



## ESTUDO DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL EM CHAPAS DE ALUMÍNIO PARA USO EM AQUECEDOR SOLAR

Gilson de March<sup>1</sup>

Weliton Cardoso Pinheiro<sup>2</sup>

Daniel Fritzen<sup>3</sup>

Anderson Daleffe<sup>4</sup>

Jovani Castelan<sup>5</sup>

**Resumo:** Nos últimos anos, houve um aumento da utilização da energia elétrica, porém, o uso constante e em grande escala desse tipo de energia vem afetando consideravelmente o meio ambiente. Com isso, cresceu a busca por energias renováveis, uma delas é a energia solar, utilizando-se de placas solares. Mas, por ainda ser algo inovador, possui problemas a serem solucionados, um deles é a perda de energia térmica. Este estudo tem como objetivo realizar ensaios mecânicos para analisar a viabilidade de chapas de alumínio na construção de placas solares, utilizando dados provenientes do processo de *ISF – Incremental Sheet Forming*. Também será analisado o limite de conformação da chapa de alumínio a fim de viabilizar o uso em coletores solares, solucionando assim, possíveis erros encontrados durante processo de estampagem incremental das chapas. Foram utilizados testes de Nakajima, para obtenção da curva CLC, e teste de estampagem incremental ISF para obtenção dos pontos para plotagem da curva CLC do material. Como resultado do trabalho, foi possível analisar que a estampagem convencional entrega uma menor deformação do material quando comparado com a estampagem incremental. Resultando em uma deformação 6 vezes maior pelo processo ISF.

**Palavras-Chave:** Estampagem. Placa solar. Curva CLC. Nakajima. Alumínio.

### 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a utilização da energia elétrica é um dos principais fatores de crescimento social e econômico no mundo, e o consumo de água quente cresceu juntamente com a eletricidade, sendo aspectos fundamentais da civilização moderna atual. O principal meio para aquecimento de água hoje é a energia elétrica, porém, o uso constante e em grande escala desse tipo de energia é um dos

---

<sup>1</sup> Mestrando Profissional em Engenharia Metalúrgica. Ano 2023-2 E-mail: [gilson.march@satc.edu.br](mailto:gilson.march@satc.edu.br)

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Mecânica. Ano 2022-1 E-mail: [w\\_elitoncp@hotmail.com](mailto:w_elitoncp@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: [daniel.fritzen@satc.edu.br](mailto:daniel.fritzen@satc.edu.br)

<sup>4</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: [anderson.daleffe@satc.edu.br](mailto:anderson.daleffe@satc.edu.br)

<sup>5</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: [jovani.castelan@satc.edu.br](mailto:jovani.castelan@satc.edu.br)



principais fatores para a contribuição da poluição e aumento do aquecimento climático [1].

Diante disso, nos últimos anos, cresceu a busca por energias renováveis para fins específicos e que tenha como objetivo principal, a preservação do meio ambiente. Uma das inovações com esse objetivo, são as placas solares, que são muito utilizadas para aquecimento de água em todo o mundo [2,3].

Contudo, as placas solares por serem uma criação inovadora, ainda possuem problemas a serem solucionados, e observando o aumento de utilização de placas solares e a sua necessidade, o presente estudo terá como base a resolução de um dos problemas já observados, que é a perda de energia térmica, esse problema acaba diminuindo a eficiência da placa. Isso ocorre entre o contato da placa absorvedora e a serpentina, essa placa é responsável pela absorção e transferência da radiação solar para a serpentina. A serpentina é onde circula a água que será aquecida [3].

Pensando na resolução dessa perda de energia, o estudo de LORA, Fábio (2019) descartou a serpentina, e utilizou duas chapas de alumínio, onde uma chapa recebeu canais com geometria de meia lua para circulação da água, através do processo de estampagem incremental (ISF), e a outra chapa de alumínio foi soldada juntamente a primeira, obtendo assim, fator de contato 100% [3,4].

O alumínio foi utilizado nesse processo pois, quando comparado a outros materiais disponíveis, apresentou maior condutividade térmica, e um baixo custo [4].

A partir disso, será realizado como objetivo principal deste estudo, alguns ensaios mecânicos para analisar a viabilidade dessas mesmas chapas de alumínio na construção de placas solares, utilizando dados provenientes do processo de ISF.

Também será analisado o limite de conformação da chapa de alumínio a fim de viabilizar o uso em coletores solares, solucionando assim, possíveis erros encontrados durante processo de estampagem incremental das chapas, com isso viabilizar o uso de tecnologias capazes de diminuir os problemas que abrangem o processo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado a revisão bibliográfica, detalhando o que foi utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

O sol é de extrema importância para existência de vida no planeta terra, tanto para questões biológicas e geração da vida, como na criação de fontes de energias renováveis. A energia solar é utilizada como fonte de energia primária em meios convencionais, como nas hidroelétricas, onde o sol participa fazendo a evaporação da água e todo ciclo natural das águas. Porém, esse tipo de indústria vem prejudicando ao longo dos anos o meio ambiente, fazendo alterações em percursos de rios, com isso altera também o habitat natural de diversos animais, o que afeta a fauna e flora. Diante disso, existem hoje as energias renováveis que são meios que utilizam também a energia solar, porém, sem agredir o meio ambiente, como por exemplo o uso de placas solares que são muito utilizados em aquecimentos de água [3, 5].

### 2.2 AQUECEDOR SOLAR

Os coletores solares são muito utilizados em residências para o aquecimento de água, e tem como objetivo a captação de energia proveniente do sol para converter em calor útil. Existem atualmente, dois tipos de categorias de coletores, os planos, que são mais utilizados para obtenção de temperaturas mais baixas, e os chamados de concentradores, esses são mais utilizados para obtenção de temperaturas elevadas [6,7].

Os coletores planos, que são utilizados para temperaturas mais baixas, atingem temperatura de até 100°C, estes são formados por uma placa absorvedora ou também chamada de placa preta, as quais são fabricadas de materiais que apresentam característica de boa condutância térmica, pois executam a absorção da radiação solar e a transmissão dessa energia para as tubulações.



As tubulações que compõem o sistema são responsáveis pela circulação do fluido. Como há uma diferença no comprimento de ondas entre a radiação da placa e a radiação advinda da baixa temperatura da placa, utiliza-se uma cobertura de vidro, geralmente opaca, para que não haja perda de energia, a mesma absorve a energia e a emite novamente para a placa preta, formando um efeito estufa [6,7,8].

Em relação aos coletores concentrados, que atingem temperaturas mais altas, basicamente seu funcionamento é direcionar a energia proveniente do sol por meio de uma lente de Fresnel ou um espelho parabólico para um local específico chamado absorvedor.

Os absorvedores têm a área reduzida para que haja diminuição das perdas térmicas, atingindo assim, elevadas temperaturas. Além disso, para a focalização da energia, os coletores necessitam acompanhar o movimento do sol, com isso existem hoje dispositivos motorizados e automáticos, mas isso aumenta seu valor e a necessidade de mão de obra especializada [6, 8].

Comparando os dois tipos de coletores solares, os planos têm vantagens sobre os concentradores em questões como a facilidade nas instalações, baixo custo e durabilidade elevada [6].

