



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LAURA SILVA

**Matriz de Criticidade do Acabamento de Raio de Borda:** auxílio na tomada de  
decisão de utilização de válvulas de sucção

FLORIANÓPOLIS

2024

LAURA SILVA

**Matriz de Criticidade do Acabamento de Raio de Borda:** auxílio na tomada de decisão de utilização de válvulas de sucção

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Materiais.

Orientador(a): Prof. Dr. Eng, Fernando Antônio Forcellini

Coorientador(a): Eng Victor Mühlbauer Panneitz

FLORIANÓPOLIS

2024

Silva, Laura

Matriz de Criticidade do Acabamento de Raio de Borda: :  
auxílio na tomada de decisão de utilização de válvulas de  
sucção /Laura Silva ; orientador, Fernando Antônio  
Forcellini, coorientador, Victor Mühlbauer Panneitz, 2024.  
42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia de Materiais,  
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Acabamento de Raio de  
Borda. 3. Matriz de Criticidade. I. Forcellini, Fernando  
Antônio. II. Panneitz, Victor Mühlbauer. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de  
Materiais. IV. Título.

Laura Silva

**Matriz de Criticidade do Acabamento de Raio de Borda:** auxílio na tomada de  
decisão de utilização de válvulas de sucção

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia de Materiais e aprovado em sua forma final pelo Curso  
de Engenharia de Materiais.

Florianópolis, 13 de março de 2024.

**Banca examinadora**



Documento assinado digitalmente

**Fernando Antonio Forcellini**

Data: 13/03/2024 23:07:46-0300

CPF: \*\*\*.900.900-\*\*

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng

Orientador

Eng. Victor Mühlbauer Panneitz

Coorientador

MEng. Leticia Espíndola Machado

Florianópolis, 2024.



## **AGRADECIMENTOS**

Não poderia iniciar os agradecimentos sem citar a pessoa mais importante em toda e qualquer parte da minha formação como ser humano: a minha mãe. Foi e sempre será o meu grande exemplo de profissional.

A minha irmã pela parceria desde a barriga e a minha melhor amiga Jéssica, que mesmo distante, se fez presente em toda a minha trajetória.

Ao meu orientador pela paciência e ensinamentos durante o processo de desenvolvimento e conclusão deste trabalho. E ao meu coorientador pelo auxílio no aprofundamento do tema.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação profissional e realização desta pesquisa.

## RESUMO

O presente trabalho trata-se do desenvolvimento de uma matriz de criticidade para auxílio na tomada de decisão para utilização ou não de lotes de válvula de sucção na montagem de compressores para refrigeração doméstica. Há diversos modelos de compressores no mercado e respectivamente uma variedade de válvulas de sucção utilizadas nestes compressores. O modelo de compressor referenciado nesta pesquisa possui velocidade variável e alta rotação, implicando em condições mais extremas de funcionamento da válvula de sucção. Este componente, por sua vez, é responsável pela regulação do gás entre as câmaras de descarga e sucção do compressor. A região das palhetas - ou região funcional da válvula - é o local em que o gás faz a passagem para troca de câmaras. Este gás produz movimento entre as palhetas da válvula, e o contato direto com ele e o óleo do compressor torna a região do acabamento de raio de borda das palhetas crítica para a vida útil do componente em questão e conseqüentemente o funcionamento do compressor. O raio de borda da válvula de sucção é analisado por inspeção de recebimento e os defeitos pontuados pela média de áreas e incidência. Nota-se que no ano de 2023 apenas 4 defeitos foram evidenciados: falta de preenchimento, marcas de choque, rebarbas e sujidades. A matriz de criticidade produzida nesta pesquisa foi o resultado da intersecção das análises dos acabamentos de raio de borda da válvula: todas as inspeções de recebimento da válvula no ano de 2023 foram analisadas, pontuados os defeitos e calculado a área do defeito em relação a região da borda que consta na imagem de microscópio. A utilização da matriz evidencia com clareza o histórico recente de desvios do componente, podendo prever com mais assertividade a performance e confiabilidade do compressor em relação ao uso de futuros lotes que apresentam acabamento de raio de borda similar ou melhor daqueles apontados em 2023.

**Palavras-chave:** Válvula de sucção. Acabamento de raio de borda. Matriz de criticidade.

## ABSTRACT

The present work involves the development of a criticality matrix to aid in decision-making whether or not to use suction valve batches in the assembly of compressors for domestic refrigeration. There are several models of compressors on the market and respectively a variety of suction valves used in these compressors. The compressor model referenced in this research has variable speed and high rotation, implying more extreme operating conditions for the suction valve. This component, in turn, is responsible for regulating the gas between the compressor's discharge and suction chambers. The reed region - or functional region of the valve - is the place where the gas passes through to exchange chambers. This gas produces movement between the valve vanes, and direct contact with it and the compressor oil makes the edge radius finishing region of the vanes critical for the useful life of the component in question and consequently the operation of the compressor. The edge radius of the suction valve is analyzed by incoming inspection and defects scored by average area and incidence. It is noted that in the year 2023 only 4 defects were evident: lack of filling, shock marks, burrs and dirt. The criticality matrix produced in this research was the result of the intersection of analyzes of the valve's edge radius finishes: all valve receipt inspections in the year 2023 were analyzed, the defects were scored and the defect area was calculated in relation to the region of the edge shown in the microscope image. The use of the matrix clearly highlights the recent history of component deviations, making it possible to more accurately predict the performance and reliability of the compressor in relation to the use of future batches that have an edge radius finish similar to or better than those indicated in 2023.

**Keywords:** Suction valve. Edge radius finish. Criticality matrix.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Compressor modelo X.....	13
Figura 2	Imagem do desenho técnico da válvula modelo X.....	14
Figura 3	Imagem real da válvula modelo X.....	14
Figura 4	Desenho da válvula indicando a região das palhetas.....	15
Figura 5	Exemplo esquemático de Cost Break Down.....	16
Figura 6	Categorização de compressores.....	20
Figura 7	Diferentes modelos de válvula de sucção.....	21
Figura 8	Esquema simplificado do processo de estampagem.....	22
Figura 9	Fluxograma da construção da matriz de criticidade.....	25
Figura 10	Microscópio Óptico Zeiss Axioskop 2 MAT.....	26
Figura 11	Regiões para análise da palheta.....	26
Figura 12	Imagens do MO da inspeção de recebimento.....	27
Figura 13	Apontamento de defeito.....	29
Figura 14	Simplificação da área do defeito.....	29
Figura 15	Área total da região da borda versus área simplificada do defeito.....	30
Figura 16	Legenda da matriz de criticidade.....	33

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Composição matéria prima da válvula de sucção, em porcentagem...22
Tabela 2	Propriedades válidas para os materiais 7C27Mo2 / UHB716 / GIN6..23
Tabela 3	Propriedades válidas para o material Flap-X.....23
Tabela 4	Propriedades válidas para o material HiFlex.....23
Tabela 5	Incidência e porcentagem média da área dos defeitos.....34
Tabela 6	Exemplos Ilustrativos para apontamento dos defeitos.....30
Tabela 7	Incidência e porcentagem média da área dos defeitos.....33
Tabela 8	Matriz de Criticidade.....34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

MO Microscópio ótico

**LISTA DE SÍMBOLOS**

C	Carbono
Si	Silício
Mn	Manganês
Cr	Cromo
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
S	Enxofre
°C	Graus Celsius
±	Tolerância

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivos.....	17
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Estrutura do trabalho.....	17
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1	Compressores Herméticos Alternativos.....	19
2.2	Válvulas de Sucção.....	21
2.2.1	Estampagem.....	24
2.2.2	Tamboreamento.....	25
2.3	Acabamento do Raio de Borda.....	25
2.4	Cost Break Down.....	25
2.5	Matriz de Criticidade.....	26
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>33</b>
4.1	Aplicação da Matriz de Criticidade.....	36
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
5.1	Sugestões de Trabalho Futuros.....	37
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Válvulas de sucção desempenham um papel fundamental no funcionamento de um compressor alternativo hermético para refrigeração. É este componente o responsável pela regulação do gás entre as câmaras de descarga e sucção do compressor. Neste trabalho, o foco será nas válvulas utilizadas em compressores para aplicação residencial, cujo modelo de válvula apresenta o raio de borda mais crítico atualmente. Neste trabalho a válvula em questão será referenciada como o modelo X (Figura 1). Na revisão da literatura deste trabalho há um maior detalhamento sobre a família de compressores citada (características importantes do compressor e qual é a influência na problemática deste trabalho).

