

GESTÃO DE DESEMPENHO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE BAQUELITE: ESTRATÉGIAS PARA MONITORAMENTO DE LONGEVIDADE E EFICIÊNCIA

Alexandre Formigoni¹; Marco Aurélio Feriotti²; Marília Marcorin de Azevedo³; Eliacy Cavalcanti Lélis⁴; José Manoel Souza das Neves⁵

Resumo

Durante a injeção da baquelite ocorrem alterações químicas que requerem cuidados especiais no design do molde e na escolha do aço. A durabilidade do molde pode ser afetada por vários fatores, como temperatura, pressão de injeção e qualidade do material, impactando na qualidade final do produto e nas despesas com seus reparos. Com o intuito de solucionar essa questão, foram desenvolvidas medidas para supervisionar o desgaste no decorrer da produção, possibilitando um planejamento eficaz conserto e troca. Neste estudo, são apresentados indicadores para monitorar a durabilidade dos moldes de injeção de baquelite, incluindo desgaste das cavidades, detecção de trincas, desgaste das portas de injeção e estabilidade dimensional. Esses indicadores foram escolhidos com base em uma revisão sistemática da literatura e em um estudo de caso, ressaltando a relevância de um plano de acompanhamento afim de assegurar a qualidade e a longevidade do molde. Conclui-se que a monitorização desses indicadores pode melhorar a excelência do produto e diminuir as despesas de conservação e troca de moldes.

Palavras-chave: Moldes para injeção; baquelite; monitoramento de desempenho.

Abstract

During the molding of Bakelite, chemical changes occur that require special care in mold design and material choice. Mold durability can be affected by several factors, such as temperature, injection pressure and material quality, directly impacting the final quality of the product and maintenance costs. In order to resolve this issue, quality measures were developed to monitor wear over time, enabling effective maintenance and replacement planning. In this study, indicators are presented to monitor the useful life of Bakelite injection molds, including cavity wear, crack detection, injection port wear and dimensional stability. These indicators were chosen based on a systematic literature review and a case study, highlighting the importance of a monitoring plan to ensure the quality and longevity of the mold. It is concluded that monitoring these indicators can improve product quality and reduce maintenance and mold replacement costs.

Keywords: Injection molds; bakelite; performance monitoring.

1 Introdução

Fabricar peças resistentes e de longa duração é uma estratégia frequente em várias áreas industriais, que utilizam o baquelite no processo de moldagem (Li *et al.*, 2018).

¹ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista-UNIP. E-mail: a_formigoni@yahoo.com.br.

² Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas da Produtivos pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza-CEETEPS. E-mail: marco.a.feriotti@gmail.com.br.

³ Doutora em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica-USP. E-mail: marilia.azevedo@cpspos.sp.gov.br.

⁴ Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba-UNIMEP. E-mail: eliacy.lelis@cpspos.sp.gov.br.

⁵ Doutor em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista-UNESP, campus Guaratinguetá. E-mail: jose.neves@cpspos.sp.gov.br.

A moldagem de determinados materiais, como o baquelite, por meio da utilização de moldes adequados, exerce uma função essencial na etapa de produção do produto, desde sua concepção até a fabricação em larga escala. É crucial a coordenação e aprimoramento eficaz dessas fases para aprimorar a eficácia, a excelência e a satisfação do cliente (Correa; Correa, 2022).

É essencial ter atenção ao selecionar o tipo de aço apropriado e ao projetar o molde para a injeção de tais materiais, uma vez que eles sofrem transformações químicas durante o processo de modelagem. Essa precaução é fundamental para prevenir possíveis complicações, como desgaste do molde, fissuras e quebras (Osswald; Turng; Gramann, 2007). É essencial acompanhar de perto a resistência do molde de forma a garantir a excelência do produto e diminuir os gastos relacionados à manutenção e troca do molde (Stachurski; Piaskowski, 2019).