### 2.3 CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Nossa sociedade torna-se dia a dia mais dependente dos metais, ao analisarmos a nossa volta muitos produtos industrializados têm em sua composição, ou processo de fabricação, os metais [9].

A utilização de chapas metálicas na produção de produtos é muito abundante e variada. Isso exige um grande uso dos processos de manufatura, tal como a conformação das chapas, que tem uma classificação quanto a operação, como: estiramento, corte, estampagem e dobra.

A conformação de chapas consiste na alteração das geometrias do material através das forças aplicadas por ferramentas gerando deformações plásticas nos materiais [4,9,10].

Podemos citar alguns ramos industriais que fazem utilização de chapas metálicas, seja no seu produto ou no processo, tal como indústrias automobilística,



indústria de maquinários agrícolas, utensílios domésticos, construção civil, transporte e medicina [10].

### 2.3.1 Estampagem

Dentre os processos de conformação, a estampagem de chapas metálicas tem uma utilização abundante atualmente pela indústria metalomecânica, trazendo diversos benefícios, como uma grande produtividade, custo de produção baixo em grandes escalas, e geração de geometrias desiguais [11].

Os processos de estampagem de chapas são variados, tendo objetivos de deformar a chapa gerando formas geométricas precisas e bem definidas para produtos de aplicações industriais.

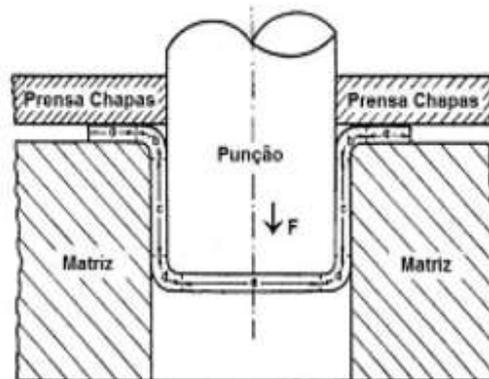
O funcionamento básico desse processo é a transformação da geometria plana, através de aplicações de tensões externas na chapa metálica, utilizando uma punção e uma matriz, buscando assim, a formação de geometrias tridimensionais [10,11].

### 2.3.2 Processo de embutimento

O processo de embutimento, conhecido também como estampagem profunda ou repuxo, onde uma chapa plana é transformada por forças de tração e compressão em um corpo oco. A ferramenta responsável pelo processo é chamada estampo, composta por prensa-chapas, punção e matriz.

O funcionamento do processo consiste em um punção que exerce força advinda de uma prensa sobre a chapa, forçando a mesma a penetrar na matriz de forma que o material escoe, tomando a forma gradativamente, conforme ilustrada na Figura 2. A pressão deve ser ajustada para que não ocorra enrugamento ou trincas no material [4,9,11]

Figura 2: Processo de embutimento.



Fonte: Galdino 2010 apud Fritzen, 2012

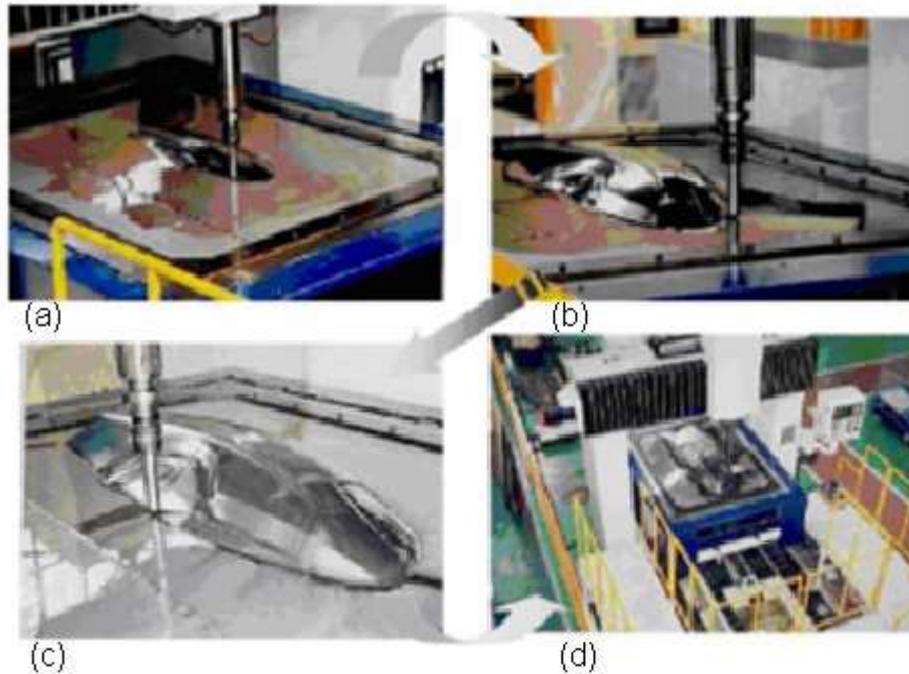
## 2.4 ESTAMPAGEM INCREMENTAL

Com o constante crescimento e incessante procura por novas tecnologias de estampagem em chapas, surge a estampagem, uma inovação no processo de estampagem desenvolvida no Japão para atender necessidades na área automobilística, tendo como foco a produção de pequenas séries de peças, com agilidade na fabricação de protótipos com geometrias complexas. A Figura 3 mostra uma peça complexa sendo produzida através do processo de estampagem incremental [3,4,11]

A estampagem incremental, diferente da estampagem convencional, não tem como objetivo a produção em série, pois esse processo visa um mercado onde tem como objetivo a análise de peças individuais. Encaixando assim, nos requisitos das áreas de biomecânica e prototipagem rápida, que se diferem dos processos convencionais [4,11].

A estampagem incremental atualmente é classificada em dois tipos mais comuns, sendo eles a Estampagem Incremental de Ponto Único – SPIF (*Single Point Incremental Forming*) a Estampagem Incremental de Ponto Duplo - TPIF (*Two Point Incremental Forming*), sendo que ambos os processos têm seu movimento de ferramenta iguais. O método utilizado neste estudo será o SPIF, sendo considerado o mais simples dos processos ISF, por não utilizar matriz [4,11].

Figura 3: Peças com geometrias complexas, (a) início da estampagem incremental, (b) durante o processo, (c) geometria já obtida, (d) visão geral da máquina.