A fim de respeitar o compliance da empresa, normas técnicas e demais informações serão preservadas.

Figura 1 - Compressor modelo X



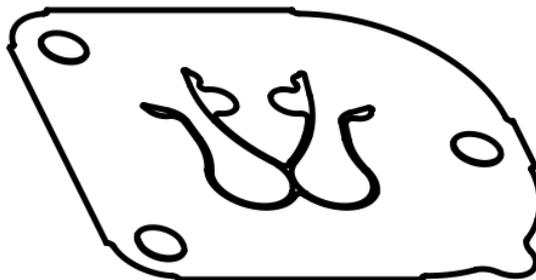
Fonte: Catálogo empresa

Com menos de 1 milímetro de espessura e massa aproximada de 1,50 gramas, as válvulas são posicionadas entre as câmaras de descarga e sucção do compressor. No seu centro estão posicionadas as palhetas da válvula, conforme a figura 2, onde se movimentam de forma automática, abrindo e fechando conforme a diferença de pressão do gás ocorre entre as câmaras. Esta região que abrange as palhetas é chamada de região funcional da válvula e apresenta elevado movimento,

além do contato direto com o gás e óleo do compressor. Somando estes fatores e mais uma possível quantidade de rebarba excessiva na região da palheta, a válvula pode concentrar tensões na área em questão e ocorrer a quebra das palhetas.

As figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, uma imagem da válvula do desenho técnico e uma foto real da válvula.

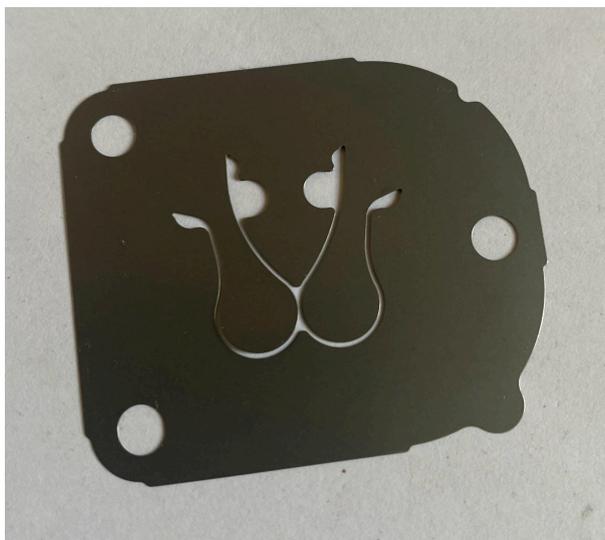
Figura 2 - Imagem do desenho técnico da válvula modelo X



Fonte: Desenho técnico da válvula modelo X.

As válvulas a serem tratadas neste trabalho são fabricadas pelo processo de estampagem, no qual uma fita de aço é prensada (em um ou dois passes, dependendo do modelo de compressor onde será utilizada). Componentes estampados sempre apresentam rugosidade na face do corte e tratamentos superficiais - em muitos casos - são necessários. Como última etapa da fabricação, a válvula é tamboreada.

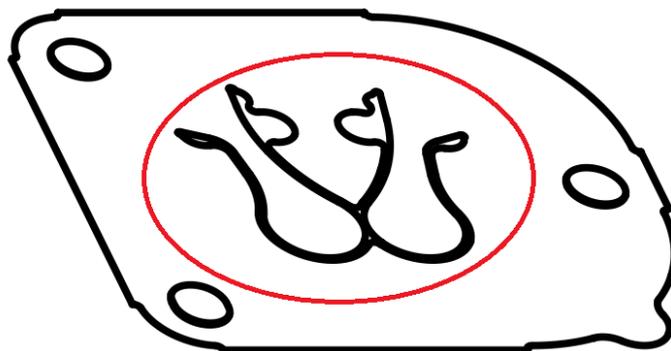
Figura 3 - Imagem real da válvula modelo X



Fonte: produzido pela autora, 2024

Em todo o perímetro da válvula de sucção observa-se cisalhamento, mas neste trabalho, o foco será apenas em uma área da válvula: a região das palhetas, localizada no centro da válvula, conforme Figura 4.

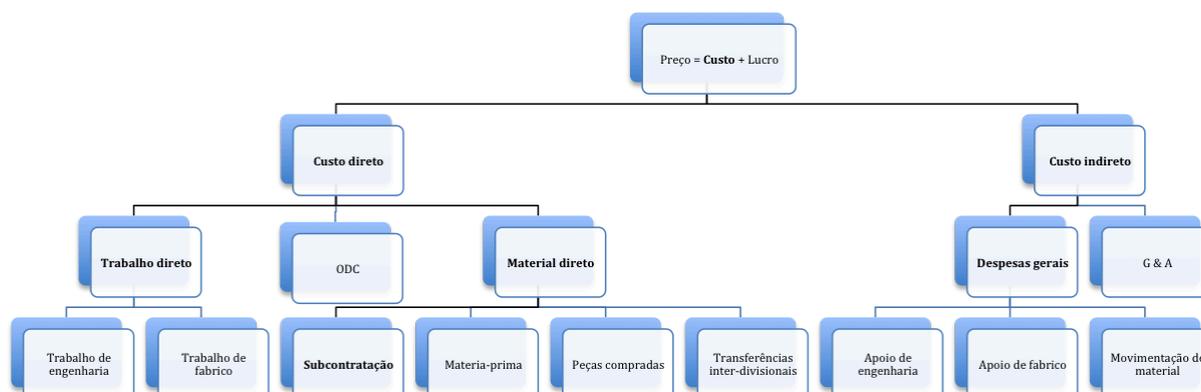
Figura 4 - Desenho da válvula indicando a região das palhetas



Fonte: imagem produzida pela autora, 2024.

Atualmente, uma problemática é a subjetividade na tomada de decisão sobre o acabamento de raio de borda das válvulas citadas até então. O trabalho no setor de Procurement de uma indústria de compressores requer como um dos focos principais a redução de custo e para isto, um olhar crítico ao *Cost Breakdown* - prática citada na revisão bibliográfica deste trabalho - do componente se faz necessário. A figura 5 apresenta um exemplo de Cost Break Down. Nesta análise nota-se que os tratamentos superficiais exigidos dos fornecedores nas válvulas de sucção agregam custos a mais ao componente. Este tratamento, por sua vez, deveria melhorar o acabamento do raio de borda, porém ainda não se conhece qual seria o acabamento de raio de borda ideal. Desta forma, ainda não pode-se afirmar que o tratamento exigido - e o acréscimo do valor de compra do componente - de fato são efetivos.

Figura 5 - Exemplo esquemático de Cost Break Down



Fonte: Garrett, 2008

A válvula de sucção modelo X é produzida em sua totalidade por *outsourcing* na empresa utilizada como referência neste trabalho. Como procedimento padrão, fornecedores passam por um processo de certificação, sendo aprovados ou não para produzirem componentes e enviar à planta industrial para montagem dos compressores. Durante a certificação - além dos testes e auditorias que os fornecedores são submetidos - uma série de instruções são repassadas e dentre elas, estão as normas técnicas específicas da empresa.

