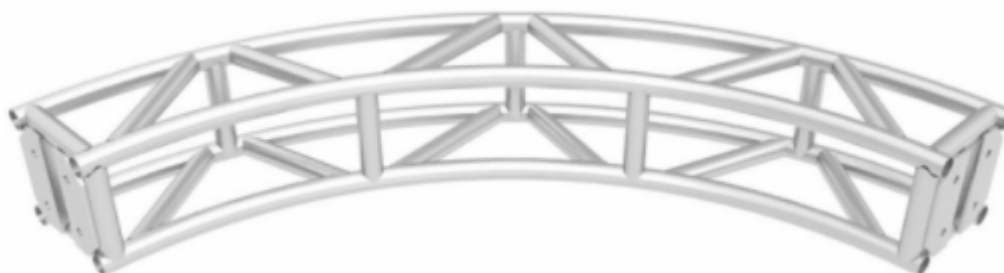


**Fonte: CICTED 2017, 2017, 1:41**

### 2.3.2 APLICAÇÃO DA CALANDRAGEM NA ESTRUTURA

A calandragem só é utilizada em casos de estruturas com aspectos circulares. A aplicação de peças calandradas numa estrutura se dá na soldagem em módulos circulares treliçados, conforme Figura 6.

**Figura 6 - Módulo circular**



**Fonte: Hiveminer**

### 3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa abrange uma grande quantidade de itens, sendo eles: método de abordagem, métodos de procedimento, técnicas, delimitação do universo, tipo de amostragem e tratamento estatístico (Lakatos & Marconi, 1995).

Usaremos o método indutivo para descrevermos este estudo de casos, utilizando a técnica de observação por meio de coleta de dados das amostras obtidas.

Sendo assim, o trabalho terá início com o estudo do processo de fabricação de coberturas para estruturas metálicas de alumínio para eventos, fabricado em uma empresa metalúrgica, nas etapas de conformação plástica dos materiais.

Será descrita as fases de mudanças de formas do material através de máquinas de calandragem de perfis considerando a matéria prima de entrada e perfil conformado em cada fase do processo. A partir de então será feita a revisão bibliográfica, buscando o que há de melhor em relação a fontes de pesquisa que melhor se adéquem ao estudo de caso em questão.

Após a fase de estudo do processo de fabricação e seleção de material para pesquisa, serão realizadas coleta de dados obtidos na empresa Alutent descrevendo, através de desenhos do produto, as fases de transformação da matéria prima no produto final conformado. Vale ressaltar que a empresa não apresentará qualquer problema no fornecimento dos dados, o que facilitará os cumprimentos objetivos do trabalho. Esta será uma das principais etapas, pois será o momento que se poderá chegar a conclusões sobre a importância do processo de conformação plástica na fabricação de muitos produtos do mercado e também observando as causas dos problemas encontrados na fabricação e as possíveis soluções adotadas no processo.

#### 3.1 MÁQUINA

A máquina selecionada é uma calandra de perfil motorizada conforme mostra a Figura 7.

- Modelo: Calandra Motorizada K3 Eco (Curvador de Tubo) para fazer curvaturas raiadas em perfis e ou tubos
- Potência: Motor de 1.44/2.0 CV Trifásico 220/380 Volts com motoredutor acoplado
- Diâmetro do eixo principal: 35 mm
- Diâmetro do rolo: 120 mm
- Tubo de flexão máxima: 88,9 mm

- Velocidade: 21 RPM
- Comprimento do eixo: 110 mm

**Figura 7 - Calandra de perfil motorizada**



**Fonte: Montmaquinas**

### **3.2 SELEÇÃO DO MATERIAL**

O material escolhido necessariamente precisa ter como característica uma boa conformabilidade, pois será calandrado, mas também uma alta resistência mecânica, pois a peça em questão faz parte de uma estrutura de alumínio para eventos.

