

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GULHERME POLACHINI**

**SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO COM O MÉTODO *FUZZY-TOPSIS***

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

GUILHERME POLACHINI

**SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO COM O MÉTODO *FUZZY-TOPSIS***

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Câmpus* Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti

PATO BRANCO

2019

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Seleção de Processos de Fabricação com o Método *FUZZY-TOPSIS*

Guilherme Polachini

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 22/03/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Profa. Dra. Maria Nalu Verona Gomes  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Valdir Celestino da Silva  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Dalmarino Setti  
(UTFPR – Departamento Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

\*A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso de engenharia mecânica

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, Anelise Dasenbrock Polachini e meu pai Nelso Luiz Polachini, que nunca mediram esforços e uma excelente educação para que pudesse estar aqui hoje realizando meu sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a todos os meus familiares, sempre presentes da forma que puderam, me ajudando como puderam para que tudo isso fosse possível.

Ao Prof. Dr. Dalmarino Setti, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho sob sua orientação, ao tempo e paciência desprendidas para que o trabalho fosse realizado.

Agradeço ao Rafael e Alexandre, por cederem o objeto de estudo e fornecerem todo o suporte necessário para que tivéssemos êxito.

Aos professores do Curso de Engenharia Mecânica pelo compromisso que têm conosco, buscando nos capacitar para o mercado de trabalho. Sinto uma imensa satisfação e compromisso em honrar tudo o que recebi da formação acadêmica recebida na UTFPR.

Agradeço a minha namorada Daiane, pessoa que amo compartilhar minha vida.

E aos meus amigos, por todos os momentos em que me incentivaram e estiveram ao meu lado para que meu sonho se tornasse realidade.

## EPÍGRAFE

“Deixe o futuro dizer a verdade, e avaliar cada um de acordo com seus trabalhos e suas conquistas.”  
(Nikola Tesla).

## RESUMO

POLACHINI, Guilherme. **Seleção de processos de fabricação com o método fuzzy-TOPSIS**. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O presente trabalho propõe desenvolver a seleção do processo de fabricação de um componente mecânico sujeito a um ambiente frigorífico e suscetível a agentes químicos que faz parte de um Painel-PC com a utilização do método multicritério *Fuzzy-TOPSIS*. Foi realizada a avaliação com base nos critérios de Custo de ferramental, Qualidade, Prazo de entrega, Custo unitário e quanto a Flexibilidade e capacidade de resposta a mudanças. Os processos candidatos foram Soldagem, Conformação, Fundição e Usinagem. Com a aplicação do método *FUZZY-TOPSIS* o processo de Conformação apresentou o maior valor do coeficiente de similaridade com a solução ideal entre os processos de fabricação candidatos. A ordem de classificação foi a seguinte: Conformação (0,590), Fundição (0,588), Soldagem (0,552) e Usinagem (0,416).

**Palavras-chave:** Seleção de processos, *FUZZY-TOPSIS*, Painel-PC, Seleção Multicritério.

## **ABSTRACT**

POLACHINI, Guilherme. **Selection of manufacturing processes with the fuzzy-TOPSIS method**. 2019. 59 f. Course Completion Work - Mechanical Engineering Course, Federal Technological University of Paraná.

The present work was developed from the manufacturing process of a mechanical component subject to a Fuzzy-TOPSIS multicriteria method. An evaluation was made based on the criteria of Cost, Adaptation, Quality, Delivery Time, Unit Cost and as to the Flexibility and responsiveness to the changes. The processes were taught in Welding, Conformation, Casting and Machining. With an application of type FUZZY-TOPSIS the conformation process presented the highest value of similarity coefficient with an ideal solution between the candidate manufacturing processes. The order of classification was as follows: Forming (0.590), Casting (0.588), Welding (0.552) and Machining (0.416).

**Keywords:** Process selection, TOPSIS-Fuzzy, PC-Panel, Multicriteria Selection.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abrangências do processo primário.....	18
Figura 2 - Fundição em areia verde .....	20
Figura 3 - Conformação por dobramento .....	21
Figura 4 - Processo de soldagem TIG.....	23
Figura 5 - Processos de fresamento convencional e CNC.....	24
Figura 6 - Matriz de processos por materiais .....	27
Figura 7 - Matriz de Processo e Forma.....	28
Figura 8 - Matriz de processo e Massa .....	29
Figura 9 - Processo por Espessura da seção.....	30
Figura 10 - Processo e Tolerância Dimensional.....	31
Figura 11 - Processo por Rugosidade.....	32
Figura 12 - Matriz de processo e Tamanho de lote econômico.....	33
Figura 13 - Número Fuzzy triangular .....	34
Figura 14 - Método Triangular .....	35
Figura 15 - Dimensões do projeto em planta .....	39
Figura 16 - Fluxograma de pedido .....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores Impactantes nos custos gerais do projeto .....	16
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do TOPSIS E FUZZY-TOPSIS.....	36
Quadro 3 - Embasamento das escolhas .....	45
Quadro 4 - Escala linguística para avaliação das alternativas .....	46
Quadro 5 - Escala linguísticas para avaliação dos pesos dos critérios .....	46
Quadro 6 - Peso dos Julgamentos .....	49
Quadro 7 - Avaliação de desempenho dos Processos com relação aos Critérios ....	50
Quadro 8 - Números fuzzy correspondentes aos valores do quadro 7 .....	51
Quadro 9 - Matriz de decisão ponderada e normalizada.....	52
Quadro 10 - Distância entre o desempenho dos fornecedores e a solução ideal positiva e negativa.....	52
Quadro 11 - Ranking de desempenho global dos candidatos a manufatura .....	52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Objetivo Geral .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUTO .....	15
2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO .....	17
2.2.1 –FUNDIÇÃO.....	19
2.2.2 – CONFORMAÇÃO.....	21
2.2.3 – SOLDAGEM .....	22
2.2.4 – USINAGEM .....	24
2.3 SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	26
2.4 VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS REPRESENTADAS POR NÚMEROS TRIANGULARES <i>FUZZY</i> .....	33
2.4 DESCRIÇÃO DO MÉTODO <i>FUZZY-TOPSIS</i> .....	36
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1 COMPONENTE DE ESTUDO.....	38
3.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO .....	40
3.2.4 Custo Unitário.....	43
3.2.5 Flexibilidade e Capacidade de Resposta .....	43
3.3 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....	44
3.5 MÉTODO <i>FUZZY-TOPSIS</i> .....	45
<b>4 RESULTADOS E DISCUÇÕES</b> .....	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXO A – PROJETO DETALHADO DO PRODUTO</b> .....	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um processo de fabricação é o método que irá moldar, unir ou finalizar a matéria-prima em uma forma final para compor um componente ou produto (ASHBY, 2005), essa transformação gera um item com um maior valor agregado devido as operações de processamento (GROOVER, 2007). Atualmente, existem diversos tipos de processos de fabricação que podem ser aplicados ao mesmo produto. A escolha para um dado componente depende de vários fatores, como material, precisão, forma e quantidade que serão definidos pelos requisitos de projeto (ASHBY, 2012). O projetista tem a responsabilidade de garantir que o produto esteja dentro das expectativas do projeto com os requisitos do cliente, cumprindo as especificações e garantindo a qualidade em todos os aspectos, incluindo a fabricação e montagem em escalas de tempo reduzidas aumentando a eficiência de produção (SWIFT e BOOKER, 2003).

Atualmente, o mercado confere ao fornecedor de produtos e serviços maior interatividade com o cliente, que atua fornecendo soluções técnicas dentro da sua capacidade e *know-how* já adquirido. Durante o desenvolvimento do produto isso otimiza de forma eficiente o projeto, evitando retrabalhos, o tornando mais competitivo e interessante ao mercado. Apesar do interesse de determinada empresa fornecedora produzir um produto, muitas vezes o tempo de resposta para essa interação com o cliente durante o processo de desenvolvimento do produto é muito maior do que o disponível por parte do projetista (SWIFT e BOOLER, 2003; KALPAKJIAN E SCHMID 2001; ASHBY, 2005).

A seleção do processo de fabricação influencia diretamente no custo final do produto, para um dado componente essa escolha depende do material que ele será feito, do seu tamanho, da precisão exigida e de quantas peças serão produzidas, informações essas que compõem os requisitos de projeto. (ASHBY, 2012; CHARLES *et al*, 1997).

Existem diversas formas de realizar a seleção de processos, podendo ser aplicadas em várias etapas no desenvolvimento do produto, sendo elas, por material a ser utilizado, nas fases de pré-projeto, projeto conceitual, no projeto preliminar, projeto detalhado, pela forma ou por projeto para manufatura e montagem. Cada produto sempre que composto por uma geometria e material vai poder ser produzido

por um determinado processo e não por outro, então os possíveis processos para manufatura serão definidos. A escolha a partir desse ponto pode ser por diversas formas, sendo elas, por capacidade de produção, custo, qualidade, investimento inicial dentre outros, podendo ser por método comparativo ou por métodos multicritério (ASHBY, 2012; SETTI, 2010).

Os métodos de decisão multicritério permitem a iteração de diversos requisitos de projeto e processos de manufatura diferentes, assim decidindo entre processos em um ambiente de incerteza, gerando uma maior assertividade do processo de seleção do método de manufatura (WANG, 2010; MARTINS, 2017).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo desenvolver a seleção do processo de fabricação de um componente mecânico sujeito a um ambiente frigorífico e suscetível a agentes químicos com a utilização do método multicritério *Fuzzy-TOPSIS*.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para se atingir os objetivo geral os seguintes objetivos específicos são apresentados: (i) definir critérios de seleção adequados as especificações de aplicação do componente em estudo; (ii) apresentar processos de fabricação como candidatos à manufatura que atendam aos requisitos técnicos do componente em estudo; (iii) aplicar o método *Fuzzy-TOPSIS* para realizar a seleção do processo de fabricação mais adequado; (iv) apresentar as principais considerações obtidas com a realização do trabalho e apresentar sugestões de novos estudos sobre o tema.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A seleção de processos é um assunto de interesse durante o desenvolvimento de um produto, pois é a fase em que se tomam decisões que se alteradas no futuro poderão ser muito onerosas quanto a tempo de desenvolvimento e custo financeiro. Envolve uma série de fatores que interagem entre o produto e o processo de fabricação. Tornar essa etapa mais precisa e assertiva, faz com que o produto tenha um melhor desempenho quanto a utilização do processo de fabricação (LOVATT E SHERCLIFF, 1998). Observando que a área da fabricação avança cada vez mais, e apresentando novas tecnologias de fabricação (KALPAKJIAN E SCHMID 2001) é possível observar a importância da aplicação da seleção do processo para manufatura nesse meio, tornando cada vez mais difícil escolher o processo com o melhor desempenho dentre tantas opções (SWIFT e BOOKER, 2003).

A mudança na economia global vem aumentando a competitividade do mercado, e com isso criou um cenário muito competitivo e exigente. As empresas em resposta a isso vem buscando novas alternativas, mais precisas, de suporte a tomada de decisão (NAYULA E ARRAIS, 2002)

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho se justifica pela contribuição científica, abordando análises existentes na literatura e as confrontando com dados obtidos no contexto da pesquisa. Assim, fornecerá fundamentos teóricos que nortearão análises futuras no âmbito da seleção dos processos de fabricação, com a utilização do o método de decisão multicritério *Fuzzy-TOPSIS*.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUTO

O produto nada mais é do que o resultado de um processo de fabricação, obtido através da modificação de um material para atender características pré-determinadas, atendendo de forma integral ou parcial os requisitos estabelecidos (SWIFT e BOOKER, 2014).

As definições das características do produto podem ser estéticas, estruturais ou financeiras, estando diretamente relacionadas com seu *design* e processo de fabricação. O *design* do produto é estabelecido na fase inicial do projeto e é moldado durante o processo de desenvolvimento até se obter a geometria final pré-determinada no projeto (MEDEIROS, 2012).

Para que o produto atenda uma característica específica, o processo de fabricação deve conferir essa possibilidade. Quanto maior o nível de especificação das características de todo o produto, melhor será o resultado final.

Durante o desenvolvimento do produto deve se estabelecer o uso de processos que confirmem apenas o necessário, para que se evite o desperdício tanto de tempo quanto de dinheiro. Decisões devem ser tomadas, como por exemplo, no caso do produto poder ser produzido com matéria prima laminada e atender os requisitos estruturais e de funcionalidade essa será a escolha, devido as propriedades do material, as quais simplificariam o processo de fabricação.

É fundamental o papel do projetista, mediante seus critérios adotados durante o desenvolvimento, os quais irão refletir no custo final do produto. Devem ser observadas as condições de contorno do projeto, para garantir que a peça ira se encaixar em todos os parâmetros espessificados.

Assim, os fatores mais impactantes nos custos gerais do projeto podem ser observados no quadro1.