Além das normas técnicas conhecidas mundialmente, a empresa referenciada nesta pesquisa, possui um conjunto de normas que especificam diversas características fundamentais que cada componente e compressor deve apresentar. No caso das válvulas de sucção, há uma norma com especificações que abrange o acabamento de raio de borda, porém a norma ainda não foi aplicada ao fornecedor atual. Isto se deve ao fato que o mesmo não consegue produzir da forma descrita; Também há desalinhamento na análise via microscópio.

A válvula passa por tamboreamento e outros tratamentos finais que aumentam consideravelmente o valor do componente. Atualmente a empresa enfrenta uma forte concorrência, alta competitividade mundial, em que outras

empresas produzem e vendem compressores similares por valores mais baixos. Desta forma, reduzir o custo final no compressor é um fator essencial para a continuidade do negócio.

A redução de custo pode acontecer de diversas formas: reduzir custos da matéria-prima, como os componentes fabricados por outsourcing, reduzir custos fixos e etc. No caso das válvulas de sucção, o valor atual pago por elas destoa da concorrência: a empresa em questão paga mais caro pois exige alguns tratamentos finais que os concorrentes não exigem, comprando do mesmo fornecedor por um valor mais baixo. Consequência direta no valor final do compressor.

### **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é propor uma matriz para auxiliar na tomada de decisão para escolha de lotes de válvulas de sucção em relação ao acabamento de raio de borda.

Os objetivos específicos são:

- 1) Pontuar os tipos de defeitos no acabamento do raio de borda da válvulas dos lotes consumidos no ano de 2023;
- 2) Quantificar a área dos defeitos no acabamento do raio de borda das válvulas dos lotes consumidos no ano de 2023.

### **1.2 JUSTIFICATIVA**

Atualmente a escolha do lote que pode ser utilizado na montagem de compressores ainda é muito subjetiva e depende do conhecimento tácito de alguns poucos especialistas. Desta forma, uma das consequências do trabalho é diminuir a subjetividade na aprovação e posterior liberação de lotes em relação ao acabamento de raio de borda das válvulas de sucção, a fim de evitar o consumo de lotes que podem apresentar problemas no funcionamento esperado do compressor. Problemas tanto na linha de montagem, quanto o compressor de fato estiver em campo (termo utilizado para quando o compressor estiver em funcionamento no equipamento destinado a ele).

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho foi organizado em 5 capítulos. Iniciando pelo capítulo de introdução, que visa apresentar o problema, o objetivo do trabalho e a sua estrutura.

O segundo capítulo traz um referencial teórico para a problemática em questão: conceitos obtidos na bibliografia existente são expostos a fim de auxiliar o leitor nas análises descritas. Em seguida, o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada (os materiais e métodos aplicados, assim como ferramentas que auxiliaram no estudo). O capítulo 4 propõe explicitar os resultados da aplicação da matriz em conjunto com a análise realizada. E por fim, o capítulo 5 trata-se da conclusão da monografia: é respondido o problema apontado na pesquisa e verificado o cumprimento dos objetivos do trabalho.

Demais partes do trabalho - como resumo, anexos e similares - objetivam complementar a leitura do mesmo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a fundamentação teórica deste trabalho buscou-se inicialmente identificar os conceitos presentes na atual problemática. Desta forma, o problema é melhor contextualizado ao leitor e permite que o mesmo entenda este trabalho de forma mais profunda.

### 2.1 Compressores Herméticos Alternativos

Conforme Reiser (2022), para que um refrigerador funcione, seja ele doméstico ou comercial, é indispensável a utilização de um equipamento capaz de elevar a pressão do fluido refrigerante e enviá-lo do evaporador ao condensador do sistema. Essa função é realizada por um compressor.

Raiser (2022) também cita:

Em sua obra Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps (2000), Hundy et al. afirma que pode-se dividir os compressores em duas categorias: os de deslocamento positivo e os compressores dinâmicos. Segundo o autor, os compressores de deslocamento positivo comprimem o fluido refrigerante por meio da redução de volume, enquanto os dinâmicos utilizam do aumento de velocidade do fluido para aumentar sua pressão (p. 59).

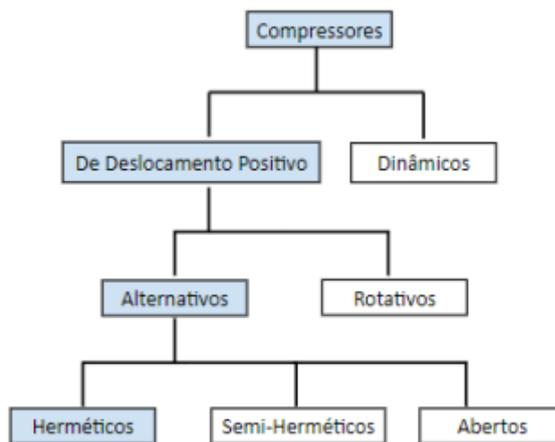
Caso utilizem pistões acionados diretamente por um mecanismo de manivela deslizante para comprimir o fluido, os compressores de deslocamento positivo são classificados como alternativos e, de acordo com Hundy et al (2000), podem ainda ser categorizados como herméticos, caso o motor e todos os seus componentes estejam isolados hermeticamente dentro de uma carcaça metálica (p. 68).

Uma das principais vantagens do compressor hermético é que ele é um equipamento muito confiável e durável. Ele possui uma carcaça selada, o que significa que não há possibilidade de vazamento de gases durante o seu funcionamento. Além disso, possui alta eficiência energética e é silencioso, o que o torna ideal para ambientes residenciais e comerciais. Essas máquinas começaram a se popularizar nos países industrializados no início dos anos sessenta e, desde então, inúmeros estudos e pesquisas foram realizados, a fim

de otimizar o projeto e melhorar a eficiência térmica e mecânica delas.

Na figura 6 observa-se uma classificação dos tipos de compressores.

Figura 6 - Categorização de compressores



Fonte: Reiser, 2022.

Segundo Arantes (2013), “os compressores mais comumente encontrados em refrigeração doméstica são os compressores alternativos”, e neste trabalho iremos focar em válvulas de sucção utilizadas em compressores herméticos alternativos.

A família de compressores que utiliza o modelo de válvula X - item de estudo deste trabalho - é composta por modelos de velocidade variável e alta rotação. Neste apêndice, a família também será referenciada como X. O compressor em questão é um dos menores - em dimensão - já fabricados, permitindo uma otimização do espaço interno e acessibilidade de aplicação no mundo.

Utilizado em uma vasta série de itens de refrigeração de aplicação residencial, como refrigeradores, adegas, ar-condicionado e afins, o compressor da família X possui a mesma capacidade de diversos compressores maiores. Por funcionar em alta rotação, a válvula de sucção aplicada está sujeita a condições mais extremas. E uma das características que mais evidencia estas condições é o acabamento de raio de borda: na família X, a válvula de sucção X, possui o acabamento mais crítico, tema deste trabalho. Quando a família X é comparada com outras famílias de compressores, é evidente que o acabamento de raio de

borda das válvulas usadas nesses outros compressores não apresenta riscos tão significativos como na válvula de sucção X.

## 2.2 Válvulas de Sucção

Hundy et al. (2000) cita que “compressores possuem válvulas palhetas de sucção e de descarga dispostas sobre uma placa válvula” (p. 64), onde Reiser (2022) complementa:

Essas válvulas ficam posicionadas entre o bloco e a tampa do cilindro e são vedadas por duas juntas. Cada uma das válvulas afasta-se da placa válvula para permitir a passagem do fluido e aproxima-se para barrar a passagem.

