

De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



COMO O USO DE PEÇAS SIMPLIFICADAS PODE BENEFICIAR A APLICAÇÃO DE MOLDES EM IMPRESSÃO 3D PARA INJEÇÃO PLÁSTICA

ANA LAURA SALAMENE CARLOS – anasalamenecarlos@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

RÉGIS KOVACS SCALICE – regis.scalice@ufsc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

ÁREA: 05. ENGENHARIA DO PRODUTO

SUBÁREA: 5.3 - PLANEJAMENTO E PROJETO DO PRODUTO

RESUMO: O ESTUDO INVESTIGA A VIABILIDADE DA PRODUÇÃO EM PEQUENA ESCALA DE PEÇAS PLÁSTICAS POR MEIO DA MOLDAGEM POR INJEÇÃO UTILIZANDO INSERTOS PRODUZIDOS POR TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D. ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DIRETRIZES DE DESIGN FOR MANUFACTURING (DFM), É PROPOSTO A OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE UMA TAMPA DE PORTA-MALAS, BUSCANDO SIMPLIFICAR A PEÇA E REDUZIR CUSTOS DE PRODUÇÃO. A PARTIR DAS DIRETRIZES DE DFM LEVANTADAS É VISTO QUE A PEÇA JÁ APRESENTA OTIMIZAÇÕES EM TERMOS DE GEOMETRIA E NERVURAS ESTRUTURAIS, MAS SUGERE-SE MELHORIAS NA UNIFORMIZAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE E NO ARREDONDAMENTO DE CANTOS VIVOS. O ESTUDO CONCLUI QUE A IMPLEMENTAÇÃO CUIDADOSA DE DFM PODE OTIMIZAR A PRODUÇÃO EM PEQUENA ESCALA COM INSERTOS PRODUZIDOS POR IMPRESSÃO 3D, MAS RESSALTA A IMPORTÂNCIA DE CONSIDERAR AS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE CADA PROJETO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO. OS RESULTADOS DA PESQUISA DEMONSTRAM O POTENCIAL DA IMPRESSÃO 3D PARA VIABILIZAR A PRODUÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS EM PEQUENAS ESCALAS COM MAIOR EFICIÊNCIA E ECONOMIA.

PALAVRAS-CHAVES: SIMPLIFICAÇÃO; DESIGN FOR MANUFACTURING; PRODUÇÃO EM PEQUENA ESCALA; PEÇAS PLÁSTICAS.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Malloy (2010), ao projetar peças plásticas, os projetistas devem contemplar diversas considerações estéticas, funcionais e de fabricação. A versão final do projeto da peça deve atender aos requisitos de cada uma dessas áreas distintas, que frequentemente entram em conflito umas com as outras. Portanto, torna-se evidente a complexidade envolvida no processo de projeto de uma peça plástica, ressaltando a importância de um planejamento cuidadoso e de uma análise aprofundada da aplicação para alcançar os resultados desejados. É crucial otimizar o projeto com o objetivo de assegurar tanto a eficiência do processo de fabricação quanto a qualidade final da peça.

É notável que as peças fabricadas por meio da moldagem por injeção plástica são amplamente utilizadas pelas indústrias, possuindo uma variedade de aplicações e sendo regularmente empregadas no cotidiano da sociedade, abrangendo desde brinquedos até componentes automotivos. Entretanto, conforme destacado por Kayano (2023), é importante ressaltar que os altos custos associados a moldagem por injeção estão também associados ao desenvolvimento do molde. Dado o investimento exigido pela injetora plástica e pelo molde, o aumento da produção pode melhorar o custo por unidade, e assim a peça pode ser comercializada a um preço mais competitivo. No entanto, para produção em menor escala, é preciso usar outras tecnologias para alcançar uma relação custo-benefício semelhante.

Para contornar este problema, uma possível estratégia seria o desenvolvimento de moldes confeccionados em materiais mais acessíveis para pequena escala, como o molde produzido por impressoras 3D, que podem ser confeccionado em diferentes materiais. No entanto, os principais desafios residem no fato de que tais moldes precisam suportar altas pressões e temperaturas, não se deformar durante o uso e garantir a produção de peças com elevada qualidade e desempenho.