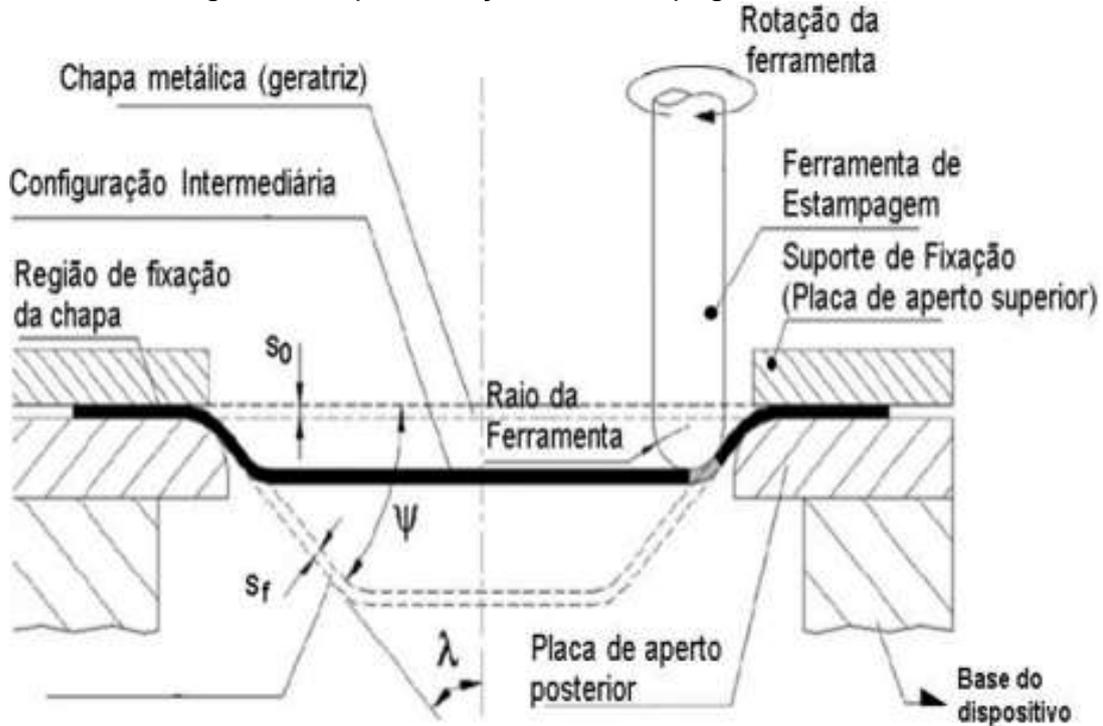


Fonte: Lamminen 2005 apud Daleffe, 2008

#### 2.4.1 Descrição do processo

A estampagem incremental consiste em deformar chapas de forma progressiva, a fixação da chapa é feita através de um suporte prensa-chapas que pode ter um ou mais pontos de apoio para evitar o movimento da peça durante o processo, acoplado ao eixo árvore de uma máquina CNC comandado numericamente através dos movimentos dos eixos X, Y e Z um punção com cabeça esférica que por movimentos repetitivos sobre a chapa realizando a conformação gradativa do material. A figura 4 apresenta a fixação da chapa em suas extremidades sendo deformada por uma ferramenta de cabeça esférica que dá início ao processo ISF [4,11,12].

Figura 4: Representação da estampagem incremental



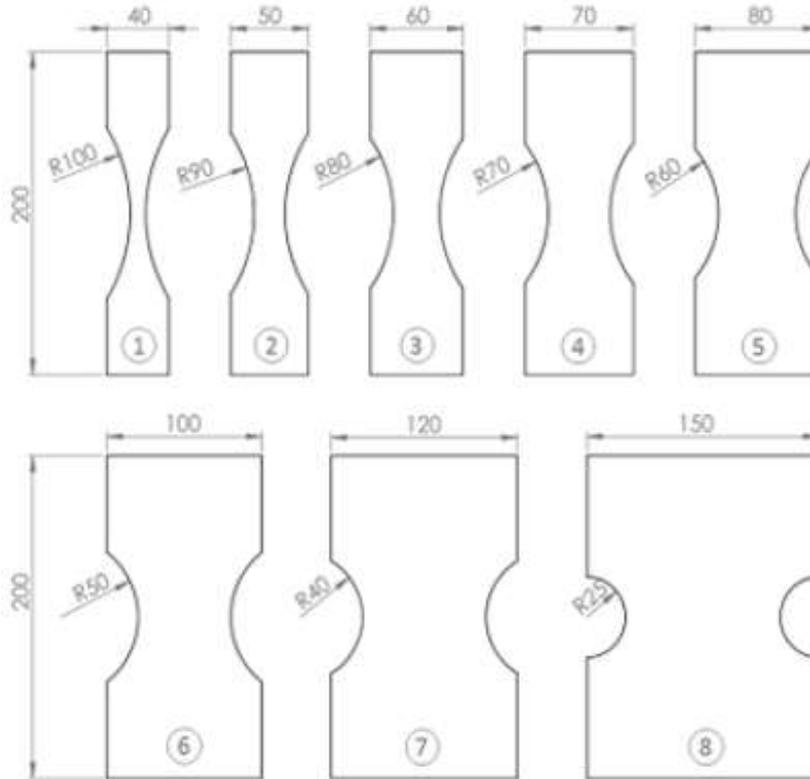
Fonte: Martins 2008 apud Castelan, 2010

A chapa utilizada no processo tem sua espessura original alterada na região de conformação ao longo do processo, gerando deformações plásticas [4].

## 2.5 ENSAIO DE NAKAJIMA

O Ensaio de Nakajima consiste em uma ferramenta composta por matriz, prensa-chapa e punção. Onde corpos de prova são cortados das chapas na espessura desejada, a largura dos corpos é padronizada como descrito na Figura 5.

Figura 5: Corpos de prova Ensaio Nakajima



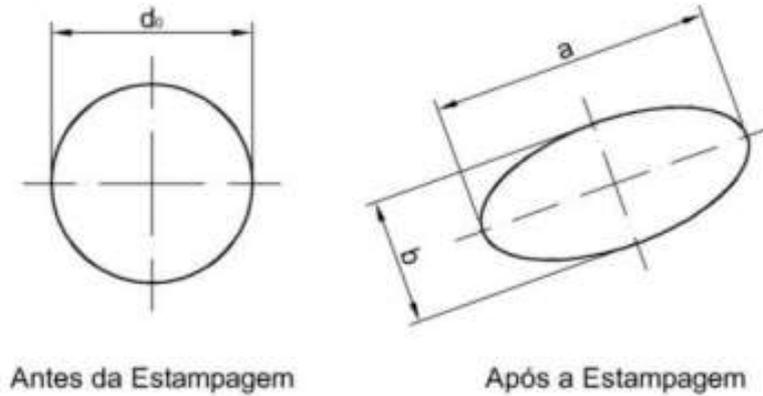
Fonte: Schaeffer 2016 apud Schreiber, 2018

A diferença na geometria dos corpos de prova gera os diferentes estados de deformação na chapa. Estes corpos de prova recebem gravação eletroquímica com uma grade de círculos, estes transformam-se em elipses com a deformação [14].

## 2.6 CURVA LIMITE DE CONFORMAÇÃO

Curva Limite de Conformação é a deformação máxima de uma material, para obter essa curva utiliza-se de ensaios mecânicos, um destes é o Ensaio de Nakajima, a coleta dos dados do ensaio se dá a partir da medição dos círculos gravados eletroquimicamente nos corpos, que com a deformação dos corpos posteriormente se transformam em elipses, se traça uma linha ao lado da região onde ocorreu o rompimento, de onde posteriormente será retirado as medições, possibilitando obter as três deformações principais, Figura 6. [13, 14].