O aço inox é o material utilizado na fabricação das válvulas palheta de sucção e de descarga, que são estampadas.

Segundo Arantes (2013):

Em compressores de refrigeração doméstica, são adotadas válvulas do tipo palheta, pois a vedação e a rigidez são obtidas com um único componente, reduzindo o número de componentes do compressor, reduzindo o custo e facilitando a fabricação. As válvulas do tipo palheta são denominadas de automáticas, pois têm seu movimento de abertura e fechamento regido apenas por diferenças de pressão, não necessitando de acionadores externos. A abertura da válvula de sucção ocorre quando a pressão na câmara de sucção é superior à pressão na câmara de compressão (interior do cilindro).

Figura 7 - Diferente modelos de válvula de sucção



Fonte: Catálogo Kuker Refrigeration Store, 2024.

Válvulas de sucção possuem especificações no seu processo de fabricação. As válvulas deste trabalho precisam ser fabricadas utilizando uma fita de aço inoxidável. A fita deve ser temperada, acabada, polida, além de ser metalurgicamente muito pura e com planicidade precisa.

Tabela 1 - Composição matéria prima da válvula de sucção, em porcentagem

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
Aço Inoxidável	0.33 - 0.41	0.20 - 0.60	0.20 - 0.70	13 - 14	0.85 - 1.15	máx 0.5	máx 0.03	máx 0.02

Fonte: produzida pela autora, 2024.

A válvula deve apresentar estrutura metalográfica homogênea, constituída por uma matriz de martensita temperada extremamente fina, isenta de carbonetos, ferritas ou descarbonetação parcial. A profundidade máxima das zonas superficiais com teor de carbono decrescente não deve exceder uma espessura de 6%. Estas zonas também devem ser martensíticas.

A válvula também deve possuir características físicas que garantem a performance esperada do compressor. Tais características são citadas a seguir:

Os valores nominais da resistência à tração e as durezas utilizam como referência a temperatura de 20°C e são relativos às espessuras. A variação máxima permitida nos valores de resistência à tração é de  $\pm 100\text{N/mm}^2$  ( $\pm 10\text{kg/mm}^2$ ). Já a variação máxima permitida nos valores de dureza é de  $\pm 40\text{ HV}$  (3,8 HRc). A densidade específica do aço inoxidável deve ser de  $7,7\text{g/cm}^3$ .

Os valores de dureza Rockwell C são fornecidos apenas para referência; sendo as medições válidas apenas para espessuras suficientes, ou seja, pelo menos 10 vezes a profundidade de penetração.

Nas tabelas abaixo, os valores indicados com o símbolo \* não são obrigatórios, apenas de referência.

Tabela 2 - Propriedades válidas para os materiais 7C27Mo2 / UHB716 / GIN6

Espessura Nominal (mm)	Resistência à Tração		Dureza	
	N/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	Rockwell C	Vickers
< 1	1810	185	51.7	550 (*)
> 1	1720	175	50.5	525 (*)

Fonte: produzida pela autora, 2024

Tabela 3 - Propriedades válidas para o material Flap-X

Espessura Nominal (mm)	Resistência à Tração		Dureza	
	N/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	Rockwell C	Vickers
< 1	2100	214	57	630 (*)

Fonte: produzida pela autora, 2024

Tabela 4 - Propriedades válidas para o material HiFlex

Espessura Nominal (mm)	Resistência à Tração		Dureza	
	N/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	Rockwell C	Vickers
< 1	1900	194	54.2	577 (*)

Fonte: produzida pela autora, 2024

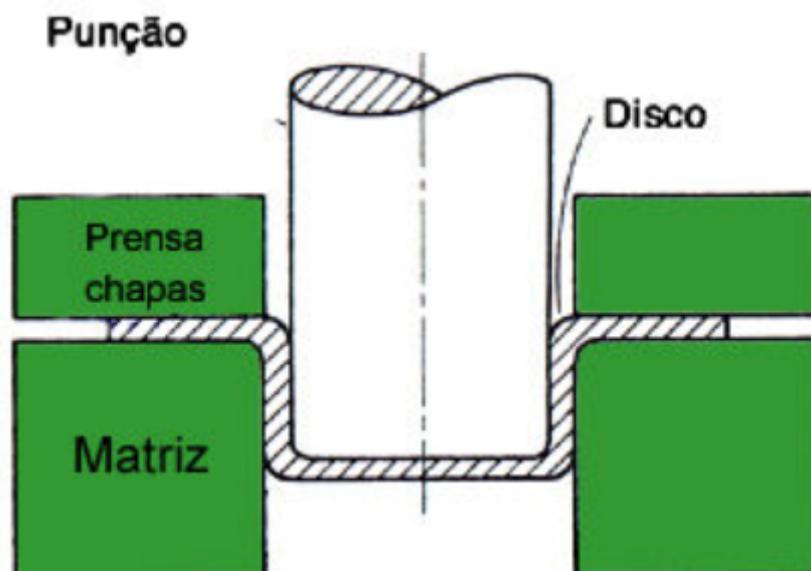
### 2.2.1 Estampagem

O processo de estampagem é basicamente dividido em algumas etapas: corte e furação, dobramento e repuxo. Na figura 8, há um esquema simplificado de parte deste processo. Objetivamente descrito por Mesquita e Rugani (1997):

Estampagem é um conjunto de operações de conformação a frio (corte, furação, dobramento e repuxo), realizadas na região plástica de deformação dos materiais, pela imposição de uma deformação permanente de uma chapa, com o objetivo de produzir peças com determinada forma.

A tensão de cisalhamento é uma das características mais importantes na avaliação da capacidade do material de ser cortado ou furado. Para os aços inoxidáveis, a tensão de cisalhamento é cerca de duas vezes maior que a observada nos aços carbono. Por este motivo, a força exigida para o corte ou furação de aços inoxidáveis é de 50 a 100% maior que aquela necessária para executar o mesmo serviço em aço carbono.

Figura 8 - Esquema simplificado do processo de estampagem



Fonte: Associação Brasileira de Alumínio, 2024.

### **2.2.2 Tamboreamento**

O tamboreamento é um processo de tratamento de superfícies de peças metálicas. Objetiva retirar rebarbas e polir superfícies metálicas que apresentam desvios de forma. O tamboreamento rotativo é uma das técnicas mais conhecidas.

D. D. Davidson (1989) cita que o tamboreamento rotativo é a técnica de acabamento em massa mais antiga que se tem notícia, sendo usada pelos antigos artesãos chineses e egípcios para dar acabamento superficial em suas espadas e jóias. Macedo (2016) afirma que o “tamboreamento é um processo simples de ser operado, requer pouco investimento inicial em maquinário, baixo custo de manutenção e pouco espaço em chão de fábrica”.

### **2.3 Acabamento de Raio de Borda**

Zelt, Kerns e Bresnahan (1999, p. 177) afirmam que as operações de corte mecânico normalmente produzem discontinuidades, principalmente rebarbas, na região das bordas e que passam a funcionar como concentradores de tensão. Borges e Morais (2010) afirmam que essas concentrações de tensão podem gerar aumento localizado na taxa de deformação, endurecimento localizado com alta possibilidade de trincamento do material e outras alterações prejudiciais ao desempenho do componente. Nota-se então que a região das bordas é de extrema importância na análise do uso do componente e sua possível performance.

Neste trabalho, os defeitos apontados nas análises de inspeções de recebimento encontram-se nas regiões de acabamento de raio de borda, nas palhetas da válvula.