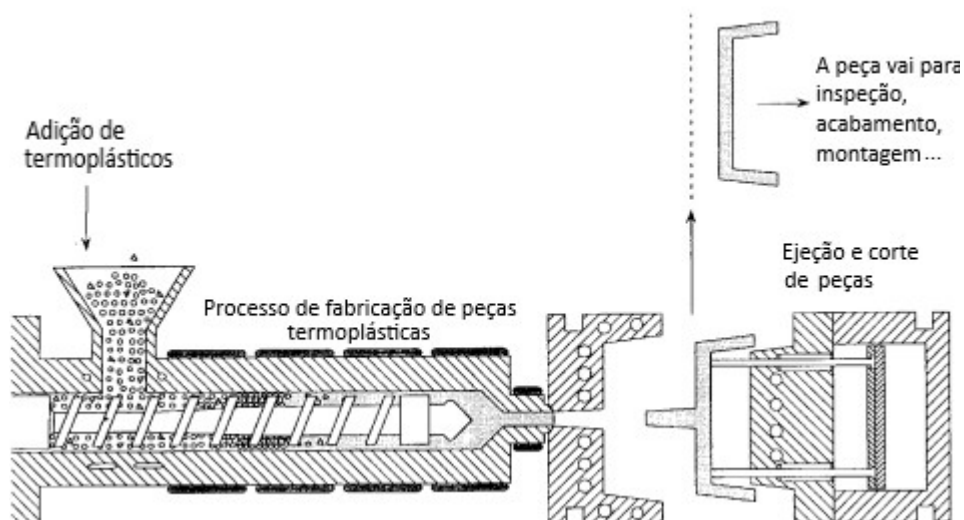
Este estudo tem por objetivo analisar as diretrizes para simplificação do desenho das peças como uma das estratégias para a utilização de moldes fabricados em impressora 3D, uma vez que, com peças mais simples, simplifica-se também o molde.

O método aplicado neste estudo conteve inicialmente uma revisão de literatura do tipo integrativa, que visa compilar, analisar e sintetizar estudos já publicados sobre um tema em específico, com o objetivo de gerar novos conhecimentos. A revisão incluiu a consulta em bancos de dados acadêmicos e a repositórios online. Como resultado, avaliou-se obras impressas e online, independentemente do idioma, sendo priorizados livros conceituados

sobre o tema abordado, dado seu respaldo e validação prévia. Devido à ampla discussão do tema ao longo de décadas anteriores, foram consultados tanto livros mais antigos quanto obras mais recentes para adquirir um conhecimento aprofundado sobre o assunto. Em seguida, foram identificadas as diretrizes relevantes para o projeto de simplificação de peças plásticas, as diretrizes foram divididas entre as aplicáveis somente à produção em larga escala e àquelas que podem ser utilizadas também para produções em pequena escala. Assim, optou-se por adotar o *Design for Manufacturing* (DFM), traduzido como projeto para manufatura, voltado para a injeção plástica, no desenvolvimento do projeto. Após uma série de análises, a implementação do DFM na peça poderá ser considerada, sendo então avaliado se seu uso traria benefícios ou se não haveria modificação significativa em relação à produção em baixa escala.

2. DIRETRIZES DE PROJETO PARA MANUFATURA VOLTADAS AO PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA

FIGURA 1 – Processo de injeção plástica.



Fonte: Adaptado Malloy (2010).

O processo de injeção plástica envolve o uso de pelo menos uma injetora, um molde geralmente confeccionado em aço e um polímero selecionado. Em uma abordagem bem simplificada do processo, o polímero escolhido é inicialmente aquecido e então injetado no molde, preenchendo seus espaços vazios. Em seguida, o molde é resfriado e o componente é ejetado, a repetição do ciclo pode ocorrer inúmeras vezes. A Figura 1 é uma representação visual do processo mencionado anteriormente, a partir dela fica mais evidente cada etapa do processo de injeção plástica. A peça passa por fases de aquecimento e resfriamento, e somente

após esses estágios que ela se torna pronta para uso. Dessa forma, o projeto da peça desempenha um papel crucial na prevenção de problemas como empenamento, retração, encolhimento desigual entre outros relacionados às fases de processamento térmico.

As técnicas de Projeto para Manufatura (*Design for Manufacturing*, DFM) destinadas à injeção plástica visa aprimorar o processo de fabricação de componentes plásticos por meio da análise de fatores técnicos, práticos e estratégicos durante o estágio de desenvolvimento do projeto. Do ponto de vista técnico, o DFM direcionado à injeção plástica é uma coletânea de diretrizes e procedimentos que têm como objetivo simplificar o processo produtivo e assegurar a sua viabilidade. Consequentemente, a implementação de práticas de DFM nos projetos pode resultar em peças finais de alta qualidade e alto desempenho, sendo fabricados de maneira mais eficiente e rentável possível. As principais diretrizes encontradas na literatura são (MALLOY, 2010; MANRICH, 2013; CANCEGLIERI JUNIOR; IAROZINSKI NETO, 2005; CATAPAN, et al, 2005; FORCELLINI; SACCHELLI, [s.d.]; RODRIGUES; SCALICE, 2006):