A análise da resistência dos moldes de injeção de baquelite é um campo de estudo essencial de estudo em contínua progressão que engloba o desenvolvimento de métodos para identificar falhas de forma precoce e programar a manutenção ou troca do molde. Essa pesquisa introduz um indicador de desempenho para monitoramento da durabilidade das ferramentas, colaborando com o avanço nesse campo.

A utilização apropriada de formas de produção de materiais termofixos e a supervisão atenta do procedimento de moldagem auxiliam na eficácia e êxito de todo o sistema fabril (Slack; Chambers; Johnston, 2009).

Dentro deste cenário, emergem os seguintes questionamentos para análise. Quais critérios adequados podem ser utilizados para supervisionar a resistência dos moldes de injeção de baquelite?

2 Objetivo

O principal propósito desta pesquisa é criar métricas de excelência para monitorar a resistência dos moldes utilizados no procedimento de moldagem por injeção de baquelite. Para atingir esse objetivo, foram estabelecidos os seguintes critérios:

- i. Identificar os elementos fundamentais que impactam na durabilidade do molde.
- ii. Analisar métricas de desempenho para analisar a durabilidade do molde.
- iii. Propor métricas de excelência após a pesquisa bibliográfica.

A qualidade do molde exerce uma função essencial na garantia do produto, sendo assim as métricas de qualidade podem contribuir para a diminuição de gastos e o aumento da eficácia na produção. Isso porque permitem a identificação precoce de problemas e o planejamento adequado para a manutenção e troca do molde.

Para a realização desta pesquisa, empregou-se a técnica de revisão sistemática da literatura (RSL) com o intuito de identificar os elementos fundamentais que impactam na longevidade dos moldes e os critérios de excelência utilizados na etapa de injeção. Adicionalmente, sugere-se a realização de experimentos para analisar a deterioração do molde.

3 Referencial Teórico

Neste capítulo, são apresentadas as bases teóricas do termofixo baquelite, englobando as suas propriedades e os componentes empregados em seu processo de injeção. Além disso, são debatidos os elementos principais que influenciam a vida útil do molde, juntamente com os critérios e métricas de excelência empregados para detectar eventuais falhas de forma precoce durante a fabricação.

3.1 Termofixo Baquelite

O baquelite é um polímero termoendurecível que mantém sua integridade mesmo quando submetido a altas temperaturas. Descoberto por Leo Baekeland em 1907, é um dos primeiros polímeros sintéticos produzidos (Li *et al.*, 2018). Sua fabricação envolve a reação entre fenol e formaldeído, seguida de moldagem e cura em condições de alta pressão e temperatura, culminando em um produto resistente, forte e durável.

Frequentemente empregado em diversos equipamentos elétricos e eletrônicos, tais como isoladores, capacitores e conectores, o material conhecido como baquelite é reconhecido por sua resistência elétrica elevada e propriedades de isolamento (Piotrowski *et al.*, 2021). Apesar disso, sua rigidez e fragilidade podem restringir sua aplicação em certos setores e também apresentar potenciais riscos de toxicidade ao longo da produção (Qiao *et al.*, 2015).

Pelas suas características mecânicas, a resina pode ocasionar danos nos moldes de injeção ao longo do procedimento. Esse problema surge devido à pressão elevada requerida para preencher o molde e retirá-lo durante a extração, o que acaba resultando em sinais de desgaste no molde (Sousa; Leite; Gama, 2018).

3.2 Molde para Injeção de Baquelite

Na fabricação em grande quantidade de peças plásticas, os moldes de injeção desempenham um papel fundamental, assegurando consistência e repetição. A sua configuração exerce um impacto significativo na produtividade por hora e no tempo de ciclo requerido (Osswald; Turng; Gramann, 2007)

O molde de injeção é por duas partes, unindo-se para criar um espaço onde o plástico é injetado e depois endurece. A elaboração desse processo requer a seleção dos aços adequados e o cálculo correto do espaço disponível, visando assegurar a qualidade da peça que será produzida (Rosato; Rosato, 2012).

