

Educação, Inovação e Sustentabilidade na Pesquisa Aplicada

## **Indicadores da qualidade para acompanhamento da vida útil de moldes para injeção de termofixos.**

**Marco Aurélio Feriotti<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-8457-3495>

**Alexandre Formigoni<sup>2</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-7487-0541>

**Marília Marcorin de Azevedo<sup>3</sup>**

<https://orcid.org/0000-0003-0225-8155>

**Eliacy Cavalcanti Lélis<sup>4</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-6432-2354>

**José Manoel Souza das Neves<sup>5</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-7277-9434>

**Resumo-**Os termofixos são materiais que passam por um processo químico durante a moldagem, que requer um cuidado especial na escolha dos materiais e no projeto do molde. A vida útil de um molde é influenciada por diversos fatores, como a temperatura e a pressão de injeção, o tipo e a qualidade dos materiais utilizados na fabricação, além do tempo de uso. Esses fatores podem levar a problemas como desgaste, trincas e fissuras, o que pode comprometer a qualidade do produto final e aumentar os custos com manutenção e substituição do molde. Para minimizar esses problemas, são propostos indicadores de qualidade que podem ser monitorados ao longo do tempo, visando a avaliação da degradação do molde e a programação de sua manutenção ou substituição. Este artigo tem como objetivo propor indicadores da qualidade para o acompanhamento da vida útil de moldes utilizados na injeção de termofixos. Os indicadores propostos incluem o acompanhamento do desgaste da rugosidade da cavidade, a presença de trincas e fissuras, o desgaste dos canais de injeção e na linha de fechamento e a estabilidade dimensional do molde. A escolha desses indicadores foi baseada em estudos anteriores, por meio de uma revisão sistemática da literatura e o estudo de caso permitiu a identificação de soluções eficazes para prolongar a vida útil dos moldes. Os estudos também destacam a importância de se estabelecer um plano de monitoramento desses indicadores, de forma a garantir a qualidade e a durabilidade dos moldes utilizados na injeção de termofixos. Ao final do artigo, inferiu-se que o acompanhamento dos indicadores propostos pode ser utilizado como uma ferramenta eficaz para a avaliação da vida útil dos moldes de injeção de termofixos, contribuindo para a melhoria da qualidade do produto final e a redução de custos com manutenção e substituição dos moldes.

**Palavras-chave:** Termofixo Baquelite, Vida Útil do Molde, Indicadores da Qualidade, Sistemas Produtivos.

**Abstract** – Thermosetting materials undergo a chemical process during molding, requiring particular care in material selection and mold design. The lifespan of a mold is influenced by various factors, such as injection temperature, pressure, material type, quality, and duration of use. These factors can lead to issues like wear, cracks, and fissures, compromising the final product's quality and increasing maintenance and mold replacement costs. To minimize these problems, quality indicators are proposed for monitoring mold degradation and scheduling maintenance or replacement. This article aims to propose quality indicators for monitoring the lifespan of molds used in thermosetting injection. The proposed indicators include monitoring cavity roughness wear, cracks and fissures, wear in injection channels and closing lines, and

mold dimensional stability. The selection of these indicators is based on previous studies, including systematic literature reviews and case studies allowed the identification of effective solutions to extend the lifespan of molds. The studies also highlight the importance of establishing a monitoring plan for these indicators to ensure the quality and durability of thermosetting injection molds. Ultimately, it was inferred that monitoring the proposed indicators can serve as an effective tool for evaluating the lifespan of thermosetting injection molds, contributing to improving the final product's quality and reducing maintenance and mold replacement costs.

**Keywords:** Thermosetting Bakelite, Mold Lifespan, Quality Indicators, Productive Systems.

## 1. Introdução

A injeção de termofixos é um processo amplamente utilizado na indústria para a produção de peças com alta resistência e durabilidade (LI et al., 2018).

O processo de injeção de peças de termofixos, juntamente com o uso do molde para injeção, faz parte do sistema produtivo relacionado à fabricação de produtos envolvendo diferentes etapas, desde o design da peça até a produção em massa. É essencial que todas essas etapas sejam coordenadas de forma eficiente e otimizada para maximizar a produtividade, a qualidade e a satisfação do cliente (CORREA; CORREA, 2022).

No entanto, a moldagem de termofixos exige um cuidado especial na escolha dos materiais e no projeto do molde, pois esses materiais passam por um processo químico durante a moldagem, o que pode causar problemas como desgaste, trincas e fissuras no molde (OSSWALD; TURNG; GRAMANN, 2007). Por isso, o acompanhamento da vida útil dos moldes é essencial para garantir a qualidade do produto final e a redução de custos com manutenção e substituição dos moldes (STACHURSKI; PIASKOWSKI, 2019).

A avaliação da vida útil dos moldes de injeção de termofixos é uma área de pesquisa em constante evolução, com o objetivo de desenvolver metodologias e técnicas que possam auxiliar na identificação precoce dos problemas e na programação da manutenção ou substituição dos moldes. Dessa forma, este estudo busca contribuir para o avanço da área, por meio da proposição de indicadores de qualidade para o acompanhamento da vida útil dos moldes.

O uso adequado do molde para injeção de termofixos, aliado a um controle rigoroso do processo de injeção, contribui para a eficiência e eficácia do sistema produtivo como um todo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Diante disso, surge a seguinte pergunta de pesquisa: Quais são os indicadores de qualidade que podem ser utilizados para o acompanhamento da vida útil dos moldes de injeção de termofixos?

## 2. Objetivo

O objetivo geral deste estudo é propor indicadores de qualidade para o acompanhamento da vida útil dos moldes de injeção de termofixos. Para alcançar esse objetivo, os seguintes objetivos específicos serão perseguidos:

- i. Identificar os principais fatores que influenciam na vida útil dos moldes;
- ii. Pesquisar sobre indicadores de qualidade utilizados no acompanhamento da vida útil dos moldes;
- iii. Propor indicadores de qualidade baseados na revisão da literatura.

Partindo da premissa de que a qualidade dos moldes é essencial para garantir a qualidade do produto final, espera-se que a utilização de indicadores de qualidade possa auxiliar na identificação precoce dos problemas e na programação da manutenção ou substituição dos moldes, contribuindo para a redução de custos e para a melhoria da eficiência produtiva.

A metodologia utilizada neste estudo foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de identificar os principais fatores que influenciam na vida útil dos moldes e os indicadores de qualidade utilizados no acompanhamento do processo de injeção. Além disso, foram sugeridos experimentos para avaliar os desgastes gerados nos moldes.

### **3. Referencial Teórico**

Este capítulo apresentará o referencial teórico sobre termofixos baquelite, abordando suas características e os materiais utilizados na sua fabricação dos moldes. Também serão discutidos os principais fatores que afetam a vida útil desses moldes e os indicadores da qualidade utilizados para acompanhamento no processo de produção auxiliar na identificação precoce dos problemas.