Figura 6: Círculos gravados e Elipse após deformação



Fonte: Schaeffer 2004 apud Fritzen, 2012

Para obter as deformações se utiliza as Equações (1 a 5)

$$1) \varphi_1 = \ln (a/d_0)$$

$$2) \varphi_2 = \ln (b/d_0)$$

$$3) \varphi_3 = \ln (s^1/s_0)$$

Considerando a Lei de Constância de Volume, tem-se:

$$4) \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$$

Ou:

$$5) \varphi_3 = -(\varphi_1 + \varphi_2)$$

Onde:

$\varphi_1$  = Deformação verdadeira na direção do comprimento da elipse (mm);

$\varphi_2$  = Deformação verdadeira na direção da largura da elipse (mm);

$\varphi_3$  = Deformação verdadeira na espessura (mm);

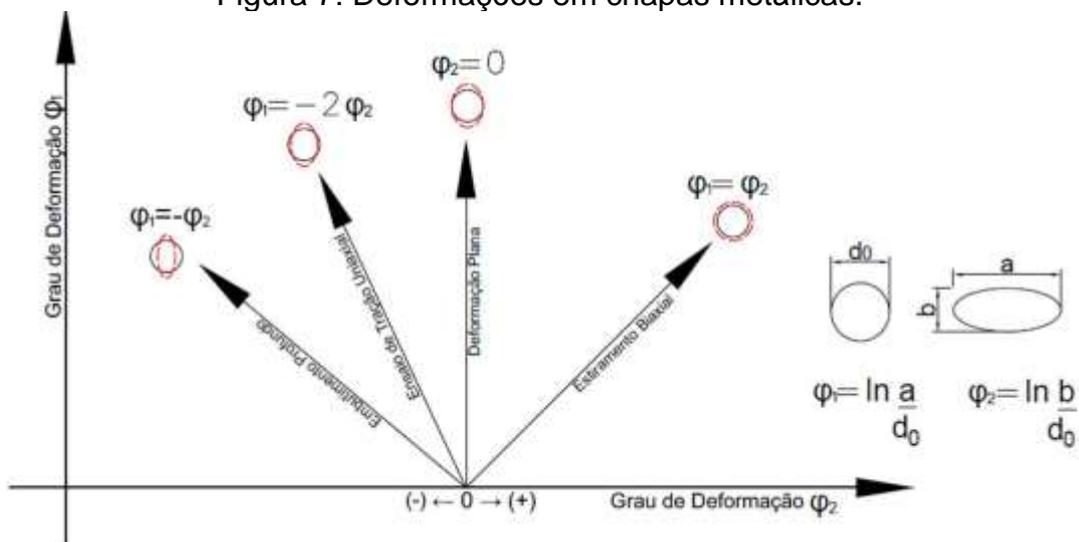
$d_0$  = Diâmetro inicial do círculo (mm);

$a$  = Comprimento da elipse (mm);

- $b$  = Largura da elipse (mm);
- $S_1$  = Espessura inicial do círculo (mm);
- $S_0$  = Espessura final do círculo (mm).

As elipses deformadas levam a uma relação entre as deformações, a Figura 7 mostra a classificação [13, 14].

Figura 7: Deformações em chapas metálicas.

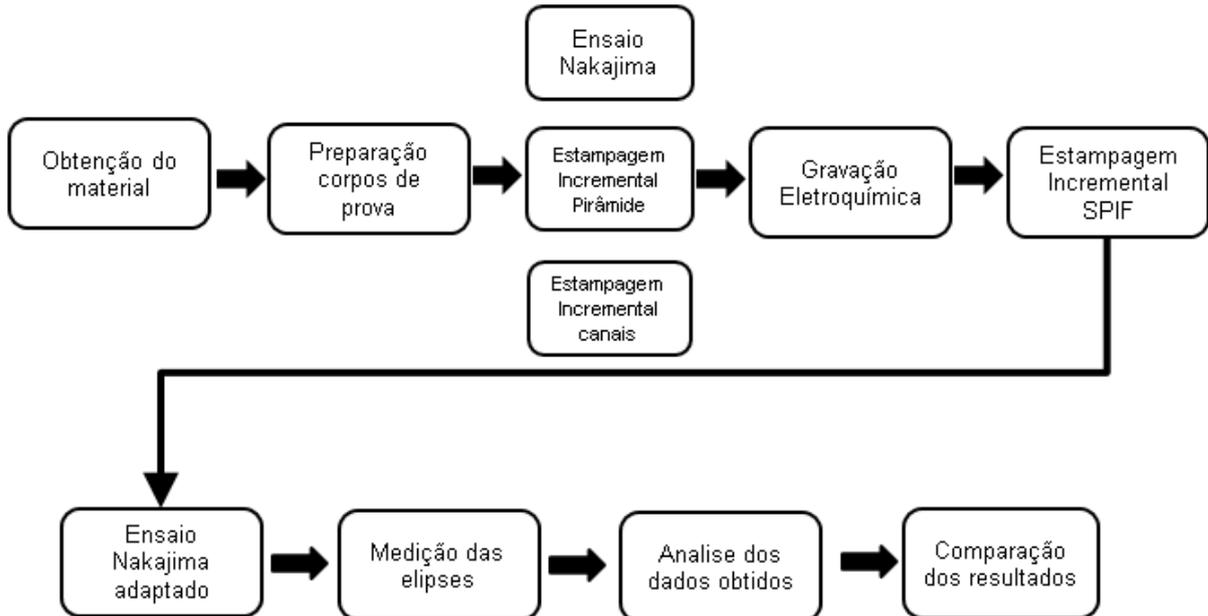


Fonte: Adaptado de [16]

### 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A seção a seguir traz os materiais e os métodos utilizados para realizar a pesquisa, os testes realizados são para obtenção do nível de deformação da liga de alumínio 1200 H14. Será mencionado e explicado os procedimentos necessários para o desenvolvimento e execução deste trabalho conforme demonstra no fluxograma da Figura 8.

Figura 8: Fluxograma dos procedimentos experimentais realizados.



Fonte: Do autor, (2022)

### 3.1 CORPOS DE PROVA ENSAIO NAKAJIMA

Para a realização do ensaio foi seguido as instruções conforme a norma ABNT NBR 16281: 2014. Foram confeccionados um jogo de corpos de prova, cortados na máquina de plasma CNC, os corpos têm 200mm de comprimento e sua largura varia de 40mm à 150mm como em norma. Conforme Figura 05 [15].

### 3.2 CORPOS ESTAMPAGEM SPIF

Os corpos de prova para a estampagem SPIF com dimensão de Tronco de Pirâmide, foram cortados na máquina de plasma CNC com dimensão de 1,5 x 150 x 150 mm, conforme dimensão do suporte prensa chapas.