Sendo assim, conforme já descrito no tópico 2.1.3, o alumínio liga 6351 é o escolhido, pois cita em suas aplicações na tabela 1 como sendo aplicado para fabricação de estruturas, tendo boa conformabilidade, alta resistência mecânica, que neste caso é imprescindível ser tratado termicamente, ver tópico 2.1.5 e 2.1.6, pois após o processo de conformação plástica o tubo é soldado em outras peças para formar o conjunto de treliças, formando assim o módulo circular, o qual sofre esforços mecânicos ao longo do seu perfil.

### 3.3 CORTE DO TUBO ANTES DA CALANDRAGEM

O corte do tubo necessita ter pelo menos 150mm a mais no comprimento em cada ponta, pois as pontas não conformam por causa da distância entre os rolos da calandra, fazendo com que perca material no final da calandragem.

### 3.4 CALANDRAGEM DO TUBO

Inicia-se o processo de calandragem posicionando o tubo nas roldanas, conforme Figura 8.

**Figura 8 - Primeira etapa da calandragem**



**Fonte: LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3, 2015, 0:08**

Em seguida liga-se a máquina e ajusta o aperto no rolo móvel, conforme demonstrado na Figura 9.

**Figura 9 - Segunda etapa da calandragem**



**Fonte: LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3, 2015, 0:13**

Aguarda-se a passagem de todo o tubo na calandra, observando sempre o alinhamento. Ver Figura 10.

**Figura 10 - Terceira etapa da calandragem**



**Fonte: LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3, 2015, 0:19**

Após a passagem completa do tubo, desliga-se a calandra, conforme demonstra Figura 11.



**Figura 11 - Quarta etapa da calandragem**



Fonte: LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3, 2015, 0:31

Na Figura 12 observamos que aperta-se o ajuste de altura do rolo superior novamente conforme necessidade.

**Figura 12 - Quinta etapa da calandragem**



Fonte: LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3, 2015, 0:33

Liga-se a calandra novamente, mas com rotação inversa, fazendo com que o tubo retorne o processo.

Repete-se este procedimento várias vezes até que o tubo esteja com o raio descrito no projeto.

Após estas etapas cumpridas o tubo segue para o corte das pontas.

### 3.5 CORTE FINAL DO TUBO

O corte final do tubo se dá para que seja eliminada a parte da ponta do tubo que amassa por causa da distância do entre centros dos rolos. Após este corte o tubo é enviado para lavagem e depois para a soldagem das treliças formando assim o módulo circular.

### 3.6 INSTRUMENTO UTILIZADO

É necessário coletar as medidas para obter os resultados e neste caso o instrumento utilizado para este procedimento é um paquímetro universal.

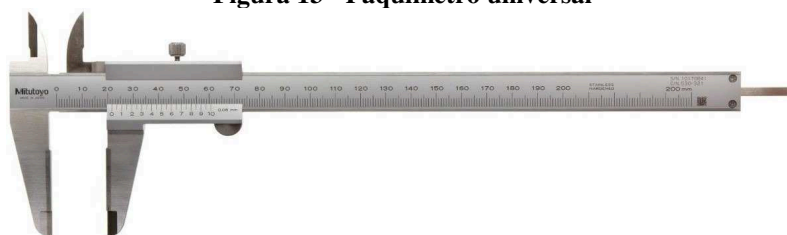
#### 3.6.1 PAQUÍMETRO UNIVERSAL

O paquímetro é um instrumento utilizado para medir dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça. Como mostra Figura 13, consiste em uma régua graduada com encosto fixo sobre a qual desliza um cursor. São fabricados normalmente em aço inoxidável e suas superfícies são planas e polidas (Telecurso 2000).

O cursor ajusta-se à régua permitindo sua livre movimentação, com um mínimo de folga. Dotado de uma escala auxiliar, permite a leitura de frações de menor divisão em conjunto com a escala fixa (Telecurso 2000).

Segundo a aula de número quatro do Telecurso 2000 – Metrologia, os paquímetros mais utilizados possuem resoluções de 0,05mm e 0,02mm no sistema métrico.