É essencial levar em conta as características singulares da baquelite ao desenvolver moldes de injeção, tais como sua viscosidade elevada e abrasividade. Esses fatores podem resultar em ciclos mais longos e desgaste prematuro das cavidades, sendo necessário utilizar materiais resistentes e aplicar temperaturas adequadas durante o processo de fabricação (Zhao; Mattner; Drummer, 2019a).

Os especialistas sugerem o emprego de aço temperado com acabamento de cromo para assegurar a longevidade dos moldes. Estas ações são fundamentais para garantir uma produção eficaz e de excelência de peças feitas de baquelite.

A seleção criteriosa do material utilizado na fabricação de moldes é de extrema importância, como por exemplo, o aço AISI H-13 com revestimento cerâmico aplicado através do processo PVD. Essa cobertura tem o potencial de minimizar o atrito, proporcionando maior durabilidade ao molde e possibilitando aumento da quantidade de ciclos no processo produtivo (Stachurski; Piaskowski, 2019).

O objetivo das determinações é aprimorar os padrões aplicados e a eficácia dos moldes, aumentando sua resistência e longevidade, para assegurar a fabricação das peças de maneira eficaz e segura (Martínez-Mateo *et al.*, 2011).

3.3 Durabilidade do Molde

A deterioração das cavidades dos moldes foi investigada considerando os diferentes materiais, métodos de usinagem, acabamento e variáveis do processo de moldagem (Han; Zhang; Zhang, 2018).

É essencial compreender as características dos materiais empregados na produção dos moldes e analisar sua durabilidade contra desgaste, corrosão, capacidade de dissipação de calor, e demais propriedades que influenciam no desempenho do molde (Chen; Hu; Cheng, 2019).

A fabricação e finalização de moldes têm impacto direto na sua durabilidade e capacidade de resistir ao desgaste, tornando necessário o estudo de métodos como fresamento, acabamento, aplicação de cerâmica e tratamento térmico (Li; Xiong; Zhou, 2019).

Diversos fatores afetam o processo de formação da baquelite, tais como a temperatura, a pressão de injeção e a duração do ciclo. É fundamental analisar como esses elementos se

relacionam ao desgaste do molde, a fim de maximizar a eficiência e diminuir despesas (Yan *et al.*, 2019).

Conforme mencionado por Stachurski e Piaskowski (2019), é fundamental manter um controle preciso das condições de moldagem para reduzir o desgaste da cavidade do molde de injeção durante a fabricação de baquelite.

3.4 Indicadores da Qualidade

Indicadores de qualidade são instrumentos para analisar o rendimento de uma entidade, mercadoria ou assistência diante de padrões especificados previamente. Elas oferecem dados imparciais e seguros sobre a qualidade de um produto ou serviço, auxiliam na detecção de pontos a serem aprimorados e respaldam a escolha fundamentada em informações (Juran, 2019).

Sua importância está no fornecimento de dados para auxiliar na tomada de decisões. Esses parâmetros auxiliam na identificação de desafios e possibilidades de aprimoramento, além de avaliar a efetividade das ações adotadas (Souza; Correa, 2014).

As métricas de qualidade possuem uma variedade de utilidades e são aplicáveis em diversas áreas e segmentos. Por exemplo, são empregadas na área industrial para supervisionar a efetividade dos procedimentos de fabricação, detectar falhas e desperdícios e verificar as expectativas do consumidor. (Rother, 1999).

Segundo Kaplan e Norton (2005), é fundamental que os indicadores de qualidade mostrem características como imparcialidade, capacidade de serem mensurados, importância e prontidão. Os escritores destacam a importância de disponibilizar dados exatos e seguros para que os líderes possam tomar decisões embasadas.

Para Drucker (2007), é indispensável para a gestão eficaz de uma empresa a avaliação de desempenho a utilização de métricas. O autor ressalta a relevância de analisar resultados como forma de embasar escolhas estratégicas e aprimorar procedimentos, afirmando que aquilo que não é mensurado não pode ser gerido.