### 3.3 CORPOS ESTAMPAGEM SPIF PLACA ABSORVEDORA.

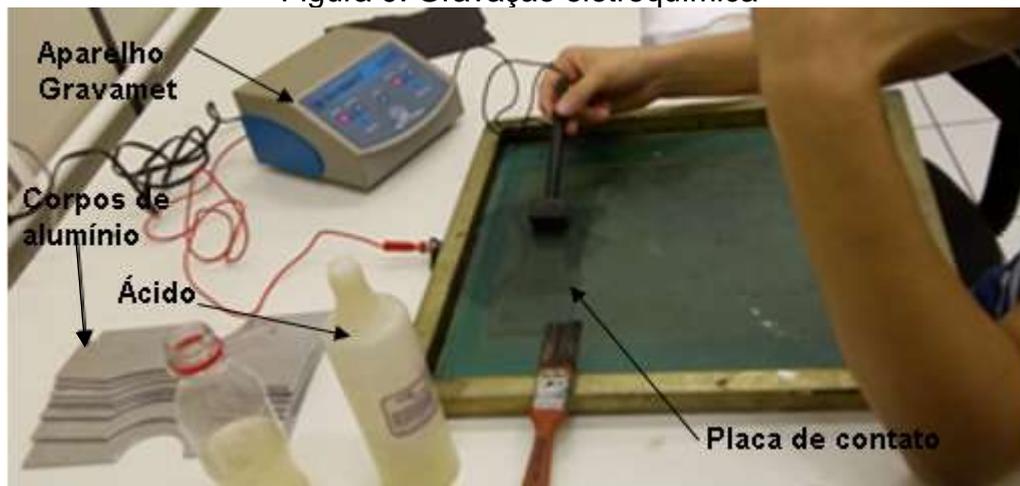
Os corpos de prova para Estampagem Incremental dos canais da placa absorvedora, foi chapa de alumínio 1200-H14 cortadas no plasma, com dimensões 1,5 x 280 x 280 mm.

### 3.4 GRAVAÇÃO ELETROQUÍMICA

Todos os corpos de prova depois de serem fabricados, passaram pelo processo de gravação eletroquímica para receber a gravação em malhas de círculos, o diâmetro dos mesmos é de 2,5 mm.

O funcionamento do processo consiste primeiro na limpeza do corpo de prova, logo após, utilizando o aparelho Gravamet modelo Ônix, posiciona-se a peça abaixo da malha, e regula-se a tensão e corrente, programando assim, a marcação com a tela coberta por solução com eletrólito, e movimenta-se um bastão de aço sobre a tela. Após esse processo, circula-se corrente elétrica suficiente para ocorrer o ataque químico sobre a peça, realização do procedimento na Figura 8.

Figura 9: Gravação eletroquímica



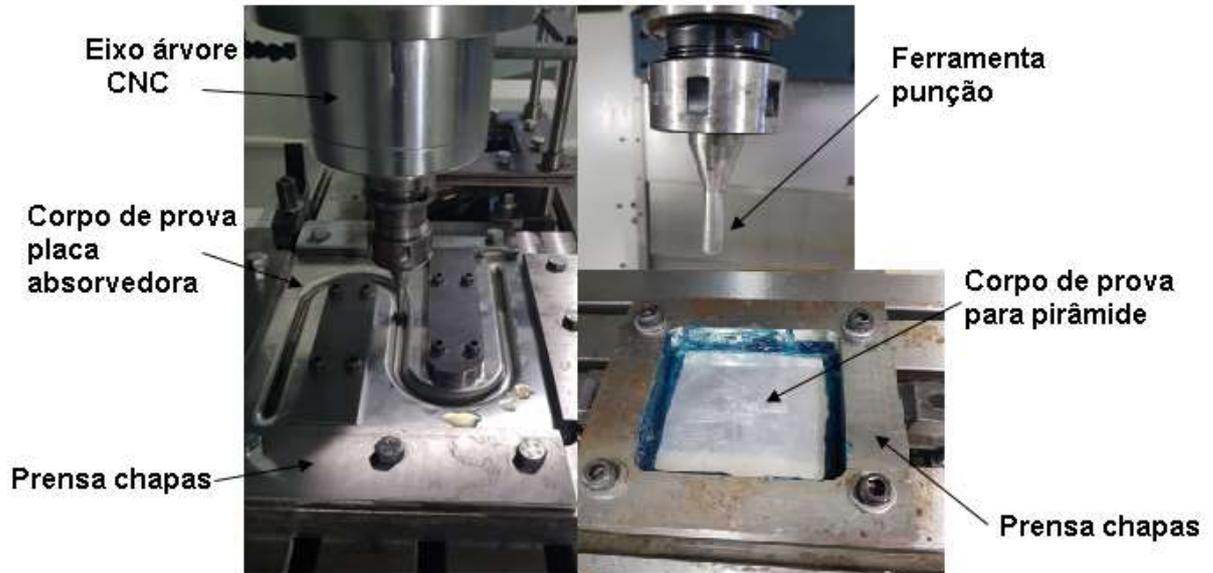
Fonte: Do Autor, (2022)

### 3.5 ESTAMPAGEM INCREMENTAL SPIF

A máquina utilizada para os testes práticos foi um Centro de Usinagem Romi D600. Para fazer a fixação da chapa, foi utilizada uma prensa chapas conforme a necessidade de cada estampagem como mostra a Figura 10, alinhado ao eixo da máquina, a ferramenta utilizada possui uma ponta semiesférica de  $\varnothing 10\text{mm}$ . Para a lubrificação da chapa, foi utilizado graxa comum a base de lítio, assim, consegue-se diminuir o atrito entre a ferramenta e a chapa, os parâmetros utilizados na máquina estão despostos na Tabela 1.

Para criação do desenho, utilizou-se o software CAD 3D SolidWorks, o código de programação para o CNC foi gerado pelo software CAM EdgeCam.

Figura 10: Processo de Estampagem incremental



Fonte: Do Autor, (2022)

Tabela 1: Parâmetros SPIF

Incremento vertical ( $\Delta z$ )	0,2 mm
Velocidade de avanço ( $f$ )	1000 mm/min
Rotação da ferramenta ( $rf$ )	50 rpm

Fonte: Do Autor, (2022)

### 3.6 ENSAIO DE NAKAJIMA ADAPTADO

O ensaio realizado no estudo é um ensaio de Nakajima adaptado, pois o punção utilizado de 50mm é semiesférico, acoplado a uma prensa hidráulica de duplo efeito com capacidade de 25 toneladas inferior e 30 toneladas no cilindro superior. A prensa tem dois manômetros para controle da força, possibilitando a parada no momento do início do rompimento do corpo de prova.

A prensa foi ajustada quanto ao alinhamento do punção que é se os limites de curso da ferramenta.

Figura 11: Ensaio Nakajima



Fonte: Do Autor (2022)

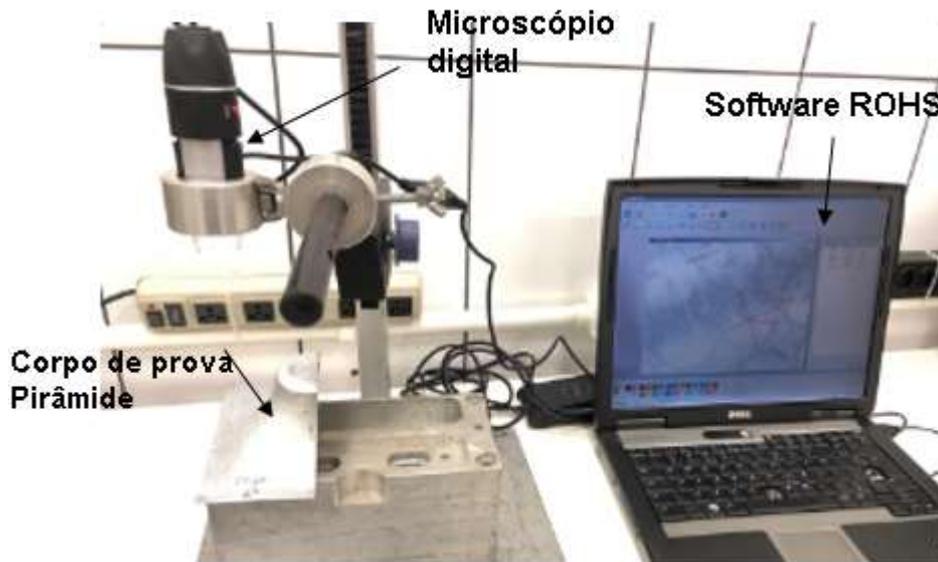
### 3.7 MEDIÇÃO DAS ELIPSES

Ao término do ensaio de Nakajima e da estampagem incremental SPIF, foram realizadas as medições dos corpos de prova. Com o auxílio do microscópio digital da marca ROHS, que conta com seu próprio software, possibilitando o aumento de 40 vezes mostrado na Figura 11.