Paredes Uniformes e Espessuras Adequadas: servem para assegurar a uniformidade das paredes com o propósito de promover o fluxo homogêneo do material durante a injeção e evitar variações extremas de espessura, para assim minimizar os riscos associados a deformações e estresses no produto final. Deve-se evitar o uso de peças com paredes espessas, uma vez que o resfriamento irregular dessas peças pode resultar em deformações ao final do processo de resfriamento;

Simplicidade Geométrica: evitar geometrias complexas que possam aumentar os tempos de ciclo da máquina de injeção. Priorizar formas simples facilitam a moldagem e evitam falhas. Quanto mais complexa a peça, maior será o custo associado, podendo resultar em um aumento significativo de preço que inviabilize o projeto;

Raios e Cantos Adequados: utilizar raios generosos em cantos para minimizar pontos de concentração de estresse e facilitar a injeção do plástico. Consequentemente, evitar cantos vivos porque aumenta o risco de defeitos na peça e causam diminuição do fluxo durante a injeção, ocasionando em tensões localizadas e gerando peças mais frágeis. Segundo Harada (2004) deve-se evitar também cantos vivos nos castelos, por acarretarem maior custo na confecção dos moldes;

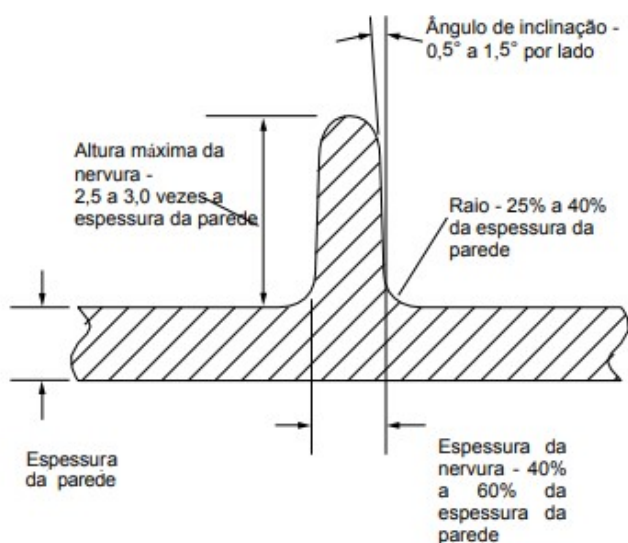
Tolerâncias e Ajustes: definir tolerâncias máximas e mínimas para garantir a precisão e consistência na produção. Considerar a contrapressão e o encolhimento do material durante o processo de design, de modo a garantir que as dimensões finais da peça estejam dentro dos parâmetros esperados no projeto, assim pode-se evitar imprevistos na produção;

Seleção de Material Adequado: escolher o material termoplástico mais adequado para as características desejadas da peça, considerando propriedades mecânicas, térmicas, estéticas e custo de processamento. A escolha do material é fundamental para que gastos futuros como o acabamento possam ser evitados ou usados somente em casos que realmente sejam necessários. De acordo com Malloy (2010), a espessura das paredes é influenciada tanto pelas propriedades de fluxo como pela rigidez do material;

Nervuras: são frequentemente usadas para resolver questões estruturais nas peças. No entanto, é fundamental dimensionar suas dimensões, como ilustrado na Figura 2, onde a nervura é projetada com uma altura máxima de 2,5 a 3 vezes a espessura da parede. Essa abordagem visa evitar possíveis complicações durante a moldagem, tais como fluxo de material inadequado, retração desigual, deformação e tensões residuais. Esses são apenas alguns exemplos dos problemas que podem surgir se as nervuras não forem projetadas e dimensionadas adequadamente;

Insertos: Conforme Harada (2004), os insertos machos ou fêmeas devem desempenhar o papel de espaçadores, garantindo a vedação do material plástico durante a operação de moldagem. Ademais, é essencial calcular a espessura adequada de material plástico ao redor dos insertos, a recomendação mínima de espessura é de aproximadamente $2/5$ do diâmetro do inserto. Além disso, a distância mínima dos pinos em relação às paredes da peça deve ser de 5 mm.

FIGURA 2 – Principais diretrizes de simplificação de peça.



Fonte: Traduzido de Bralla (1998).