#### **3.1 Termofixo Baquelite**

Baquelite é um termofixo, um tipo de plástico que não amolece quando exposto a altas temperaturas. Ele foi uma das primeiras resinas sintéticas desenvolvidas, sendo descoberta pelo químico americano Leo Baekeland em 1907 (LI et al., 2018). É uma resina fenólica, que é produzida a partir da reação entre fenol e formaldeído. A resina resultante é então moldada e endurecida sob alta pressão e temperatura, produzindo um material duro, resistente e durável.

O baquelite é amplamente utilizado em aplicações elétricas e eletrônicas, como em isoladores, capacitores e conectores (PIOTROWSKI *et al.*, 2021). As suas principais características, vantagens e desvantagens são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Características, vantagens e desvantagens

Características	É um termofixo, ou seja, após sua moldagem e cura, não pode ser derretido ou reformulado;
	É um material duro, resistente e durável;
	Tem alta resistência elétrica e isolamento térmico;
	É resistente à maioria dos produtos químicos, ácidos e solventes;
	É um material autoextinguível, ou seja, não propaga chamas;
Vantagens	Baixo custo de produção;
	Excelente estabilidade dimensional, mesmo quando exposto a altas temperaturas;
	Elevada resistência mecânica, mesmo a temperaturas elevadas;
	Resistência à maioria dos solventes, ácidos e bases.
Desvantagens	Não pode ser reciclado ou reprocessado após sua moldagem e cura;
	É um material relativamente frágil e quebradiço, com baixa resistência ao impacto;
	Baixa resistência à radiação UV e ao envelhecimento em ambiente externo;
	A resina fenólica é tóxica e prejudicial à saúde, especialmente durante a fase de produção.

**Fonte:** Autores.

O Baquelite tem sido amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas propriedades de alta resistência elétrica e isolamento térmico, no entanto, sua rigidez e fragilidade limitam seu uso em algumas aplicações, além de ser uma substância tóxica durante o processo de produção (QIAO et al., 2015).

Devido a sua rigidez e alta resistência mecânica, ele pode causar desgaste em moldes de injeção durante o processo de moldagem por injeção. Isso ocorre porque o Baquelite exige uma alta pressão para preencher a cavidade e destacar do molde durante o processo de extração, o que pode provocar marcas de desgaste nos moldes (SOUSA; LEITE; GAMA, 2018).

Para minimizar o impacto do Baquelite no desgaste dos moldes de injeção, algumas técnicas podem ser adotadas, como a utilização de revestimentos de molde resistentes ao desgaste, lubrificação adequada e ajuste adequado dos parâmetros de injeção. Também é importante lembrar que a escolha do tipo de aço utilizado no molde de injeção, a configuração e as condições do processo de injeção, e as propriedades específicas do material Baquelite utilizado podem ter um grande impacto na sua vida útil e na qualidade das peças moldadas (LI et al., 2018).

### **3.2 Molde de Injeção para Termofixo Baquelite**

Os moldes de injeção são projetados com o propósito de fabricar peças sólidas feitas de plástico, tanto em materiais termoplásticos quanto termofixos. Esses moldes são empregados em processos de produção em grande escala, com o objetivo de assegurar a consistência e replicação das peças desejadas. A estrutura dos moldes possibilita a criação de uma ou várias cavidades, determinando assim a quantidade de peças produzidas por hora, em conjunto com o tempo de ciclo (OSSWALD; TURNG; GRAMANN, 2007)

O molde é constituído por duas partes: uma parte móvel e outra fixa, que se unem para criar a cavidade do molde. Nessa cavidade, o material plástico é injetado e solidifica, tomando a forma da peça desejada. O projeto do molde de injeção abrange a seleção cuidadosa dos materiais apropriados para sua construção, além do desenho da cavidade, que influencia diretamente na qualidade e nas propriedades da peça final (ROSATO; ROSATO, 2012).

A geometria da peça, a direção do fluxo do material, a localização e a disposição dos canais de injeção são alguns dos fatores cruciais que devem ser considerados minuciosamente durante o processo de projeto do molde. Cada um desses elementos desempenha um papel fundamental no resultado final, garantindo a eficiência e a precisão na produção das peças plásticas (ROSATO; ROSATO, 2012).

Ao projetar o molde para injeção de baquelite, é essencial considerar as propriedades específicas desse material termofixo. Devido à sua alta viscosidade, o fluxo do material na cavidade do molde pode ser desafiador, o que resulta em um aumento no tempo de ciclo. Além disso, a baquelite é altamente abrasiva, o que pode levar ao desgaste prematuro do molde, requerendo um aço resistente ao desgaste e temperatura adequado em seu projeto (ZHAO; MATTNER; DRUMMER, 2019a).

Os autores recomendam a utilização de aço endurecido com revestimento de cromo duro para garantir a resistência ao desgaste do molde de injeção de baquelite. Além disso, o projeto do molde deve incluir canais de alimentação amplos e uma geometria otimizada da cavidade para assegurar o preenchimento completo e uniforme da peça durante o processo de injeção. Essas medidas são fundamentais para alcançar uma produção eficiente e de alta qualidade das peças feitas de baquelite.

A seleção do material para a fabricação do molde pode desempenhar um papel crucial em sua vida útil. Entre os materiais frequentemente empregados na confecção de moldes, destaca-se o aço ferramenta AISI H-13, que é comumente revestido com uma camada cerâmica por meio do processo de Deposição Física de Vapor (PVD). Essa aplicação visa reduzir o coeficiente de atrito, conferindo maior durabilidade aos moldes e permitindo que suportem um maior número de ciclos de injeção. Esse aprimoramento na resistência e durabilidade do material é fundamental para uma produção eficiente e prolongada das peças desejadas (STACHURSKI; PIASKOWSKI, 2019).

O motivo da escolha do aço AISI H-13 deve-se à sua notável resistência e durabilidade. Complementar a isso, a aplicação de revestimento de PVD tem o objetivo específico de melhorar a resistência ao desgaste. Essas decisões são cuidadosamente tomadas com o propósito de aprimorar o desempenho e a qualidade dos moldes empregados no processo de moldagem por injeção de baquelite. Ao garantir uma maior resistência e durabilidade dos moldes, busca-se alcançar uma produção mais eficiente e confiável das peças de baquelite desejadas (MARTÍNEZ-MATEO et al., 2011).

### **3.3 Vida Útil do Molde de Injeção**

O estudo de desgastes nas cavidades de molde de injeção para Baquelite pode ser abordado a partir de diferentes perspectivas, tais como a análise dos materiais utilizados na fabricação dos moldes, as técnicas de usinagem e

acabamento empregadas, o controle de parâmetros do processo de injeção, entre outros aspectos (HAN; ZHANG; ZHANG, 2018).