Inicialmente o diâmetro do círculo gravado na chapa  $d = 2,5\text{mm}$  antes da realização dos testes. Foi traçado uma linha perto da ruptura nos corpos, para medição das elipses e obtenção das deformações  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$ . Foram retiradas medições dos corpos estampados com geometria de pirâmide, já nos corpos do ensaio de Nakajima foram retiradas 28 medições do conjunto

Para a medição corpos estampados com canais foi utilizado a régua flexível transparente, as medições foram retiradas onde ocorreu a maior deformação. Depois do levantamento de todas as medidas dos corpos de prova, foram colocados os pontos no gráfico para se obter a deformação sofrida em cada experimento.

Figura 12: Bancada com o microscópio



Fonte: Do Autor (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos na forma de gráficos e imagens, e realizada a discussão e comparação dos dados práticos e simulados com as referências bibliográficas.

### 4.2 CURVA LIMITE DE CONFORMAÇÃO

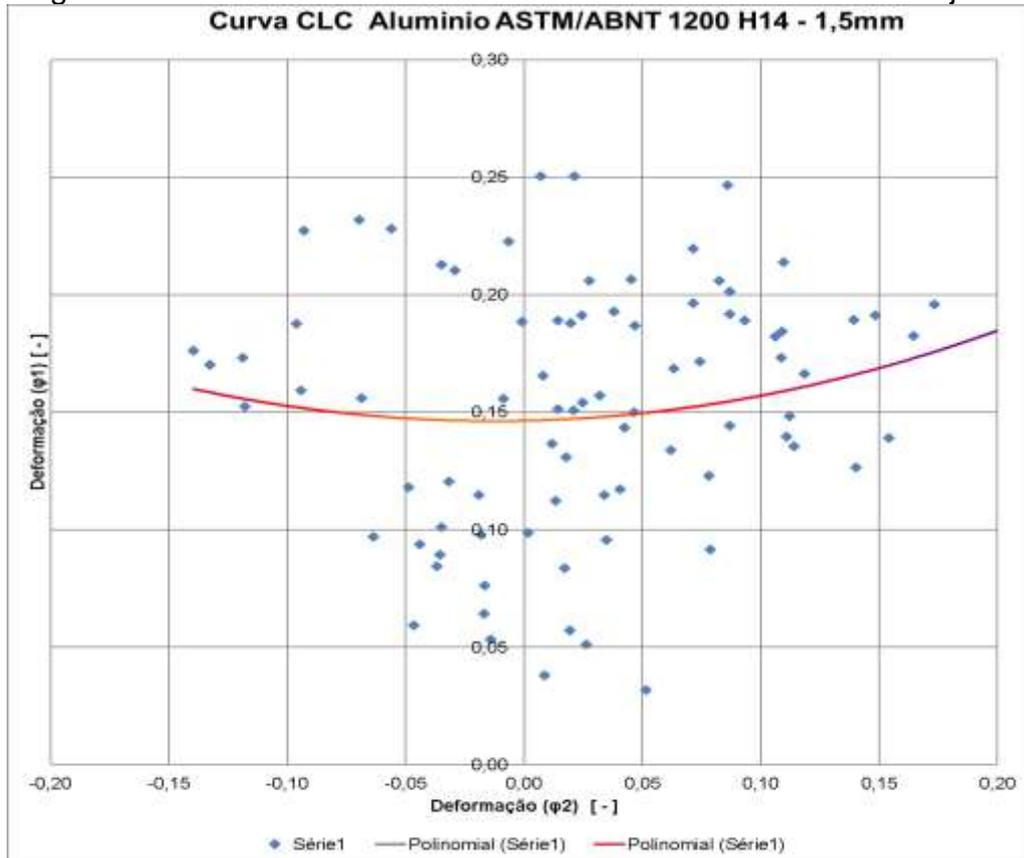
Com o levantamento dos valores das elipses de todos os corpos de prova, tornou-se possível a plotagem das curvas limites de conformação do ensaio de Nakajima, da estampagem incremental das pirâmides e das placas absorvedora.

#### 4.2.1 Curva limite de conformação ensaio nakajima

A Figura 13 mostra as deformações resultantes do ensaio de Nakajima adaptado, sendo que os dados coletados foram inseridos em uma planilha do Excel, conforme equações 1 a 5, para fim de obtenção do limite de deformação, onde  $\varphi_1$  (deformação do comprimento) corresponde ao eixo das ordenas e  $\varphi_2$  (deformação da largura) corresponde ao eixo das abscissas.

Como pode-se observar na Figura 13, os pontos medidos dos 8 corpos de prova do ensaio de Nakajima mostrado na Figura 14 geram, conseqüentemente, uma nuvem de pontos, formados pela deformação principal  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$  para cada um dos oito corpos de prova analisados. Interligando esses pontos se determina a CLC do material, que indica a deformação para o processo de Estampagem Convencional do material como deformação plana e extremamente biaxial.

Figura 13: Curva CLC de Alumínio ASTM/ABNT 1200 H 14 Nakajima.



Fonte: Do Autor (2022)

Os diferentes níveis de deformação atingidos pelo ensaio, se dá pela variação da largura do corpo de prova, durante o embutimento profundo, na medida em que ocorre a redução da largura dos corpo de prova, tende-se a ter um deformação da chapa, por ocorrência da diminuição da ação de prendimento do material em torno da punção. Os corpos mais estreitos tendem escorregar antes da deformação, por terem uma menor área para prendimento da prensa superior, gerando um maior alongamento dos corpos, resultando em valores maiores de  $\varphi_1$  e valores negativos de  $\varphi_2$ .

A deformação média obtida para o alumínio 1200-H14 no ensaio de Nakajima foi de  $\varphi_1=0,15\text{mm}$ .

Figura 14: Corpos ensaiados, ensaio Nakajima.



