



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

Yuri Leandro de Aquino Silva

Metodologia para a análise de viabilidade econômica da produção de insertos de moldes híbridos para injeção de peças plásticas em pequenas quantidades

Joinville
2025

Yuri Leandro de Aquino Silva

Metodologia para a análise de viabilidade econômica da produção de insertos de moldes híbridos para injeção de peças plásticas em pequenas quantidades

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Orientador: Prof. Regis Kovacs Scalice, Dr.

Coorientador: Prof. Wagner Maurício Pachekoski, Dr.

Joinville

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Silva, Yuri Leandro de Aquino

Metodologia para a análise de viabilidade econômica da produção de insertos de moldes híbridos para injeção de peças plásticas em pequenas quantidades / Yuri Leandro de Aquino Silva ; orientador, Regis Kovacs Scalice, coorientador, Wagner Maurício Pachekoski, 2025.

106 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Joinville, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. Moldes híbrido. 3. Injeção plástica. 4. Custo Baseado em Atividades (ABC). 5. Impressão 3D. I. Scalice, Regis Kovacs. II. Pachekoski, Wagner Maurício. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas. IV. Título.

Yuri Leandro de Aquino Silva

Metodologia para a análise de viabilidade econômica da produção de insertos de moldes híbridos para injeção de peças plásticas em pequenas quantidades

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 14 de agosto de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Mauricio Sacchelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Vanessa Nappi, Dra.
Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Coordenação do Programa de
Pós-Graduação

Prof. Regis Kovacs Scalice, Dr.
Orientador

Joinville, 2025.

Este trabalho é dedicado integralmente aos meus pais,
Clóvis e Edna, e aos meus irmãos, Phellipe e Nabelly, que,
mesmo de longe, nunca deixaram de estar comigo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Clóvis Luiz Leandro e Silva, e à minha mãe, Francisca Edna de Aquino, pelo apoio emocional nos períodos em que me sentia só e desacreditado, além das condições proporcionadas para que eu pudesse alcançar meus sonhos do outro lado do país. Aos meus irmãos, Phellipe Leandro de Aquino e Silva e Nabelly Sofia de Aquino e Silva, por sempre tentarem estar presentes como nos dias em que estávamos juntos em casa.

Ao meu orientador, Dr. Regis Kovacs Scalice, pela sabedoria, paciência e experiência generosamente compartilhadas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço, também, pelo apoio constante e pela mediação junto à instituição sempre que necessário. Expresso meu profundo respeito, a admiração de um eterno aprendiz e a consideração de uma amizade sincera.

Ao meu coorientador, Dr. Wagner Maurício Pachekoski, além do conhecimento e da experiência compartilhados, por me incentivar a me entregar completamente às vivências que a UFSC poderia oferecer. Pelos sermões de incentivo nos momentos finais, sem os quais este trabalho teria ficado pelo caminho, e pela mediação com a instituição sempre que solicitado. Tenho imenso respeito e consideração por sua amizade.

À banca examinadora, por aceitar o convite para compor a comissão avaliadora, disponibilizando tempo e contribuindo com observações, questionamentos e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Ao Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas de Engenharia, pelo espaço disponibilizado para a escrita do trabalho, e ao meu amigo João Vítor Franke Goetz, pelas conversas e pela parceria durante essa jornada.

À UFSC, pelas oportunidades de me qualificar em uma das melhores universidades do país, pela infraestrutura disponibilizada para o desempenho das minhas atividades e pelo ambiente propício ao intercâmbio cultural, profissional e acadêmico.

Ao apoio do projeto DEMIBAV (Demonstradores de Moldes para Injeção de Baixo Volume), no âmbito do programa MOVER, com recursos operados pela Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP) e apoio institucional da Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC).

Por fim, também agradeço a CAPES, pois esse estudo foi em parte financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) Código Financeiro 001.