É importante entender as propriedades dos materiais utilizados na fabricação dos moldes de injeção para Baquelite, a fim de avaliar a resistência ao desgaste e à corrosão, a capacidade de dissipação de calor e outras características relevantes para o desempenho do molde. Dessa forma, pode-se explorar a literatura científica sobre a seleção e aplicação de materiais como aços ferramenta, revestimentos cerâmicos e materiais compósitos (CHEN; HU; CHENG, 2019).

A forma como os moldes são usinados e acabados também pode ter um impacto significativo na sua durabilidade e resistência ao desgaste. Nesse sentido, é interessante abordar técnicas como usinagem por eletro erosão, polimento com abrasivos, revestimentos cerâmicos e tratamentos térmicos, além de analisar suas vantagens e limitações (LI; XIONG; ZHOU, 2019).

O processo de injeção da Baquelite pode ser influenciado por uma série de variáveis, como a temperatura do material, a pressão de injeção, o tempo de ciclo, entre outras. Estudar a relação entre esses parâmetros e o desgaste das cavidades do molde pode ajudar a identificar as condições ideais para maximizar a vida útil do molde e minimizar os custos de manutenção (YAN et al., 2019).

Segundo Stachurski e Piaskowski (2019), o controle cuidadoso das condições de moldagem é essencial para a redução do desgaste das cavidades de moldes de injeção utilizados na produção de baquelite. O desgaste das cavidades em moldes de injeção para a produção de baquelite foi investigado pelos autores, que concluíram que o controle adequado das condições de moldagem pode reduzir significativamente o desgaste e prolongar a vida útil dos moldes.

### **3.4 Indicadores da Qualidade**

Os indicadores de qualidade são ferramentas utilizadas para medir e avaliar o desempenho de uma organização, produto ou serviço em relação aos padrões estabelecidos. Eles fornecem informações objetivas e confiáveis sobre a qualidade de um produto ou serviço, permitindo que sejam identificadas áreas de melhoria e tomadas de decisão baseadas em dados (JURAN, 2019).

A sua importância reside na sua capacidade de fornecer informações que permitem a tomada de decisão fundamentada. Eles ajudam a identificar problemas e oportunidades de melhoria, bem como a monitorar e avaliar a eficácia das ações implementadas (SOUZA; CORREA, 2014).

As aplicações dos indicadores de qualidade são diversas, podendo ser utilizados em diferentes setores e áreas. Na indústria, podem ser utilizados para monitorar a eficácia dos processos produtivos, identificar defeitos e perdas, bem como para avaliar a satisfação dos clientes (ROTHER, 1999).

De acordo com Kaplan e Norton (2005), os indicadores de qualidade possuem características fundamentais, como a objetividade, mensurabilidade, relevância e atualização. Os autores ressaltam a necessidade de que tais indicadores forneçam informações precisas e confiáveis, possibilitando que os gestores tomem decisões embasadas em dados e estejam mais bem informados.

Para Drucker (2007), a mensuração de resultados e a utilização de indicadores são fundamentais para a gestão eficiente de uma organização.

Segundo o autor, "o que não é medido, não é gerenciado", ou seja, sem a medição e análise dos resultados obtidos, a empresa não terá informações precisas e confiáveis para tomar decisões estratégicas e melhorar seus processos.

Os métodos de aplicação de indicadores da qualidade devem estar baseados na melhoria contínua dos processos. A utilização de indicadores da qualidade deve ser feita de forma sistemática e os resultados obtidos devem ser utilizados para identificar áreas de melhoria e aprimorar continuamente os processos organizacionais (DEMING, 2000).

#### **4. Método**

Para a realização deste trabalho, o método adotado é de natureza aplicada, seguindo as referências de Gil (2002) e Knechtel (2014). Os objetivos são exploratórios, com abordagem qualitativa, e os procedimentos técnicos consistem em estudo de caso fundamentado por revisão sistemática da literatura.

A natureza aplicada refere-se ao uso de conhecimentos disponíveis para a obtenção de resultados com relevância econômica e social. O caráter exploratório possibilitou uma maior compreensão do problema, tornando-o mais explícito e conduzindo à formulação de hipóteses (GIL, 2002). A abordagem qualitativa da pesquisa, conforme descrita por Knechtel (2014), envolve a interpretação das informações e dos dados qualitativos por meio de observação, interação participativa e análise do discurso dos sujeitos.

No que diz respeito à pesquisa bibliográfica, foram utilizados materiais previamente elaborados, principalmente artigos científicos, que tratam dos temas relevantes relacionados ao objeto de estudo e sua problemática. Essa abordagem proporcionou uma base sólida para o desenvolvimento do estudo de caso em questão.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que consiste na busca, seleção e avaliação crítica dos estudos relevantes sobre o tema em questão. A partir da RSL, foram identificados os fatores que influenciam na vida útil dos moldes e os indicadores de qualidade que podem ser utilizados para o acompanhamento dos equipamentos.

A RSL é uma metodologia de pesquisa que, assim como outros tipos de estudos de revisão, utiliza a literatura existente sobre um tema específico como fonte de dados. A RSL apresenta um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção particular, através da aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, avaliação crítica e síntese da informação selecionada (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

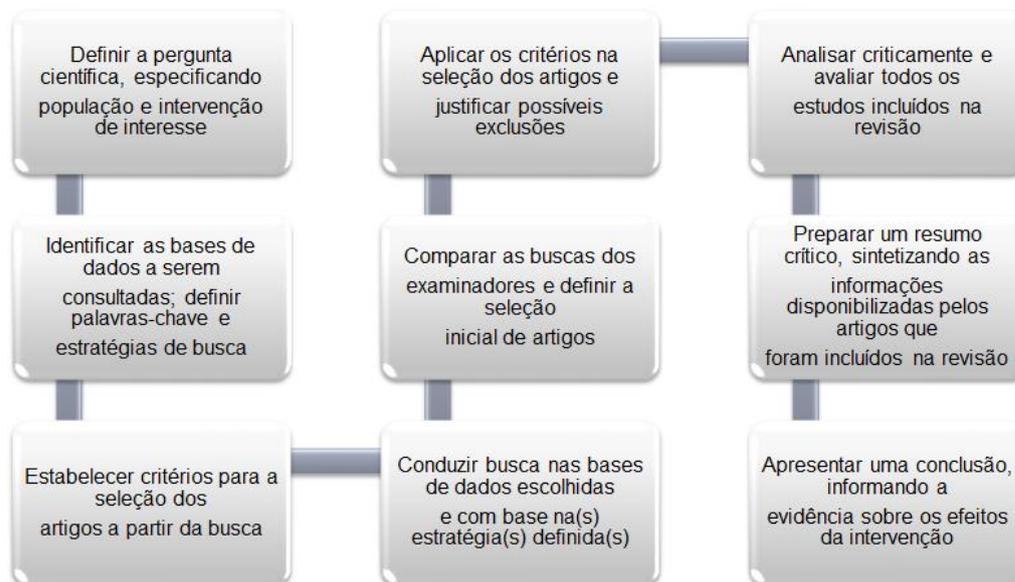
O método de Estudo de Caso, que segundo Yin (2015), pode ser uma abordagem eficaz para a pesquisa no campo do processo produtivo, permitindo uma análise holística e contextualizada do fenômeno estudado, também foi utilizado nos experimentos realizados nesse estudo, embasados na RSL.