Fonte: Do Autor (2022)

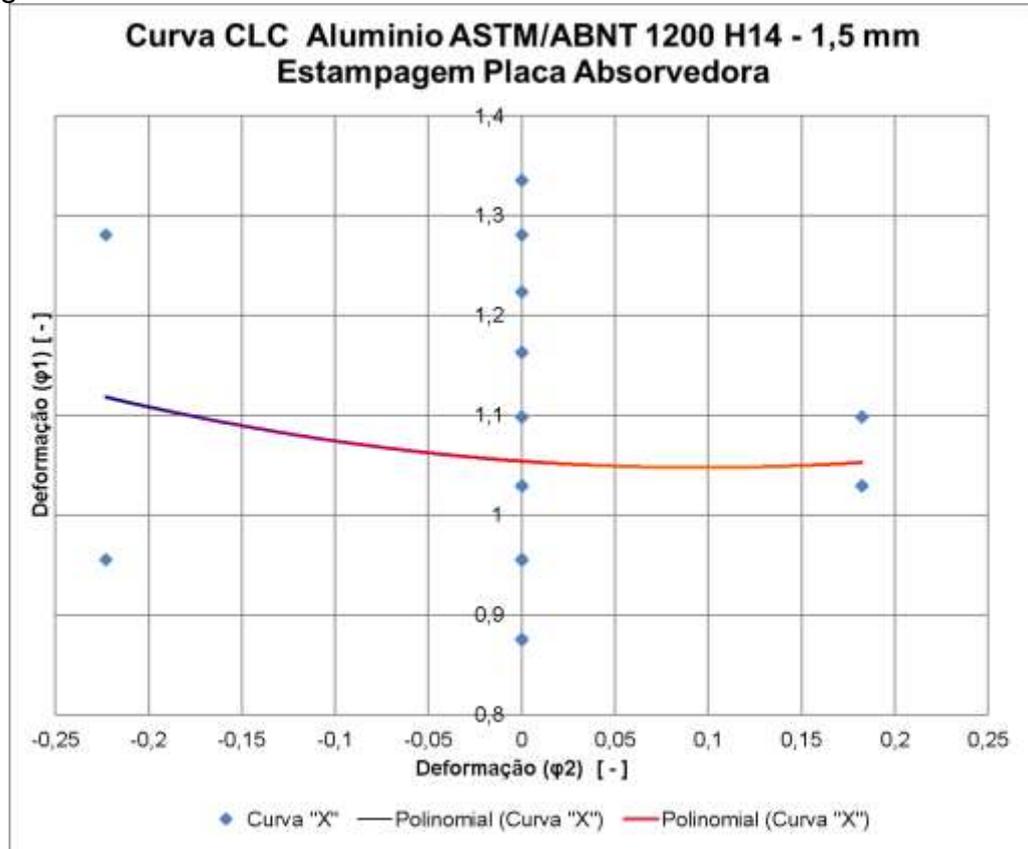
Os diferentes níveis de deformação atingidos pelo ensaio, se dá pela variação da largura do corpo de prova, durante o embutimento profundo, na medida em que ocorre a redução da largura dos corpo de prova, tende-se a ter um deformação da chapa, por ocorrência da diminuição da ação de prendimento do material em torno da punção. Os corpos mais estreitos tendem escorregar antes da deformação, por terem uma menor área para prendimento da prensa superior, gerando um maior alongamento dos corpos, resultando em valores maiores de  $\varphi_1$  e valores negativos de  $\varphi_2$ .

A deformação média obtida para o alumínio 1200-H14 no ensaio de Nakajima foi de  $\varphi_1=0,15\text{mm}$ .

#### 4.2.2 Curva limite de conformação placa absorvedora

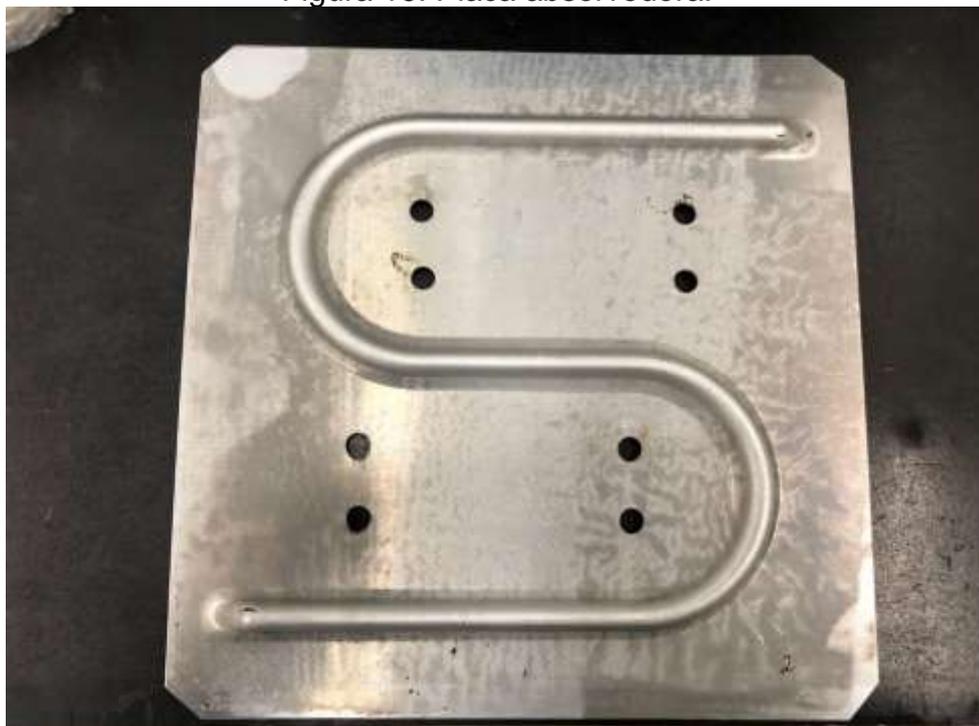
As medições geradas, pelos corpos de prova do ensaio de Estampagem Incremental das placas absorvedoras como mostrado na Figura 16, resultaram na plotagem da curva CLC da Figura 15, que como podemos notar tem um valor médio de deformação de  $\varphi_1=1,05\text{mm}$ . Comparando os valores obtidos por  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$ , analisando de acordo com a Figura 7 podemos classificar como uma deformação plana, onde os valores de  $\varphi_2$  se igualam em sua maioria a 0.

Figura 15: Curva CLC de Alumínio ASTM/ABNT 1200 H14 Placa absorvedor.



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 16: Placa absorvedora.



Fonte: Do Autor (2022)