O objetivo principal ao utilizar indicadores de qualidade é promover a melhoria constante do processo. É importante aplicá-los de maneira sistemática e analisar as conclusões alcançadas para identificar oportunidades de aprimoramento e aperfeiçoar os processos da empresa (Deming, 2000)

4 Método

Na condução dessa pesquisa, optou-se por uma metodologia embasada nos estudos de Gil (2002) e Knechtel (2014). O intuito é investigativo, com análise qualitativa e a técnica utilizada envolve estudos de caso embasados em uma revisão sistemática da literatura.

A natureza aplicada consiste em utilizar os conhecimentos disponíveis com o objetivo de obter resultados que sejam relevantes tanto economicamente quanto socialmente. A investigação exploratória permitiu uma compreensão mais aprofundada da questão, esclareceu o problema e levou à elaboração de hipóteses (Gil, 2002). Conforme descrita por Knechtel (2014), as abordagens qualitativas envolvem a interpretação de informações e dados qualitativos através da análise do discurso dos participantes, interações participativas e análises.

Com relação à pesquisa bibliográfica, foram empregados recursos já existentes, sobretudo artigos científicos que discutem assuntos pertinentes ao objeto de estudo e sua questão de pesquisa. Essa metodologia proporcionou um alicerce consistente para a condução do atual estudo de caso.

A abordagem empregada neste estudo é a RSL, que envolve a pesquisa, escolha e análise criteriosa de estudos pertinentes ao assunto em estudo. A RSL foi aplicada com o intuito de identificar os elementos que impactam a durabilidade do molde e os parâmetros de qualidade que possibilitam a supervisão do sistema.

A RSL oferece um panorama das provas significativas para uma estratégia específica de intervenção por meio do uso de métodos diretos e organizados de pesquisa, avaliação minuciosa e resumo de informações selecionadas (Sampaio; Mancini, 2007).

Além do mais, as pesquisas realizadas também empregaram uma técnica de estudo de caso. De acordo com Yin (2015), essa é uma metodologia eficiente para investigações na área de processos de produção, possibilitando uma análise completa e contextualizada do fenômeno em questão. O estudo tem como base RSL.

4.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A fim de garantir a legitimidade da investigação, torna-se essencial que os profissionais realizem procedimentos que englobem os próximos componentes essenciais, técnicas de busca por estudos pertinentes, critérios para seleção e descarte de artigos, definição precisa dos resultados almejados e confirmação da autenticidade dos resultados, análise da credibilidade das fontes pesquisadas e análise estatística dos dados coletados (Sampaio; Mancini, 2007).

Criou-se um método de revisão sistemática utilizando o aplicativo da web Parsifal para a captura de informações conforme as orientações metodológicas da RSL. Esse recurso auxilia os estudiosos na formulação das perguntas de estudo, na seleção dos locais de pesquisa e no registro dos critérios de seleção. Ademais, é viável estabelecer critérios de excelência, elaborar termos de busca e armazenar conjuntos de dados, o que simplifica a reprodução dos protocolos da RSL.

O Parsifal (2023) propõe os seguintes critérios:

- Análise
- Planejamento
- Condução
- Declaração

4.1.1 Análise

Baseado no conteúdo apresentado, foi utilizado o protocolo RSL para identificar elementos que exercem influência a durabilidade do molde e os indicadores de qualidade que podem ser empregados para supervisionar este equipamento. Esta abordagem abre caminho para pesquisas futuras nesta área. A análise dos dados foi descritiva.

4.1.2 Planejamento

A fase inicial foi de planejamento, nessa etapa, identificou-se a importância de uma revisão sistemática, estabeleceu-se um protocolo de avaliação e estabeleceram-se os seguintes questionamentos para a pesquisa, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – 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: Extraído do Parsifal (2023).

Conforme mostrado no Quadro 2, os termos especificados no PICRC foram utilizados para definir e refinar as questões de pesquisa e para orientar a seleção de palavras-chave para formar a *string* de busca.