##### **4.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)**

Para garantir a eficácia da pesquisa, é crucial que os pesquisadores elaborem um protocolo contendo elementos fundamentais, como: métodos de busca de estudos relevantes, critérios de inclusão e exclusão de artigos, definição clara dos resultados esperados, verificação da precisão dos resultados,

avaliação da qualidade das fontes pesquisadas e análise estatística dos dados obtidos (SAMPAIO; MANCINI, 2007). A Figura 1 ilustra esses itens essenciais para o desenvolvimento do protocolo de pesquisa.

**Figura 1** – Descrição geral sobre o protocolo de pesquisa da RSL



**Fonte:** Adaptado de Sampaio, Mancini (2007).

Para a realização da coleta de dados seguindo as diretrizes do método RSL, foi criado um protocolo de revisão sistemática com o auxílio do *Parsifal*, uma ferramenta *web* desenvolvida para auxiliar pesquisadores na tarefa de realizar revisões sistemáticas da literatura. Durante a fase de planejamento, essa ferramenta simplifica a criação de questões de pesquisa, permite a seleção de bases de pesquisa e armazena critérios de inclusão e exclusão. Além disso, fornece um mecanismo para especificar critérios de avaliação de qualidade e gerar *strings* de busca, enquanto mantém um registro de todos os dados coletados. Isso torna o protocolo RSL fácil de ser replicado.

O *Parsifal* é dividido nos seguintes protocolos:

- Análise
- Planejamento
- Condução
- Declaração

#### 4.1.1 Análise

Com base no exposto, utilizou-se o protocolo da RSL para identificar os fatores que influenciam na vida útil dos moldes e os indicadores de qualidade que podem ser utilizados para o acompanhamento dos equipamentos. Isso, por sua vez, contribui para estudos futuros sobre essa abordagem. A análise dos dados foi conduzida de forma descritiva.

#### 4.1.2 Planejamento

Inicialmente, o processo começou com a fase de planejamento, essencial para garantir que a revisão fosse realizada de maneira rigorosa.

Durante esta etapa, avaliou-se a real necessidade de realizar uma revisão sistemática, elaborou-se um protocolo de avaliação e estabeleceu-se as seguintes questões de pesquisa conforme Quadro 2.

**Quadro 2** – Questões de pesquisa

Q1	Como avaliar a eficácia dos indicadores propostos para o acompanhamento da vida útil dos moldes?
Q2	Quais indicadores de qualidade podem ser aplicados para o acompanhamento da vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite?
Q3	Como estabelecer um plano de monitoramento dos indicadores de qualidade para garantia da melhoria de desempenho da vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite?
Q4	Quais os fatores que influenciam na vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite?

**Fonte:** Autores extraído do *Parsifal* (2023).

Os termos usados no PICOC, conforme Quadro3, foram usados para delimitar e especificar a pergunta de pesquisa e na separação das palavras-chave utilizadas para criar a *string* de pesquisa.

**Quadro 3** – Termos usados no PICRC

População	Artigos publicados em revistas acadêmicas e periódicos ou apresentados em congressos
Intervenção	Indicadores da Qualidade aplicados no controle de processo produtivo
Comparação	Moldes para injeção de termofixo Baquelite
Resultado	Controle da melhoria do desempenho e vida útil de moldes.
Contexto	Artigos científicos, Artgcos de revisão, Estudo de caso

**Fonte:** Autores extraído do *Parsifal* (2023)

A população escolhida "Artigos de revistas acadêmicas e periódicos, e estudos apresentados em congressos" justifica-se pela ampla variedade de tópicos, revisão por pares, informações detalhadas e acesso a pesquisas recentes. Essa abordagem resultou em uma revisão abrangente e representativa, reforçando a credibilidade dos resultados.

A intervenção "Indicadores da Qualidade aplicados no controle de processo produtivo" foi escolhida devido à sua relevância em melhorar a eficiência e qualidade industrial. Esses indicadores objetivos permitiram monitorar o desempenho, identificar melhorias e tomar decisões informadas para otimizar a produção, beneficiando empresas e consumidores.

A escolha da comparação "Moldes para injeção de termofixo Baquelite" justifica-se pela necessidade de avaliar o desempenho e durabilidade desses moldes em relação a outros tipos disponíveis. A análise dos indicadores de qualidade permitiu identificar as diferenças entre os moldes de Baquelite e

alternativas, contribuindo para selecionar a opção mais adequada considerando vida útil, custo e qualidade dos produtos fabricados.

A escolha dos resultados "Controle da melhoria do desempenho e vida útil de moldes" visou compreender e otimizar o desempenho dos moldes. Identificar fatores influentes e indicadores de qualidade foi essencial para aprimorar os processos produtivos e garantir produtos finais de alta qualidade.

A escolha do contexto "Artigos científicos, Artigos de revisão, Estudo de caso" justifica-se pela necessidade de obter informações diversas sobre o tema. Artigos científicos forneceram evidências empíricas, revisões ofereceram sínteses do conhecimento existente, e estudos de caso trouxeram insights detalhados. Essa abordagem variada permitiu uma revisão sistemática completa e fundamentada.

As palavras-chave recomendadas pelo protocolo para a busca nas bases de dados foram " *Bakelite Thermoset*", "*Inject Mold Wear*", "*Quality Indicators*". A string de busca gerada automaticamente pelo *Parsifal* foi: ("*Bakelite Thermoset*" AND "*Inject Mold Wear*" OR "*Quality Indicators*"). Com relação à base de dados utilizada nesta pesquisa, foram a *Web of Science* e a *Scopus*, disponíveis no Portal de Periódicos da Capes, devido à sua ampla variedade e aos critérios de filtragem estabelecidos, conforme descrito no Quadro 4.