#### 4.2.3 Curva limite de conformação geometria pirâmide

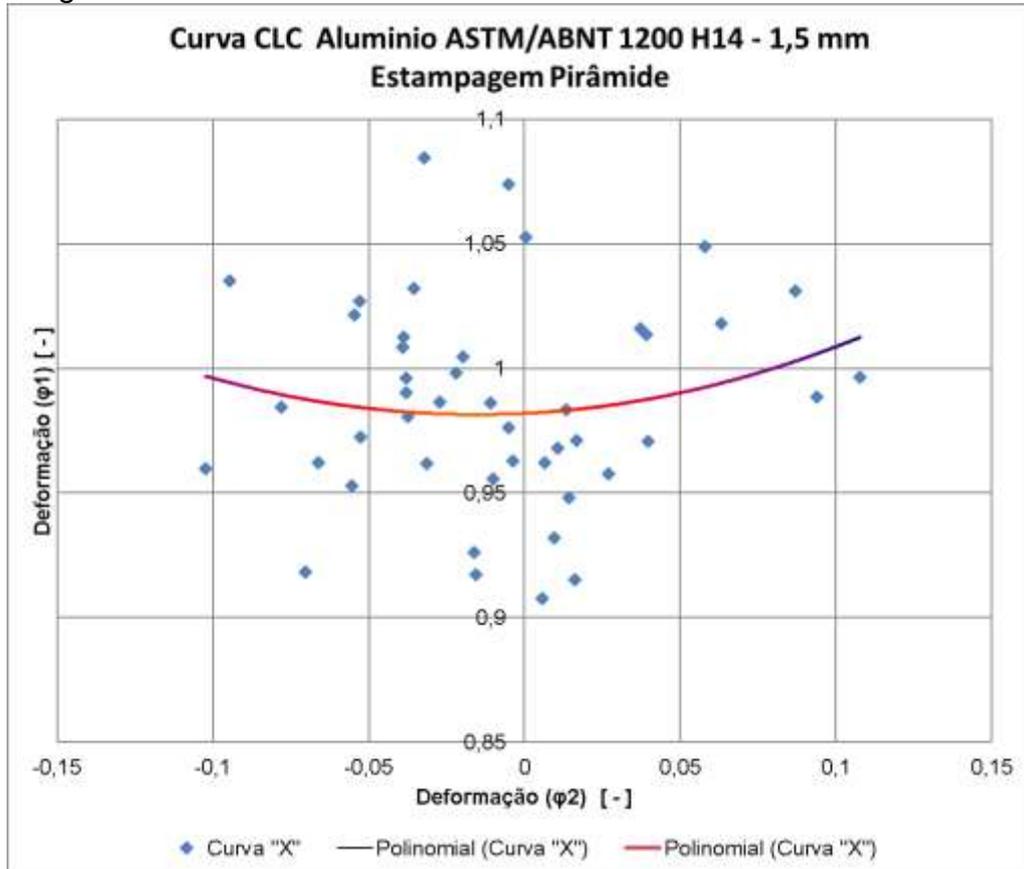
Assim como as medidas geradas pelos corpos de prova do ensaio de Estampagem Incremental das placas absorvedoras, os corpos de prova com geometria de pirâmide como o da Figura 17, resultaram também na plotagem da curva CLC, como demonstra Figura 18, que como podemos notar tem um valor médio de deformação de  $\varphi_1=0,97\text{mm}$ . Comparando os valores obtidos por  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$ , analisando de acordo com a Figura 7 podemos classificar como uma deformação plana.

Figura 17: Peça estampada com geometria de pirâmide



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 18: Curva CLC de Alumínio ASTM/ABNT 1200 H14 Pirâmide.



Fonte: Do Autor (2022)

Este trabalho conduziu uma análise entre os métodos de Estampagem Convencional e Estampagem Incremental em chapas de alumínio 1200-H14 com espessura de 1,5mm, por meio da comparação das curvas CLC.

Os resultados obtidos nos ensaios para determinação da CLC, para a liga de Alumínio 1200 – H14, se assemelham ao trabalho presente na literatura, tal como LAZZAROTTO, Rafael (2018).

Por outra via, os resultados da CLC obtidos da Estampagem Incremental, tanto dos corpos de prova com geometria de pirâmide, quanto das placas absorvedoras, resultaram em um valor de deformação plana para a liga de Alumínio de aproximadamente  $\phi_1=1$  mm. O aumento da deformação do material pelo método de estampagem incremental, pode ser atribuída a forma como ocorre o processo, onde a deformação plástica ocorre quando a ferramenta é forçada sobre a placa, onde as tensões se aplicam em uma pequena área de contato, se utilizando assim menor força sobre a chapa [17].



## 5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo demonstram que o processo convencional de estampagem profunda resulta em uma estampabilidade para a liga de alumínio 1200-H14, inferior a estampabilidade entregue pelo processo de Estampagem Incremental. Esta maior conformabilidade da chapa pelo processo ISF, se tem pelo fato de que, a ferramenta de geometria pequena, deforma plasticamente áreas pequenas, tornando mais fácil a deformação.

Estes resultados, somados aos dados obtidos em outros estudos, como Park e Kim (2003) e Lazzarotto, Rafael (2018), reforçam a tese de que a Estampagem incremental resulta em uma deformação do material superior ao método de Estampagem convencional.

Assim, sugere-se que estudos adicionais sejam realizados com o objetivo de ampliar o conhecimento relacionado a estampabilidade entregue pelo processo de Estampagem Incremental, utilizando outras ferramentas de estudo, para melhor analisar o Diagrama Limite de Conformação para ISF.

## REFERÊNCIAS

- [1] KAZAZIAN, Thierry. Design e desenvolvimento sustentável: haverá a idade das coisas leves. **São Paulo: SENAC**, 2005.
- [2] MACEDO, Marcus Vinícius; CARDOSO, Carlos Eduardo. Utilização de Energia Solar em Chuveiros de uma Creche do Município de Vassouras. **Revista Eletrônica TECEN**, v. 3, n. 3, p. 07-16, 2010.
- [3] LORA, Fábio André; BRITO, Joyce Mara; FRITZEN, Daniel. 39 th SENAFOR. 2019.
- [4] DALEFFE, Anderson. Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de alumínio puro. 2008.
- [5] PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. 2006. Disponível em: Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, 149, p.4-11. Acesso em: 25/04/2021.
- [6] LAFAY, Jean-Marc Stephane. Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás. 2005.
- [7] MOURA, Gíneton Heber Mota et al. Estudo de um coletor solar plano de baixo custo para aquecimento de água no município de Caraúbas-RN. 2019.



- [8] LEITÃO, José Maurício de Moura. Estudo de materiais poliméricos para a aplicação em coletores solares planos. 2018.
- [9] HÄRTER, Ibson Ivan. Estudo para determinação dos parâmetros ideais para simulação dos processos de conformação de chapas grossas. 2013.
- [10] GIPIELA, Manolo Lutero. Estudo da expansão de furos e estampabilidade de chapas de aço multifásico CPW800. 2012.
- [11] FRITZEN, Daniel. Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de latão 70/30. 2012.
- [12] CASTELAN, Jovani. Estampagem incremental do titânio comercialmente puro à aplicação em implante craniano. 2010.
- [13] SCHREIBER, Rafael Gustavo. Estampagem incremental e soldagem FSW para fabricação de coletor solar. 2018.
- [14] LAZZAROTTO, Rafael. Determinação experimental e numérica da curva limite de conformação via ensaio Nakajima. 2018.
- [15] ABNT, NBR-16281. Determinação do Índice e embutimento em chapas de aço pelo método Erichsen modificado. ABNT, Rio de Janeiro, 2014.
- [16] MARQUES, Cláudio Roberto Melo. Estudo do processo de estampagem incremental em chapas de titânio comercialmente puro ASTM F-67 grau 2. **Processos de Fabricação.**, 2022.
- [17] PARK, Jong-Jin; KIM, Yung-Ho. Fundamental studies on the incremental sheet metal forming technique. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 140, n. 1-3, p. 447-453, 2003.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC pelo financiamento do projeto 2021TR001824, do edital Nº 27/2021 Programa FAPESC de Apoio a Ciência, Tecnologia e Inovação para Jovens Pesquisadores do Estado de Santa Catarina - Programa FAPESC Jovens Projetos - SC