Quadro 2 – 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, Artgos de revisão, Estudo de caso

Fonte: Extraído do Parsifal (2023)

Estes documentos foram selecionados por sua diversidade, revisão por pares e informações detalhadas para garantir o acesso às pesquisas mais recentes e fortalecer a confiabilidade dos resultados.

A intervenção selecionada “Indicadores de qualidade para o gerenciamento produtivo” foi concebida para monitorizar a performance e permitir a escolha de decisões bem embasadas para maximizar a eficiência na fabricação, melhorando assim o desempenho e a excelência industrial. O comparativo "Moldes para injeção de baquelite" avalia a performance e a resistência desses moldes em comparação com outros tipos disponíveis, identifica diferenças e ajuda você a escolher a melhor opção a que se destina.

O objetivo da seleção dos resultados foi compreender e aprimorar a eficiência dos padrões, detectar os elementos que exercem influência e indicadores de qualidade para melhorar o processo produtivo. As palavras-chave recomendadas para a busca foram "Bakelite Thermoset", "Inject Mold Wear" e "Quality Indicators", e sua variedade e critérios de filtragem, conforme mostrado na Quadro 3, possibilitaram a busca na web disponível no portal do Portal de Periódicos da Capes, foram utilizadas as bases de dados Web of Science e Scopus.

Quadro 3 - 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: Extraído do Parsifal (2023)

O Quadro 4 fornece uma visão geral dos critérios de inclusão e exclusão utilizados na seleção dos artigos para inclusão no estudo.

Quadro 4 - 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
Apresenta exemplos de plano de monitoramento dos indicadores de qualidade	Documentos a partir de 2023
Aborda sobre vida útil dos moldes para injeção de termofixo Baquelite	Documentos não tem acesso livre
	Estudos anteriores a 2018
	Apenas citações

Fonte: Extraído do Parsifal (2023)

Foi elaborado um conjunto de perguntas no Quadro 5 para analisar a excelência dos artigos escolhidos.

Quadro 5 - 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: Extraído do Parsifal (2023).

4.1.3 Condução

Na segunda etapa, foi realizada busca no banco de dados em abril de 2023 e foram recuperados 36 documentos. Após a recuperação, os documentos foram importados para o Parsifal para avaliação inicial, durante a qual foram aprovados vinte e cinco artigos de acordo com os critérios de seleção. Um exame mais detalhado dos documentos escolhidos, com base na introdução, resultados e discussão e considerações final, foi então realizado, resultando em 17 artigos elegíveis.

4.1.4 Declaração

Após analisar estudos selecionados pela RSL sobre indicadores de qualidade para moldes para injeção de baquelite, os artigos de qualificação identificaram quatro aspectos principais:

- i. Vários fatores podem afetar o desempenho e a durabilidade dos moldes.

- ii. Existem várias métricas de desempenho que podem ser empregadas para acompanhar molde no processo de injeção.
- iii. O monitoramento destes indicadores, é fundamental para avaliar os resultados alcançados.
- iv. Para garantir melhor performance e durabilidade das cavidades, é importante ter um plano para monitorar indicadores de qualidade e estabelecer metas e padrões ao longo das etapas de planejamento.