**Quadro 4** Bases de dados e critérios de filtros

Base de dados	Portal de periódicos CAPES <i>Web of Science</i>
Tipo de documentos	Artigos de Conferência e de Revisão
Campo de busca	Todos os Campos
Áreas de pesquisa	Ciência de materiais; Materiais de engenharia; Metalurgia e Engenharia da Produção
Limitar resultados	Ano: 2018 a 2022 Tipo de documento : Artigos Idioma: Inglês

**Fonte:** Autores extraído do *Parsifal* (2023).

No Quadro 5, encontram-se descritos os critérios de inclusão e exclusão adotados na seleção dos artigos analisados.

**Quadro 5** Critérios de seleção

Critérios de Seleção	
Inclusão	Exclusão
Aborda aplicação no controle de processo produtivo	Documento aborda fora da área de processo produtivo
Aborda sobre indicadores de qualidade aplicados para o acompanhamento de manutenção	Documentos fora das áreas de pesquisa Documentos a partir de 2023
Apresenta exemplos de plano de monitoramento dos indicadores de qualidade	Documentos não tem acesso livre
Aborda sobre vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite	Estudos anteriores a 2018 Apenas citações

**Fonte:** Autores extraído do *Parsifal* (2023).

Como premissa para avaliar a qualidade dos artigos selecionados, foi estabelecida uma lista de questões, as quais estão descritas no Quadro 6.

**Quadro 6** Questões da avaliação da qualidade

Q1	Este artigo apresenta no título ou resumo uma dessas palavras: Quality Indicators, Inject Mold Wear, Thermosets injection?
Q2	Este artigo apresenta tipos de Indicadores da Qualidade?
Q3	Este artigo apresenta aplicações de Indicadores de Qualidade no controle de processo produtivo?
Q4	Este artigo apresenta sistemas de monitoramento de Indicadores de Qualidade no controle de processo produtivo?
Q5	Este artigo apresenta os fatores que influenciam no desgste do molde?

**Fonte:** Autores extraído do *Parsifal* (2023).

#### 4.1.3 Condução

Durante esta segunda etapa, a busca nas bases de dados foi realizada em abril de 2023, resultando em um total de 36 documentos recuperados. Após a coleta dos dados, os artigos obtidos nas buscas foram importados para o *Parsifal* para serem avaliados. Em seguida, foi realizada a avaliação primária dos artigos, que consistiu na leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, com o objetivo de excluir os artigos que não atendiam aos critérios de inclusão definidos. Nesta etapa, foram aceitos 25 artigos. Por fim, foi realizada uma leitura mais detalhada dos artigos selecionados, incluindo a introdução, os resultados, as discussões e as considerações finais, aplicando as questões para a qualificação e separando os artigos que atendiam aos critérios de inclusão. Nessa última etapa, foram qualificados 17 artigos.

#### **4.1.4 Declaração**

Ao analisar os estudos selecionados nesta RSL quanto aos indicadores de qualidade para acompanhamento da vida útil de moldes para injeção de termofixos, identificaram-se quatro aspectos principais nos artigos qualificados:

- i. Existem vários fatores que podem influenciar no desgaste e na vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite.
- ii. Existem diversos indicadores de qualidade que podem ser aplicados para acompanhar o processo de produção na injeção de termofixo Baquelite.
- iii. Para avaliar a eficácia dos indicadores da qualidade, é importante realizar uma análise dos resultados obtidos a partir do monitoramento desses indicadores.
- iv. Para estabelecer um plano de monitoramento dos indicadores de qualidade e garantir a melhoria do desempenho da vida útil dos moldes é importante planejar as etapas definindo metas e critérios.

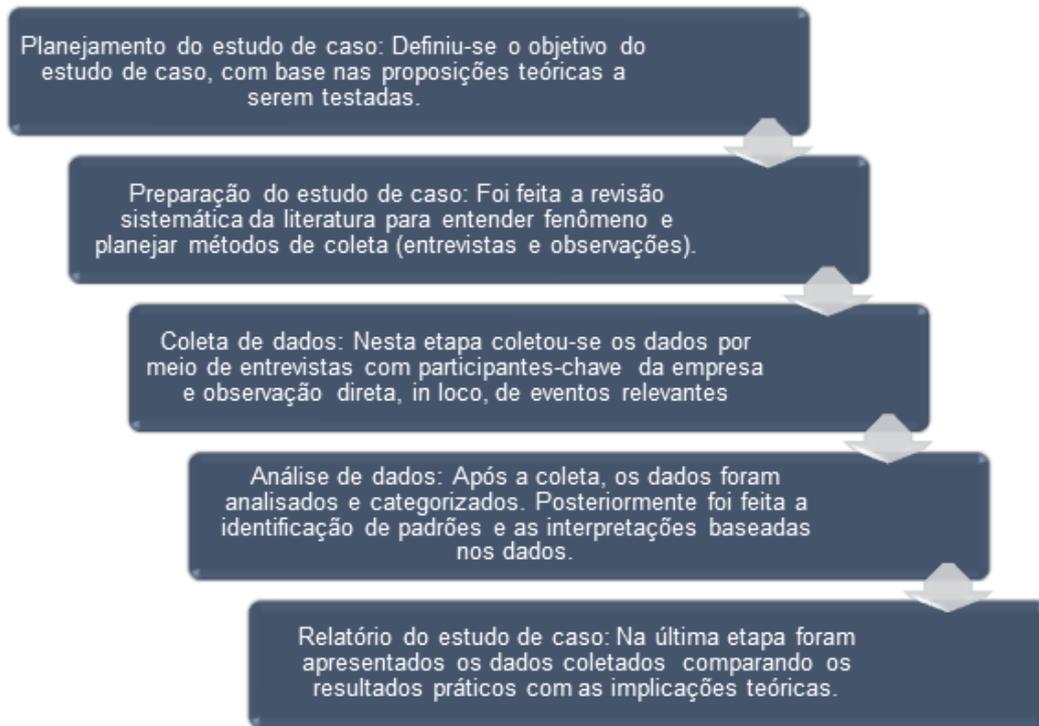
#### **4.2 Estudo de Caso**

O estudo de caso foi realizado em uma indústria de injeção de termofixos, com foco na produção de cabos e acessórios para painéis, localizada na grande São Paulo. Foram analisados três moldes de injeção que apresentaram diferentes desgastes e foram selecionados devido à sua importância na linha de produção.

Foram verificados desgastes nas superfícies das cavidades, a taxa de retrabalho e o número de peças defeituosas produzidas. Além disso, foram realizadas inspeções visuais para avaliar o desgaste nos canais de injeção e na linha de fechamento nos moldes.

Para a condução deste estudo, foi adotado o protocolo descrito por Yin (2015) amplamente utilizado na realização de estudos de caso. Esse protocolo proporciona uma estrutura sistemática e abrangente para a coleta e análise de dados, visando investigar fenômenos complexos em contextos reais. As etapas do protocolo definidas pelo autor são demonstradas na Figura 2.