**Quadro 1 – Fatores Impactantes nos custos gerais do projeto**

ITEM	CARACTERÍSTICA	INTERFERÊNCIA
1	Acabamento	Quanto melhor o acabamento com uma menor rugosidade mais caro e lento é o processo. Envolve mais tecnologia para que se atinja um nível elevado de acabamento comparado com a matéria prima bruta.
2	Geometria	Influencia geralmente o tempo máquina e ferramental utilizado, pois pouca diferença geométrica pode inferir ao produto a inviabilidade de um processo de fabricação, e isso geralmente ocorre com os mais comuns, que são os mais baratos.
3	Reprodutibilidade	O custo da amostra de uma peça é sempre mais alto que seu custo de fabricação em larga escala, porém quanto mais fácil o processo da fabricação do produto o custo da amostra vai se aproximando do custo da peça produzida em larga escala, passando a ser considerada a produção de lotes menores e a se encaixar dentro dos moldes de produção enxuta.
4	Matéria prima	Há uma infinidade de materiais disponíveis no mercado. Uma boa escolha irá refinar o projeto do produto, valendo a avaliação da mudança de geometria para um determinado material. Como eles possuem características diferentes a possibilidade de mudar a geometria para facilitar o processo de fabricação é bem maior, porém quanto a custo direto com matéria prima, quanto mais comum e usual menor é o preço.
5	Precisão	Muitas situações requerem uma precisão elevada, como um alojamento para rolamentos por exemplo, mas em outras situações como um contra peso de elevador, isso já não é necessário. Quanto mais brando forem os seus limites da variação dimensional menor seu custo para o componente. Precisão requer bom equipamento, mão de obra qualificada, instrumentação que atenda a precisão.
6	Acesso à tecnologia	Equipamentos e novas tecnologias são criadas diariamente, porém o acesso a elas pode levar anos, principalmente no que tange a logística, pois, muitas vezes a geometria criada no componente confere a ele uma característica restritiva de fabricação para um determinado processo ou equipamento. Quanto menor a gama de processos disponíveis que conferem a matéria prima um formato final, mais difícil será a fabricação do componente em um custo competitivo.

Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)



## 2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

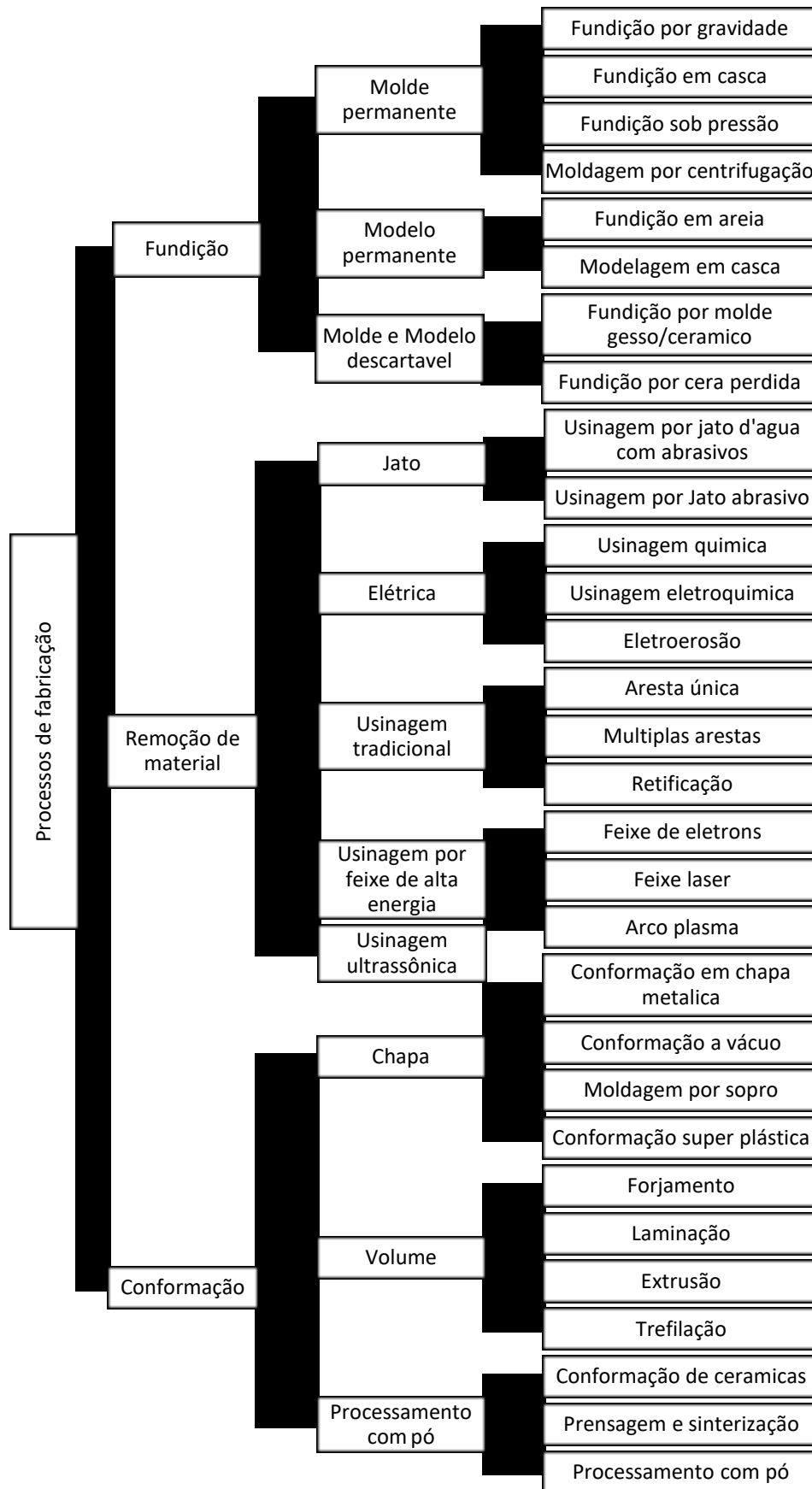
Todo processo de fabricação tem por objetivo transformar algum material para uma forma desejada que irá ser ou compor algo. Estes podem se dividir em 3 grandes grupos primários: Fundição, remoção de material e conformação. Cada uma dessas linhas de manufatura tem suas características, mesmo que para se obter um produto final sejam necessárias o uso de todas as etapas de manufatura.

Existem também os processos que juntamente com os grupos primários formam uma visão geral do universo de fabricação, sendo eles: Processos de prototipagem rápida, processos de engenharia de superfície, sistemas de montagem e sistemas de união (SWIFT e BOOKER, 2014).

Ainda, Swift e Booker (2014) afirmam que com exceção da prototipagem rápida que já fornece a peça pronta, esses processos seguem caminhos distintos do que os primários, eles se complementam a fim de formar o produto final a partir de soldagem, fixação por parafusos, tratamentos superficiais, temperas e etc.

É possível observar o que cada processo primário abrange na figura 1.

**Figura 1 - Abrangências do processo primário**



Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)

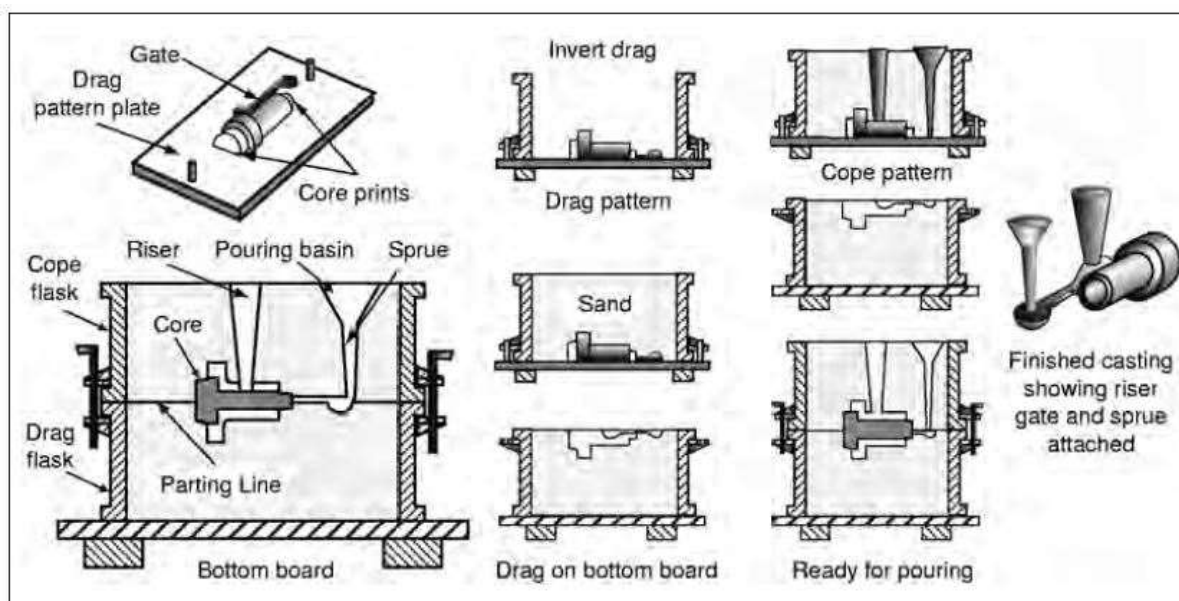
### 2.2.1 –FUNDIÇÃO

Refere-se à obtenção da forma a partir da solidificação do material fundido em uma pré-forma disposta em um molde com variedade de processos e materiais para sua confecção, e pode ser produzida com diversos metais. Apresenta vantagens, pois a sua forma se aproxima muito da forma da peça pronta reduzindo o custo com algum outro pós-processo (SWIFT e BOOKER, 2014).

A fundição geralmente necessita de um pós-processamento na peça, por se tratar de uma solidificação que pode sofrer variações dimensionais durante o processo de resfriamento juntamente com o sobre metal que é disposto sobre o modelo, a fim compensar a redução de volume oriunda da mudança de estado do metal e o ângulo de saída para facilitar a retirada do modelo sem que o molde se quebre. Esses materiais devem ser retirados para que possa atender as especificações dimensionais da peça.

Fundir aços inoxidáveis envolve considerações de projeto similares a de qualquer outra liga fundida, porém possuem um tempo de resfriamento maior, e temperaturas de fundição mais elevadas. Possui a vantagem de poder sofrer tratamento térmico e como é comum da maioria das ligas de aço elas podem ser soldadas. Assim esses materiais com base em níquel possuem uma boa resistência a corrosão com influência de temperatura e agentes químicos (KALPAKJIAN E SCHMID 2001). A figura 2 representa um processo de fundição por areia verde.

Figura 2 - Fundição em areia verde



Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)

Um processo de fundição por areia tem diversas variáveis, isso quando aplicado a certo produto irá gerar um resultado que pode ser previamente previsto conforme a característica que cada um confere ao final do processo. Essas inúmeras variáveis, podem gerar um custo final unitário diferente em diversos casos, a avaliação desse ponto é fundamental para que se possa ter uma boa seleção do processo de manufatura.

No que tange a custos, Swift e Booker (2014) afirmam que devem ser observados os seguintes parâmetros como: Rendimento metalúrgico, tipo de moldagem, quantidade de areia utilizada, se é possível reaproveitar todo o material oriundo de canais e massalotes, se o processo é engessado ou pode ser produzido com lotes pequenos, dentre outros fatores que acarretam no custo final do produto.

Com relação às aplicações, possuem uma vasta gama, por serem de baixo custo e podendo ser atribuídas às peças formas complexas com galerias internas de geometria inacessível depois com a peça pronta, alguns exemplos são: Cabeçotes, polias, coletores de admissão e escapamento em motores, carcaças de bombas, componentes de suspensão, discos de freio, bases de máquinas, mancais de rolamento e muitos outros.

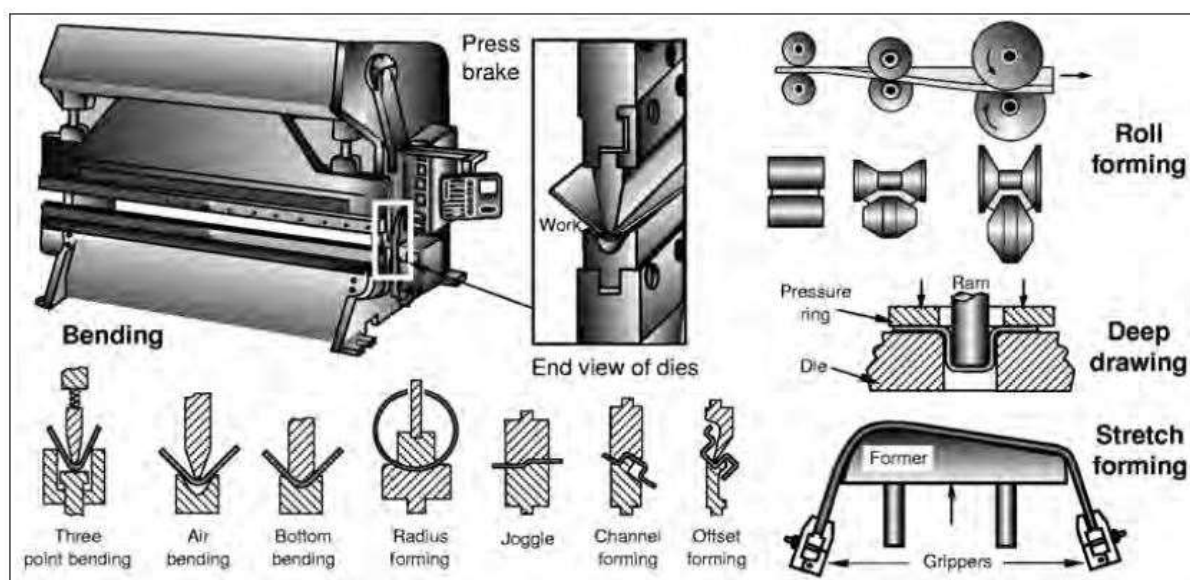
Portanto a peça fundida aceita uma forma variada de geometria e complexidade, podendo ter uma infinidade de materiais e ligas a serem vazadas nos

moldes. Isso faz com que o projetista tenha uma liberdade maior no desenvolvimento do projeto respeitando alguns requisitos do processo escolhido.

