

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

**RAPHAEL RIBEIRO CORREA RODRIGUES  
JOÃO GABRIEL CORREA**

**PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM COMPONENTE DA  
CAVERNA PARA UMA CÉLULA DA CENTRAL DE FUSELAGEM  
III**

São José dos Campos  
2024

**RAPHAEL RIBEIRO CORREA RODRIGUES  
JOÃO GABRIEL CORREA**

**PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM COMPONENTE DA  
CAVERNA PARA UMA CÉLULA DA CENTRAL DE FUSELAGEM  
III**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção de Aeronaves (Célula).

**Orientador Interno ou Orientador: Prof. Me. Edmar de Queiroz Figueiredo**

São José dos Campos  
2024

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

RODRIGUES, Raphael Ribeiro Corrêa  
 TEIXEIRA, João Gabriel Correa  
 Processo de fabricação de um componente da caverna para uma célula da Central de Fuselagem  
 III. / Raphael Ribeiro Corrêa Rodrigues; João Gabriel Corrêa Teixeira - São José dos Campos, 2024.

41f.

Trabalho de conclusão de curso ( Curso Superior de Manutenção de Aeronaves ) – Faculdade de  
 Tecnologia de São José dos Campos “Professor Jessen Vidal”.

Orientador: Prof. Edmar de Queiroz Figueiredo.

1. Manutenção. 2. Manufatura. 3. Processos. I. Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos  
 “Professor Jessen Vidal”. II. Título

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

RODRIGUES, Raphael Ribeiro Corrêa; TEIXEIRA, João Gabriel Corrêa.  
**Processo de fabricação de um componente da caverna para uma célula da Central de  
 Fuselagem III.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso ( Curso Superior de Manutenção de  
 Aeronaves ) – Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos “Professor Jessen Vidal”,  
 São José dos Campos, 2024.

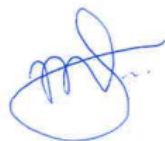
**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME(S) DO(S) AUTOR(ES): Raphael Ribeiro Corrêa Rodrigues; João Gabriel Corrêa  
 Teixeira

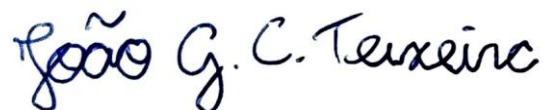
TÍTULO DO TRABALHO: Processo De Fabricação de Um Componente da Caverna Para  
 Uma Célula da Central De Fuselagem III.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação/2024.

É concedida à FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal permissão para  
 reproduzir cópias deste Trabalho e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos  
 acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste  
 Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Raphael Ribeiro Corrêa Rodrigues  
 Rua Matão, 41, Jd das Indústrias  
 12240-240, São José dos Campos – São Paulo



João Gabriel Corrêa Teixeira  
 Rua Paulo Venâncio de Paiva, 223, Jd Itapuã  
 12247-400, São José dos Campos – São Paulo

**RAPHAEL RIBEIRO CORRÊA RODRIGUES  
JOÃO GABRIEL CORRÊA**

**PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM COMPONENTE DA  
CAVERNA PARA UMA CÉLULA DA CENTRAL DE  
FUSELAGEM III**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção de Aeronaves (Célula).



**Professor Me. Edmar de Queiroz Figueiredo – FATEC/SJC  
(Orientador)**



**Professor Dr. Joares Lidovino dos Reis – FATEC/SJC  
(Componente da Banca)**



**Prof. Gerson Carlos Favalli – FATEC/SJC  
(Componente da Banca)**

**02/07/2024**

**DATA DA APROVAÇÃO**

## **AGRADECIMENTOS**

Caro Prof. Edmar de Queiroz Figueiredo,

Gostaríamos de expressar nossa gratidão pelo seu apoio e colaboração em relação ao nosso projeto. Graças às suas aulas que nos despertou a ideia que se tornou uma grande paixão e motivação para nossa equipe.

Desde o momento em que compartilhamos nosso projeto com o senhor, percebemos seu entusiasmo e interesse genuíno em nos ajudar a desenvolvê-lo. Suas sugestões e orientações foram inestimáveis para aprimorar meu trabalho e superar os desafios que enfrentamos.

Além disso, sua confiança em nós e em nossa capacidade de levar o projeto adiante foram fundamentais para que nos sentíssemos motivados e confiantes. Sua paciência, encorajamento e incentivo nos inspiraram a continuar trabalhando com dedicação e comprometimento.

Com sinceridade e gratidão.

## RESUMO

Neste trabalho de graduação, aborda-se processo de fabricação de um componente da caverna para uma célula da central de fuselagem III (CF III), localizada pelas cavernas (Frame) 74/75 (Figura 6), feitas de chapa de alumínio Alclad 7475 com 1,5 mm de espessura, reforçadores (Stringers) em perfil Z 28 e 29 (Figura 7), chapa de alumínio extrudado (AL 7050) com 2,2 mm de espessura, revestimento (Skin) em chapa de alumínio Alclad 2524 laminado com 2,2 mm de espessura, Shear-Clip 1, Shear-Clip 2, Shear-Clip 3, chapa de alumínio laminado 2024, com 1,5 mm de espessura. O material escolhido para utilização na conformação deste trabalho de graduação é a chapa de alumínio laminado 1100 T.H14 2,00x1,00x0,8 mm com especificações no anexo A. A Célula da Fuselagem Traseira III utilizada para estudo encontra-se na oficina da Fatec Professor Jessen Vidal, onde é utilizada para prática de oficina nos processos de fabricação e manufatura. Contribui-se para o estudo com a utilização de tacos conformadores para a fabricação de cavernas com dupla curvatura, diferente da caverna com uma curvatura utilizada no processo atual, (Figura 1). Esses processos são fundamentais para garantir a qualidade e a integridade estrutural das peças conformadas.

**Palavras-Chave:** Fabricação; gabaritos; tacos conformadores; conformação a frio.

## ABSTRACT

In this graduation work, the process of fabrication and assembly of a Fuselage Cell III (CF III) will be addressed, located by caverns 74/75 (Figure 6), made of ALCLAD 7475 (FORGED) aluminum sheet with 1.5mm thickness, Stringers in Z profile 28 and 29 (Figure 7), EXTRUDED ALUMINUM SHEET (AL 7050) with 2.2mm thickness, Skin in aluminum sheet LAMINATED ALUMINUM SHEET ALCLAD 2524 with 2.2mm thickness, Shear-Clip 1, Shear-Clip 2, Shear-Clip 3, LAMINATED ALUMINUM SHEET 2024, 1.5mm thick. The material chosen for use in the conformation of this work is the LAMINATED ALUMINUM SHEET 1100 T.HI4 2.00x1.00x0.8mm with specifications in annex 1. The Rear Fuselage Cell III used for the study is located in the workshop of Fatec Professor Jessen Vidal, where it is used for workshop practice in the Manufacturing and Manufacturing Processes. Our contribution to the study is the use of conformal cues for the manufacture of caves with double curvature, different from the cave with one curvature used in the current process (Figure 1). These processes are critical to ensuring the quality and structural integrity of the formed parts.