*"O verdadeiro engenheiro é aquele que
faz com que as coisas pareçam simples,
não porque são simples, mas porque ele
as compreende profundamente."
(DA VINCI, Leonardo)*

RESUMO

O custeio de um molde de injeção de polímero é um processo desafiador tanto para o fabricante quanto para o cliente, pois envolve uma interação entre ambas as partes, em que o cliente quer saber, o mais cedo possível, o custo de fabricação e o prazo de entrega, enquanto o fabricante dispõe de recursos para realizar o orçamento de inúmeros componentes, que nem sempre são aceitos. O objetivo central deste trabalho é desenvolver um método de custeio baseado em atividades para auxiliar no processo de custeio de componentes de moldes híbridos, sendo também aplicável ao custeio de peças produzidas por impressão 3D. Foi adotada a metodologia Design Science Research (DSR) para guiar a pesquisa, partindo da análise do problema. Os principais resultados incluem o custo unitário de oito insertos de diferentes materiais de manufatura aditiva, o custo dos lotes de insertos necessários para realizar um número específico de ciclos de injeção, a comparação do custo total do molde e o custo da peça injetada assumindo um cenário para cada um dos insertos. O Método de Custeio Baseado em Atividades (ABC) mostrou-se eficaz no detalhamento dos custos dos insertos, evidenciando que os insertos fabricados em PLA, PLA com fibra de carbono, PETG e PETG com fibra de carbono apresentam baixos custos iniciais, mas tornam-se os mais onerosos ao longo do tempo, enquanto o inserto de PEEK apresentou desempenho econômico intermediário e o inserto de resina rígida 10K revelou-se uma opção de custo médio ao final de 10.000 ciclos. Concluindo, dentre os direcionadores de custos analisados, os insertos produzidos com resina padrão 10K da Formlabs e com resina de alta temperatura da 3DLab apresentaram desempenho econômico destacado na fabricação de moldes aplicáveis a faixas de 1.000 a 10.000 ciclos de injeção, com o custo por peça injetada estabilizando-se em um valor médio de aproximadamente R\$130.

Palavras-chave: Custo Baseado em Atividades (ABC). Moldes híbrido. Análise econômica. Injeção plástica. Impressão 3D. Design Science Research (DSR).

ABSTRACT

The costing of a polymer injection mold is a challenging process for both the manufacturer and the client, as it involves an interaction between both parties, in which the client wants to know, as early as possible, the manufacturing cost and delivery time, while the manufacturer has to allocate resources to prepare the quotation for numerous components, which are not always accepted. The main objective of this work is to develop an activity-based costing method to assist in the costing process of hybrid mold components, which is also applicable to the costing of parts produced by 3D printing. The Design Science Research (DSR) methodology was adopted to guide the research, starting from the problem analysis. The main results include the unit cost of eight inserts made of different additive manufacturing materials, the cost of the insert batches required to perform a specific number of injection cycles, the comparison of the total mold cost, and the cost of the injected part assuming a scenario for each of the inserts. The Activity-Based Costing (ABC) method proved to be effective in detailing the costs of the inserts, showing that inserts manufactured with PLA, PLA with carbon fiber, PETG, and PETG with carbon fiber present low initial costs but become the most expensive over time, while the PEEK insert presented intermediate economic performance, and the 10K rigid resin insert proved to be a medium-cost option after 10,000 cycles. In conclusion, among the analyzed cost drivers, the inserts produced with Formlabs' Standard 10K Resin and 3DLab's High-Temperature Resin showed outstanding economic performance for the construction of molds applicable to ranges of 1,000 to 10,000 injection cycles, with the cost per injected part stabilizing at an average value of approximately R\$130.