## 2.2.2 – CONFORMAÇÃO

Conformação mecânica é uma das mais comuns operações mecânicas (KALPAKJIAN E SCHMID 2001), atribui forma mecânica pela aplicação de esforços que deformam plasticamente o material a fim de manter a forma requerida. Utilizado em larga escala na indústria da transformação, possui uma boa precisão e reprodutibilidade isto é o custo de seus ferramentais são elevados. A figura 3 representa o equipamento com algumas formas possíveis.

**Figura 3 - Conformação por dobramento**



**Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)**

Esse processo tem uma grande variável de métodos, todos com a mesma base, porém aqui iremos abordar a conformação de chapas que é o que se aplica ao objeto de estudo. Com a possibilidade de conformar diversos materiais metálicos, que tenham um comportamento de regime elástico e plástico, cada forma de conformação de chapa é aplicada para se obter uma determinada geometria com uma produção esperada.

Se tratando de um processo que pode possuir automação, acaba atingindo grandes capacidades produtivas, fazendo com que seu custo unitário seja menor. Outro grande ponto desse processo é que o ferramental pode ser utilizado para

produzir diversas formas diferentes. Sendo amplamente utilizado na indústria, permitindo um alto grau de rigidez nas chapas com uma pequena densidade volumétrica, alterando o momento de inércia das peças e encruando o metal nas dobras que são realizadas.

Alguns setores fazem muito uso desse processo, um deles é o automotivo para fabricação de carrocerias, outros exemplos são os perfis de construção, chassis, carcaças de máquinas, carenagens, painéis de aeronaves, além de eletrodomésticos e outros.

O projeto das peças conformadas deve respeitar a geometria da ferramenta e uma sequência lógica de dobra para que seja possível concluir a fabricação. Alguns aspectos que devem ser levados em conta durante o projeto de acordo com Swift e Booker (2014): folgas de ferramentas, ângulos de saída, retorno elástico, raio de dobra do ferramental e etc.

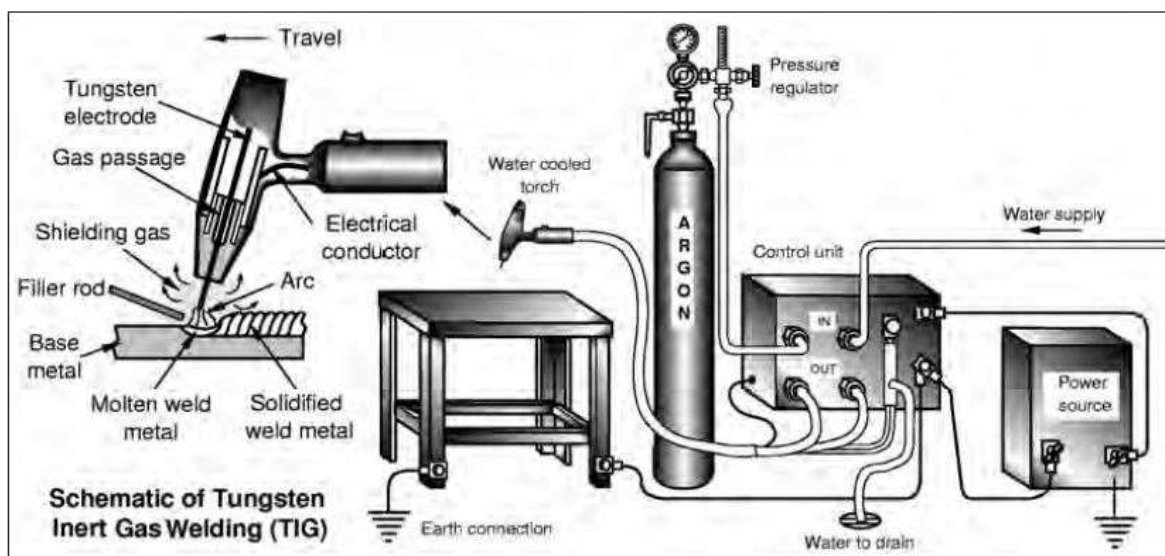
### 2.2.3 – SOLDAGEM

Este método de união de dois componentes é muito utilizado na indústria, pois tem a capacidade a partir de uma poça de fusão gerada por um arco elétrico e protegida por um gás inerte para unir dois componentes metálicos (SWIFT e BOOKER, 2014).

A soldagem é um processo antigo, possui variantes, cada uma delas aplicadas a um grupo de materiais, porém nem sempre o mesmo material pode ser soldado por todos os processos de solda existentes (SWIFT e BOOKER, 2014).

Para o desenvolvimento deste estudo será usado o método TIG (*Tungsten Inerte Gás*) Conforme figura 4, que é indicado para solda em aços inoxidáveis oferecendo uma boa união e acabamento.

**Figura 4 - Processo de soldagem TIG**



Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)

Com a capacidade de soldar diversos tipos de metais ferrosos e não ferrosos, com exceção do zinco, a solda TIG possui variações quanto aos métodos de solda indicados a cada material em específico.

Por se tratar de um processo comum, seus custos são relativamente baixos, porém algumas decisões durante o processo podem acabar sacrificando o rendimento do processo de solda, segundo Swift e Booker (2014).

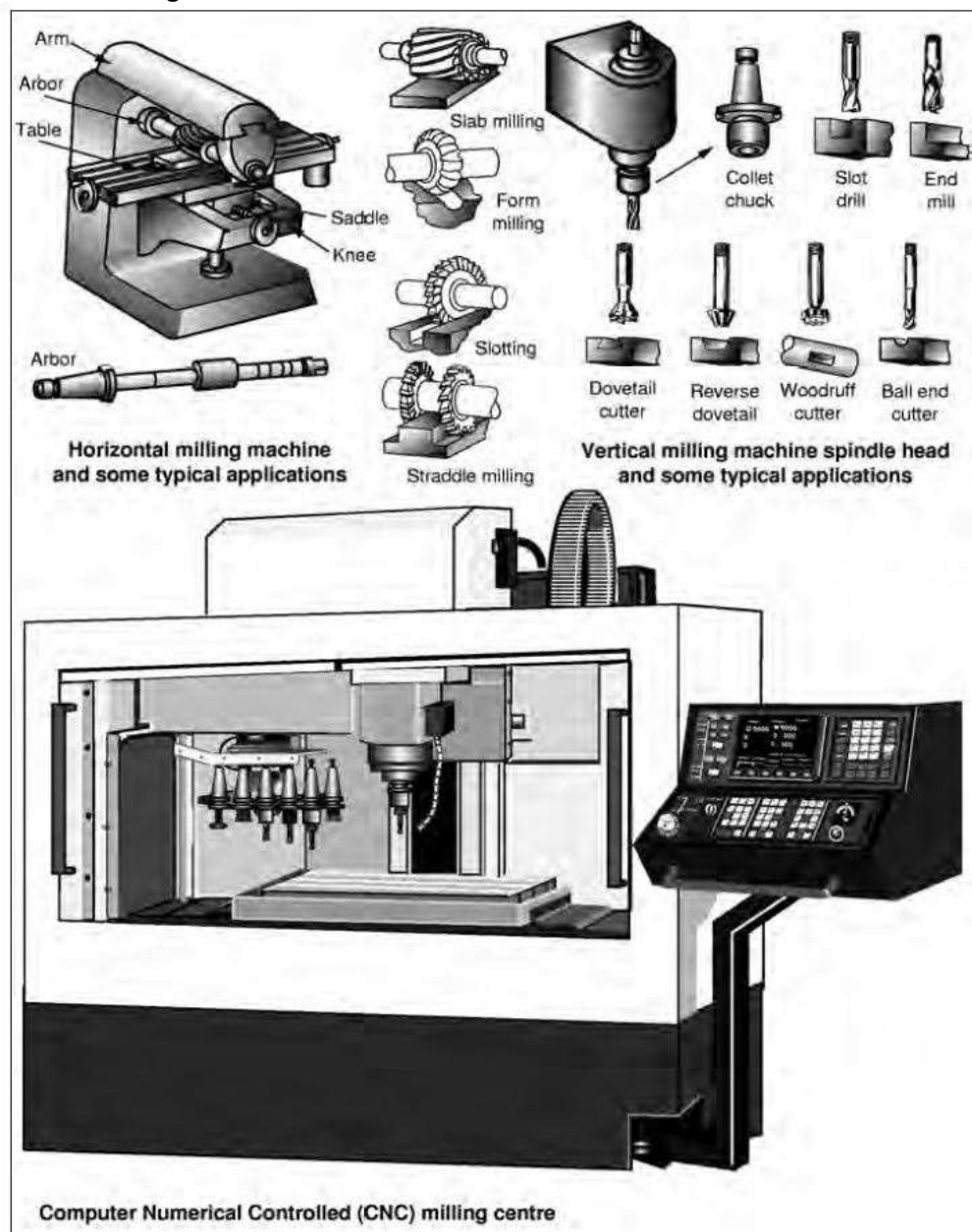
Suas aplicações são as mais diversas possíveis, pois sua versatilidade quanto a aplicação em geometrias variadas facilita muito sua operação. Alguns exemplos de uso são: Tubulações industriais, estruturas aeroespaciais, componentes mecânicos em aço inox, trocadores de calor em alumínio, revestimentos duros para superfícies, montagem de painéis elétricos entre muitas outras aplicações economicamente viáveis (SWIFT e BOOKER, 2014).

Durante o desenvolvimento do produto deve se atentar as limitações dimensionais que a tocha e o bocal ocupam no espaço, para que a solda ocorra o eletrodo deve conseguir acessar a região que terá a poça de fusão. Por ser um processo de união, pode formar geometrias complexas a partir de várias peças para formar um componente.

## 2.2.4 – USINAGEM

A usinagem é um processo que consiste na remoção de matéria prima a partir de um *blank*, que é o material base para obtenção de uma geometria ou produto final. Possui variantes quanto ao seu processo, podendo ser por torneamento, mandrilhamento, fresamento, aplainamento, brochamento, alargamento, retificação, brunimento e lapidação. Podem ser automatizados, mecanizados ou por operação manual, conforme figura 5:

**Figura 5 - Processos de fresamento convencional e CNC**



Fonte: Adaptado de SWIFT e BOOKER (2014)



O processo de Fresamento será utilizado para seleção de processos do presente trabalho, sendo o processo que melhor atende as características do produto em estudo. Tal método consiste na remoção de cavacos a fim de produzir forma, a qual se pode usar diversas ferramentas com perfis diferentes conduzindo uma operação mais eficiente para determinada geometria. Possui capacidade de atribuir qualquer forma a qualquer geometria em duas dimensões e aplicá-la a um incremento de profundidade removendo o material a ser usinado.

Com a possibilidade de ser operado a partir de um comando numérico computadorizado (CNC) a complexidade das geometrias é aumentada e o controle de parâmetros variados de usinagem.

Neste contexto, o Fresamento é um processo de usinagem que possui algumas variantes, as quais podem atribuir um rendimento e custo variado para determinada aplicação. As variações são propostas Swift e Booker (2014).

Por serem equipamentos universais que possuem operação manual ou por programas gerados, estes são versáteis para operações diversas com geometrias variáveis, influenciando diretamente no custo de operação.

Com a popularização e a flexibilidade destes equipamentos, é cada vez mais comum encontrar peças que façam uso desse processo. Os métodos convencionais estão cada vez mais em desuso e o CNC está se popularizando pela praticidade, capacidade de reprodutibilidade e o preço cada vez mais competitivo para a indústria. As aplicações mais comuns são: Componentes que exigem precisão dimensional, indústria aeroespacial, automotiva, engrenagens, blocos de motores, pistões e etc (SWIFT e BOOKER, 2014).

Para esse tipo de aplicação deve-se sempre levar em consideração o equipamento que será utilizado e suas restrições de posicionamento e ferramental disponível. A inviabilidade de muitos processos durante a manufatura se deve à falta de conhecimento sobre esses aspectos e os componentes que compõem o custo dele.

Os componentes usinados geralmente apresentam um excelente aspecto de acabamento, quando usinado para possuir tal, mas isso depende de vários fatores como o ferramental utilizado, usinabilidade do material e os parâmetros utilizados no processo.

## 2.3 SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

A seleção dos processos seguem uma linha lógica a partir das informações que o projeto fornece, após isso é realizada a seguinte sequência: Tradução, triagem, classificação e documentação (ASHBY, 2012).

Na tradução se procura entender os requisitos do projeto e os transformá-los em restrições técnicas, quanto a qualidade desejada os objetivos da peça e as variáveis sem definição.

A Triagem passa a aplicar as restrições do projeto sob os processos de manufatura, e visa diminuir o universo de possibilidades a apenas os processos que possam atender por completo os requisitos.