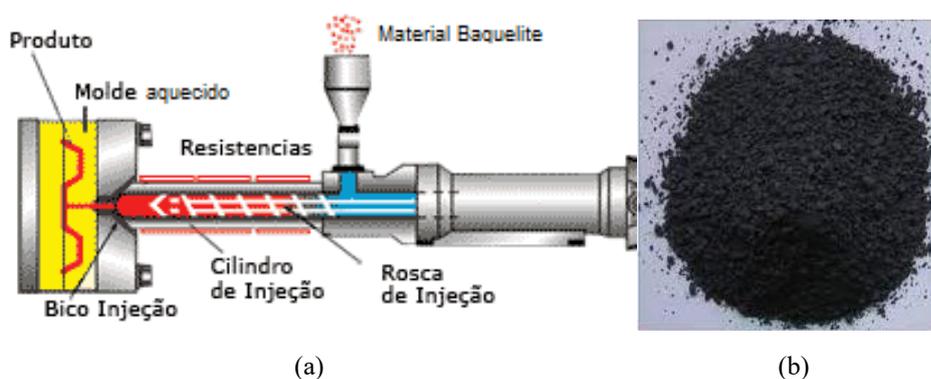
4.2 Estudo de Caso

O estudo de caso foi conduzido numa indústria de moldagem por injeção de baquelite na região metropolitana de São Paulo e teve como foco a produção de cabos e acessórios para painéis. Três moldes de injeção foram analisados de acordo com sua relevância na cadeia produtiva para observar desgastes de cavidades, taxas de retrabalho e peças defeituosas. O desgaste do canal de injeção e da linha de fechamento foi avaliado por inspeção visual. Este estudo seguiu o protocolo de estudo de caso de Yin (2015) e utilizando uma metodologia sistemática para planejar, preparar, coletar e analisar dados e apresentar resultados em uma situação do mundo real.

5 Resultados e Discussão

Estudos anteriores mostraram que a presença de baquelite pode afetar a durabilidade dos moldes utilizados na moldagem por injeção, sendo influenciada por diversos aspectos e variáveis durante o procedimento de moldagem por injeção (Figura 1a) e as características exclusivas do material (Figura 1b). Portanto, ao utilizar termofixo baquelite em processos de moldagem por injeção, é importante considerar esses aspectos a fim de mitigar o desgaste das cavidades (Sousa; Leite; Gama, 2018).

Figura 1 - Representação do processo de injeção (a) e Baquelite (b)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Diversos elementos influenciam a resistência dos moldes empregados na moldagem do baquelite.

5.1 Projeto e material do molde

A concepção do molde é essencial para garantir a durabilidade, visando reduzir a tensão e a distorção durante o processo de injeção. Isto é conseguido através da utilização de canais de injeção apropriados e aço resistentes ao desgaste (Osswald; Turng; Gramann, 2007).

A seleção do material do molde é fundamental e normalmente inclui aço ferramenta AISI H-13 com uma camada de PVD para maior durabilidade e suporta mais ciclos de injeção (Stachurski; Piaskowski, 2019).

Um estudo de caso observou a aplicação de aço ferramenta AISI H-13 com revestimento de PVD de duas camadas, nitreto de cromo e nitreto de titânio. Estas decisões buscam otimizar a produtividade e a excelência dos moldes em processos industriais.

A representação visual na Figura 2 mostra a composição dos materiais utilizados na cavidade do molde. Baseado no aço ferramenta AISI H-13, nesta base são depositadas duplas camadas de PVD.

Figura 2 - Aço AISI H-13 com dupla camada de PVD



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

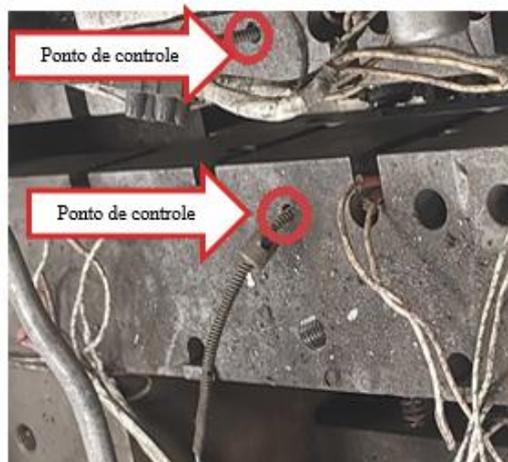
5.2 Temperatura e pressão do processo

A variação da temperatura e a pressão durante o processo de injeção podem impactar a durabilidade do molde. Altas temperaturas e pressões elevadas aumentam o desgaste. É fundamental garantir que os ajustes se mantenham dentro das especificações indicadas pelo fabricante (Chen; Hu; Cheng, 2019).