**Figura 2** Etapas do protocolo de Estudo de Caso

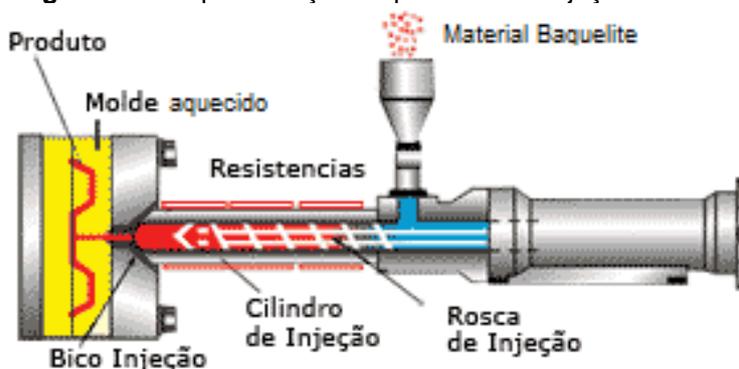


Fonte: Adaptado de Yin (2015).

## 5. Resultados e Discussão

Pesquisas anteriores estabeleceram que, em geral, o impacto do Baquelite no desgaste dos moldes de injeção depende de vários fatores, incluindo o tipo de molde de injeção utilizado, as condições do processo de injeção (Figura 3a) e as propriedades específicas do material Baquelite utilizado (Figura 3b). Portanto, é importante avaliar cuidadosamente esses fatores ao utilizar o termofixo em processos de moldagem por injeção para minimizar o desgaste dos moldes (SOUSA; LEITE; GAMA, 2018).

**Figura 3a** – Representação do processo de injeção



**Figura 3b** - Baquelite



Fonte: Autores (2023).

Existem vários fatores que podem influenciar na vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite.

## 5.1 Projeto e material do molde

O projeto do molde pode afetar sua vida útil. Os moldes devem ser projetados para minimizar o estresse, a tensão e a deformação durante o processo de injeção. Isso pode ser alcançado por meio do uso de canais de injeção adequados, da seleção de ângulos de desmoldagem adequados e do uso de aços de alta resistência (OSSWALD; TURNIG; GRAMANN, 2007).

O material escolhido para fabricar o molde pode afetar significativamente sua vida útil. Os materiais comuns usados para fabricar moldes incluem aço ferramenta AISI H-13 com aplicação de camada de PVD, esse procedimento geralmente os torna mais duráveis e capazes de suportar maior número de ciclos de injeção. A seleção do material do molde deve levar em consideração o tipo de termofixo sendo usado, as condições de processo e a quantidade de produção (STACHURSKI; PIASKOWSKI, 2019).

O estudo de caso analisou os materiais utilizados nas cavidades dos moldes da empresa. Foi constatado o uso do aço ferramenta AISI H-13 com aplicação de uma dupla camada de PVD, nitreto de cromo e nitreto de titânio. O AISI H-13 possui alta resistência e durabilidade, enquanto o revestimento de PVD melhora a resistência ao desgaste. Essas escolhas visam melhorar a eficiência e qualidade dos moldes na produção industrial.

A Figura 4 representa a configuração dos materiais utilizados, exibindo o aço ferramenta AISI H-13 como a base das cavidades dos moldes e a dupla camada de PVD depositada sobre essa base. Essa representação visual auxilia na compreensão e identificação dos materiais utilizados no processo de fabricação dos moldes.

**Figura 4** Aço AISI H-13 com dupla camada de PVD



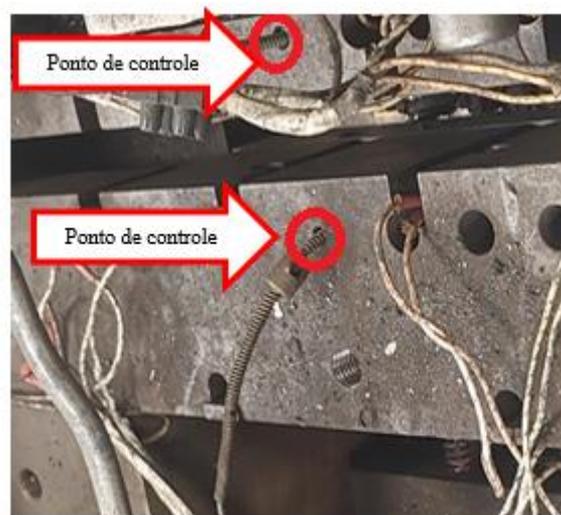
Fonte: Autores (2023).

## 5.2 Temperatura e pressão do processo

A temperatura e pressão do processo de injeção de Baquelite podem afetar a vida útil do molde. Temperaturas e pressões mais altas podem aumentar o desgaste e a fadiga do molde, reduzindo sua vida útil. Portanto, é importante manter os parâmetros do processo dentro das faixas recomendadas pelo fabricante do molde (CHEN; HU; CHENG, 2019).

Na empresa foram feitas avaliações dos moldes no processo produtivo, observou-se que, independentemente das dimensões dos moldes, eles contam com apenas um ponto de monitoramento para controle da temperatura no lado fixo do molde o um no lado móvel, conforme identificado na Figura 5. Inferiu-se uma incerteza do controle da distribuição da temperatura, pois, nas medições encontrou-se variações em torno de 20°C na área de moldagem.

**Figura 5** – Controle de temperatura do molde em dois pontos



**Fonte:** Autores (2023).

No acompanhamento feito na empresa durante o processo produtivo, pode-se observar uma variação da pressão de injeção e ausência de folha de processo com os parâmetros à disposição do operador da máquina, provocando um índice elevado de rebarba nas peças injetadas (Figura 6).

**Figura 6** – Peças injetadas com pressão muito alta



**Fonte:** Autores (2023).

### 5.3 Manutenção e limpeza

A manutenção e limpeza adequadas do molde podem prolongar sua vida útil. Isso inclui a remoção regular de resíduos de termofixo e o uso de lubrificantes adequados para proteger as superfícies do molde contra desgaste e corrosão (ZHAO; MATTNER; DRUMMER, 2019b).

Durante uma inspeção visual no processo produtivo da empresa, foi constatado o acúmulo de resíduos (rebarbas) no molde, decorrentes do excesso de material e da pressão de injeção utilizados durante o processo, conforme ilustrado na Figura 7.

**Figura 7** – Molde com resíduos de termofixo



**Fonte:** Autores (2023).

### 5.4 Qualidade do termofixo

A qualidade do termofixo usado na injeção também pode afetar a vida útil do molde. Termofixos de baixa qualidade, que contenham impurezas ou

contaminantes, podem corroer e danificar a superfície do molde mais rapidamente do que termofixos de alta qualidade (QIAO et al., 2015).