Classificação tem o objetivo de avaliar os requisitos e maximiza-los ou minimizá-los conforme as especificações, um dos principais é minimizar o custo, geralmente isso ocorre, mas em alguns produtos pode ocorrer por decisão da empresa de se maximizar a qualidade independentemente de quanto isso irá custar, entretanto quem irá fornecer essas informações é a tradução, e por fim gerar um *ranking*.

Quanto a documentação irá certificar a escolha final a partir da classificação e outras informações sobre tamanho de lote, confiabilidade e capacidade de reprodutibilidade do processo.

Compreendido essa etapa se faz a implementação da seleção. A Compatibilidade do material com o processo, isso apresenta qual tipo de processo pode ser usado para determinado material, a figura 6 ilustra a matriz de processos e materiais.

Figura 6 - Matriz de processos por materiais

		Metais ferrosos	Metais não ferrosos	Cerâmicas	Vídeos	Elastômeros	Termoplásticos	Termofixos	Espumas de polímeros	Compositos
Conformação	Fundição em areia	●	●							
	Fundição em molde		●							
	Fundição por cera perdida	●	●							
	Fundição a baixa pressão		●							
	Forjamento	●	●							
	Extrusão		●							
	Conformação de chapas	●	●							
	Métodos de pó	●	●	○						
	Eletrousinagem	●	●	○						
	Usinagem convencional	●	●	○	○	○	○	○	○	
	Moldagem por injeção				○	○	○	○	○	
	Moldagem a sopro				○		○			
	Moldagem por compressão				○	○	○	○		
	Moldagem rotacional					○	○	○	○	
	Termoformação					○	○	○		
	Fundição de polímeros					○	○	○	○	
	Moldagem por transferência de resina						○	○	○	○
	Enrolamento de filamento									○
	Métodos de assentamento									○
Saco de vácuo									○	
União	Adesivos	●	●	○	○	○	○	○	○	○
	Soldagem, metais	●	●							
	Soldagem, polímeros					○	○	○	○	
	Elementos de fixação	●	●	○	○	○	○	○	○	○
Acabamento	Usinagem de precisão	●	●				○	○		○
	Retificação	●	●	○	○					○
	Polimento	●	●	○	○					○
	Lapidação	●	●	○	○		○	○		○

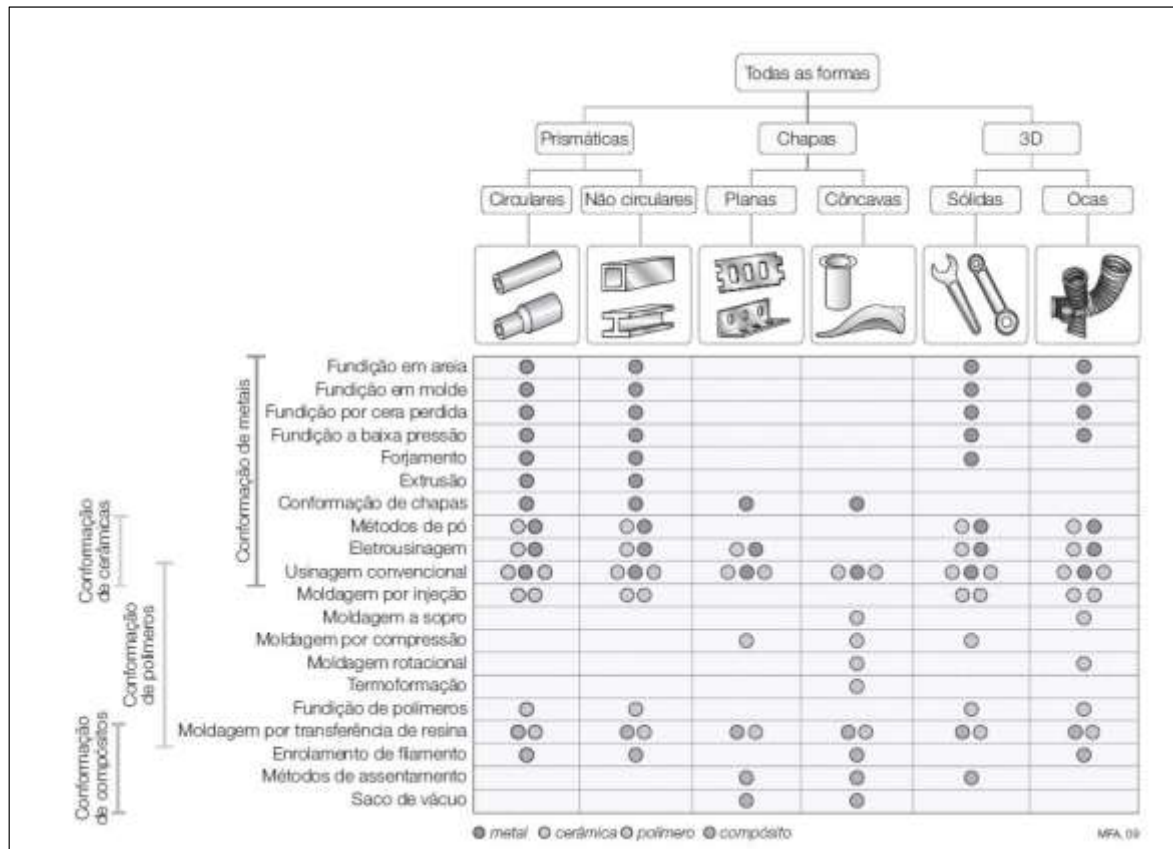
● metal ○ cerâmica ○ polímero ○ espuma ● compósito

MFA, 09

Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

A próxima parte a se analisar é a compatibilidade do processo com a forma requerida, as formas variam bastante e em uma mesma peça você pode ter diversas formas, fazendo então uma análise por semelhança (ASHBY, 2012). Como representado na figura 7.

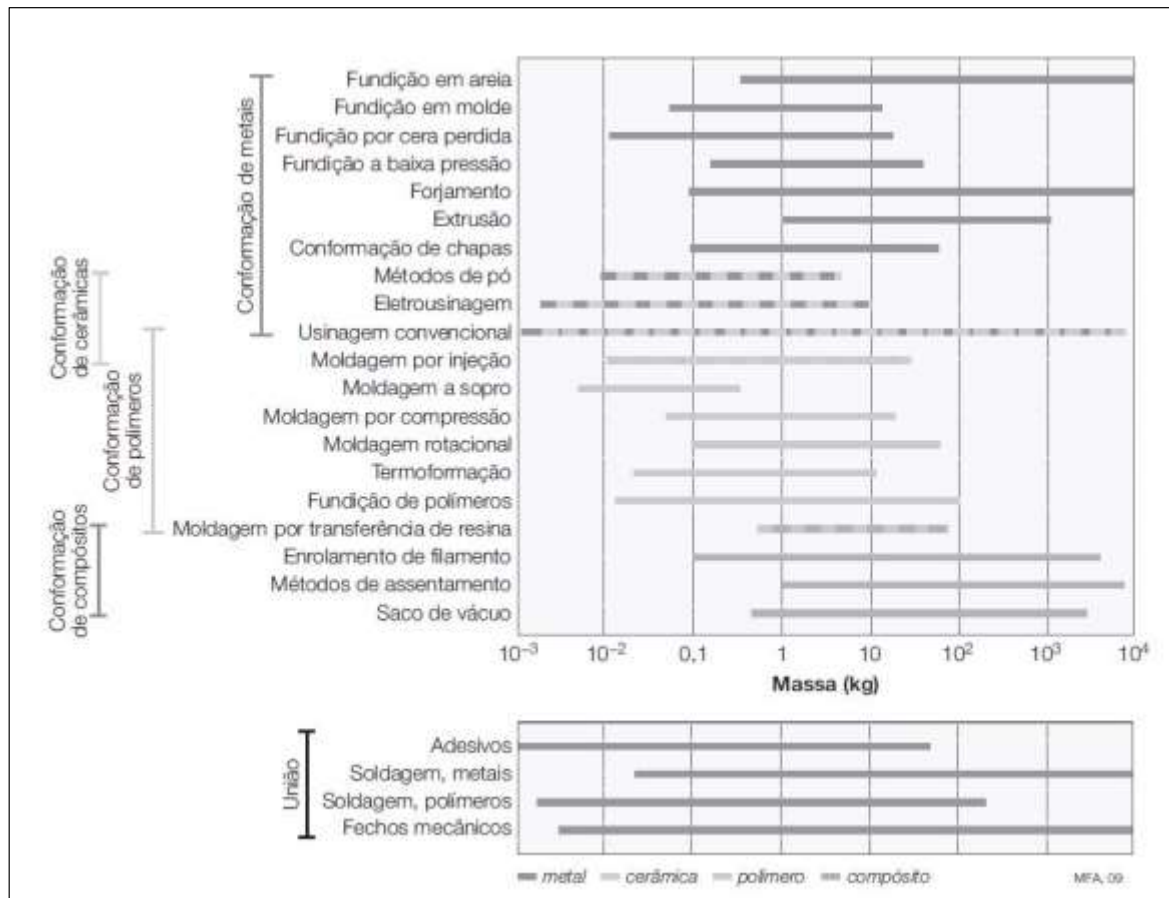
Figura 7 - Matriz de Processo e Forma



Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

A massa e a espessura das secções são muito importantes para definição do processo. Ex, se for muito espesso não dobra na dobradeira, se for muito fino não consegue fundir. Todo processo tem suas restrições, e a Figura 8 apresenta isso.

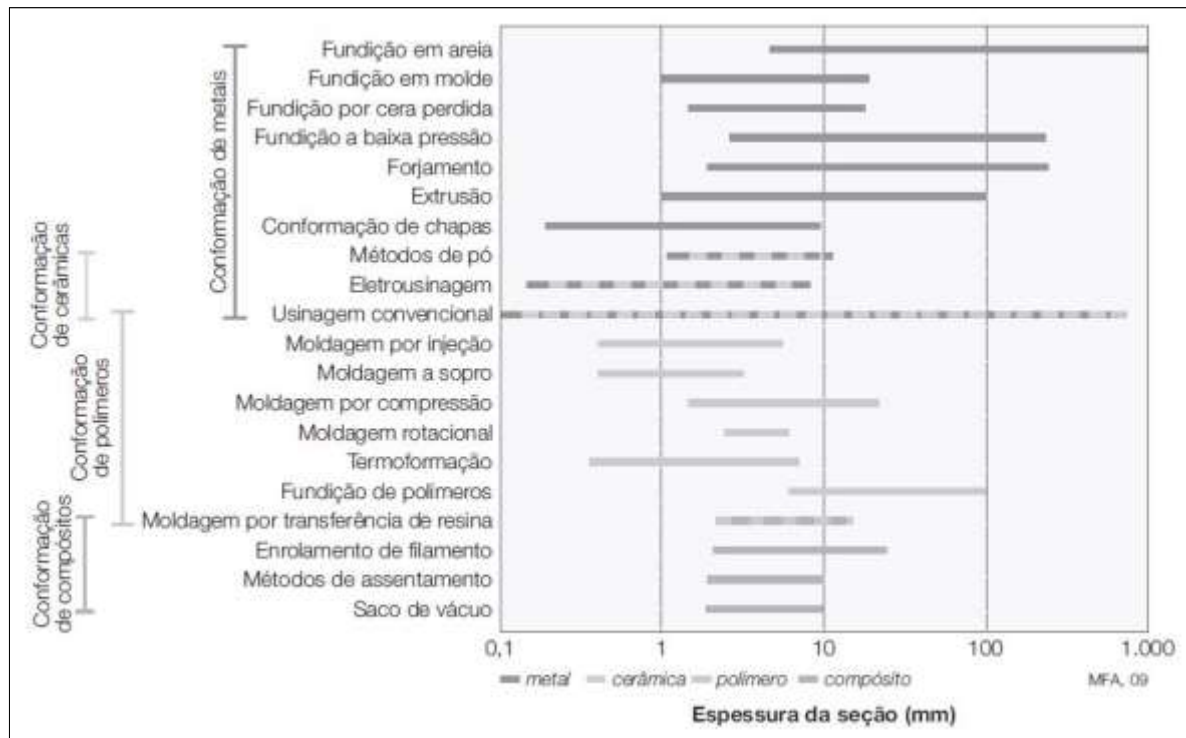
**Figura 8 - Matriz de processo e Massa**



Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

A espessura irá dizer muito sobre quais processos de manufatura apresentam. Alguns métodos de fabricação só são possíveis até uma determinada espessura, representado na figura 9.