A empresa realizou uma avaliação do molde durante a fabricação e identificou um ponto de monitoramento de temperatura em cada lado do molde, conforme mostrado na Figura 3. Isto

indica que o controle da distribuição de temperatura com flutuações de até 40°C dentro da região de formação é incerto.

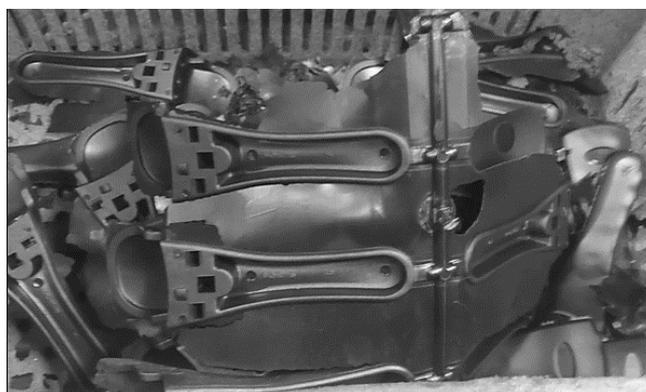
Figura 3 – Controle de temperatura do molde em dois pontos



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

Durante observações internas foram verificadas flutuações na pressão de injeção na área de injeção e a falta de uma ficha de processo com parâmetros disponíveis ao operador da máquina. Como resultado, as rebarbas na peça moldada aumentaram significativamente, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Peças injetadas com pressão muito alta



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

5.3 Manutenção e limpeza

A manutenção regular e a limpeza adequada do molde são essenciais a fim de estender a durabilidade do molde, é essencial realizar a limpeza frequente de resíduos de material e aplicar lubrificantes adequados para preservar as superfícies do molde contra danos e oxidação (Zhao; Mattner; Drummer, 2019b).

No decorrer da análise visual no procedimento de produção da empresa, foi notada a presença de resíduos acumulados dentro do molde devido ao excesso de matéria-prima e à elevada pressão de injeção utilizada no procedimento, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Molde com resíduos de baquelite



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

5.4 Qualidade do baquelite

A qualidade do baquelite utilizado no processo injeção também impacta a durabilidade. O baquelite de baixa qualidade contendo impurezas pode prejudicar o fechamento do molde de forma mais acelerada (Qiao *et al.*, 2015).

Observou-se que a empresa não realiza ensaios para verificação da matéria-prima. Durante a visita à ferramentaria, foi apresentado um molde com a superfície desgastada pelo baquelite enviado para reparo, e a cavidade estava danificada, conforme mostra a Figura 6, foram constatados defeitos visuais.

Figura 6 – Cavidade com desgastes superficiais



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

Uma pesquisa sobre métricas de performance de excelência mostrou que há vários indicadores que podem ser utilizados para acompanhar a durabilidade de moldes para injeção de baquelite.

5.5 Número de ciclos de vida útil

O contador de ciclos de injeção (Figura 7) é frequentemente utilizado como um dos principais indicadores para determinar a durabilidade dos moldes, determinando quando as propriedades mecânicas do molde começam a se deteriorar e quando é necessária manutenção (Osswald; Turng; Gramann, 2007).

Figura 7 – Contador de ciclos



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

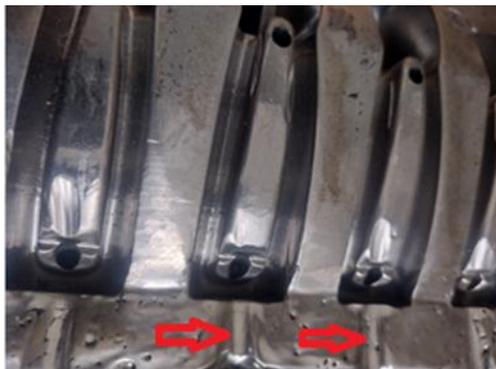
Atualmente, a empresa centro deste estudo de caso não há nenhum mecanismo para acompanhar quantas vezes o molde é injetado. Esse acompanhamento é essencial para antecipar as intervenções necessárias antes que o molde perca suas características mecânicas ou necessite de manutenção preventiva.