**Keywords:** Manufacturing; templates; shaping blocks; cold conformation

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fuselagem central III - Estrutura .....	12
<b>Figura 2.</b> Exemplo de Estruturas .....	12
<b>Figura 3.</b> Célula da CFIII usada para reprodução.....	13
<b>Figura 4.</b> Stringer 78/79 utilizado para reproduzir .....	13
<b>Figura 5.</b> Painel.....	14
<b>Figura 6.</b> Reforçador.....	15
<b>Figura 7.</b> Cavernas.....	15
<b>Figura 8.</b> Shear Clip.....	16
<b>Figura 10.</b> Rebitadeira Manual e Rebites comum .....	18
<b>Figura 10.</b> Martetele Pneumático .....	19
<b>Figura 11.</b> Rebite Aeronáutico .....	19
<b>Figura 12.</b> Taco Conformador da Caverna (Taco e contra taco).....	20
<b>Figura 13.</b> Chapa Metálica Usinada .....	21
<b>Figura 14.</b> Broca .....	21
<b>Figura 15.</b> Conformação a Frio .....	21
<b>Figura 16.</b> Cleco de Borda.....	22
<b>Figura 17.</b> Cleco de Furo e Alicate.....	22
<b>Figura 18.</b> Gabaritos (Chapelonas) de corte do blank .....	23
<b>Figura 19</b> Escopo da Célula Estrutural .....	25
<b>Figura 20.</b> Caverna em 2D.....	26
<b>Figura 21.</b> Raio do Taco .....	26
<b>Figura 22.</b> Primeira Caverna Produzida Com Dupla Curvatura.....	27
<b>Figura 23.</b> Conjunto Montado Com Uma Caverna de Curvatura Simples.....	27
<b>Figura 24.</b> Conjunto Montado Com Uma Caverna de Dupla Curvatura.....	27
<b>Figura 25.</b> Caverna Inicial com Curvatura Simples .....	28
<b>Figura 26.</b> Caverna com Dupla Curvatura.....	28
<b>Figura 27.</b> Data Sheet Alumínio 1100.....	33
<b>Figura 28.</b> Ficha de Fabricação .....	34
<b>Figura 29.</b> Ficha de Instrução (Cont).....	35
<b>Figura 30.</b> Ficha de Instrução- Fabricação .....	36
<b>Figura 31.</b> Ficha de Instrução-Fabricação .....	37
<b>Figura 32.</b> Ficha de Instrução-Fabricação .....	38
<b>Figura 33.</b> Ficha de Instrução- Relação de Ferramentas .....	39
<b>Figura 34.</b> Ficha de Instrução- Relação de Ferramentas .....	40



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CF III – Central de Fuselagem Traseira 3

## LISTA DE SÍMBOLOS

Rt	Raio Total
Rr	Raio Real
e	Espessura
D	Diâmetro
$\pi$	Pi

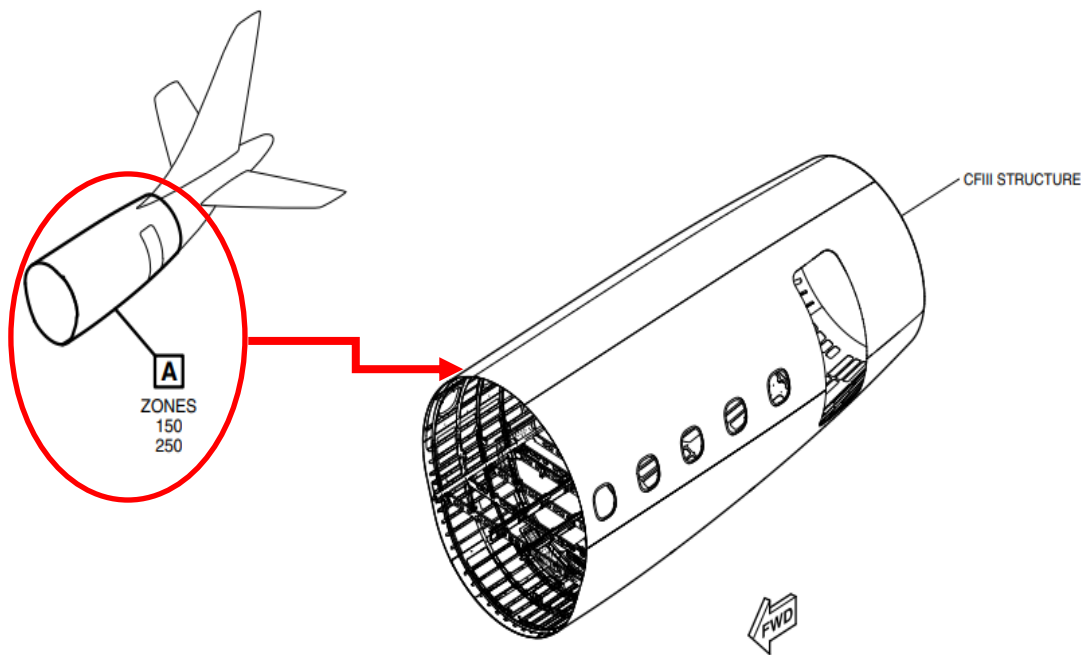
## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. Objetivo Geral .....	16
1.2. Objetivos Específicos .....	16
1.3. Proposta Metodológica .....	17
1.4. Conteúdo do Trabalho .....	17
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Rebitagem .....	18
2.1.3 Tacos Conformadores .....	19
2.1.4 Usinagem .....	20
2.1.5 Conformação a Frio .....	21
2.1.6 Clecós .....	22
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
3.1 Análise .....	22
3.2 Escopo.....	23
3.2.1 Processos.....	23
3.2.2 Tipos de Gabaritos .....	23
3.2.3 Conformação a Frio com Tacos Conformadores .....	23
3.3 Coleta de Dados .....	24
3.3.1 Pesquisa Bibliográfica .....	24
3.3.2 Entrevistas e Consultas a Especialistas.....	24
3.3.3 Observações Práticas .....	24
3.4 Enfoque Experimental .....	24
3.4.1 Configuração Experimental .....	24
3.4.1.1 Equipamentos e Instrumentação: .....	24
3.5 Procedimento Experimental.....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>29</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
REFERÊNCIAS .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>ANEXO A: Data Sheet .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE A: Folha de Processo .....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A CF III é uma parte da estrutura da fuselagem das aeronaves da família 190/195 E1 e E2 da Embraer representada na Figura 2:

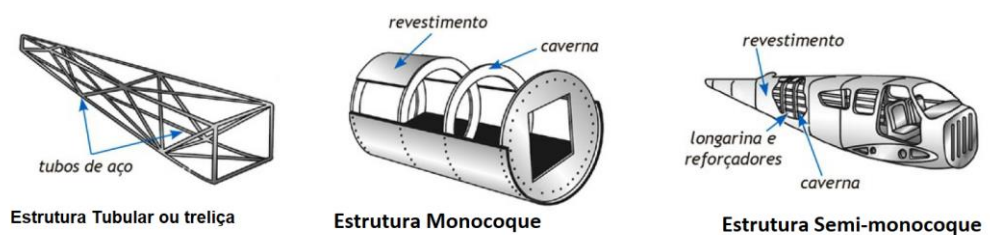
**Figura 1. Fuselagem central III - Estrutura**



Fonte: Center Fuselage III EMB REF [2]

A CF III possui uma estrutura semi-monocoque de seção transversal de bolha dupla que se estende do frame 74 ao frame 90. A estrutura CF III consiste em skins reforçadas com longarinas transversais estruturais, vigas de piso longitudinais e transversais, suportes e estruturas de suporte para compartimentos superiores, sistemas e equipamentos, a Figura 3 exemplifica os tipos de estruturas.