**Figura 9 - Processo por Espessura da seção**

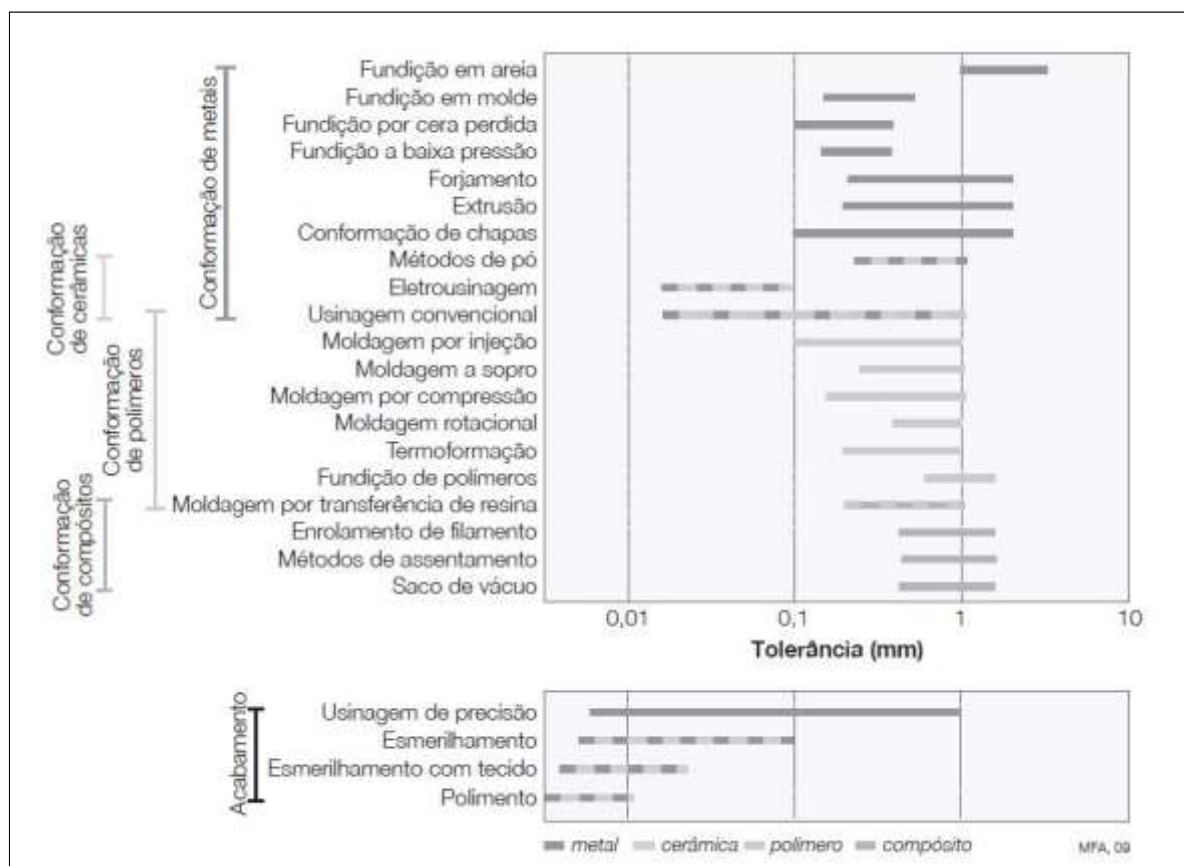


Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

Os limites de tolerância fornecem um parâmetro muito bom para identificar no produto qual processo terá mais pós usinagem só onde será necessário.

Cada processo irá ter uma particularidade quanto a tolerância dimensional, podendo variar conforme sua espessura, material e outras variáveis que afetam a tolerância dimensional. A figura 10 apresenta algumas características do processo com sua tolerância dimensional.

**Figura 10 - Processo e Tolerância Dimensional**

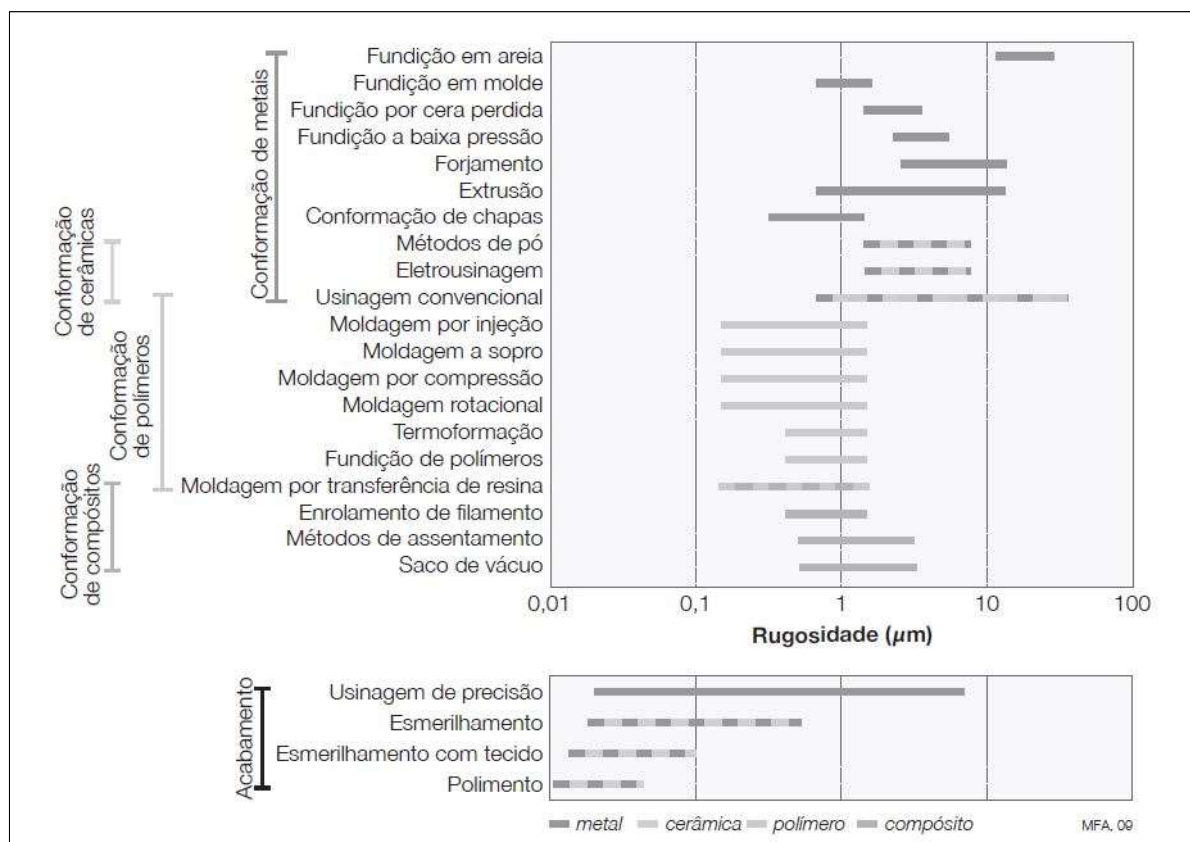


Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

E por fim a matriz de rugosidade, que irá apresentar informações sobre a superfície da peça para cada processo de fabricação.

Influenciando o aspecto final da peça, cada processo tem sua particularidade devido ao método de manufatura, como representado na figura 11.

**Figura 11 - Processo por Rugosidade**

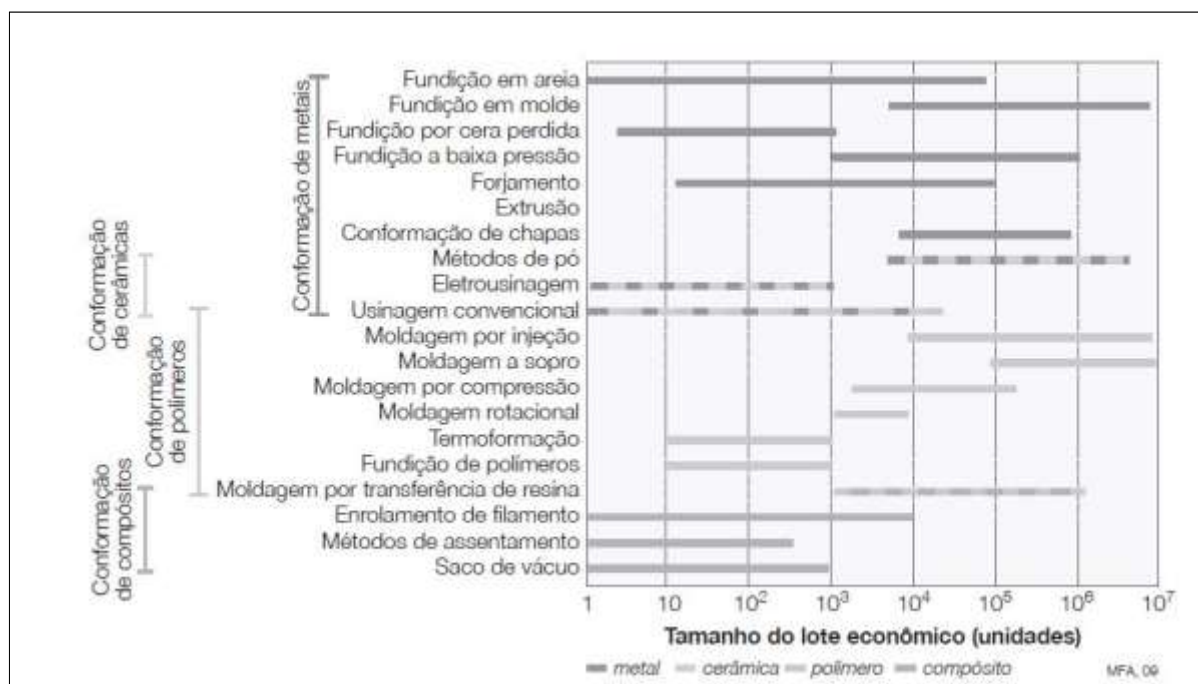


**Fonte: Adaptado de ASHBY 2012**

Modelagem por lote econômico, apresenta valores comparativos entre os processos candidatos, são influenciados por diversos fatores mas o principal é o volume de peças produzidas. A figura 12 representa esse tamanho de lote econômico em função do processo de fabricação.



Figura 12 - Matriz de processo e Tamanho de lote econômico



Fonte: Adaptado de ASHBY 2012

A partir dessas informações já é possível fazer a seleção de 4 possíveis candidatos para manufatura das peças, fazendo uso de todos esses recursos o universo de opções se torna cada vez mais enxuto e facilitando o processo de seleção de processos.

## 2.4 VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS REPRESENTADAS POR NÚMEROS

### TRIANGULARES FUZZY

A numerologia *Fuzzy* segundo Lima Junior e Carpinetti (2015) vêm da adequação do FST (*Fuzzy Set Theory*), esta lógica está utilizada para definir o grau de inclusão dos elementos em conjuntos *fuzzy*, modelando um conjunto por meio de uma função de pertinência,  $\mu_A(x): X \rightarrow [0.0, 1.0]$ , para determinar os níveis parciais de inclusão.

Ao contrário da lógica dos conjuntos como é conhecida tal que 0.0 falso e 1.0 verdadeiro, o *fuzzy* admite que se tenha um intervalo de números que podem ser considerados verdadeiros ou falsos dentro de uma escala. (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007).

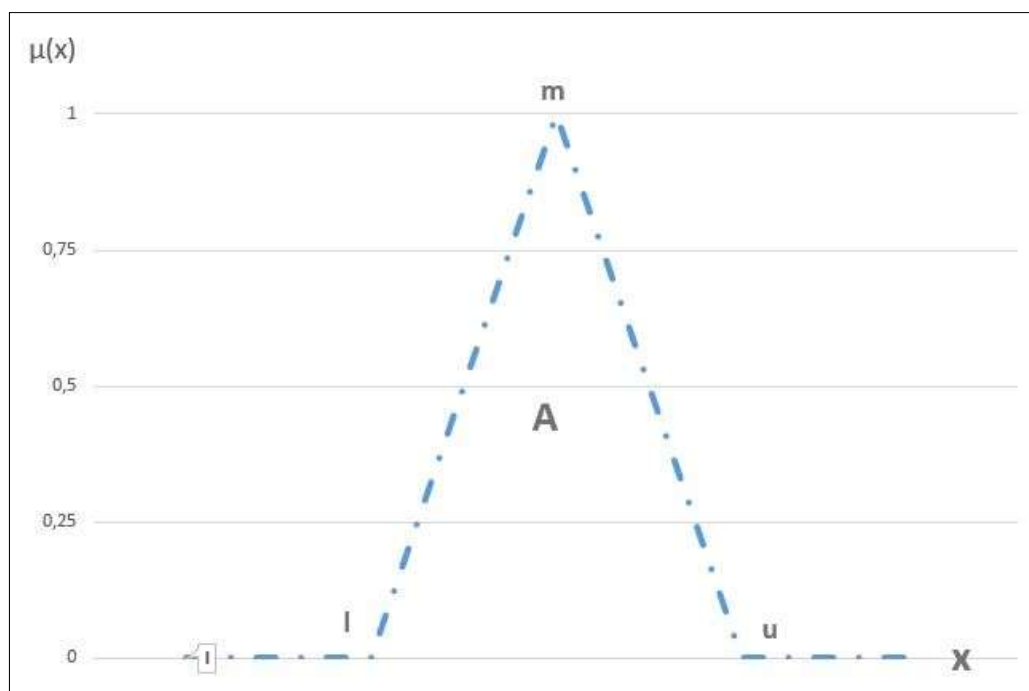
Os valores obtidos através dos números *fuzzy* triangulares são capazes de fornecer informações que obedecem uma condição de normalidade e continuidade. O comportamento de um número *fuzzy* permite quantificar a imprecisão associada a informação de qualificação, definida por meio de sua função de pertinência  $\mu(x)$ .

Para retratar um número *fuzzy* triangular podemos descrevê-lo com suas inversões (l,m,u), onde:

- m é o valor de *crisp*;
- l é o limite inferior e,
- u o limite superior (KAHRAMAN, 2008).