3. ANÁLISE DE APLICABILIDADE

A peça que passará por simplificação com base nas aplicações de DFM é uma tampa para porta-malas, representada na Figura 3, destinada a cobrir e proteger o compartimento de bagagem de um veículo. Um modelo do projeto produzido por meio de impressão 3D foi fornecido para análise dentro do contexto do projeto “Demonstrador de moldes para injeção de peças plásticas de baixo volume (DEMIBAV) do projeto ROTA2030, linha 4 (FUNDEP). As melhorias propostas, descritas na seção anterior, incluem a uniformização das paredes e espessuras, simplificação geométrica, aplicação de raios e cantos adequados, definição de tolerâncias e ajustes, seleção de material apropriado, incorporação de nervuras para reforço estrutural e a inclusão estratégica de insertos. A partir da análise da peça foi possível identificar as diretrizes aplicáveis que são a uniformização da espessura da parede e a aplicação de cantos adequados.

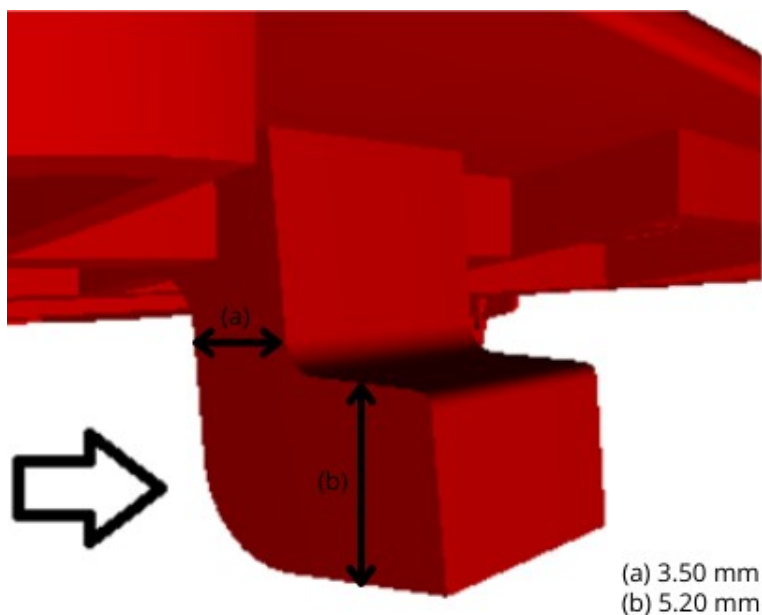
FIGURA 3 – A tampa de porta-malas usada como exemplo para aplicação das diretrizes.



Fonte: Autora (2024).

Ao analisar a uniformidade da espessura da parede na Figura 4, nota-se que sua variação abrupta em 1,70 mm representa um ponto crítico no projeto. A falta de uniformidade pode aumentar o risco de deformação da peça devido ao encolhimento desigual. No entanto, se necessário, é possível realizar um aumento gradual da espessura. Ao analisar a peça em questão, nota-se que em suas regiões de encaixe, a implementação de um aumento gradual na espessura das paredes poderia ter sido uma medida preventiva eficaz para mitigar os riscos mencionados anteriormente.

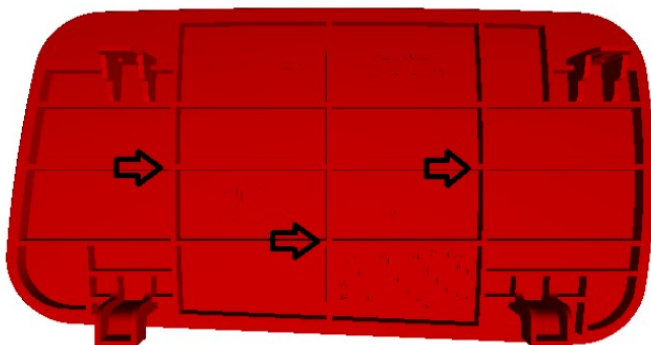
FIGURA 4 - Localização da parede sem uniformidade.



Fonte: Autora (2024).

A geometria do projeto pode ser descrita como relativamente simples, no entanto, observa-se na peça a presença de vários cantos vivos, caracterizados por ângulos de 90°, localizados entre as nervuras, que pode ser constatado na Figura 5. Recomenda-se arredondar os cantos vivos, utilizando um raio que corresponda de 25% a 40% da espessura da parede, conforme indicado por Bralla (1998). Essa prática visa evitar a concentração de tensão, a redução do fluxo durante o processo de injeção, e demais problemas potenciais.

FIGURA 5 - Localização dos cantos vivos na peça.



Fonte: Autora (2024).