**Figura 2. Exemplo de Estruturas**



Fonte <https://hangar.mma.com.br/glossary/glossary-categories/monocoque/>

Uma peculiaridade desta seção da estrutura é que inclui recortes com frames de reforço para a portas de passageiros e de serviço, recorte com moldura de reforço para porta de carga no lado direito (direito), cinco recortes com molduras de reforço para janelas de passageiros de cada lado, uma em cada duas frames.

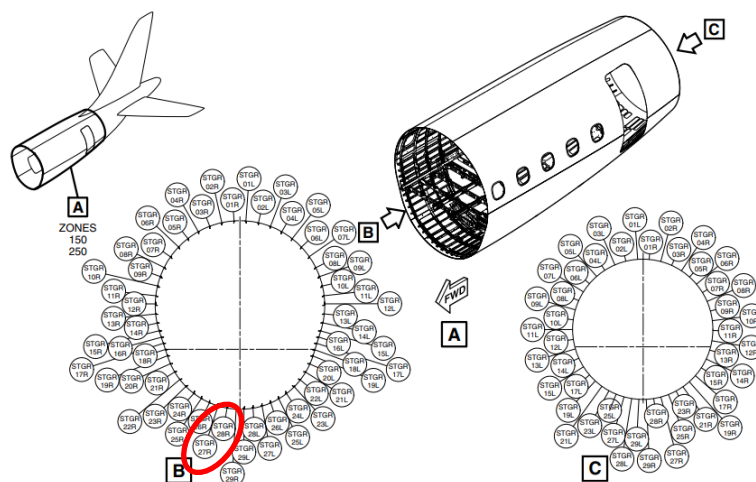
Na Fatec Jessen Vidal, essa CF III (Figura 4) é utilizada na disciplina prática de oficinas pelo Professor Edmar, onde os alunos praticam os processos de fabricação e montagem de uma das células com as cavernas (frames), revestimento (skin), reforçador (stringer), e shear-clips.

**Figura 3. Célula da CFIII usada para reprodução**



Fonte: Imagem real CFIII Fatec

**Figura 4. Stringer 78/79 utilizado para reproduzir**

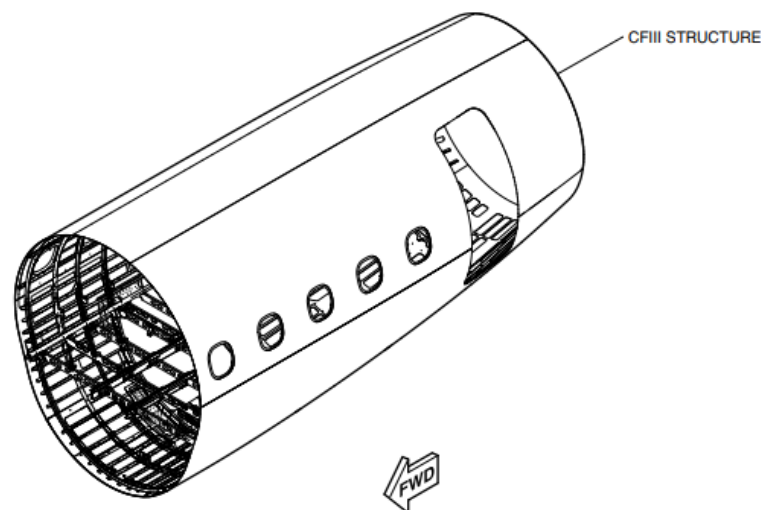


Fonte: Center Fuselage III EMB REF [1]

Nesse contexto, iremos replicar os métodos utilizados com o objetivo é fornecer uma visão geral do processo de fabricação de uma caverna conformada para a CF III. Neste trabalho de graduação será mencionado todos os procedimentos necessários para se ter uma conformação e montagem segura e eficiente, dito isso as práticas que serão adotadas foram pensadas para se obter um bom resultado, sem deixar de lado a segurança e a qualidade do produto. O planejamento segue uma linha onde a primeira fase é a fabricação do taco conformador. A segunda fase será destinada à escolha do material a ser conformado, onde depois que as peças forem feitas serão montados os subconjuntos. Com isso o objetivo deste trabalho de graduação é fornecer aos alunos um conhecimento sobre formas de fabricação e montagem e técnicas utilizadas para conformação a frio de material metálico usando tacos similar aos métodos amplamente usados na indústria para reparos. Este taco desenvolvido ficará disponível para futuros estudos ou aulas práticas. Para esse trabalho de graduação serão reproduzidos os itens:

- a) PAINEL, (Material utilizado EMB: CHAPA DE ALUMINIO FORJADA ALCLAD 2524).

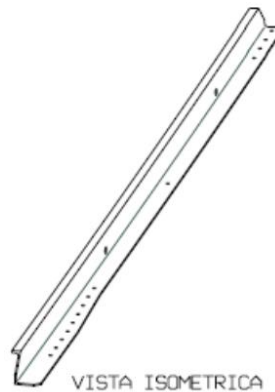
**Figura 5. Painel**



Fonte: Center Fuselage III EMB REF [1]

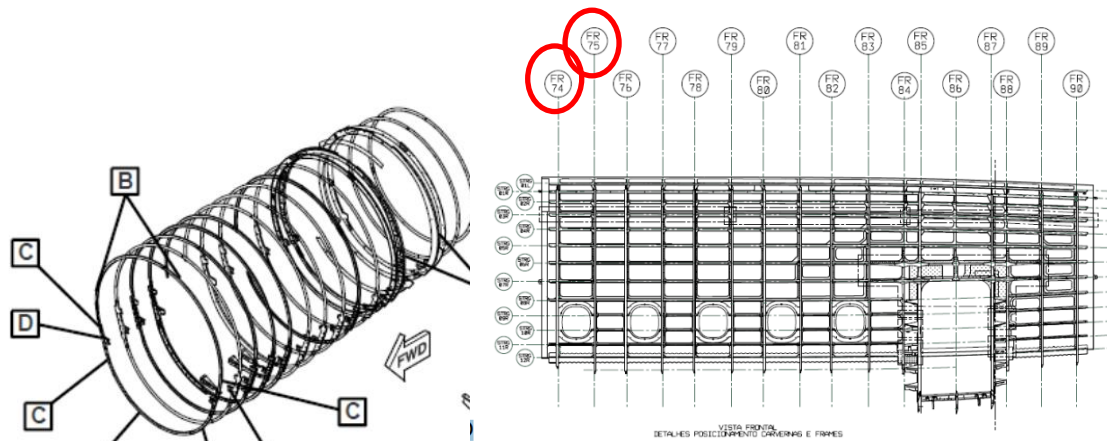
**Figura 6. Reforçador**

- b) REFORÇADORES EM PERFIL Z 28 e 29 (Figura 5), POSSUI FURO COORDENADO DE 2,7mm, (Material utilizado EMB: CHAPA DE ALUMÍNIO EXTRUDADO (AL 7050).)