É o que pode ser visualizado na figura 13 e equação 1, a seguir:

Figura 13 - Número *Fuzzy* triangular

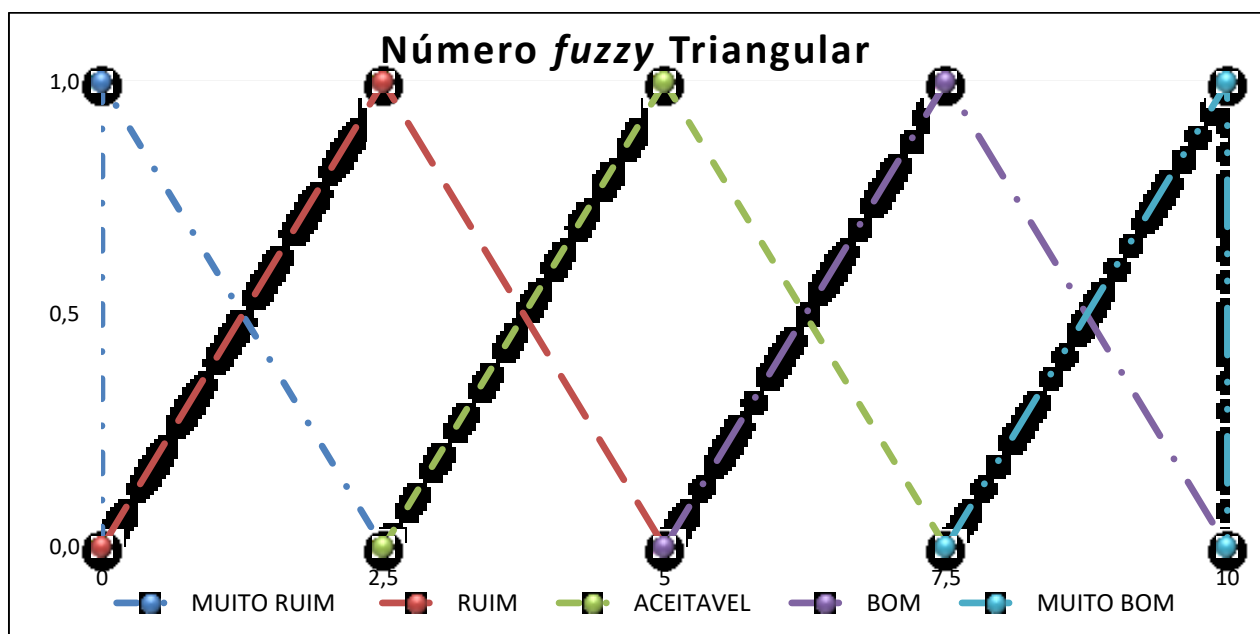


Fonte: Adaptado de Lima Junior e Carpinetti (2015)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l < x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m < x < u \\ 0, & x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

Os *fuzzy-numbers* determinados pelo método triangular, para então elaborar a matriz *fuzzy* de decisão, a fim de normalizar a matriz por escala de transformação linear. Tal matriz pode ser observada na figura 14, a seguir:

Figura 14 - Método Triangular



Fonte: Adaptado de Lima Junior e Carpinetti (2015)

Segundo Lima e Junior Carpinetti (2015), se faz necessária a demonstração dos fundamentos das 4 operações algébricas para aplicação deste método. Essas operações algébricas com dois números triangulares  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  podem ser feitas usando as equações de soma, subtração, multiplicação e divisão, (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007). É o que pode ser visualizado nas equações 2, 3, 4 e 5, a seguir:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (2)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - l_B, m_A - m_B, u_A - u_B] \quad (3)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B] \quad (4)$$

$$\tilde{A}/\tilde{B} = [l_A, m_A, u_A]/[l_B, m_B, u_B] = [l_A/l_B, m_A/m_B, u_A/u_B] \quad (5)$$

## 2.4 DESCRIÇÃO DO MÉTODO FUZZY-TOPSIS

A seleção de processos industriais possuem diversos métodos, dentro do domínio do *Multi-criteria Decision Making Methods* (MCDM) temos o TOPSIS do inglês *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, (HWANG; YOON,1981) e o *Fuzzy-TOPSIS*. O objeto de estudo deste trabalho é uma adaptação do primeiro.

O MCDM é todo método que faz uso da avaliação de um ou mais critérios de seleção, o que possibilita abordar um maior número de possíveis candidatos com uma maior eficiência.

Usar valores numéricos no processo de avaliação de alternativas pode não ser a melhor solução, pois como são baseados em valores numéricos, o tratamento dado a suas incertezas pode ser uma limitação ao método. Com isso, o *Fuzzy-TOPSIS* acabou sendo desenvolvido de modo a trabalhar com a escolha de critérios a partir de dados incertos (KROHLING e CAMPANHARO, 2011).

O método *TOPSIS* e o *Fuzzy-TOPSIS* possuem vantagens e desvantagens, conforme pode ser observado no quadro 2, a seguir:

**Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do TOPSIS E FUZZY-TOPSIS**

	<b>TOPSIS</b>	<b>Fuzzy-TOPSIS</b>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente ferramenta para modelar situações quantitativas com os valores precisamente conhecidos</li> <li>- O processo de coleta de dados é mais simples e requer menor quantidade de julgamentos.</li> <li>- Ferramenta mais simples para se trabalhar computacionalmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mais eficiente para uso com critérios qualitativos e pesos.</li> <li>- A inserção ou exclusão de alternativas não causam inversões no <i>ranking</i>.</li> </ul>
<b>Limitações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inadequado para avaliar e modelar quando se possui variáveis qualitativas.</li> <li>- Forma mais difícil para definição dos pesos de referência.</li> <li>- Pode ocorrer inversão no <i>ranking</i> se ocorrerem alteração nas alternativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A coleta de dados é mais complexa e requer julgamentos adicionais.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Lima Junior e Carpinetti (2015)

Tendo em vista o quadro 2, o método fuzzy-TOPSIS veio para trazer uma precisão maior ao que tange o cenário da incerteza. A primeira proposta de união do método TOPSIS com a teoria dos conjuntos fuzzy foi realizada por Chen em 2000.

Os números fuzzy vem da teoria dos conjuntos proposta por Zadeh (1965) usada para modelar problemas em que a incerteza dos critérios utilizados quando não se tem um valor absoluto para aplicação do TOPSIS.

### 3 METODOLOGIA

Nesse capítulo se apresenta o objeto de estudo (seção 3.1), como foram realizados definidos os critérios para seleção (seção 3.2), o método para determinação dos pesos dos critérios (seção 3.3), como foi realizada a escolha dos processos de fabricação possíveis (seção 3.4) e o método de seleção multicritério *FUZZY-TOPSIS*.

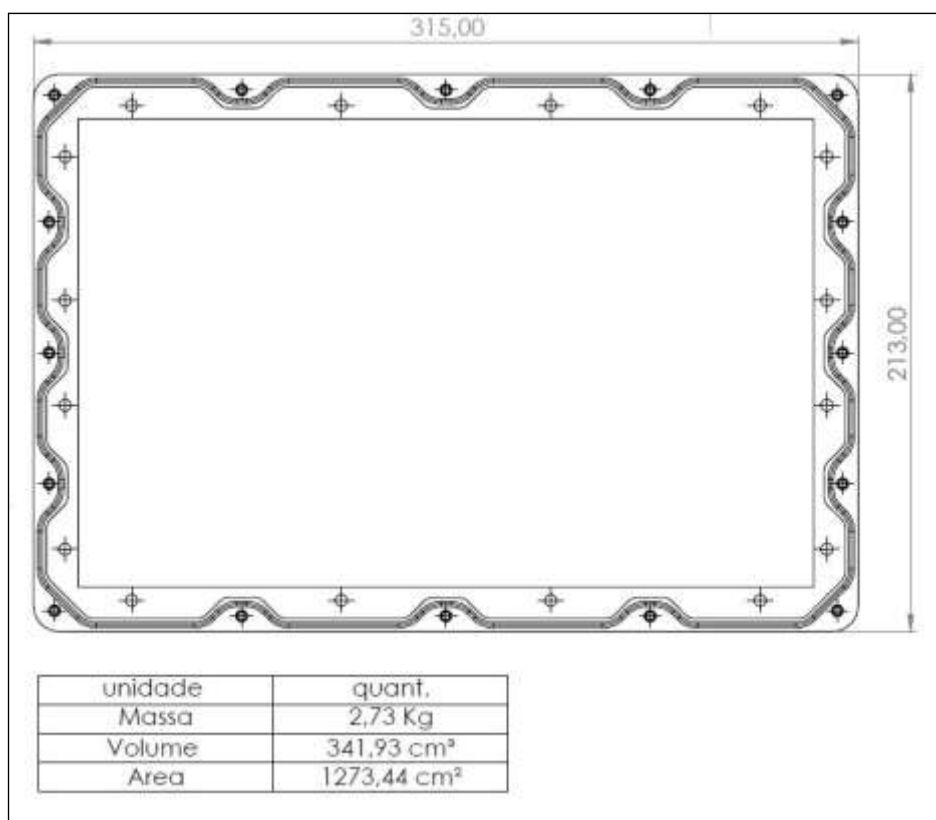
#### 3.1 COMPONENTE DE ESTUDO

O componente de estudo trata-se de um corpo estrutural aplicado a um Painel-PC. A seleção do processo de manufatura foi desenvolvida devido à dificuldade de selecionar o melhor processo para manufatura. O produto foi desenvolvido por uma empresa localizada no Sudoeste do Paraná, com foco no desenvolvimento de novos produtos e soluções para a indústria de inspeção visual e testes, no presente trabalho será tratada como empresa X. O produto é similar a uma IHM (Interface Homem Máquina), porém mais semelhante a um computador, o qual visa interagir o programa de execução nele instalado com o operador ou pessoa responsável.

O ambiente em que será instalado o painel requer inércia química e biológica, devendo ser também estanque, e compondo um produto que terá como classificação IP-68 livre de imperfeições superficiais, fabricado em aço inoxidável AISI 304L. Tais cuidados são necessários para que possa garantir sua operação em qualquer tipo de ambiente, alimentício, mineração ou extração em plataformas marítimas.

O Anexo 1 dispõe do projeto detalhado do produto. A Figura 15, a seguir, dispõe das dimensões do componente em estudo.

**Figura 15 - Dimensões do projeto em planta**



**Fonte: Cedido por Empresa X (2019)**

Segundo Kalpakjian e Schmid (2001), nem todas as operações de manufatura produzem peças acabadas. Assim, deve-se então adicionar operações para obter o produto final nas medidas e acabamento necessário. O produto de estudo possui áreas que são usinadas obrigatoriamente independente do processo de produção adotado isso para que se possa garantir dois canais de anéis *o'ring*, os quais serão responsáveis pela vedação e furações da tampa frontal e traseira, o paralelismo entra as faces de vedação e o acabamento externo.

Como se trata de um equipamento que estará exposto e com constante manuseio por conta do operador, um dos requisitos é que possua bom acabamento externo, sendo atribuído o acabamento de aço inox escovado para toda sua carenagem, portanto, livre de riscos de ferramental, cordões de solda e ou aparência de fundição na parte externa.

O custo atribuído ao ferramental é um dos requisitos do projeto, cada processo de fabricação demanda um determinado tipo de ferramental e junto com isso um custo particular, essa avaliação torna mais fácil inserir o produto no mercado com um custo mais baixo. Ainda se tratando de custos, temos o outro item, o custo unitário.

Esse custo influencia muito o preço de venda, assim tratado como um requisito do projeto ele tem um peso maior nas ponderações para o cálculo.

Outro fator importante para qualquer produto novo é a capacidade de um fornecedor de atender mudanças de projetos que possam ocorrer durante a fase de validação do produto, isso faz com que o tempo de resposta para o mercado seja rápido, partindo de alguma alteração necessária para a plena funcionalidade do produto. Somando a isso temos quanto ao fornecedor o prazo de entrega, que como definido para esse projeto é manter o mínimo de estoque possível, o tempo de resposta entre o pedido e a entrega da peça irá influenciar no tempo de entrega para o cliente final, ou caso venha ocorrer de um pedido de muitas unidades que esse tempo não pode ser muito grande a ponto do cliente procurar outro fornecedor. Portanto quanto mais curto for o tempo entre pedido e entrega da peça melhor para o comercial da empresa.

Assim estabelecido que este será o objeto para estudo e aplicado o método *Fuzzy-TOPSIS* para seleção de processos, o qual tem por objetivo encontrar o melhor método de manufatura com o menor custo que atenda aos requisitos de projeto.

Portanto esse produto tem que possuir um bom aspecto visual, ser isento de falhas no material da base para não permitir que entre algum líquido, sua geometria pode sofrer pouca alteração externa para poder se adaptar ao processo, deve ter um custo final como critério de alta importância, o processo deve oferecer, devido a ser um produto em desenvolvimento, uma boa flexibilidade e capacidade de mudança para alteração do produto, o custo inicial investido em ferramental deve ser baixo e o prazo de entrega também para que se evite ao máximo trabalhar com estoque na empresa.