Keywords: Activity-Based Costing (ABC). Hybrid molds. Economic analysis. Plastic injection. 3D printing. Design Science Research (DSR).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Atributos dos custos classificados em categorias de Custos Diretos e Indiretos.	22
Figura 2 – Esquema de contabilidade de custos pelo método de absorção.	24
Figura 3 – Esquema básico de contabilidade de custos pelo método variável.	25
Figura 4 – Modelo Custeio Baseado em Atividades (ABC).	27
Figura 5 – Nomenclatura de uma máquina injetora convencional.	30
Figura 6 – Ciclo comum do processo de injeção plástica discutido em Kazmer (2016), com adaptação gráfica de Zoto (2020) apud Cunha, Soares e Pontes (2003).	31
Figura 7 – Estrutura de um molde convencional de duas placas fechado.	32
Figura 8 – Conceito de moldes híbridos.	34
Figura 9 – Classificação de tecnologias de ferramentaria rápida.	35
Figura 10 – Princípio de funcionamento da técnica de impressão 3D FDM.	36
Figura 11 – Princípio de funcionamento da técnica de impressão 3D SLA tradicional.	37
Figura 12 – Direcionadores de custos para fabricação de peças feitas pelo processo injeção plástica.	39
Figura 13 – Porta molde MDL padrão (duas placas) 25.30 usado neste trabalho.	43
Figura 14 – Caracterização do Artefato.	52
Figura 15 – Diagrama da metodologia Design Science Research (Pesquisa em Ciência do Design) (DSR) para o desenvolvimento da pesquisa.	53
Figura 16 – Molde híbrido representado em vista explodida, destacando a base do molde, o porta-inserto e o inserto de cavidade, utilizados em injeções realizadas no laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).	56
Figura 17 – Insertos de cavidade fabricados por manufatura aditiva utilizando diferentes materiais poliméricos: (a) PLA, (b) PLA + FC, (c) PETG, (d) PETG + FC, (e) Resina standard, (f) Resina alta temperatura, (g) PEEK e (h) Resina 10K rígida. As imagens ilustram as variações geométricas e acabamentos superficiais antes dos ciclos de injeção.	58
Figura 18 – Máquinas usadas para confeccionar cada inserto.	59
Figura 19 – Máquinas de pós-processamento usadas para dar acabamento na confecção de cada inserto.	61
Figura 20 – Frente e o verso do porta inserto detalhado em Damasceno (2024).	62
Figura 21 – Máquina de injeção plástica Arburg Allrounder 320 C Golden.	62
Figura 22 – Esquema do modelo ABC para o custeio dos insertos.	64
Figura 23 – Fluxo de etapas para implementação do método ABC.	67