A empresa não faz nenhum tipo de ensaio ou teste para validação da matéria prima. Na visita à ferramentaria, foi constatado que um molde enviado para manutenção já apresentava desgastes superficiais nas cavidades provocados pelo Baquelite no processo de injeção, resultando em defeitos visuais no produto injetado (Figura 8).

**Figura 8** – Cavidade com desgastes superficiais



**Fonte:** Autores (2023).

Em estudos anteriores sobre indicadores de qualidade, descobriu-se que existem diversos indicadores que podem ser aplicados para acompanhar a vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite.

### 5.5 Número de ciclos de vida útil

O número de ciclos de injeção (Figura 9) que um molde é capaz de suportar antes de perder suas propriedades mecânicas e/ou necessitar de manutenção é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a vida útil de um molde para injeção de termofixo Baquelite (OSSWALD; TURNG; GRAMANN, 2007).

**Figura 9** – Contador de ciclos



**Fonte:** Autores (2023).

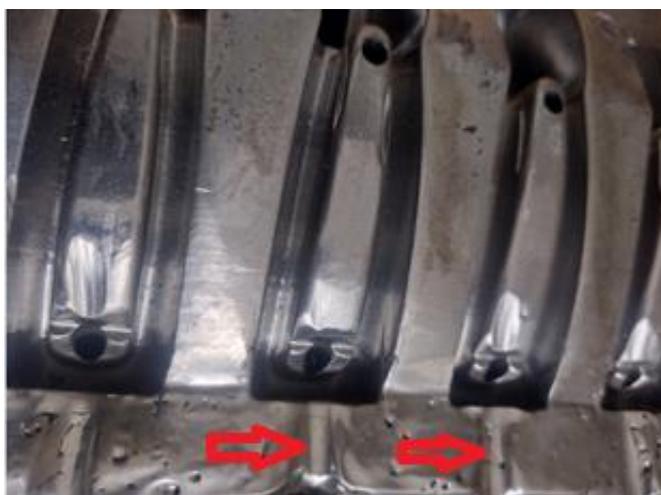
Foi verificado que, no momento, a empresa objeto deste estudo de caso não implementa nenhum sistema de controle para monitorar o número de ciclos de injeção nos moldes, a fim de prever intervenções necessárias antes que eles percam suas propriedades mecânicas ou exijam manutenção preventiva.

## 5.6 Desgastes na linha de fechamento

A medição da profundidade dos canais de injeção e a inspeção visual de desgastes na linha de fechamento podem fornecer informações sobre o desgaste do molde, enquanto a observação de microfissuras e trincas pode indicar fadiga do material. Esses indicadores podem ser avaliados através de inspeções visuais ou ensaios não destrutivos (LI; XIONG; ZHOU, 2019).

Ao analisar as cavidades no molde em processo de produção, foi possível identificar desgastes na linha de fechamento através de uma inspeção visual, conforme ilustrado na Figura 10.

**Figura 10** – Molde com desgaste na linha de fechamento



Fonte: Autores (2023).

## 5.7 Padrões de acabamento superficial

O acabamento superficial das peças produzidas pelo molde deve estar dentro de um intervalo especificado. Observar se o acabamento das peças produzidas está aumentando as rebarbas ao longo do tempo pode indicar desgaste excessivo no molde (PIOTROWSKI et al., 2021).

Durante o processo de injeção, foram encontradas peças com excesso de rebarbas nas caixas coletoras do produto na injetora, prejudicando o acabamento superficial e a geometria da peça injetada, conforme demonstrado na Figura 11.

**Figura 11** – Peça com excesso de rebarbas



Fonte: Autores (2023).

## 5.8 Estabilidade dimensional

O controle das dimensões das peças produzidas pelo molde pode ser utilizado para avaliar a estabilidade dimensional do molde, já que um desvio das dimensões especificadas (Figura 12) pode indicar problemas no molde ou sua deterioração (HAN; ZHANG; ZHANG, 2018).

**Figura 12** – Peça com desvio dimensional



Fonte: Autores (2023).

## 5.9 Índices de rejeições

A contagem de peças rejeitadas durante a produção pode indicar problemas no molde, como desgaste excessivo, falha no sistema de resfriamento, entre outros. A análise das causas das rejeições pode ajudar a identificar problemas no molde e orientar ações de manutenção e reparo.

## 5.10 Monitoramento da vida útil do molde

Por meio da abordagem na RSL, foi possível identificar os fatores que mais influenciam o desgaste dos moldes, bem como identificar um conjunto de soluções baseadas em indicadores de qualidade, e no estudo de caso propor sua aplicação e monitoramento para acompanhamento da vida útil dos moldes (Quadro 7).

**Quadro 7** – Fatores, indicadores da qualidade e monitoramento

<b>Fatores</b>	<b>Indicadores da Qualidade</b>	<b>Monitoramento</b>
Projeto do molde e material utilizado	Mudança de cor decorrente do desgaste na dupla camada de PVD	Inspeção Visual das cavidades
Variação da temperatura do molde	Pontos de controle de temperatura por área	Verificação da temperatura do molde com termômetro industrial
Variação da pressão de injeção	Controle de pressão no painel da máquina	Inspeção visual das peças
Falta de limpeza no molde	Presença de resíduos no molde	Inspeção visual periódica
Variação da qualidade do Termofixo Baquelite	Índice fluidez	Testes laboratoriais da Matéria Prima
Produção muito alta	Número de ciclos	Acompanhamento mensal do numero de ciclos
Desgaste superficial das cavidades	Grau de deformação	Inspeção visual periódica no molde
Variação da estabilidade dimensional	Variação dimensional das peças	Verificação das tolerâncias das peças

**Fonte:** Autores.

Foram identificados os principais fatores de desgaste e propostos indicadores de qualidade, juntamente com seu monitoramento, com o propósito de aprimorar o desempenho e estender a vida útil do molde, reduzir os gastos com manutenção e minimizar as perdas causadas por peças defeituosas, além de melhorar a qualidade dos produtos fabricados.

## 6. Considerações finais

O principal objetivo do presente estudo foi propor indicadores de qualidade para o acompanhamento da vida útil dos moldes de injeção de termofixos. O estudo de caso permitiu uma análise abrangente do processo produtivo, levando em consideração uma série de fatores e variáveis que podem afetar seu desempenho. Essa análise detalhada das relações entre essas variáveis possibilitou a compreensão da complexidade do processo. Além disso, o processo produtivo foi avaliado em seu contexto real, levando em consideração todos os fatores que podem influenciá-lo.

O método RSL mostrou-se eficaz na identificação das causas do desgaste dos moldes e na proposição de soluções para aumentar sua vida útil, contribuindo para a melhoria da qualidade do produto e a eficiência do processo

produtivo. Uma das descobertas mais significativas que emergiram foi a identificação dos indicadores de qualidade: ciclos de vida, padrões de acabamento, estabilidade dimensional e rejeições são relevantes para o monitoramento dos desgastes dos moldes.