### 3.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma necessidade prévia fornecida pela indústria para o desenvolvimento de um processo de manufatura eficiente e que atenda por completo a proposta do equipamento. Os requisitos acompanham as especificações do produto e devem ser atendidas por completo para que se obtenha êxito. Para isso, foram definidos critérios a partir das especificações técnicas e



comerciais, debatidas e estipuladas em reunião com o corpo técnico e a diretoria da empresa, sendo eles:

C<sub>1</sub>: Custo de ferramental (Custo);

C<sub>2</sub>: Qualidade (Benefício);

C<sub>3</sub>: Prazo de entrega (Custo);

C<sub>4</sub>: Custo unitário (Custo);

C<sub>5</sub>: Flexibilidade e capacidade de resposta a mudanças (Benefício).

Os critérios de custo são aqueles que quanto menor o desempenho do processo em relação a esse critério melhor. Os critérios de benefício quanto maior o desempenho do processo em esse critério melhor. Segundo Huang (2008), devemos sempre maximizar os critérios de benefício e minimizar os critério de custo.

### 3.2.1 Custo de Ferramental

Para o processo de fabricação e desenvolvimento de produtos, são utilizadas quatro opções: Soldagem, conformação, fundição e usinagem. Como a proposta da empresa é terceirizar o serviço de manufatura, o levantamento do custo para o desenvolvimento do cálculo é de suma importância. Para obter esses dados serão utilizados como base a literatura sobre processos de fabricação, profissionais de cada área e o que já foi realizado na empresa X que possa ser usado de base.

Para o custo do ferramental para o processo de soldagem, será considerado custos para consumíveis, gabaritos a desenvolver, facilidade de acessar essa tecnologia de fabricação e etc. A conformação considerando a forma do produto a necessidade de investir em um ferramental novo. Na fundição, o desenvolvimento de modelo, placa de moldagem, caixas sob medida se necessário. E na usinagem gabaritos para usinar a peça e fresas especiais para usinagem de aços inoxidáveis.

Feito este levantamento com a equipe e as pesquisas literárias, os dados serão apresentados em uma tabela para serem utilizados no cálculos.

### 3.2.2 Qualidade

De acordo com Reid e Sanders (2005, p. 76), a qualidade influencia diretamente no desenvolvimento do produto. Com o mercado acirrado, o fornecedor deve apresentar produtos que se destaquem em todos os aspectos, e se tratando do visual é imprescindível para um produto novo e irá entrar no mercado.

Além da qualidade, alguns quesitos devem ser atendidos, tais como conformidade com as especificações e adequação ao uso.

A conformidade com as especificações determina até que ponto o produto atende às especificações e aos objetivos definidos pelos seus idealizadores. Já a adequação ao uso indica até que ponto o produto cumpre sua função ou uso pretendido, ou seja, faz aquilo a que foi destinado.

Nesse caso uma das especificações de projeto era o acabamento escovado, a fim de obter uma boa representatividade visual, e cada processo gera um tipo de identidade visual, sem mudar a funcionalidade do produto.

### 3.2.3 Prazo de Entrega

Cada processo de fabricação demanda um determinado prazo de entrega, o que faz com que o processo seja mais vantajoso quanto a outro em relação ao *lead time* entre pedido e entrega do produto solicitado. A Figura 16, a seguir, mostra o fluxograma de pedido de um produto:

**Figura 16 - Fluxograma de pedido**



**Fonte: Acervo do autor (2019)**

O fluxograma apresentado anteriormente descreve de forma simplificada o caminho do pedido até o recebimento do produto, porém após o recebimento ainda deve-se fazer a inspeção de qualidade do produto recebido.

Assim será realizado o levantamento da qualificação do processo de entrega, pela literatura e por contato com os fornecedores.

### 3.2.4 Custo Unitário

O mercado atual utiliza cada vez mais o *e-commerce*, o que faz com que o consumidor tenha mais opções e possa diferenciar o que lhe é oferecido pelo mercado, como disponibilidade, comparação, facilidade e acessibilidade, tornando-se cada vez mais exigentes e criteriosos em suas compras (ESTEVES, 2011).

Assim, têm-se então a necessidade de que os empresários estejam atentos a precificação dos seus produtos e o custo unitário para fabricação é peça chave no valor final do produto. Segundo Prieto (1993), o empresário é obrigado a saber quanto é o custo atual de sua produção, as variações de mercado que possam ocorrer, e dispor de uma grande agilidade na hora de formatar os preços e de os atualizar, tornando-os mais aptos a enfrentar uma concorrência.

Com uma estimativa de produção de 200 peças inicialmente, pelos livros de manufatura como: Swift e Booker, (2014), kalpakjian e Schmid, (2001), Ashby, (2012), Groover, (2007) e Schey, (1999), possuímos alguma aproximação quanto a tempo e custo de fabricação, isso aliado com o que já foi desenvolvido na empresa, em peças similares e com o conhecimento dos fornecedores.

### 3.2.5 Flexibilidade e Capacidade de Resposta

Todo produto oriundo de uma nova tecnologia ou desenvolvimento tem durante o início de sua produção mudanças estruturais geométricas de diversos níveis para se adequar ao mercado consumidor antes de se consolidar uma forma definida. De acordo com Freire et al. (2003), as empresas que englobam o mundo contemporâneo precisam atender e superar todas as expectativas do consumidor quanto à qualidade, produtividade, flexibilidade e custo, sabendo que qualquer alteração de uma cadeia produtiva gera custos e tem uma inércia de implantação.

Para que um fornecedor seja considerado com uma boa capacidade de mudança no processo e tenha um *lead-time* curto, este deve estar preparado financeira e tecnicamente para atender a mudança. Essa avaliação foi realizada entrando contato com as empresas, apresentando as peças a serem produzidas, e comparando suas informações com as que os livros oferecem Swift e Booker, (2014), kalpakjian e Schmid, (2001), Ashby, (2012), Groover, (2007) e Schey, (1999). Muitas

dessas informações podem ser obtidas pela literatura, elas oferecem uma base para que você possa iniciar seu estudo de seleção sem ter definido o processo específico.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Para a determinação dos pesos para os critérios foi realizada uma avaliação de todos os critérios para se determinar o valor da importância dos critérios (pesos). Essa etapa foi desenvolvida com a participação do Eng.º Mecânico responsável técnico pela empresa, diretor industrial e do Autor, resultando na definição dos pesos de cada critério com a ponderação da influência de cada um na composição do produto, o que resultou em único peso para cada critério obtido por meio de consenso.

### 3.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO CANDIDATOS

Após a tradução dos requisitos do projeto, foi realizada a triagem do processos com auxílio do material sobre cada processo de fabricação encontrado na literatura dos autores, Swift e Booker, (2014), kalpakjian e Schmid, (2001), Ashby, (2012), Groover, (2007) e Schey, (1999).

Foram analisados todos os processos que poderiam atender os requisitos do produto, tendo como critério principal a de poder ser aplicado a aços inoxidáveis. Essa busca resultou em diversos processos de fabricação como: Fundição, conformação, usinagem, soldagem, metalurgia aditiva, metalurgia do pó, forjamento, estampo de matriz única. Comparando os custos de processos e ferramental disponíveis no material dos autores, Swift e Booker, (2014), kalpakjian e Schmid, (2001), Ashby, (2012), Groover, (2007) e Schey, (1999), foram selecionados os quatro processos de fabricação mais favoráveis a manufatura para a realidade do produto em estudo.

O quadro 3 apresenta como foram definidas as classificações dos processos com base nos critérios escolhidos.

Quadro 3 - Embasamento das escolhas

Processo	Custo do Ferramental	Qualidade	Prazo de Entrega	Custo Unitário	Flexibilidade e Tempo de Resposta a Mudança
Soldagem	Literatura e Histórico da Empresa	Literatura	Fornecedor	Literatura e Histórico da Empresa	Literatura e Histórico da Empresa
Conformação	Literatura	Literatura	Literatura e Histórico da Empresa	Literatura e Histórico da Empresa	Literatura e Fornecedor
Fundição	Literatura	Literatura	Literatura e Fornecedor	Fornecedor	Literatura
Usinagem	Literatura e Fornecedor	Literatura	Literatura e Fornecedor	Literatura e Fornecedor	Literatura

Fonte: Acervo do autor (2019)

Considerando como Fornecedor, empresas que atendem a especificação e capacidade técnica de desenvolvimento do produto. Histórico da empresa, material similar que já foi desenvolvido pela empresa que serviu como referência. Literatura os livros sobre processos de fabricação e seleção de materiais, dos autores: LOVATT, A. M.; SHERCLIFF, H. R. (1998a); BOOKER, J.D; SWIFT, K. G.(2014); GROOVER, M. P.(2007); KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. (2001); SCHEY, J.(1999) e ASHBY (2012).

### 3.5 MÉTODO FUZZY-TOPSIS

Com a necessidade de realizar a seleção multicritério em cenários de incerteza, Chen (2000) realizou a combinação do TOPSIS com a teoria dos conjuntos *fuzzy*, surgindo então o método *FUZZY-TOPSIS*.

Neste sentido, YIN (2015) afirma que o presente trabalho refere-se a uma pesquisa exploratória, de natureza qualitativa, optando-se pelo estudo de caso, o qual tem como objetivo investigar fenômenos contemporâneos, que analisa e registra fatos sem manipulá-los, com o uso de questionários e observação sistemática.

Classificados então os critérios nos quadros 4 e 5, a seguir, irão descrever as escalas linguísticas utilizadas para avaliar o desempenho de cara tipo de processo de manufatura.

**Quadro 4 - Escala linguística para avaliação das alternativas**

Variável Linguística	Número Triangular <i>Fuzzy</i>		
	l	m	u
Muito Bom (MBO)	0.8	1	1
Bom (BO)	0.6	0.8	1
Aceitável (AC)	0.4	0.6	0.8
Ruim (R)	0.2	0.4	0.6
Muito Ruim (MR)	0.2	0.2	0.4

Fonte: Acervo do autor (2019)

**Quadro 5 - Escala linguísticas para avaliação dos pesos dos critérios**

Variável Linguística	Número Triangular <i>Fuzzy</i>		
	l	m	u
Muito Alto (MA)	0,80	1,00	1,00
Alto (AL)	0,60	0,80	1,00
Médio (M)	0,40	0,60	0,80
Baixo (B)	0,20	0,40	0,60
Muito Baixo (MBA)	0,10	0,20	0,40

Fonte: Acervo do autor (2019)

Inicialmente, serão selecionados os requisitos a serem aplicados como critérios de seleção por parte do produto objeto de estudo, fazendo o uso do critério técnico, econômico e estético.

A partir dos critérios obtidos, conforme a revisão bibliográfica, serão selecionados os processos de fabricação candidatos a manufatura do produto.

Com os critérios e candidatos a manufatura escolhidos, será montado a tabela de seleção para realizar a classificação qualitativa dos processos com os critérios do produto.

Como teremos no método FUZZY-TOPSIS a pontuação com variáveis linguísticas denominadas como valores qualitativos, o método irá fornecer os valores que serão utilizados futuramente no processo de cálculo.

De acordo com Zadeh (1973) uma variável linguística é aquela que os valores são sentenças definidas por linguagem natural, permitindo distinguir por meio de faixas de gradação. O uso dessas variáveis necessita que haja uma definição de um conjunto linguístico para poder mensurar a variável de análise. Descritos os fundamentos dos *fuzzy-numbers* (CHEN, 2000; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015): enumera as etapas do fuzzy-TOPSIS:

Etapa 1 - agrega-se os valores linguísticos fornecidos por cada um dos tomadores de decisão ( $DM_r$ ). A equação 6 é usada para agregar as pontuações alternativas. Nessa equação  $\tilde{X}_{ij}$  descreve as pontuações das alternativa  $A_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), em relação ao critério  $C_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ), dado pelo tomador de decisão  $DM_r$  ( $r = 1, \dots, k$ ). As avaliações dos pesos dos critérios são agregadas usando a Equação 7, em que  $\tilde{W}_j$  descreve o peso do critério, dado por  $DM_r$ .

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{X}_{ij}^1 + \tilde{X}_{ij}^r + \dots + \tilde{X}_{ij}^k] (6)$$

$$\tilde{W}_j = \frac{1}{k} [\tilde{W}_j^1 + \tilde{W}_j^2 + \dots + \tilde{W}_j^k] (7)$$

Etapa 2 - monta-se uma matriz de decisão *fuzzy*  $\tilde{D}$  para as pontuações das alternativas e um vetor *fuzzy*  $\tilde{W}$  para o peso dos critérios.