### **2.4 Cost Break Down**

A partir do Cambridge Dictionary (2024), e em tradução livre, Cost Breakdown consiste no “processo de dividir o custo de algo em diferentes partes que compõem o valor total, de acordo com quem está fazendo o trabalho, quais materiais são necessários, etc.”. No contexto do setor de Procurement, o detalhamento de custos é comumente usado a partir de um ou mais dos motivos a seguir (Prognos, 2024):

- Para uso interno, estimando os custos do trabalho, calculando a lucratividade de um projeto ou semelhante;

- Para coordenar os custos de um projeto com fornecedores, assim, poder obter sua aprovação para o preço final;
- Para alavancar a negociação com fornecedores, usando os dados estruturados e o conhecimento do detalhamento de custos gerados para garantir que os preços finais sejam justos.

Independentemente do motivo que norteia o Cost Breakdown, a clareza e a estrutura lógica gerada a partir dessa ferramenta são alguns dos principais pontos positivos dessa metodologia de análise. Desenvolver uma análise de composição de custos de forma clara e correta é essencial para a comunicação com os fornecedores, bem como para obter uma melhor compreensão dos diferentes fatores de custo.

Para a criação de uma análise de detalhamento de custos, ou Cost breakdown, há uma série de etapas a serem seguidas, descritas a seguir:

A primeira etapa para dar genese a uma estrutura de decomposição de custos é identificar os principais componentes do fornecedor ou do projeto. Esses componentes incluem: fatores de custo (de matérias-primas, mão de obra, de aquisição e implementação de construção, aquisição de logística, etc.), quantidades (de tempo de trabalho, número de itens, materiais, etc.) e os chamados “custos indiretos ou ocultos” (Idem, 2024): referem-se aos custos que não trazem nenhum valor direto, mas influenciam a atividade de alguma forma. Dentes estes, os tipos mais comuns de geradores de custos/tipos de custos são: custos de mão de obra, taxas de conversão de moeda, impostos, custos de aquisição e execução de transporte, custos de aquisição de manufatura e matérias-primas.

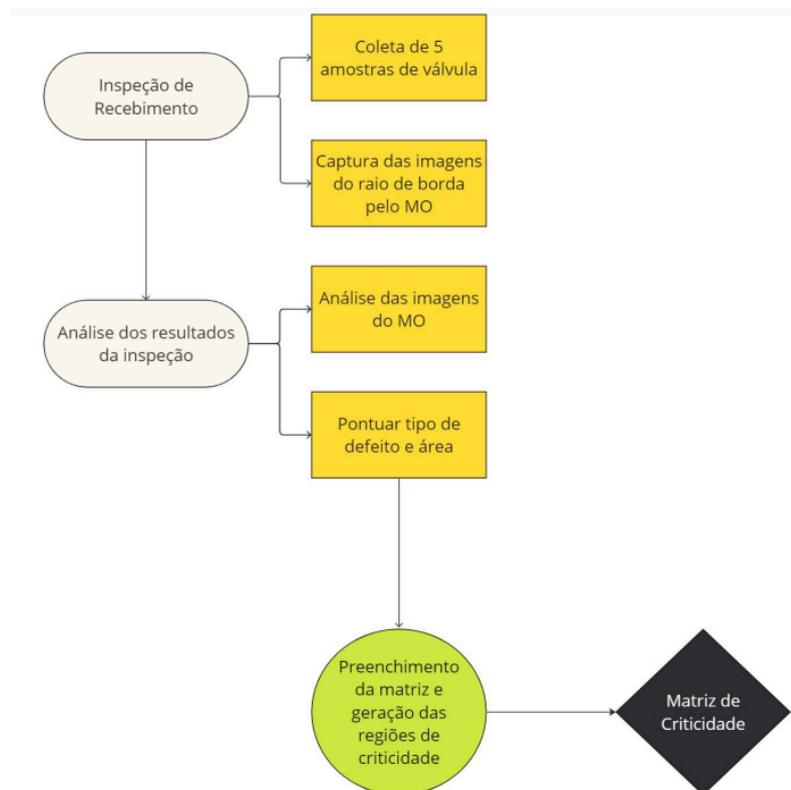
## **2.5 Matriz de Criticidade**

Ferramenta importante e facilitadora em tomadas de decisão, este tipo de matriz propõe uma representação gráfica de relações entre características. Segundo Alves e Melo (2021) a análise da matriz de criticidade possibilita a hierarquização dos riscos. Esta classificação de riscos é fator fundamental em problemáticas na qual a temática ainda não é profunda e em situações de tomada de decisão que o elemento principal ainda é o conhecimento tácito.

### 3 METODOLOGIA

O início da análise do acabamento de raio de borda se dá na coleta de amostras dos lotes de válvula de sucção para a inspeção de recebimento. Esta inspeção objetiva analisar o lote de componentes a fim de garantir qualidade e confiabilidade do item na montagem e posterior performance do compressor. Uma compreensão mais profunda sobre o método de inspeção de recebimento pode ser encontrada no livro “World class manufacturing: the lessons of simplicity applied” de autoria de Schönberger (1986).

Figura 9 - Fluxograma da construção da matriz de criticidade



Fonte: produzido pela autora, 2024.

O escopo da inspeção é determinado pelo histórico de qualidade e criticidade do componente. Neste contexto, a inspeção terá as seguintes diretrizes:

- 5 amostras de válvula por lote (independente da quantidade do lote);
- Captura de imagens pelo microscópio ótico, ou MO, de modelo Zeiss - Axioskop 2 MAT, com 200x de aumento;

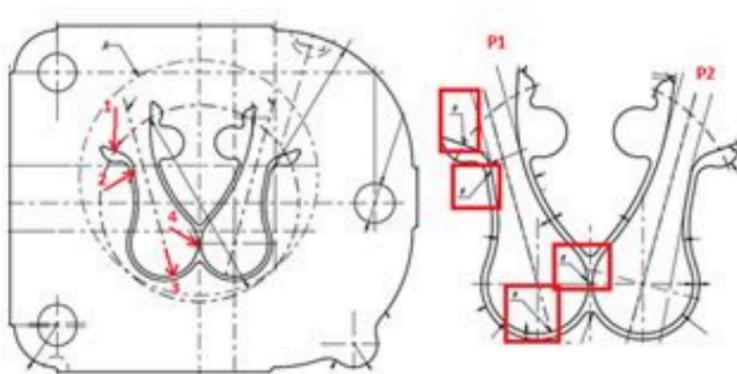
- Imagens de 4 regiões da palheta da válvula (sinalizadas na figura 9) objetivando captar o acabamento de raio de borda.
- Análise das imagens a fim de apontar os defeitos presentes.

Figura 10 - Microscópio Óptico Zeiss Axioskop 2 MAT



Fonte: Microscopy Online Shop, 2024.

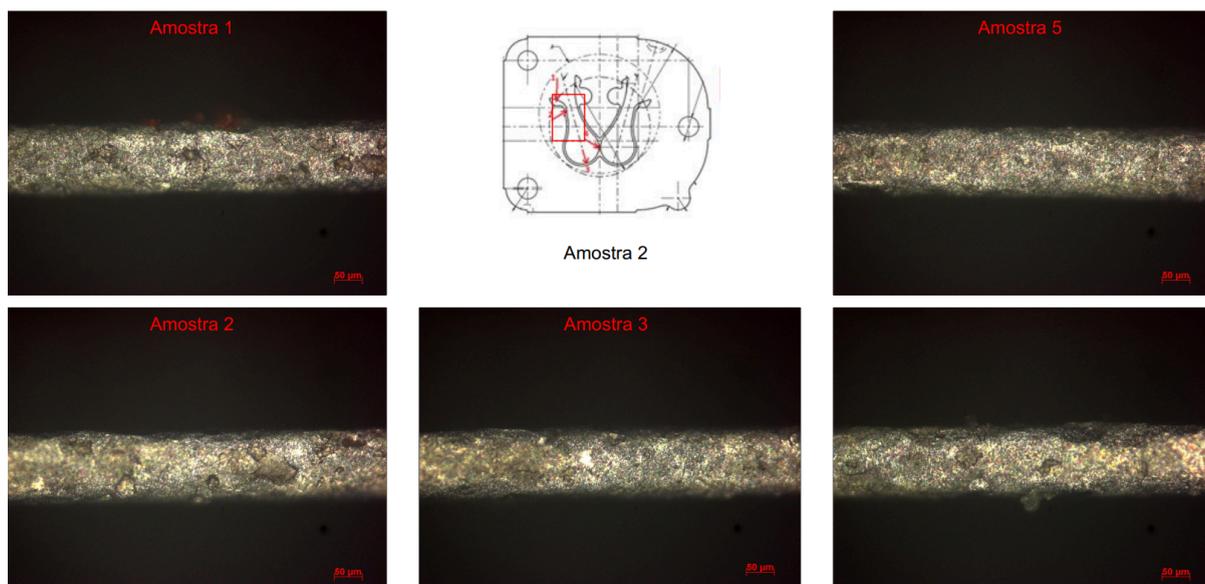
Figura 11 - Regiões para análise da palheta