Com o objetivo de melhorar o desempenho e prolongar a vida útil do molde, reduzir os custos com manutenção e minimizar as perdas decorrentes de peças com defeitos, bem como aprimorar a qualidade das peças produzidas, foram apresentadas as seguintes sugestões de indicadores de qualidade para a empresa objeto do estudo de caso:

**Número de ciclos:** a observação do número de ciclos durante a produção de cada lote de injeção pode indicar possíveis problemas no molde, como desgastes excessivos dos canais de injeção, linhas de fechamento ou das superfícies das cavidades. O monitoramento do número de ciclos serve para estabelecer a quantidade de ciclo ideal para controlar a produtividade e deve ser acompanhada de perto para evitar o desgaste precoce do molde.

**Inspeções visuais:** As inspeções visuais do molde e das peças produzidas podem revelar desgaste excessivo, danos ou outras questões que possam afetar a qualidade das peças produzidas.

**Tolerâncias dimensionais:** As peças produzidas pelo molde devem atender às tolerâncias dimensionais especificadas. A monitorização do desvio das medidas ao longo do tempo pode indicar desgaste excessivo no molde.

**Análise de falhas:** Quando ocorrem falhas no molde ou nas peças produzidas, uma análise detalhada pode ajudar a identificar a causa raiz. A partir dessa análise, podem ser tomadas medidas para prevenir futuras falhas e prolongar a vida útil do molde.

Para estabelecer um plano de monitoramento dos indicadores de qualidade e garantir a melhoria do desempenho da vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite, é importante seguir algumas etapas, as quais foram implicadas de forma significativa para a prática futura através dos resultados deste estudo:

- Definir metas para cada indicador e critérios de aceitação para determinar se o desempenho do molde está dentro dos parâmetros esperados.
- Definir quais métodos serão utilizados para monitorar cada indicador de qualidade.
- Definir com que frequência cada indicador de qualidade será monitorado. Alguns indicadores podem requerer monitoramento diário, enquanto outros podem ser monitorados semanalmente ou mensalmente.
- Definir os responsáveis por realizar o monitoramento dos indicadores de qualidade e como esses dados serão registrados e analisados.
- Estabelecer um plano de ações corretivas caso os indicadores de qualidade apresentem resultados fora dos parâmetros estabelecidos. As ações corretivas podem incluir manutenção preventiva ou reparo do molde, ajuste dos parâmetros de produção, entre outros.
- Revisar e ajustar o plano de monitoramento regularmente, com base nos resultados obtidos e nas mudanças nas condições de produção.

Esta pesquisa levantou muitas questões que precisam de uma investigação mais aprofundada, sugere-se investigar o uso de materiais mais

resistentes para a fabricação de moldes de injeção de termofixo, a fim de prolongar sua vida útil e reduzir a necessidade de manutenção frequente.

## Referências

CHEN, L.; HU, Z.; CHENG, C. Research on the Wear Resistance of Mold Steel for Injection Molding of Phenolic Resin. **Materials**, 2019.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. 5ª ed. [s.l.] Atlas, 2022.

DEMING, W. E. **The New Economics: For Industry, Government, Education**. [s.l.] MIT Press, 2000.

DRUCKER, P. F. **The Practice of Management**. [s.l.] Routledge, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. [s.l.] Atlas São Paulo, 2002. v. 4

HAN, Q.; ZHANG, S.; ZHANG, W. Investigation of wear behavior of phenolic resin injection mold under different operating conditions. **Wear**, 2018.

JURAN, J. M. **Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence**. 7ª ed. [s.l.] McGraw-Hill Education, 2019.

KAPLAN, R.; NORTON, D. The Balanced Scorecard: measures that drive performance. **Harvard business review**, v. 83, p. 172- +, 1 jul. 2005.

KNECHTEL, M. DO R. Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada. **Curitiba: Intersaberes**, 2014.

LI, W. et al. Synthesis and characterization of novolac-type phenolic resins for use in phenolic foam. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 57, n. 14, p. 1452–1457, 2018.

LI, Y.; XIONG, Y.; ZHOU, Y. Study on the Effect of Surface Hardening Treatment on the Wear Resistance of Injection Molding Mold. 2019.

MARTÍNEZ-MATEO, I. et al. Surface damage of mold steel and its influence on surface roughness of injection molded plastic parts. **Wear**, 18th International Conference on Wear of Materials. v. 271, n. 9, p. 2512–2516, 29 jul. 2011.

OSSWALD, T.; TURNG, L.-S.; GRAMANN, P. J. **Injection Molding Handbook**. [s.l.] Hanser Publishers, 2007.

**PARSIFAL**. Disponível em: <<https://parsif.al/>>. Acesso em: 27 abr. 2023.

PIOTROWSKI, T. et al. Investigation of the properties of phenol-formaldehyde/biochar composite material. **Journal of Cleaner Production**, v. 305, 2021.

QIAO, W. et al. Synthesis and characterization of phenol-formaldehyde resin using enzymatic hydrolysis lignin. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, p. 1417–1422, 25 jan. 2015.

ROSATO, D. V.; ROSATO, M. G. **Injection Molding Handbook**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.

ROTHER, M. **Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda**. [s.l.: s.n.].

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 83–89, fev. 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009. v. 2

SOUSA, R. B.; LEITE, M. C. A. M.; GAMA, L. M. Synthesis and characterization of phenol-formaldehyde resin with high reactivity and low free formaldehyde content. **Journal of Applied Polymer Science**, 2018.

SOUZA, A. E.; CORREA, H. L. Indicadores de desempenho em pequenas e médias empresas. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 8, n. 3, p. 118, 30 set. 2014.

STACHURSKI, Z.; PIASKOWSKI, A. Influence of injection molding conditions on wear resistance of the cavity of the tool for the production of phenolic resins. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 2, 2019.

YAN, Y. et al. Optimization of Injection Molding Process Parameters for Phenolic Resin Based on Taguchi Method. **MATERIALS**, 2019.

YIN, R. K. **Estudo de Caso - 5.Ed.: Planejamento e Métodos**. [s.l.] Bookman Editora, 2015.

ZHAO, Y.; MATTNER, T.; DRUMMER, D. Investigation of the effects of pre-cross-linked thermoset molding compounds on weld line strength in injection molding. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 1–4, p. 1723–1733, nov. 2019a.

ZHAO, Y.; MATTNER, T.; DRUMMER, D. Investigation of the effects of pre-cross-linked thermoset molding compounds on weld line strength in injection molding. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 1–4, p. 1723–1733, nov. 2019b.