Etapa 3 - obtém-se a matriz normalizada e ponderada,  $\tilde{V}$ , por meio da multiplicação dos pesos  $\tilde{W}_j$  pelos elementos  $\tilde{r}_{ij}$  da matriz normalizada conforme equações 8 e 9 a seguir:

$$\tilde{V} = [\tilde{V}_{ij}]_{m \times n} (8)$$

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j (9)$$

Etapa 4 - define-se a solução ideal positiva *fuzzy* e a solução ideal negativa, de acordo com as equações 10 e 11, em que  $v_j^+ = (1,1,1)$  e  $v_j^- = (0,0,0)$ .

$$A^+ = \{\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_j^+, \dots, \tilde{V}_m^+\} (10)$$

$$A^- = \{\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_j^-, \dots, \tilde{V}_m^-\} (11)$$

Etapa 5 - calcula-se a distancia  $\tilde{D}_i^+$  entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz  $\tilde{R}$  usando a equação 12. Analogamente, calcula-se a distância  $\tilde{D}_i^-$  entre os valores de FNIS e as pontuações das alternativas usando a equação 13. Nas equações 12 e 13,  $d(\dots)$  representa a distância entre

dois números *fuzzy* determinada por meio da equação 14, para o caso de números *fuzzy* triangulares.

$$\tilde{D}_i^+ = \sum_{j=1}^n d_V(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^+)(12)$$

$$\tilde{D}_i^- = \sum_{j=1}^n d_V(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^-)(13)$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(1_x - 1_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]}(14)$$

Etapa 6 - para cada uma das alternativas avaliadas, calcula-se o coeficiente de aproximação  $CC_i$  de acordo com a equação 15, a seguir:

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)}(15)$$

Assim, define-se um *ranking* a partir da ordenação decrescente dos valores de  $CC_i$ . Quão mais próximo a 1,0 for este valor, melhor é o desempenho global da alternativa. Por fim, será realizado o *ranking* com ordenação decrescente para com isso selecionar o processo com o maior desempenho global para manufatura do produto, e assim fazer uma releitura do produto para otimizar ainda mais a fabricação.



## 4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO PESO DOS CRITÉRIOS

A etapa a seguir foi realizada a partir da avaliação de todos os critérios para chegar ao valor dos pesos, dispostos no quadro 5 e descritos abaixo a forma de atribuição.

Se tratando de Custo do Ferramental (C1) temos uma julgamento Muito Alto (MA), a importância desse item no projeto impacta nos custos de desenvolvimentos que devem se manter o mais baixo possível.

Quanto à Qualidade (C2), classificada como Alta (AL) seu peso, considerada como importante para manter o aspecto visual do produto, porém não é um item que sobrepõe os custos.

O prazo de entrega (C3), definido pelo grupo técnico de decisão como de média (M) importância, pois se trata de uma situação que pode ser ajustada e prevista com antecedência para que não ocorra falta de itens no estoque.

Ao Custo (C4) temos uma elevada importância, classificada como Muito Alto (MA), esse item influenciará no custo final do produto diretamente e de forma negativa por isso sua elevada importância para o peso dos julgamentos. Flexibilidade e a capacidade de resposta a mudança (C5) está atrelado a possíveis alterações que possam ocorrer no produto, esse critério é importante para que se possa fazer alterações sem um custo muito elevado e o mais breve possível, classificado então como de peso Médio (M).

**Quadro 6 - Peso dos Julgamentos**

C4				
C1	C2	C3	C4	C5
MA	AL	M	MA	M

Fonte: Cedido por Empresa X (2019)

## 4.2 DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PROCESSOS CANDIDATOS EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS

Baseado nos dados obtidos a partir de informações cedidas pelas empresas do ramo de fabricação e pela detentora do projeto Painel-PC, conforme informações do quadro 3, obtidas por meio de consenso entre as pessoas envolvidas na análise e com a seleção de processos descritas na seção 3.3 para determinar o peso dos critérios, geraram o quadro 7 abaixo, que apresenta as avaliações de desempenho dos processos de fabricação, conforme o quadro 4 e em relação aos critérios estabelecidos na seção 3.2.

**Quadro 7 - Avaliação de desempenho dos Processos com relação aos Critérios**

Processo	C1	C2	C3	C4	C5
Soldagem	BO	BO	BO	RU	BO
Conformação	MBO	AC	MBO	AC	BO
Fundição	BO	AC	BO	MBO	AC
Usinagem	RU	BO	MR	MR	MBO

Fonte: Cedido por Empresa X (2019)

Essas avaliações foram feitas com o desempenho do processo em relação aos critérios, desta forma todos os critérios passam a apresentar comportamento de benefício, não necessitando de normalização como no caso dos critérios de custo.

O custo do ferramental considerando o caso da usinagem, foi classificado com desempenho muito ruim (MR) pois como se trata de uma operação de usinagem total da parte interna a partir de um *blank* maciço e tendo como material de usinagem um aço inoxidável que possui baixa usinabilidade e elevado desgaste e uma alta taxa de troca de ferramentas, com isso o custo do ferramental necessário para as 200 unidades se torna elevado e com um desempenho ruim na classificação.

Os critérios de qualidade foram obtidos a partir das informações dispostas por Swift e Booker (2014) e Kalpakjian e Schmid (2001), quanto ao comparativo de desempenho de qualidade superficial oferecida por cada processo.

Prazo de Entrega: Para determinar cada prazo de entrega foi realizado um comparativo do que já foi desenvolvido pela empresa e pelo contato com fornecedores dos processos, fazendo uso do tempo para entrega máximo de 7 semanas, que foi estabelecido pelo grupo de decisão visando fins comerciais.

Os custos de fabricação por unidade levam em consideração no caso da Soldagem e da Conformação a literatura e histórico de trabalho da empresa, para fundição o fornecedor do processo e na Usinagem, literatura e fornecedor. Todos eles tendo base para 200 unidades do pedido inicial.

Flexibilidade e capacidade de resposta a mudanças: A classificação aqui faz uso da literatura e histórico de produtos desenvolvidos pela empresa para a Soldagem, para a conformação temos a classificação pela literatura e o *know-how* da empresa e na fundição e usinagem foram consideradas as informações da literatura. Considerando um como muito bom uma semana e muito ruim sete semanas foi definido o desempenho de cada processo.

#### 4.3 SELEÇÃO DO PROCESSO COM MÉTODO FUZZY-TOPSIS

Diversos trabalhos foram realizados no sentido de otimizar a seleção. Como já observado por Krohling e Campanharo (2011), quando existem várias alternativas que possuem valores diferentes para cada critério de seleção, isso representa um problema de tomada de decisão multicritério.

Dessa forma, aplicando o *Fuzzy-TOPSIS* se deseja alcançar o objetivo de tornar o processo de seleção mais adequado, evitando erros e com a redução de custos aumentando assim a competitividade do produto no mercado.

A conversão das variáveis linguísticas do quadro 7 para números triangulares fuzzy é apresentada no Quadro 8.

**Quadro 8 - Números fuzzy correspondentes aos valores do quadro 7**

Processo	C1			C2			C3			C4			C5		
<b>Soldagem</b>	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0
<b>Conformação</b>	0,8	1,0	1,0	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	1,0
<b>Fundição</b>	0,6	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	0,4	0,6	0,8
<b>Usinagem</b>	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,8	1,0	1,0

Fonte: Acervo do autor (2019)

O quadro 9 apresenta os resultados da normalização, para que todos os critérios fossem de benefício.

**Quadro 9 - Matriz de decisão ponderada e normalizada**

Processo	C1			C2			C3			C4			C5		
<b>Soldagem</b>	0,48	0,80	1,00	0,36	0,64	1,00	0,24	0,48	0,80	0,16	0,40	0,60	0,24	0,48	0,80
<b>Conformação</b>	0,64	1,00	1,00	0,24	0,48	0,80	0,32	0,60	0,80	0,32	0,60	0,80	0,24	0,48	0,80
<b>Fundição</b>	0,48	0,80	1,00	0,24	0,48	0,80	0,24	0,48	0,80	0,64	1,00	1,00	0,16	0,36	0,64
<b>Usinagem</b>	0,16	0,40	0,60	0,36	0,64	1,00	0,08	0,12	0,32	0,16	0,20	0,40	0,32	0,60	0,80

Fonte: Acervo do autor (2019)

O Quadro 10, a seguir, apresenta a distância entre o desempenho dos fornecedores e a solução ideal positiva e negativa, pelo método dos pesos *fuzzy*.

**Quadro 10 - Distância entre o desempenho dos fornecedores e a solução ideal positiva e negativa**

Processo	Distância	
	D+	D-
<b>Soldagem</b>	2,473	3,045
<b>Conformação</b>	2,236	3,221
<b>Fundição</b>	2,262	3,232
<b>Usinagem</b>	3,120	2,226

Fonte: Acervo do autor (2019)

Assim então, com os dados dispostos no quadro 10 e por meio da aplicação da equação 15, foi realizado o cálculo do coeficiente de aproximação para cada um dos candidatos a processo de manufatura. Um *ranking* foi gerado a partir dos resultados, apresentados no Quadro 11.

**Quadro 11 - Ranking de desempenho global dos candidatos a manufatura**

Processo	C*	Ranking
Soldagem	0,552	3
Conformação	0,590	1
Fundição	0,588	2
Usinagem	0,416	4

Fonte: Acervo do autor (2019)

Com base nas informações do Quadro 11, o processo de Conformação apresentou o melhor desempenho global entre os processos de fabricação, ordenados

do melhor desempenho para o pior, temos: Conformação>Fundição> Soldagem > Usinagem. O processo de Conformação apresentou o maior valor do coeficiente de similaridade sendo o processo de fabricação indicado pelo método *FUZZY-TOPSIS* como aquele que mais se aproxima da solução ideal para manufatura, porém temos o processo de Fundição com o coeficiente de similaridade muito próximo, o qual poderia ser considerado como opção também para a fabricação do componente em estudo. Essa proximidade facilita na escolha do processo sabendo que possuem custos similares uma opção seria optar pelo processo de fabricação com o qual a empresa já trabalhou, o que garante um maior *Know-How* em relação a custos, e aspectos de fabricação.

A partir do *FUZZY-TOPSIS*, pôde-se demonstrar como pode ser realizado essa seleção do processo de manufatura, dentro da ampla diversidade de processos utilizar o que melhor irá se apresentar para o produto em estudo.

## 5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de desenvolver a seleção do processo de fabricação de um componente mecânico sujeito a um ambiente frigorífico e suscetível a agentes químicos com a utilização do método multicritério *Fuzzy-TOPSIS* se destacam as seguintes conclusões:

Foram determinados como critérios de seleção: Custo de ferramental, Qualidade, Prazo de entrega, Custo unitário e quanto a Flexibilidade e capacidade de resposta a mudanças.

Foram determinados como processos de fabricação candidatos Soldagem, Conformação, Fundição e Usinagem os quais atendem aos requisitos técnicos do componente em estudo.

Com a aplicação do método *FUZZY-TOPSIS* o processo de Conformação apresentou o maior valor do coeficiente de similaridade com a solução ideal entre os processos de fabricação candidatos. A ordem de classificação foi a seguinte: Conformação (0,590), Fundição (0,588), Soldagem (0,552) e Usinagem (0,416).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Elsevier Editora LTDA 2012

BOOKER, J.D; SWIFT, K. G. **Seleção de Processos de Manufatura**. Elsevier Brasil, 2014.

CHEN, C. T. (2000), **Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment**. Fuzzy Sets and Systems.

FREIRE, J. E.; PEREIRA, M. A. A.; SEIXAS, J. A. **Sintonia entre as mudanças organizacionais, seus projetos de tecnologia e a capacitação de seus colaboradores**. Artigo publicado no ENEGEP 2003.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and Systems**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.

HUANG, J. **Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection**. In Proceedings of the IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, CIS 2008.

HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Berlin: 1981. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>. Acesso em 17 de fevereiro de 2019.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing Engineering and Technology**. 4. ed. New York: Prentice Hall, 2001.

KROHLING, R. A; CAMPANHARO, V. C. **Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea**. Expert System With Applications, 2011.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. **Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-Topsis no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores**. São Carlos: 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2015000100017&lng=pt&tlng=pt#B37](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2015000100017&lng=pt&tlng=pt#B37). Acesso em 17 de fevereiro de 2019.

LOVATT, A. M.; SHERCLIFF, H. R. **Manufacturing process selection in engineering design**. Part 1 : the role of process selection. **Materials and Design**. v.19 1998a.

MARTINS, G. DE ANDRADE **Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis** Rio de Janeiro: PUC, 2017.

MEDEIROS, D. P. **Design de produto e processos de projeto com ênfase na customização pós-produção**. 2012. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

NAIULA, M. M. P.; ARRAIS, M. G. P. **A Análise do Valor e a Melhoria da Eficiência do Custeio Baseado Em Atividades No Processo de Gestão de Custos das Organizações**. São Paulo - SP, 2002.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **Fuzzy systems Engineering: Toward human-centric computing**. New York: 2007.

PRIETO, Sergio Fernandes. Cartilha do SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Características do Empreendedor. **Custos na Pequena Indústria**. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/bis/cartilha-saiba-mais-custos-na-pequena-industria,75eab88efc047410VgnVCM2000003c74010aRCRD>. Acesso em: 02 de março de 2019. REID, R. Dan; SANDERS, Nada R. **Gestão de Operações**. 1a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005

SANJAY. K. A. **Membership Functions**. Disponível em: [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/funpert\\_en.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/funpert_en.htm). Acesso em 17 de fevereiro de 2019.

SCHEY, J. **Introduction to manufacturing Process**, 3 ed. McGraw-Hill, Nova York, 1999.

SETTI, DALMARINO **Método Multicriterial para Seleção de Processos de Fundição de Metais**, Porto Alegre 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 5ª edição. Editora Bookman.

ZADEH L.A. (1965). **Fuzzy sets, Information and Control**, v. 8.

ZADEH L. A. **Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes**. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, v. 3, n. 1, 1973. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>. Acesso em 17 de fevereiro de 2019.



WANG, W.A. **A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation.**  
**Applied Mathematical Modelling.**  
v.34, p.3130-3141, 2010.

## ANEXO A – PROJETO DETALHADO DO PRODUTO