Fonte: Norma técnica da empresa desta pesquisa, 2023.

Neste trabalho, serão avaliadas todas as inspeções de recebimento das válvulas de sucção modelo X no ano de 2023.

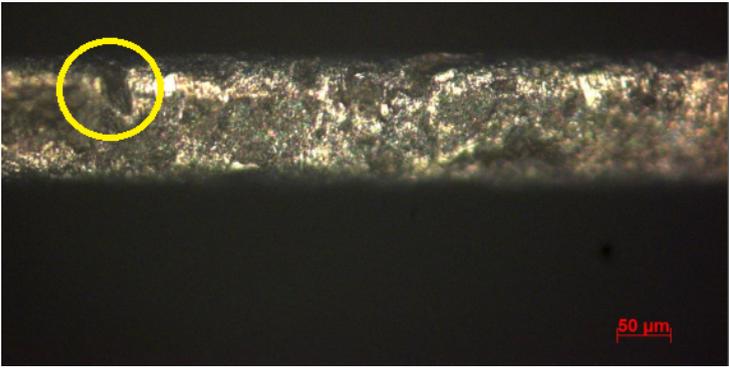
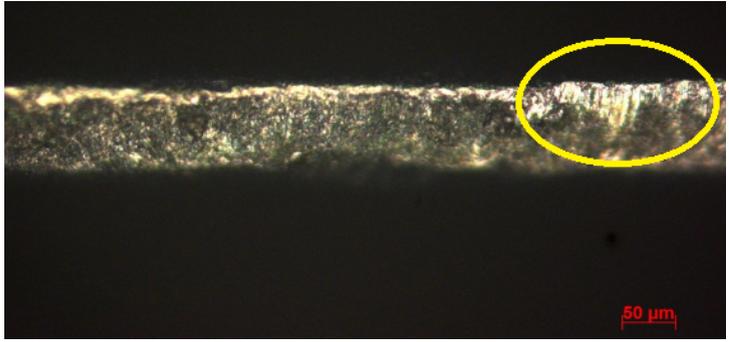
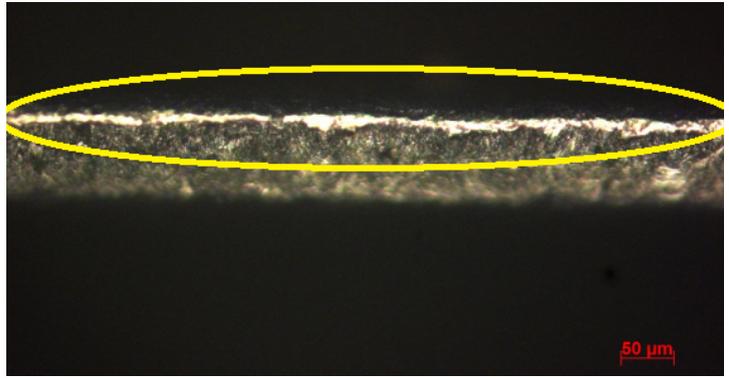
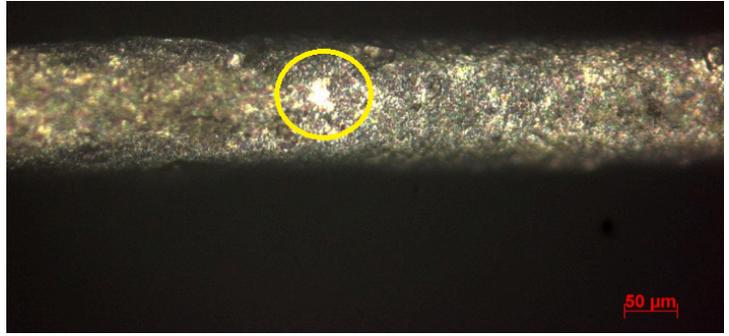
Figura 12 - Imagens do MO da inspeção de recebimento



Fonte: produzido pela autora, 2024.

A fim de garantir um bom alinhamento na análise das imagens, uma tabela com os defeitos foi produzida. A página 28 deste trabalho apresenta a Tabela 1 ilustrando com clareza ao leitor como o defeito se manifesta no raio de borda das válvulas. Suas características visuais bem distintas possibilitam o apontamento de cada defeito.

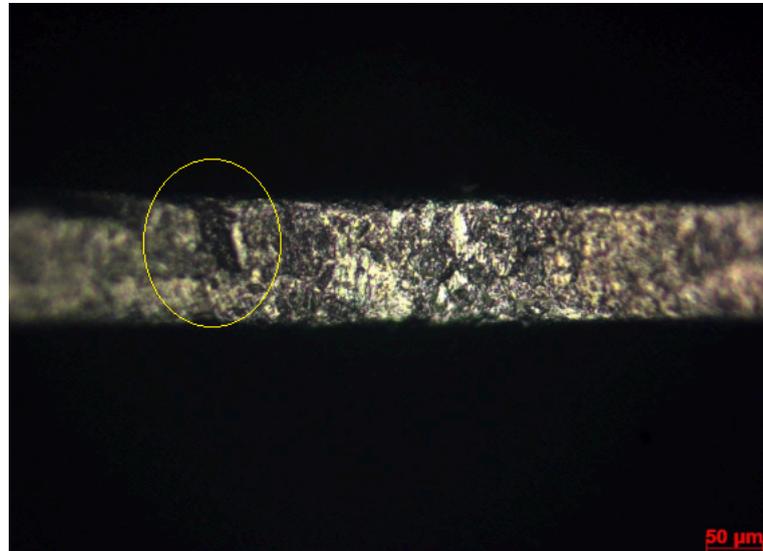
Tabela 6 - Exemplos Ilustrativos para apontamento dos defeitos

Defeito	Exemplo Ilustrativo
Falta de Preenchimento	
Marca de Choque	
Rebarba	
Sujidade	

Fonte: produzida pela autora, 2024.

A área do defeito por sua vez, é calculada da seguinte forma: o defeito é apontado e a sua área delimitada.