Fonte: Center Fuselage III EMB REF [1]

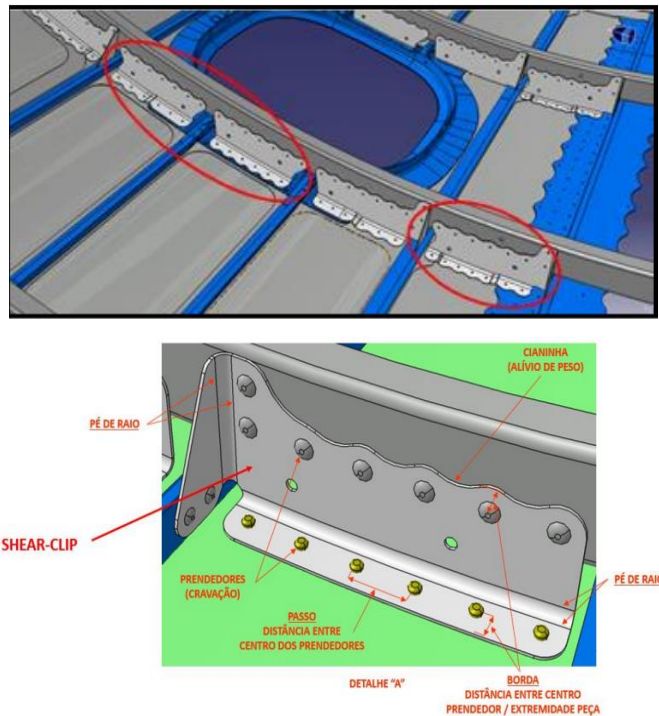
- c) CAVERNA COM DUPLA CURVATURA, (Material utilizado CHAPA DE ALUMINIO ALCLAD 7475).

**Figura 7. Cavernas**

Fonte: Center Fuselage III EMB REF [1]

- d) SHEAR CLIP COM SIANINHA (Alívio de peso), (Material utilizado CHAPA DE ALUMINIO ALCLAD 74575 (LAMINADA E DOBRADA))

**Figura 8. Shear Clip**



Fonte: Aatoria Própria

### 1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de graduação, é demonstrar de forma prática e didática, o processo de fabricação das cavernas curvadas similar as da CFIII com métodos de baixa complexibilidade.

### 1.2. Objetivos Específicos

Para a execução deste trabalho de graduação foram estabelecidos dois objetivos específicos:

Garantir a conformidade com os requisitos técnicos:

Dessa forma, o Processo de Fabricação e Montagem da CF III tem como objetivo garantir que todos os componentes fabricados sejam capazes de serem montados em conformidade com o processo utilizado.

Assegurar a qualidade dos produtos: A qualidade dos produtos é um dos principais objetivos do processo. Para isso, adotamos na fase de desenho, todas as dimensões utilizadas e tolerâncias que são determinadas em projeto.



### **1.3. Proposta Metodológica**

Revisão da Literatura: Foi utilizado para pesquisa REF [1] Embraer Center Fuselage III relacionado ao tema de estudo, onde coletamos os dados técnicos reais, tendo como experiência de profissionais da Digex Mro e Akaer Engenharia que nos auxiliaram durante os desenvolvimentos deste processo de fabricação usado neste trabalho de graduação.

Utilizamos as imagens reais do manual da Embraer e da estrutura da célula física para definir claramente o modelo abordado no tema.

A metodologia usada neste trabalho de graduação foi a seguinte:

Pesquisa bibliográfica: Foram analisados os diferentes tipos de tacos conformadores utilizados, os meios de fabricação empregados e sua produção.

Estudo prático: Foi realizado dobras de chapas através de tacos de conformação a frio e manual, metodologia essa utilizada com frequência nos meios de manutenção de estruturas aeronáuticas.

Análise dos resultados: Foram discutidos os pontos positivos e negativos do processo de fabricação da caverna e do taco conformador, assim como as melhorias que podem ser implementadas em futuros projetos.

### **1.4. Conteúdo do Trabalho**

O presente trabalho de graduação está estruturado em 4 Capítulos, cujo conteúdo é sucintamente apresentado a seguir:

No Capítulo 1 é feita a pesquisa dos processos, gabaritos, meios de fabricação, tacos conformadores.

O Capítulo 2 apresentamos o taco conformador para testes durante o processo e fabricamos a primeira caverna (componente com dupla curvatura).

No Capítulo 3 Produzimos duas cavernas de forma manual, através de um processo de fabricação utilizando tacos de conformação.

Com as cavernas fabricadas montamos uma célula da Central de Fuselagem III para fins didáticos, conforme processos de montagem definidos.

Finalmente, o Capítulo 4 apresenta as conclusões deste trabalho de graduação a partir da análise dos resultados obtidos na fabricação.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foram revistos textos que subsidiem os conhecimentos necessários ao entendimento do trabalho de graduação apresentado. Foram feitas diversas pesquisas na literatura específica envolvendo manuais técnicos e catálogos de fabricantes.

### 2.1.1 Rebitagem

A Rebitagem, um processo de montagem por fixações permanentes amplamente utilizado na indústria aeronáutica. Consiste em unir elementos através de rebites, que são pinos metálicos com uma haste cilíndrica. Após a realização da furação nos elementos a montar, o rebite é inserido no furo pelo corpo do rebite e, em seguida, a parte excedente do rebite é deformada através da rebitadeira (Figura 10) e então ela se rompe, fixando no furo somente a cabeça do rebite para união das chapas.

**Figura 9. Rebitadeira Manual e Rebites comum**



fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3524078993-rebitadeira-manual-licate-rebitador-95-4bicos-profissional-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3524078993-rebitadeira-manual-licate-rebitador-95-4bicos-profissional-_JM)

Os rebites aeronáuticos são fixados utilizando um martetele pneumático (Figura 10).

**Figura 10. Martetele Pneumático**



fonte: <https://www.masterferramentas.net/martelete-pneumatico-sc-221c-m7>

Esse processo de fixação é realizado por meio de deformação do rebite (Figura 11), que preenche toda a folga existente entre o furo e seu corpo, promovendo a fixação por atrito.

**Figura 11. Rebite Aeronáutico**



fonte: <https://www.amazon.com.br/Rebite-redonda-alum%C3%ADnio-reparar-aeronaves/dp/B09GNVLSQ5>

A rebiteagem pode ser executada a frio ou a quente. No processo de rebiteagem a frio, o rebite é inserido no furo à temperatura ambiente. Já na rebiteagem a quente, o rebite é inserido aquecido no furo, e após a contração do mesmo, há o aumento da força de fixação

### **2.1.3 Tacos Conformadores**

Os tacos conformadores (Figura 12) são ferramentas utilizadas para dar forma às peças durante a laminação manual. Eles são moldes de madeira, alumínio ou plástico, que são posicionados sobre a peça a ser conformada. Os tacos conformadores são produzidos a partir de um modelo que garante a peça a ser conformada de acordo com requisitos pré-estabelecidos.

**Figura 12. Taco Conformador da Caverna (Taco e contra taco)**



Fonte: Autoria própria

Os tacos são construídos de acordo com o projeto do componente da fuselagem e podem ser usados em vários componentes da fuselagem.

Eles são usados para dar forma às peças individuais que compõem a fuselagem e garantir que elas tenham o formato correto. Os tacos conformadores são usados em combinação com moldes e gabaritos para garantir que as peças tenham as dimensões e tolerâncias corretas.

Na produção de uma fuselagem de metal, os tacos conformadores são usados para dar forma às peças metálicas.

#### **2.1.4 Usinagem**

A usinagem de metais (Figura 13) é um processo de remoção de material por meio de ferramentas de corte, como brocas (Figura 14), lixas e fresas. Este processo é utilizado na fabricação de componentes metálicos da fuselagem, como suportes e conexões. Fresas e brocas: utilizadas para dar forma às peças.