**Figura 13 - Paquímetro universal**

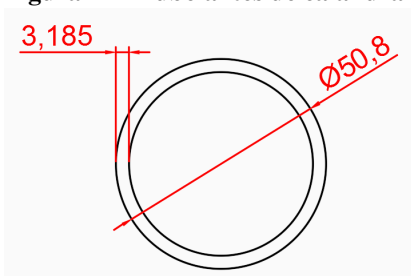


**Fonte: Mlstatic**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

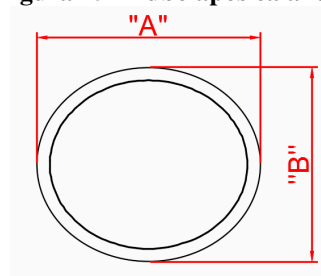
Utilizando um paquímetro de 200mm com resolução de 0,02mm, foram coletadas as medidas de quatro tubos calandrados de diâmetro de 50,8mm com espessura de 3,185mm conforme mostra Figura 14. Os dados estão demonstrados na Tabela 2 usando a Figura 15 como referência das cotas "A" e "B".

**Figura 14 - Tubo antes de calandrar**



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 15 - Tubo após calandrar**



Fonte: Elaborado pelo autor

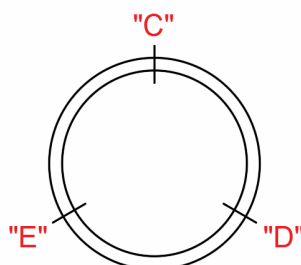
**Tabela 2 - Medidas encontradas no diâmetro**

	Raio aproximado 2300mm			Raio aproximado 2000mm	
	Medida "A"	Medida "B"		Medida "A"	Medida "B"
Tubo 01	Ø51,90mm	Ø49,60mm	Tubo 03	Ø51,92mm	Ø49,36mm
Tubo 02	Ø51,82mm	Ø49,54mm	Tubo 04	Ø52,04mm	Ø49,38mm

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando o mesmo paquímetro, foram coletadas as medidas da espessura nos tubos em três posições, conforme mostra Figura 16, e mostradas na Tabela 3.

**Figura 16 - Posição de medidas da espessura**



Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 3 - Medidas encontradas na espessura**

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4
Ponto "C"	3,20mm	3,10mm	3,10mm	3,08mm
Ponto "D"	3,20mm	3,14mm	3,16mm	3,20mm
Ponto "E"	3,18mm	3,14mm	3,18mm	3,20mm

**Fonte: Elaborado pelo autor**

A ovalização foi levada ao conhecimento do Departamento de Engenharia da empresa e o questionamento foi se este defeito geraria algum problema estrutural a ponto de afetar a capacidade de carga da estrutura ou cobertura. A resposta obtida foi que a ovalização é inerente ao processo e que não gera impacto na capacidade da estrutura, sendo que a segurança fornecida pelos cálculos estruturais não é afetada.

Através da coleta de dados descritos na Tabela 3 foi comprovado que não houve variação significativa na espessura, sendo que a pequena variação encontrada pode ser inerente ao processo de extrusão do próprio material. Como uma das bases para os cálculos estruturais é a espessura do material, fica comprovado que os tubos calandrados em questão estão dentro dos requisitos por não haver discrepância na espessura.

Outra discussão foi sobre como minimizar o defeito de ovalização e, segundo Mauro Barbosa, funcionário que trabalha com calandragem na empresa e que tem um vasto conhecimento sobre o assunto, a ovalização é mais significativa em tubos com raios menores, conforme prova Tabela 2, e para minimizar este defeito é necessário trocar as roldanas de nylon da calandra periodicamente, pois as mesmas sofrem desgastes pelo uso contínuo. Uma alternativa seria usar roldanas de aço porém os tubos ficariam com marcas necessitando de acabamento após a calandragem, gerando ainda mais tempo no processo de fabricação dos tubos.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste Trabalho de Graduação possibilitou a análise de como a ovalização de tubos afetaria um módulo circular de uma estrutura de alumínio para eventos. Além disso, também permitiu uma pesquisa bibliográfica e coleta de dados mais consistente das etapas do processo de conformação.

De um modo geral, o defeito em questão é inerente ao processo, podendo ser mais ou menos acentuado, ficando a critério do líder do projeto analisar se está ou não dentro dos limites aceitáveis.