Figura 24 – Mapeamento de atividades no processo de desenvolvimento do molde usado para injeção de peças no laboratório da UFSC.	71
Figura 25 – Gráfico do número de injeções versus custo unitário [R\$] dos insertos 1 - 4, 6 e 7	83
Figura 26 – Gráfico do número de injeções versus custo unitário [R\$] dos insertos 5 e 8.	84
Figura 27 – Gráfico número de injeções versus custo do lote de insertos de 1 e 8, em reais.	86
Figura 28 – Gráfico número de injeções versus custo do molde completo usando os insertos de 1 e 8, em reais.	88
Figura 29 – Gráfico número de injeções versus custo da peça injetada, com molde usando os insertos de 1 a 4, em reais.	90
Figura 30 – Gráfico número de injeções versus custo da peça injetada, com molde usando os insertos de 5 a 8, em reais.	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais polímeros, vantagens, desvantagens e aplicações usados na técnica de impressão 3D FDM.	35
Quadro 2 – Principais polímeros usados na tecnologia de impressão 3D SLA, vantagens, desvantagens e aplicações.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Principais termos e conceitos empregados nos estudos da contabilidade de custo.	20
Tabela 3 – Fator de desperdício de materiais.	40
Tabela 4 – Coeficiente de eficiência de ciclo.	40
Tabela 5 – Capacidade da máquina de moldagem.	41
Tabela 6 – Estimativa de rendimento.	42
Tabela 7 – Fator de desconto em função do número de conjuntos de cavidades. . .	44
Tabela 8 – Coeficientes de custos dos sistemas.	45
Tabela 9 – Lista de documentos que entraram para a pesquisa e seus respectivos direcionadores de custos.	46
Tabela 10 – Resumo de insertos avaliados nesse trabalho.	57
Tabela 11 – Tempo de execução de cada atividade por cada inserto de cavidade. . .	69
Tabela 12 – Custos diretos de fabricação dos insertos.	70
Tabela 13 – Matriz de Atividades x Recursos demandados para o desenvolvimento da macro atividade Insertos de cavidade.	74
Tabela 14 – Direcionador de recurso, custos dos direcionadores e custos das atividades.	76
Tabela 15 – Demonstrativo do custo das atividades atribuídas aos insertos.	80
Tabela 16 – Demonstração dos custos totais de fabricação dos insertos.	80
Tabela 17 – Diferença percentual entre o custo para fabricação conjunta de todos os insertos e o custo da fabricação isolada de cada inserto.	82
Tabela 18 – Fator de manutenção de insertos adotados na pesquisa.	84
Tabela 19 – Custos unitários dos insertos de 1 a 8, apresentados nas Figuras 25 e 26, foram avaliados em cinco marcos de produção, correspondentes a 1, 10, 100, 1.000 e 10.000 ciclos de injeção.	85
Tabela 20 – Diferença percentual média entre o custo do lote calculado pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).	87
Tabela 21 – Diferença percentual média entre o custo do molde calculado pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).	89
Tabela 22 – Diferença percentual média entre o custo da peça injetada calculada pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).	91
Tabela 23 – Lista de documentos presentes na pasta "Apendice" no repositório da UFSC.	102
Tabela 24 – Lista de documentos presentes na pasta "Anexos" no repositório da UFSC.	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Custeio Baseado em Atividades
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
DEMIBAV	Demonstrador de Moldes Para Injeção de Peças Plásticas de Baixo Volume
DS	Design Science (Pesquisa em Ciência)
DSR	Design Science Research (Pesquisa em Ciência do Design)
FDM	Fused Deposition Modeling (Modelagem de Deposição Fundida)
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MiBI	Made in Brasil Integrado
PEEK	Polyetheretherketone (Poliéter-éter-cetona)
PETG	Polietileno Tereftalato Glicol
PLA	Ácido Polilático
RKW	Reichskuratorium für Wirtschaftlichtleit (Comitê do Reich para Eficiência Econômica)
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SINDIPLAST	Sindicato da Indústria de Material Plástico, Transformação e Reciclagem de Material Plástico do Estado de São Paulo
SLA	Stereo Lithography Apparatus (Aparelho de Estereolitografia)
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	15
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	16
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	17
1.4	HIPÓTESES	18
1.5	OBJETIVOS	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.1	Contabilidade de Custos	19
2.1.2	Processo de Injeção Plástica	29
2.1.3	Estimativa de Custo	37
2.2	ESTADO DA ARTE	45
3	METODOLOGIA	51
3.1	DESIGN SCIENCE RESEARCH	51
3.2	MATERIAIS	55
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	60
3.3.1	Escolha do Método de Custeio	62
3.3.2	Coleta dos Dados	63
3.3.3	Implementação do Método Escolhido	63
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO	67
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE CUSTEIO	67
4.1.1	Identificação das Atividade Relevantes	70
4.1.2	Atribuição de custos às atividades	75
4.1.3	Identificação e Apropriação dos Direcionadores de Atividades	78
4.1.4	Atribuição dos Custos das Atividades aos Insertos	78
5	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	81
5.1	PARTICULARIDADES DA MÉTODO	81
5.2	CUSTOS UNITÁRIOS DOS INSERTOS	82
5.3	CUSTOS DOS LOTES DE INSERTOS	86
5.4	ANÁLISE DO CUSTOS FINAL PARA PRODUÇÃO DOS MOLDES DE INJEÇÃO	88
5.5	ANÁLISE DO CUSTO DA PEÇA INJETADA	89
6	CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A – REPOSITÓRIO DE APÊNDICE	102
	ANEXO A – REPOSITÓRIO DE ANEXO	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Nos últimos anos, associações e sindicatos como a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) e o Sindicato da Indústria de Material Plástico, Transformação e Reciclagem de Material Plástico do Estado de São Paulo (SINDIPLAST) vêm promovendo os tradicionais encontros nacionais para discutir a competitividade do setor, como visto em ABIPLAST (2024a). Essas discussões fazem parte de uma trama de temas de interesse da rede colaborativa intitulada Made in Brasil Integrado (MiBI), da qual a ABIPLAST e outras organizações representativas fazem parte, e que visa ao aumento da produtividade e da competitividade do setor automotivo brasileiro, conforme oficializado segundo a portaria disposta em Brasil (2021).