**Figura 13. Chapa Metálica Usinada**



fonte: <https://www.highsolutions.com.br/o-uso-de-chapas-para-a-producao-de-pecas/>

**Figura 14. Broca**



fonte: <https://www.seventoolsferramentas.com.br/linha-de-corte/brocas/conicas/broca-aco-rapido-conica-26-5mm-hss>

### **2.1.5 Conformação a Frio**

A conformação a frio (Figura 15) é um processo no qual o metal é moldado em formas específicas sem ser aquecido. Este processo é utilizado na fabricação de componentes metálicos da fuselagem, como chapas e perfis.

**Figura 15. Conformação a Frio**



Fonte: Autoria Própria

### 2.1.6 Clecos

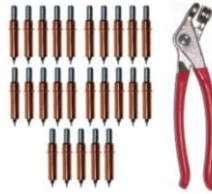
Cleco (Figuras 16 e 17) é uma ferramenta essencial em uma montagem de uma estrutura aeronáutica, pois ela faz a fixação provisória, permitindo um alinhamento correto para em seguida fazer a rebiteagem definitiva.

**Figura 16. Cleco de Borda**



fonte: <https://www.amazon.com.br/Conjunto-prendedores-lateral-Metal-Magery/dp/B08818XGZM>

**Figura 17. Cleco de Furo e Alicates**



fonte: <https://www.ubuy.com.br/pt/product/1DGDFWDY-boulderfly-25-pc-1-8-cleco-fasteners-with-cleco-pliers>

## 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentamos a metodologia experimental utilizados no desenvolvimento deste trabalho de graduação.

### 3.1 Análise

O desenvolvimento deste trabalho de graduação faz-se necessário analisar e otimizar os processos de fabricação e montagem de uma célula da Central de Fuselagem III com as cavernas com dupla curvatura, para substituição da caverna produzida atualmente com uma curvatura apenas com ênfase na eficiência elaboração de taco conformador para conformação a frio. Isso incluirá a investigação de métodos de fabricação, tecnologias de montagem, identificação de desafios comuns e a proposição de possíveis soluções para melhorias. O estudo busca contribuir para o conhecimento na área de engenharia aeronáutica

e fornecer informações práticas para a indústria aeroespacial, com isso desenvolvemos um gabarito para cortar o chapelona.

### **3.2 Escopo**

O escopo deste trabalho de graduação abrange a análise detalhada dos seguintes tópicos:

#### **3.2.1 Processos**

Investigamos os processos de fabricação e montagem de cavernas, com foco nas práticas e técnicas utilizadas, como moldes e tacos.

#### **3.2.2 Tipos de Gabaritos**

Analisamos os diferentes tipos de gabaritos empregados no processo de fabricação, incluindo máscaras, moldes e outros dispositivos, com base nos estudos desenvolvemos uma chapelona para riscar e cortar. A Figura 18 exemplifica o gabarito utilizado.

**Figura 18. Gabaritos (Chapelonas) de corte do blank**



Fonte: Aatoria Própria

#### **3.2.3 Conformação a Frio com Tacos Conformadores**

Exploramos as técnicas de conformação a frio, com diferentes tipos de liga de alumínio com e sem tratamento como T3, chapa O e sem tratamento nenhum, e como o uso de tacos conformadores em madeirite alemão são eficientes na produção de componentes ligas de alumínio com baixa dureza.

### **3.3 Coleta de Dados**

#### **3.3.1 Pesquisa Bibliográfica**

Realizamos uma extensa revisão da literatura técnica relacionada aos processos de componentes aeronáuticos, bem como à conformação a frio e ao uso de gabaritos, técnicas utilizadas e quais eram melhor empregadas para nossa conformação.

#### **3.3.2 Entrevistas e Consultas a Especialistas**

Conduzimos entrevistas com profissionais experientes da indústria aeroespacial, recebemos profissionais da Embraer, Akaer Engenharia, especialistas em reparos estruturais da Digex Mro e especialistas em processos de fabricação e montagem da Aernnova do Brasil que nos guiaram nos métodos que utilizados e técnicas específicas para conformação sem flambagem e sem variação do raio de dobra.

#### **3.3.3 Observações Práticas**

Foi participado de visitas técnicas a instalações relevantes para observar processos de fabricação e montagem como na Aernnova do Brasil, coletando informações em primeira mão sobre rebitagem, furação de estruturas com distância de borda, e na Akaer Engenharia onde nos ensinaram fórmulas em Excel para cálculo das dobras e considerações sobre maleabilidade do metal.

### **3.4 Enfoque Experimental**

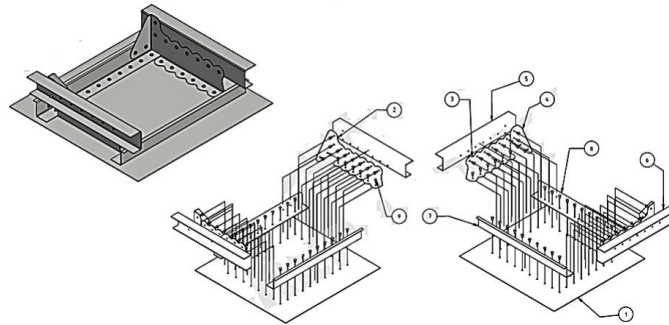
#### **3.4.1 Configuração Experimental**

##### **3.4.1.1 Equipamentos e Instrumentação:**

- a) Para a realização dos testes iniciais (Figura 19), foram utilizados os seguintes equipamentos e instrumentação:
- b) Chapa de Alumínio AL1100
- c) Tacos Conformadores, Macete/Martelo e Cunha de Madeira;
- d) Paquímetro e Régua;
- e) Furadeira, Lixa, Rebites e Rebitadeira Manual;
- f) Clecos, Alicates, Guilhotina Manual e Morsa



**Figura 19 Escopo da Célula Estrutural**



Fonte: Autoria Própria

### 3.5 Procedimento Experimental

Etapa 1: Com base em nossa ficha de processos (Apendice A), selecionamos o ferramental para preparação das peças e conformamos levando em consideração o seguinte Equação em relação a curvatura e o estiramento do alumínio:

Considerando que o gabarito possui uma largura de A+B+C (Figura 20) e realizamos duas dobras que comprimem e tracionam o material deve se calcular e o raio de cada dobra D.

A Equação 1 representa o Raio do taco + espessura da chapa = raio real

Raio real \* 2= diâmetro

Dobra de 90°= 4

A+B+C = 92mm

e =0,8mm

Rt = 1,23mm

Onde a espessura da chapa é uma variável do processo.

**Equação 1.**

$$Rt + e = Rr$$

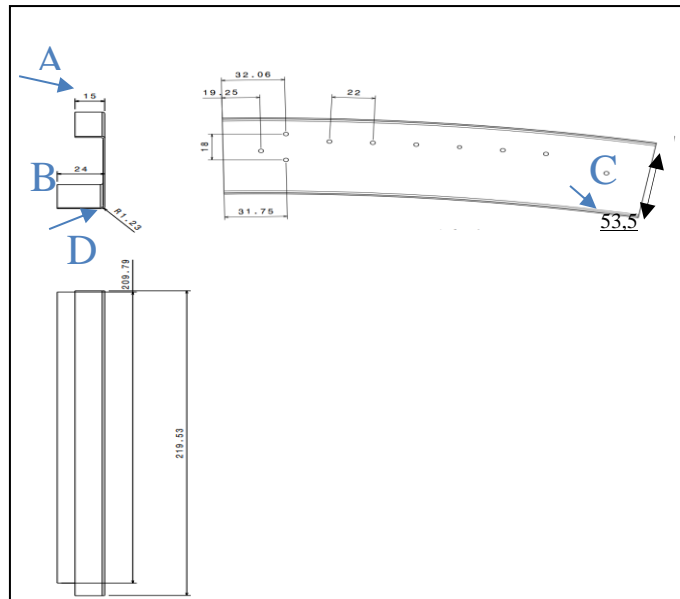
$$R_{r*2} = D$$

$$\frac{D*\pi}{4} = 3,18\text{mm}$$

Devemos acrescentar a largura da chapa para fazer o gabarito em 3,18mm para atingir no processo o resultado final estabelecido no desenho.