5.6 Desgastes na linha de fechamento

Avaliar a profundidade do canal de injeção e observar visualmente o desgaste da linha de fechamento são métodos úteis para detectar o desgaste do molde. Visualmente é possível, detectar de microfissuras ou fissuras, sendo este um sinal de desgaste do componente. Esses caracteres podem ser inspecionados por inspeção visual ou inspeção não destrutiva (Li; Xiong; Zhou, 2019).

Durante a produção, ao analisar a cavidade do molde, foi constatado desgaste na linha de fechamento através de inspeção visual, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Molde com desgaste na linha de fechamento



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

5.7 Padrões de acabamento superficial

É importante que o padrão de acabamento da peça produzida pelo molde esteja limites preestabelecidos. A verificação de um aumento gradual de rebarbas em uma peça com o passar do tempo, pode evidenciar um desgaste considerável do molde. (PIOTROWSKI et al., 2021).

No decorrer da visita na produção, foram identificadas peças com rebarbas excessivas na caixa de coleta de produto da injetora, conforme Figura 9, o que afetou negativamente a aparência visual e o formato do produto.

Figura 9 – Peça com excesso de rebarbas



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

5.8 Estabilidade dimensional

O acompanhamento dimensional do produto, auxilia na avaliação dos desgastes das cavidades do molde. Conforme mostrado na Figura 10, desvios podem sinalizar questões de estrutura ou danos nas cavidades (Han; Zhang; Zhang, 2018).

Figura 10 – Peça com desvio dimensional



Fonte: Imagem captada pelos autores (2023)

5.9 Índices de rejeições

O volume de produtos descartados ao longo do processo de fabricação pode servir como indicação de problemas no molde como por exemplo, desgastes demasiado nas cavidades ou falha do sistema de injeção. Investigar a causa do refugo é importante para identificar problemas de molde e iniciar as medidas necessárias de manutenção e reparo.

5.10 Monitoramento da vida útil do molde

A análise na RSL identificou causas de desgaste dos moldes e propôs soluções com base em indicadores de qualidade. Monitorar esses indicadores pode aumentar a durabilidade dos moldes, conforme mostra a Quadro 6.

Quadro 6 – Fatores, indicadores da qualidade e monitoramento

Fatores	Indicadores da Qualidade	Monitoramento
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: Elaborado pelos autores

Identificou-se elementos que causam desgaste, sugeridos indicadores de qualidade e estratégias de acompanhamento visando otimizar a eficiência e durabilidade dos moldes, diminuindo gastos e aprimorando a excelência dos produtos.

6 Considerações finais

O estudo propôs indicadores de qualidade para supervisionar o desempenho e a durabilidade de moldes de baquelite. Foram considerados vários elementos que impactam diretamente no rendimento do processo de produção durante uma minuciosa avaliação.

O método RSL foi eficaz na determinação e solução do desgaste dos moldes, impactando positivamente a qualidade do produto e a eficiência do processo produtivo. Métricas essenciais foram identificadas para supervisionar o desgaste.

Foram sugeridos para a empresa indicadores de qualidade, incluindo o contador de ciclos, inspeções visuais, tolerâncias dimensionais e análise de falhas, para aprimorar a eficiência e estender a durabilidade dos moldes.

Estabelecer um plano de monitoramento é fundamental para garantir a eficiência e o desempenho duradouro dos moldes de injeção de baquelite. Isso envolve estabelecer metas e critérios específicos, decidir como monitorar os indicadores, definir a frequência de monitoramento, designar responsáveis, desenvolver planos de ação corretiva e fazer revisões periódicas do plano, tendo em conta os resultados alcançados e as alterações subsequentes efetuadas.

Mais pesquisas são necessárias para abordar várias preocupações destacadas neste estudo. Para aumentar a longevidade e minimizar a necessidade de manutenções frequentes, sugere-se que seja examinada a implementação de materiais mais resistentes na produção de moldes para injeção de baquelite.

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.