As demais diretrizes de fabricação de peças em injeção plástica por meio de moldes produzidos por impressão 3D não são aplicáveis à peça em estudo. A simplicidade geométrica não representa uma preocupação, pois a complexidade da geometria é baixa, como ilustrado

na Figura 3. Embora a necessidade de definir tolerâncias e ajustes seja indiscutível, determinar as porcentagens aceitas somente pela análise da peça não é viável. Quanto à incorporação de nervuras para reforço estrutural, não é uma preocupação, visto que o projeto atual contempla diversas nervuras posicionadas ao longo da peça. Na seleção do material apropriado, é importante optar pelo mais adequado para atender as necessidades específicas da aplicação em questão. Finalmente, o uso correto de insertos na peça não é uma consideração nesse projeto devido à ausência deles na peça.

Numa análise geral, mesmo considerando-se a simplicidade da peça e a impossibilidade de aplicação de todas as diretrizes estudadas, as pequenas melhorias sugeridas podem resultar em economias significativas de tempo e custo durante a produção em pequena escala. Implementar essas melhorias pode beneficiar a qualidade e a eficiência do processo de fabricação, tornando-o mais adequado para a produção de peças em pequeno lote, evitando a ocorrência de produção de peças em não-conformidade. No entanto, é importante ressaltar que cada projeto pode ter requisitos específicos, e a aplicação das diretrizes deve ser adaptada de acordo com as necessidades individuais de cada aplicação e do processo de fabricação em questão.

4. CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi levantar e avaliar diretrizes de projeto para manufatura de peças plásticas visando processos de produção por moldagem por injeção. Foram encontradas diretrizes na literatura voltadas à otimização de peças plásticas, as quais foram avaliadas, perante o escopo de projeto, em uma tampa de porta-malas a ser fabricada por moldes de impressão 3D, visando sua produção em pequena escala. Foi observado que a implementação cuidadosa destas diretrizes pode resultar em melhorias significativas no processo de fabricação, especialmente para produções em pequena escala. É importante ressaltar que, através de ferramentas de análise, verificou-se que a peça já está otimizada em relação a muitas das diretrizes de DFM. A geometria do projeto, por exemplo, já é relativamente simples, e a presença de nervuras estruturais na peça atende às necessidades de reforço.

Portanto, embora a implementação das diretrizes de DFM possa resultar em economias de tempo e custo durante a produção em pequena escala, é essencial reconhecer que algumas otimizações já foram realizadas no projeto atual. Assim, qualquer adaptação adicional dessas diretrizes deve ser feita de forma personalizada, considerando as características específicas do projeto e do processo de fabricação. Isso garantirá não apenas a otimização do processo, mas

também a manutenção da qualidade do produto final.

Em trabalhos futuros, sugere-se o estudo mais aprofundado da interação entre os materiais do inserto e da peça a ser produzida, de forma a estabelecer diretrizes de projeto para escolha de materiais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa ROTA 2030 pelo financiamento do projeto “DEMIBAV - Demonstrador de moldes para injeção de peças plásticas de baixo volume” (27194*33). À Universidade de Santa Catarina pela disponibilização de livros e ferramentas para a conclusão do artigo.

REFERÊNCIAS

- BRALLA, J. G. **Design for manufacturability handbook**. 2. ed. [S. l.]: McGraw-Hill Professional, 1998.
- CANCIGLIERI JUNIOR, O.; IAROSINSKI NETO, A. Projeto orientado para a manufatura de produtos plásticos injetáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO, 5.; 2005, Curitiba. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005.
- CATAPAN, M. F.; FORCELLINI, F. A.; FERREIRA, C. V. Recomendações do projeto preliminar em componentes de plástico injetados para a definição da forma utilizando o DFMA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO, 5.; 2005, Curitiba. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005.
- FORCELLINI, F. A.; SACCHELLI, C.M. **Fabricabilidade e montabilidade de peças plásticas injetadas**. [S. l.: s. n.], [s.d.].
- HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos**. 1. ed. [S. l.]: Artliber, 2004.
- KAYANO, A. L. **Estudo de caso: processo de injeção plástica de cilindros de seringas**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de engenharia, UNESP, [S. l.], 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/244368>. Acesso em: 15 maio 2024.
- MALLOY, R. A. **Plastic part design for injection molding**. 2. ed. [S. l.]: Publisher Hanser Pub., 2010.
- MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos**. 2. ed. [S. l.]: Artliber, 2013.
- RODRIGUES, D. F.; SCALICE, R. K. Levantamento e estruturação de melhores-práticas para o projeto de peças plásticas injetadas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 4; 2006, Recife. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2006.