A 18+B 24+C 53,5 + 3,18=~ 99mm (+-1mm de tolerância)

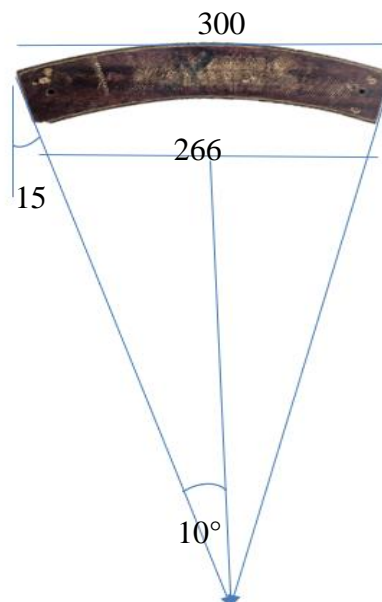
**Figura 20. Caverna em 2D**



Fonte: Aatoria Própria

Utilizamos para fabricação um taco com um raio de aproximadamente  $10^\circ$  (Figura 21), onde obtemos o resultado da primeira caverna conformada (Figura 22).

**Figura 21. Raio do Taco**



Fonte: Aatoria própria

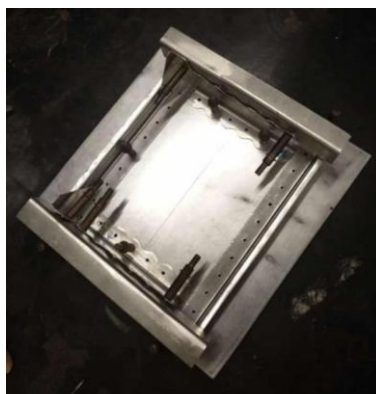
**Figura 22. Primeira Caverna Produzida Com Dupla Curvatura**



Fonte: Autoria própria

Etapa 2: Utilizamos uma célula similar ao da CFIII do 190/195 para demonstrar a montagem do conjunto com a caverna simples (Figura 23) feita atualmente no processo e a caverna com dupla curvatura (Figura 24).

**Figura 23. Conjunto Montado Com Uma Caverna de Curvatura Simples**



Fonte: Autoria própria

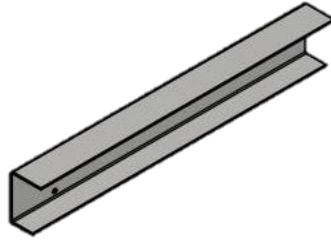
**Figura 24. Conjunto Montado Com Uma Caverna de Dupla Curvatura**



Fonte: Autoria própria

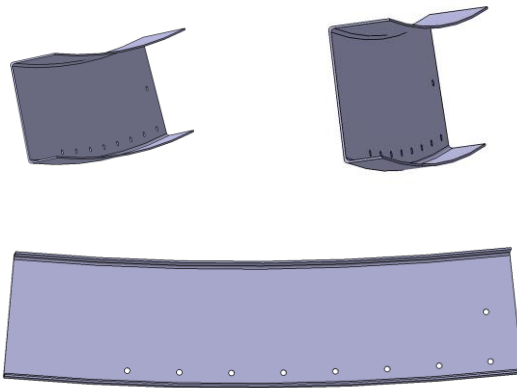
Na figura 24 acima observamos a imagem da caverna com dupla curvatura, na figura 25 abaixo observamos a imagem da caverna com curvatura simples.

**Figura 25. Caverna Inicial com Curvatura Simples**



Fonte: Autoria própria

**Figura 26. Caverna com Dupla Curvatura**



Fonte: Autoria própria

Acima reproduzimos em software Catia o 3D da caverna produzida (Figura 26)

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

No decorrer deste trabalho de graduação, demonstramos os processos utilizados para a produção de uma caverna com dupla curvatura similar ao da Central de Fuselagem III do Embraer 190-195. Ao final deste estudo, chegamos a várias conclusões importantes:

O uso de taco conformador de madeirite alemão para conformação manual obteve resultado satisfatório na produção da caverna com raio de  $10^\circ$ .

O alumínio 1100 se mostrou adequado para conformação das cavernas com dupla curvatura resultando em um produto coerente para uso em aulas de processo de fabricação de células da CFIII.

Observamos que o material usado tem como objetivo uso didático não sendo considerado critérios quanto a resistência mecânica.

O método de conformação usado é iniciado pelo pé do raio, com auxílio de um macete e cunha, curvando-se as abas com  $90^\circ$  mantendo a curvatura conforme o taco.

As chapelonas desenvolvidas proporcionaram ganho de tempo e precisão no processo de fabricação da caverna.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho de graduação, a metodologia utilizada em fabricação de componentes aeronáuticos de um componente da caverna similar à usada na CFIII do 190/195 de acordo com as respectivas especificações das cavernas 74/75 (Figura 21). Esta metodologia se mostrou adequada para as aulas práticas de processo de fabricação.

Ficou comprovado que conformação a frio utilizando os tacos conformadores são técnicas eficientes para a produção de componentes metálicos, proporcionando uma alternativa econômica e de fácil execução com o mínimo de recursos e ferramentas. Os resultados deste estudo têm um impacto significativo na melhoria do processo de fabricação e montagem de uma célula da Central de Fuselagem III para fins didáticos, onde é demonstrado a conformação de uma caverna a frio manualmente, usando alumínio 1100 e como o uso de gabaritos pode auxiliar no processo.

Concluimos com êxito a elaboração de roteiro de fabricação (Apêndice A) e a produção da caverna com dupla curvatura.

Observamos que o dimensionamento do Blanck foi compatível com as dimensões finais do produto conformado (caverna). Pesquisas futuras podem otimizar ainda mais o processo com o uso de prensa de borracha ou perfiladeira.

Em resumo, este trabalho de graduação fornece informações valiosas sobre os processos de fabricação da caverna com dupla curvatura, reparos e suas aplicações na indústria aeronáutica. Ele serve como um guia para estudantes e profissionais que desejam entender e aprimorar esses processos, contribuindo para o avanço contínuo da engenharia aeronáutica e da produção de componentes aeronáuticos de alta qualidade.