Ao coletar os dados na empresa, ficou comprovado a ovalização e que é diretamente relacionado com o raio do tubo a ser calandrado, quanto maior o raio menor será a ovalização e quanto menor o raio maior será a ovalização. E neste caso a espessura não variou, cooperando para a comprovação de que os cálculos estruturais de um módulo circular não são afetados pelo processo de calandragem.

Verificou-se também que a ovalização pode ser minimizada ajustando os rolos de nylon, diminuindo as folgas, e se necessário trocá-los com periodicidade, pois com o uso contínuo acabam se desgastando fazendo com que a ovalização aumente.

Dada a importância da aplicação de calandragem de tubos para fabricação de estruturas para eventos, torna-se necessário o desenvolvimento de novas formas de trabalho que minimizem a ovalização e até mesmo que otimizem o processo por ser um tanto demorado.

Conclui-se que apesar dos tubos calandrados ovalizarem não afeta na resistência dos módulos circulares que fazem parte da estrutura de alumínio. Sendo assim podemos ficar tranquilos quanto a segurança de um evento que tenha este tipo de cobertura circular.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira do Alumínio (2007). **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. São Paulo: ABAL

Shockmetais. **Principais Ligas, Formatos, Características e Aplicações do Alumínio**. Disponível em: <http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/aluminio/plig>. Acesso em: (24/08/2017 20:05)

ALCOA. **Ligas e Têmperas de Extrusão**. Disponível em: [http://www.aluminiosajose.com.br/industria/10\\_ligasetemperas.pdf](http://www.aluminiosajose.com.br/industria/10_ligasetemperas.pdf). Acesso em: (13/11/2017 12:50)

Rodrigues, J., & Martins, P. (2010). **Tecnologia Mecânica**. Tecnologia de Deformação Plástica. Vol. II - Aplicações industriais. Lisboa: Escolar Editora.

EBAH. **Notas Aula de Fabricação**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfXyYAK/notas-aula-fabricacao> Acesso em: (24/10/2017 13:03)

JUST Estruturas em Alumínio. **Box Truss. Versatilidade e Modernidade em Projetos Especiais**. Disponível em: <http://justestruturas.com.br/boxtruss.html> Acesso em: (14/11/2017 12:39)

JUST Estruturas em Alumínio. **Empresa**. Disponível em: <http://justestruturas.com.br/empresa.html>. Acesso em: (14/11/2017 12:44)

UNITAU. **Feira de Profissões Espera Mais de 3 mil Estudantes**. Disponível em: <http://web.unitau.br/noticias/2017/09/15/feira-de-profissoes-espera-mais-de-3-mil-visitantes/>. Acesso em: (20/10/2017 20:46)

TVUNITAU. **CICTED 2017**. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=q\\_n5ORcou6Y](https://www.youtube.com/watch?v=q_n5ORcou6Y). Acesso em: (20/10/2017)

HIVEMINER. **30 alumínio box boxtruss brasiltruss q truss**. Disponível em: <https://hiveminer.com/Tags/30,boxtruss/Recent> Acesso em: (19/10/2017 21:48)

Lakatos, E. M., & Marconi, M. d. (1995). **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas.

MONT MÁQUINAS. **Calandra Motorizada K3 Eco**. Disponível em: <http://www.montmaquinas.com.br/maquinas-novas/calandra-motorizada/calandra-motorizada-k3-eco/>. Acesso em: (19/10/2017 21:23)

LRMAQUINAS. **LR Máquinas - Calandra de Tubos - LRCT-3**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5WYMiE7mA64>. Acesso em: (19/10/2017 21:31)

Telecurso 2000 Profissionalizante. **Mecânica Metrologia**. São Paulo: Globo S.A.

MLSTATIC. Disponível em: [https://http2.mlstatic.com/paquimetro-mitutoyo-530-321-0-200mm-D\\_NQ\\_NP\\_994101-MLB20278974571\\_042015-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/paquimetro-mitutoyo-530-321-0-200mm-D_NQ_NP_994101-MLB20278974571_042015-F.jpg). Acesso em: (01/11/2017 18:54)