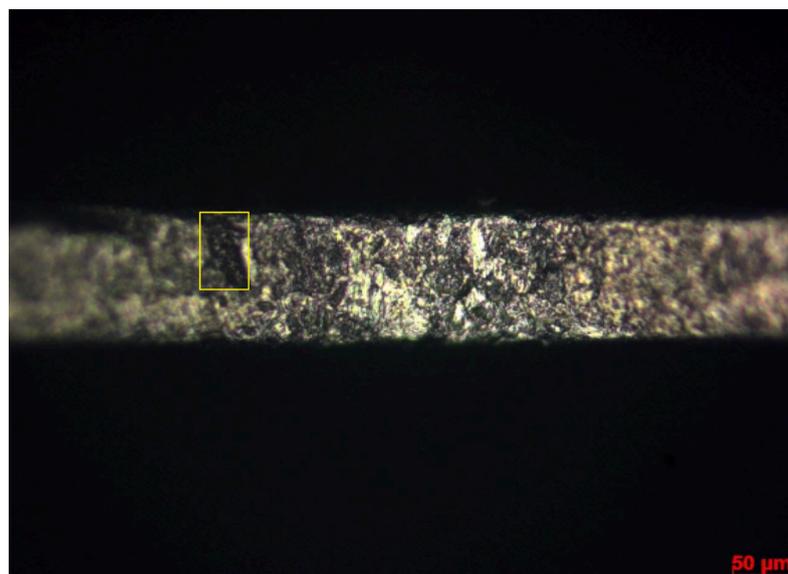
Figura 13 - Apontamento de defeito



Fonte: produzido pela autora, 2024.

A região do defeito é simplificada em uma forma geométrica que possibilita o cálculo da sua área de forma rápida. Um exemplo desta prática consta na figura 14, onde a área do defeito foi considerada como um retângulo, visto a similaridade da região com a geometria em questão.

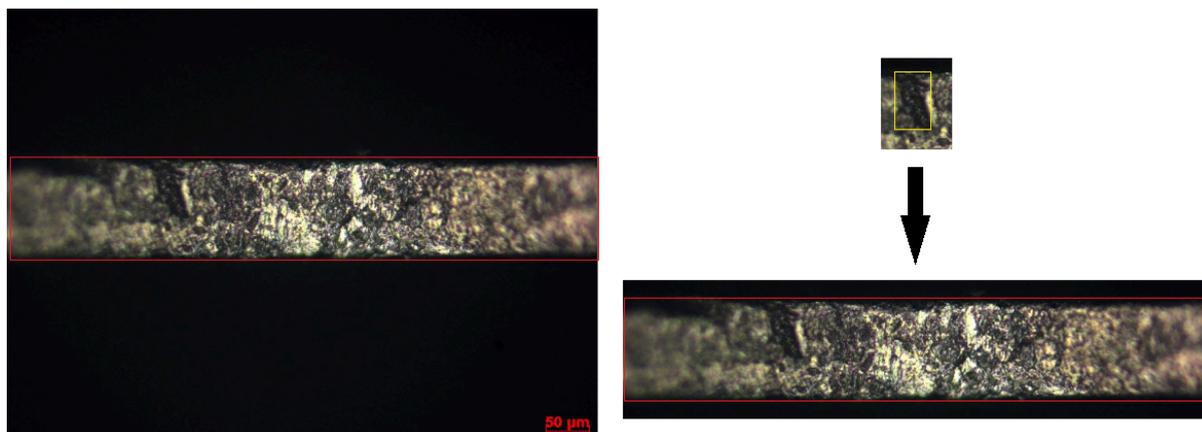
Figura 14 - Simplificação da área do defeito



Fonte: produzido pela autora, 2024.

A área simplificada é comparada com a área total da região da borda analisada naquela imagem. A área total citada está sinalizada de vermelho na figura 15. Desta forma, é possível calcular a porcentagem que a área do defeito representa na área total da borda evidenciada nas imagens do MO.

Figura 15 - Área total da região da borda versus área simplificada do defeito.



Fonte: produzido pela autora, 2024.

Após análise e apontamento dos defeitos presentes, os resultados atuais das condições de acabamento de raio de borda são organizados na Tabela 2, onde o acabamento do raio de borda é analisado a partir da existência ou não de defeitos, a ocorrência dos mesmos e a sua área média. A ocorrência de defeitos indica quantidade de vezes que este desvio apareceu nas amostras. Por exemplo: em uma inspeção de recebimento, a imagem

É importante ressaltar que o componente em questão é fabricado por mais de um fornecedor e o raio de borda pode apresentar acabamentos distintos. A variação entre fornecedores pode se dar pelos tipos de defeitos evidenciados, como rebarbas, marcas de choque, sujidades e falta de preenchimento ou pelo tamanho da área do defeito.

A fim de respeitar o compliance da empresa, não se farão distinções em relação ao fornecedor da válvula.

## 4 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados presentes neste trabalho referem-se a inspeções de recebimento de todos os lotes de válvulas de sucção comprados no ano de 2023. A matriz de criticidade criada propõe uma intersecção de três indicadores:

- **Tipos de defeito:**

- I. Rebarba
- II. Falta de Preenchimento
- III. Marca de Choque
- IV. Sujidades

- **Média da área do defeito, em porcentagem:**

A área do defeito é calculada a partir da referência da imagem: no canto direito inferior

- **Incidência nos lotes de 2023:**

O defeito é contabilizado por região na matriz e apresentado como um valor final.

Os tipos de defeitos foram ordenados aleatoriamente na matriz visto que ainda não se pode confirmar o nível de criticidade entre eles. A tabela 5 reúne os resultados encontrados.

Tabela 7 - Incidência e porcentagem média da área dos defeitos

Defeito	Incidência do Defeito	Média das Áreas do Defeito
Falta de Preenchimento	66 vezes	9,689 %
Marca de Choque	29 vezes	3,724 %
Rebarba	23 vezes	5,739 %
Sujidade	8 vezes	1,875 %

Fonte: produzida pela autora, 2024.

De todas as inspeções de recebimento, apenas uma apresentou a necessidade de aumento da amostragem analisada. Isto se deve pois as imagens geradas não foram nítidas o suficiente para conclusão da análise sobre o

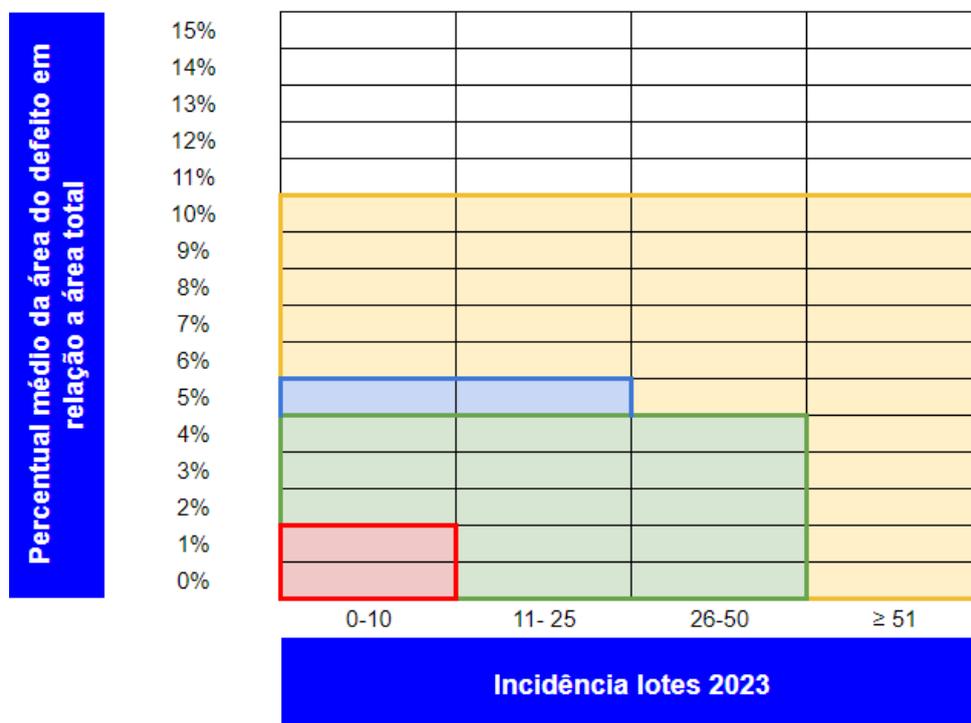
acabamento do raio de borda. O aumento da amostragem foi efetivo pois evidenciou-se com clareza os defeitos do lote em questão.