## REFERÊNCIAS

- ALLISON, D.O.; MINECK, R.E.** Aerodynamic characteristics and pressure distributions for an executive-jet baseline airfoil section. Washington, DC: NASA, 1993. 25 p. (NASA TM4529).
- ALVES, J. M.** Proposta de um Modelo Híbrido de Gestão da Produção: aplicação na indústria aeronáutica. 2001. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- ALVES FILHO, A. G.; CERRA, A. L.; MAIA, J. L.; SACOMANO NETO, M. e BONADIO, P. V. G.** Pressupostos da Gestão da Cadeia de Suprimentos: Evidências de Estudos sobre a Indústria Automobilística. G&P – Gestão & Produção. Vol. 11, n. 3, p. 275288, Set.-Dez. 2004.
- AMAZON.** 2024.Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Rebite-redonda-alum%C3%ADnio-reparar-aeronaves/dp/B09GNVLSQ5>. Acesso em: 4 set. 2023.
- AMAZON.** 2024.Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Conjunto-prendedores-lateral-Metal-Magery/dp/B08818XGZM>. Acesso em: 4 set. 2023.
- ANGERHOFER, B. J. e ANGELIDES, M. C.** A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. Science Direct - Decision Support Systems, Vol. 42, p. 283-301, 2006.
- BALLOU, R. H.** Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. São Paulo: Artmed, 2005
- BARROS, Adil J. P. LEHFELD, Neide A. S.** Projeto de pesquisa. Rio de janeiro
- BENJAAFAR, S.** Models for performance evaluation of flexibility in manufacturing systems. International Journal of Production Research, v. 32, 200
- EMBRAER** 190/195-Aircraft Maintenance Manual
- HGHSOLUTIONS.** 2024.Disponível em: <https://www.highsolutions.com.br/o-uso-de-chapas-para-a-producao-de-pecas/>. Acesso em: 4 set. 2023.
- JOHNSON, R.** (2009). Sheet Metal Handbook. HPBooks.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). Manufacturing Engineering and Technology. Pearson.
- LANGE, K.** (1996). Handbook of Metal Forming. McGraw-Hill.
- MASTER FERRAMENTAS.** 2024.Disponível em: <https://www.masterferramentas.net/martelete-pneumatico-sc-221c-m7>. Acesso em: 4 set. 2023.
- MERCADO LIVRE.** 2024.Disponível em: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3524078993-rebitadeira-manual-alicate-rebitador-95-4bicos-profissional-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3524078993-rebitadeira-manual-alicate-rebitador-95-4bicos-profissional-_JM). Acesso em: 4 set. 2023.

**SEVENTOOLS FERRAMENTAS.** 2024.Disponível em:  
<https://www.seventoolsferramentas.com.br/linha-de-corte/brocas/conicas/broca-aco-rapido-conica-26-5mm-hss>. Acesso em: 4 set. 2023.

**SING., N., RAJAMANI, D.** Cellular Manufacturing Systems: desing, Planning and Control, Chapman & Hall, Londres, 1996

**SOBRINHO, J. C. F.** Manutenção x Produtividade: a importância da gestão da manutenção para o aumento da produtividade em uma indústria de manufatura de madeira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Acesso em: 20 Out. de 2019

**TAKAHASHI, Y.; OSADA, T.** Manutenção produtiva total. São Paulo: Instituto IMAN, 1993

**UBUY.** 2024.Disponível em: <https://www.ubuy.com.br/pt/product/1DGDFWDY-boulderfly-25-pc-1-8-cleco-fasteners-with-cleco-pliers>. Acesso em: 4 set. 2023.

**UBUY.** 2024.Disponível em: <https://www.ubuy.com.br/pt/product/1DGDFWDY-boulderfly-25-pc-1-8-cleco-fasteners-with-cleco-pliers>. Acesso em: 4 set. 2023.

**WOMACK, J.P.; JONES, D.T.** A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Elsevier: Rio de Janeiro, 2004.

**ZILIO, S. D.** Modeling and verification of parallel processes. In: CASSEZ, Franck et al (Ed.). Mobile processes: a commented bibliography. New York: Springer-Verlag, 2001. p. 206-222. (Lectures Notes in Computer



Figura 27. Data Sheet Alumínio 1100


**IMPÉRIO DOS METAIS**
**ALUMÍNIO 1100**
**Descrição:**

Resistência mecânica baixa; Resistência à corrosão alta; Condutibilidade térmica e elétrica elevadas; Conformação mecânica fácil; Soldabilidade boa.

**Aplicação:**

Indicação: Estampagem; Utilização: Luminárias, tanques e cubas não estruturais nas indústrias químicas e alimentícias; Produtos empactados (tubos bisnaga e aerosol); Painéis decorativos; Utensílios domésticos; Peças estampadas; Aletas; Uso geral.

**Propriedades Químicas:**

<b>Cu</b>	0,05 - 0,20%
<b>Mn</b>	0,05 %
<b>Al</b>	99,00 %
<b>Si + Fe</b>	0,95 %
<b>Outros</b>	0,05 - 0,15%
<b>Zn</b>	0,10%

**Propriedades Físicas:**

**Condutibilidade Elétrica:** 56 % I.A.C.S  
**Condutibilidade Térmica:** 0,52 - 0,56 cal/cms°C  
**Densidade:** 2,71 g/cm<sup>3</sup>  
**Expansão Térmica:** 24x10<sup>-6</sup>x1/°C  
**Modulo de Elasticidade:** 64000 - 69000 Mpa  
**Ponto de Fusão:** 658°C

**Propriedades Mecânicas:**

**Limite de resistência:** 90 - 142 Mpa  
**Limite de escoamento:** 90 - 115 Mpa  
**Alongamento:** 3 - 9 %  
**Dureza:** 32 Brinell  
**Têmpera:** 1/2 D

Fonte: [https://www.imperiosmetais.com.br/pdf/download\\_ficha\\_tecnica/aluminio/1100.pdf](https://www.imperiosmetais.com.br/pdf/download_ficha_tecnica/aluminio/1100.pdf)

## APÊNDICE A: FOLHA DE PROCESSO

Figura 28. Ficha de Fabricação

<b>Fatec</b> Prof. Jessen Vidal São Jose dos Campos		<b>3.0 - ROTEIRO DE FABRICAÇÃO</b>		<b>FOLHA:</b> <b>1/3</b>
<b>CLIENTE:</b> Fatec Jessen Vidal		<b>Nº PEDIDO:</b> N/A		<b>DATA:</b> 10/06/2024
<b>PN:</b> N/A		<b>REV:</b> 0	<b>DESCRIÇÃO:</b> Caverna com chapa dobrada em dupla curvatura	<b>CÓD:</b> N/A
<b>CÓD. MAT. PRIMA:</b> AL1100		<b>MATÉRIA-PRIMA:</b> CHAPA DE ALUMÍNIO AL1100		
OP	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	QUANT	RESP	
	<i>Para as operações a seguir, o uso de óculos de segurança é obrigatório!</i>			
10	Separar a Matéria-prima necessária: - Chapa de alumínio AL 1100 com espessura de 0,8mm	1		
20	Separar as ferramentas abaixo: - Riscador - Lixa 80 - Guilhotina manual - Morsa de bancada - Rebitadeira manual - Broca 2,5mm - Punção - Martelo de nylon - Furadeira de bancada - Tesoura de cortar chapa - Cunha de madeira - Taco conformador - 2x parafusos 2,5mm com porca - Chapelona - Régua - Esquadro	1		
30	- Selecione a chapa de alumínio AL 1100, utilize a régua/esquadro para medir e risque o Blanck com 350x180mm, em seguida recorte com a guilhotina conforme ficha de instrução.	1		
40	- Posicione a chapelona sob o Blanck recortado e utilizando o riscador, risque a chapa posicionada com a chapelona, fazendo todo o contorno em volta da chapelona.	1		
50	- Com o uso de punção e martelo marque a furação no Blanck, conforme ficha de instrução.	1		
60	- Recorte com a guilhotina a aba superior da chapa riscada e a aba inferior com a tesoura de cortar chapa conforme ficha de instrução.	1		
70	- Utilizando a furadeira de bancada e broca 2,5mm, faça a furação no Blanck, utilize lixa 120, retire as rebarbas.	1		
80	- Utilizando a chapelona 2 e o riscador, risque seu contorno centralizando no furo do Blanck para posteriormente fazer as dobras, conforme ficha de instrução.	1		