Outro fator importante a ser citado diz respeito aos defeitos listados nas tabelas: rebarba, marca de choque, falta de preenchimento e sujidades. Os quatro defeitos foram os únicos encontrados no acabamento de raio de borda. A literatura atual prevê outros tipos de defeito em aços estampados - os mesmos utilizados na fabricação das válvulas deste trabalho - porém esses não foram observados nos lotes de 2023, aqui analisados.

Todos os lotes de válvula de sucção de 2023, estudados nesta pesquisa, foram aceitos e utilizados na montagem de compressores.

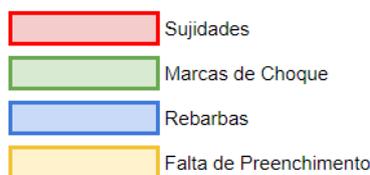
A relação apresentada na matriz de criticidade evidencia facilmente o histórico do componente: o defeito que mais ocorreu foi a falta de preenchimento, seguido, de marcas de choque, em terceiro rebarbas e por último sujidades. O percentual de área afetada por esses defeitos também seguiu a mesma ordem citada neste parágrafo.

Tabela 8 - Matriz de Criticidade



Fonte: produzida pela autora, 2024.

Figura 16 - Legenda da matriz de criticidade



Fonte: produzida pela autora, 2024.

Todas as regiões são sinalizadas por cores: vermelho para o defeito de sujidades, verde para marcas de choque, azul para rebarbas e por fim amarelo para o desvio de falta de preenchimento. É importante ressaltar que todas as regiões apresentam sobreposições entre si e a Tabela 4 evidencia este ponto. Isto se deve ao fato que todas as regiões abrangem o valor inicial de zero, tanto para média da área do defeito quanto para a incidência do mesmo.

O número de letras “x” aponta quantas regiões estão ali sobrepostas.

Tabela 4 - Regiões sobrepostas na Matriz

<b>Percentual médio da área do defeito em relação a área total</b>	15%				
	14%				
	13%				
	12%				
	11%				
	10%	x	x	x	x
	9%	x	x	x	x
	8%	x	x	x	x
	7%	x	x	x	x
	6%	x	x	x	x
	5%	xx	xx	x	x
	4%	xxx	xxx	xx	x
	3%	xxx	xxx	xx	x
2%	xxx	xxx	xx	x	
1%	xxxx	xxx	xx	x	
0%	xxxx	xxx	xx	x	
	0-10	11- 25	26-50	≥ 51	
	<b>Incidência lotes 2023</b>				

Fonte: produzida pela autora, 2024.

#### **4.1 Aplicação da Matriz de Criticidade**

Esta parte da pesquisa objetiva exemplificar o uso da matriz de criticidade na tomada de decisão de utilização ou não de lotes da válvula de sucção X. A utilização da matriz de criticidade acontece no momento em que os resultados da inspeção de recebimento são divulgados e então, iniciado a parte de análise dos mesmos.

A matriz então é empregada como forma de consulta do histórico de 2023: ela é consultada para conferência se o defeito encontrado na inspeção, assim como a sua respectiva área, é frequente nos lotes utilizados em 2023. Como já citado, todos os lotes de 2023 foram aceitos e portanto, se o raio de borda apresentar acabamento igual ou melhor aos lotes do ano anterior a este trabalho, pode-se prever com mais assertividade o desempenho do lote na performance do compressor.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma matriz de criticidade a fim de auxiliar na tomada de decisão para utilização ou não de lotes de válvula de sucção, aplicados em compressores herméticos alternativos. A matriz evidencia os resultados de todas as inspeções de recebimento do ano de 2023 da válvula estudada neste trabalho. Estes resultados foram organizados na matriz como um diagrama, apontando: tipo de defeito, incidência e área média dos defeitos.

Ficou evidenciado que o defeito que mais ocorreu foi a falta de preenchimento, seguido de marcas de choque, em terceiro rebarbas e por último sujidades. O percentual de área afetada por esses defeitos também seguiu a mesma ordem citada neste parágrafo.

Como todos os lotes de 2023 foram utilizados na montagem de compressores, pode-se afirmar que lotes futuros que apresentam resultados similares ou melhores - com menor área de defeito ou menor incidência destes - pode-se prever com mais assertividade o desempenho do lote na performance do compressor.

A matriz de criticidade apresentada tornou o processo - de tomada de decisão para utilização ou não de lotes de válvula de sucção - mais assertivo. Isto se deve a organização dos dados de forma hierárquica, pontuando tipo de defeito, incidência e média de área do defeito. A representação gráfica simplificada permite otimizar discussões e consultar de forma ágil o histórico do componente.

A utilização da matriz em futuros lotes também se apresenta como uma facilitadora da retomada da problemática de subjetividade em relação ao acabamento de raio de borda. Inclusive para futuras discussões sobre o Cost Break Down do componente, reafirmando se os custos envolvidos ainda são pertinentes para o controle e melhoria de qualidade do acabamento de raio de borda.

### 5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Devido ao extenso e profundo tema, alguns tópicos não foram abordados nesta pesquisa. Desta forma, objetivando auxiliar na investigação da problemática envolvendo o impacto real do acabamento de raio de borda na performance do compressor, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Análise qualitativa dos defeitos:
  - Relação direta entre defeito e impacto em performance e confiabilidade do compressor;
  - Classificação de criticidade dos defeitos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, Danilo Martins. **Estudo experimental da interação fluido-estrutura em um modelo de válvula de compressor de refrigeração**. 2013. 119 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.

ZELT, A. L.; KERNS, H.; BRESNAHAN, F. **Slitting knives and setups**. In: THEIS, H. E. Handbook of metalforming process. New York: Marcel Dekker, 1999. Cap. 4., p.117-44.

REISER, M. **MODELO DE SHOULD COST PARA COMPRESSORES HERMÉTICOS**. Monografia (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022. 77 p.

BORGES, H; MORAIS, W. **ADEQUAÇÕES NAS PRÁTICAS DOS NOVOS PROCESSOS DE CORTE E DOBRA PARA OTIMIZAR O DESEMPENHO DE AÇOS PLANOS**. Technol. Metal. Mater. Miner. São Paulo, v.7, n. 1-2, p. 54-60, 2010.

MESQUITA, E; RUGANI, L. **Estampagem dos aços inoxidáveis**. Apostila (Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC SP). São Paulo, 1997. 51 p.

DAVIDSON, D.A. **“Mass finishing processes”** Metal finishing 104, no. 7: 104-117. 2006.

MACEDO, D. **BANCADA DE TAMBOREAMENTO ROTATIVO PARA REBARBAÇÃO EM PEÇAS DE METAL FUNDIDO: ANÁLISE EXPERIMENTAL**. Monografia (Bacharel Engenharia Automotiva UnB). Universidade de Brasília. Brasília. 2016, 47 p.

SCHONBERGER, R. J. **WORLD CLASS MANUFACTURING: THE LESSONS OF SIMPLICITY APPLIED**. Livro (Editora Free Press). Nova Iorque. 1986, 272 p.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Meaning of cost breakdown in English.** Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/cost-breakdown>. Acesso em: 02 fev 2024.

PROGNOS. **How do you perform a cost breakdown?** Disponível em: <https://prognos.se/en/how-do-you-perform-a-cost-breakdown/>. Acesso em: 02 fev 2024.

ALVES, H. D. MELO, C. E. L. **MATRIZ DE CRITICIDADE EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO PRÉ-FABRICADOS.** Artigo para congresso (Conpat 2021). Brasil, 2021. 12 p.