Fonte: Autoria própria

Figura 29. Ficha de Instrução (Cont)

90	- Fixe o Blanck entre os tacos conformadores e passe os parafusos nos furos de fixação conforme ficha de instrução.	1	
100	- Utilizando a morsa, prenda o conjunto da operação anterior de modo que fique bem fixado conforme ficha de instrução.	1	
110	- Utilizando uma cunha de madeira, martelo ou macete, bata levemente e de forma contínua para a curvatura, começando do centro para as extremidades, conforme ficha de instrução.  <i>Importante: Dobrar no sentido do TACO A. Para uma boa conformação deve-se iniciar a dobra marcando o raio de dobra mantendo a cunha direcionada nele</i>	1	
120	- Troque a posição do taco na morsa de bancada e dobre o outro lado, utilizando o mesmo processo descrito na operação anterior.	1	
130	- Retire os tacos da morsa e solte a caverna conformada.	1	
140	Verificar perpendicularidade das dobras com um esquadro e o acabamento das bordas, conforme ficha de instrução.	1	
200			
ELABORADO: Raphael Ribeiro		DATA: 10/06/2024	

Fonte: Autoria Própria

Figura 30. Ficha de Instrução- Fabricação

<b>Fatec</b> Prof. Jessen Vidal São Jose dos Campos		<b>3.1 - FICHA DE INSTRUÇÃO - FABRICAÇÃO</b>			FOLHA: 2/3
CLIENTE: <b>Fatec Jessen Vidal</b>		PN: N/A	REV: 0	DESCRIÇÃO: <i>Caverna com chapa dobrada em dupla curvatura</i>	MATÉRIA-PRIMA: AL ALCLAD 1100
OP: N/A	EQUIPAMENTO: N/A	SETOR: <i>Manutenção de Aeronaves</i>		RESPONSÁVEL: <i>Raphael Ribeiro</i>	
 <p style="text-align: right;"><b>OP 50</b></p>		 <p style="text-align: right;"><b>OP 60</b></p>		 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">                     Obs.: Cortar com tesoura corta                 </div>	
PARA EXECUTAR ESTA OPERAÇÃO É OBRIGATÓRIO A UTILIZAÇÃO DE EPI.				ELABORADO: <i>Raphael Ribeiro</i>	DATA: 10/06/24




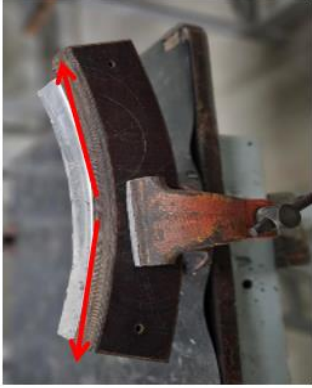
Fonte: Autoria Própria

Figura 31. Ficha de Instrução-Fabricação

<b>Fatec</b> Prof. Jessen Vidal São José dos Campos		<b>3.1 - FICHA DE INSTRUÇÃO - FABRICAÇÃO</b>		FOLHA: 2/3
CLIENTE: Fatec Jessen Vidal	PN: N/A	REV: 0	DESCRIÇÃO: Caperna com chapa dobrada em dupla curvatura	MATÉRIA-PRIMA: AL ALCLAD 1100
OP: N/A	EQUIPAMENTO: N/A	SETOR: Manutenção de Aeronaves      RESPONSÁVEL: Raphael Ribeiro		
				
OP 70		OP 80		OP 90
PARA EXECUTAR ESTA OPERAÇÃO É OBRIGATORIO A UTILIZAÇÃO DE EPI.			ELABORADO: Raphael Ribeiro	DATA: 10/06/ 24

Fonte: Autoria Própria

Figura 32. Ficha de Instrução-Fabricação

<b>Fatec</b> Prof. Jessen Vidal São Jose dos Campos		<b>3.1 - FICHA DE INSTRUÇÃO - FABRICAÇÃO</b>			FOLHA: 2/3
CLIENTE: Fatec Jessen Vidal		PN: N/A	REV: 0	DESCRIÇÃO: <i>Caverna com chapa dobrada em dupla curvatura</i>	MATÉRIA-PRIMA: AL ALCLAD 1100
OP: N/A	EQUIPAMENTO: N/A		SETOR: <i>Manutenção de Aeronaves</i>		
RESPONSÁVEL: <i>Raphael Ribeiro</i>					
 <p style="text-align: center;">OP 100</p>		 <p style="text-align: center;">OP 110</p>		 <p style="text-align: center;">Localização do raio de dobra</p>	
		<p>Dobrar no sentido do taco TACO A, marcar o raio e conformar sempre do centro para as extremidades</p>			
PARA EXECUTAR ESTA OPERAÇÃO É OBRIGATÓRIO A UTILIZAÇÃO DE EPI.					
				ELABORADO: <i>Raphael Ribeiro</i>	DATA: 10/06/ 24

Fonte: Autoria Própria

Figura 33. Ficha de Instrução- Relação de Ferramentas

<b>Fatec</b> Prof. Jessen Vidal São Jose dos Campos		<b>3.2 - RELAÇÃO DAS          FERRAMENTAS PARA          FABRICAÇÃO</b>		FOLHA: <b>3/3</b>
CLIENTE: <b>Fatec Jessen Vidal</b>		Nº PEDIDO: N/A		DATA: 10/06/2024
PN: N/A		REV:	DESCRIÇÃO: <i>Caverna com chapa          dobrada em dupla curvatura</i>	CÓD: N/A
CÓD. MAT. PRIMA: N/A				
COMPONENTES	DESCRIÇÃO DO COMPONENTE	QUANT	RESP	
1	<i>Chapa de alumínio AL 1100 350x180mm</i>	1		
2	<i>- Régua</i>	1		
3	<i>- Lixa 80</i>	1		
4	<i>- Paquímetro</i>	1		
5	<i>- Chapelona</i>	1		
6	<i>- Parafuso 2,5mm com porca</i>	2		
7	<i>- Taco conformador</i>	1		
8	<i>- Cunha de madeira</i>	1		
9	<i>- Tesoura de cortar chapa</i>	1		

Fonte: Autoria Própria

**Figura 34. Ficha de Instrução- Relação de Ferramentas**

1	<i>Chapa de alumínio AL 1100 350x180mm</i>	1	
2	<i>- Régua</i>	1	
3	<i>- Lixa 80</i>	1	
4	<i>- Paquímetro</i>	1	
5	<i>- Chapelona</i>	1	
6	<i>- Parafuso 2,5mm com porca</i>	2	
7	<i>- Taco conformador</i>	1	
8	<i>- Cunha de madeira</i>	1	
9	<i>- Tesoura de cortar chapa</i>	1	
10	<i>- Furadeira de bancada</i>	1	
11	<i>- Martelo de nylon</i>	1	
13	<i>- Broca 2,5mm</i>	1	
14	<i>- Morsa de bancada</i>	1	
15	<i>- Guilhotina manual</i>	1	
16	<i>- Riscador</i>	1	
17			
18			
<i>ELABORADO: Raphael Ribeiro</i>		<i>DATA: 10/06/2024</i>	