Atores industriais do setor de plásticos vinham reportando a seus representantes na rede as dificuldades relacionadas ao fornecimento de peças plásticas, destacando a perda de competitividade frente às ferramentarias chinesas, que dispõem de tecnologias mais diversificadas para atender às demandas de seus clientes, como comentado em ABIPLAST (2024b).

Com o intuito de obter maior domínio sobre outras tecnologias que ajudariam a tornar as empresas brasileiras mais competitivas para atender clientes que almejam a produção de lotes com baixo número de peças, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) propôs em 2023, em parceria com a UFSC, outras universidades e institutos de ciência e tecnologia, o projeto Demonstrador de Moldes Para Injeção de Peças Plásticas de Baixo Volume (DEMIBAV). Com o objetivo de reduzir os custos da fabricação de moldes de injeção utilizando moldes híbridos com porta-insertos de aço e insertos fabricados por manufatura aditiva com material de baixo custo, estando alinhado com as diretrizes acordadas entre o Governo Federal e a rede colaborativa para tornar as ferramentarias nacionais mais competitivas, sendo viabilizado pelo programa Rota 2030, o atual MOVER, do Poder Executivo Brasileiro, conforme documentado em FUNDEP (2024).

Dizon et al. (2020) pontua sobre os moldes híbrido, afirmando que as desvantagens do processo de injeção plástica abriram espaço para o implemento da manufatura aditiva. Essa técnica é muito útil para a fabricação de peças de maneira rápida e com geometrias complexas, sendo que a combinação da técnica de impressão 3D com a de confecção de moldes de injeção, formaram o molde híbrido, que passou a ser adotada mundialmente como alternativa para os altos custos dos moldes convencionais.

Da mesma forma, esse setor da indústria mostra-se altamente competitivo, a começar pelos prazos que são definidos, quase sempre, pelo cliente, que também baseia sua decisão de fechamento do pedido não apenas em função do bom prazo de entrega e da qualidade, mas também do custo, que deve estar perfeitamente alinhado com os parâmetros de mercado (FIT Engenharia de Sistemas, 2021).

Assim, o trabalho propõe um método de custeio baseado em atividades para auxiliar no processo de custeio de componentes de moldes híbridos, sendo também aplicável ao custeio de peças produzidas por impressão 3D. A partir da comparação dos custos de moldes e peças injetadas, considerando oito inserts fabricados aditivamente com diferentes materiais, busca-se avaliar economicamente a viabilidade da adoção desse processo na confecção de peças plásticas.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Kazmer (2016) fundamenta a realidade do processo de orçamentação de uma peça plástica moldada como sendo um processo demorado e dispendioso, haja vista o tempo e o custo que o fabricante tem para desenvolver toda a estrutura de manufatura, bem como as adequações no produto que o cliente deseja moldar, demandando um vasto esforço para a elaboração da cotação de todas as variáveis de custeio, tendo ainda como desafio para a equipe de projeto lidar com outros projetos de demais clientes. Aponta ainda que a cotação do produto, às vezes, se torna subjetiva quando o fabricante precisa realizar novas cotações devido às diversas interações com clientes que nem sempre fecham os pedidos. Somado a esse fator, a flutuabilidade da demanda de produção faz com que o fabricante ajuste seu preço de serviço, causando distorção do seu real valor.

Zluhan, Gondak e Santos (2006) apresenta dados estatísticos que indicam que, a cada dez ferramentais moldantes orçados, apenas um é aprovado. Esse resultado evidencia a importância de realizar estimativas de custo de forma ágil e precisa, conduzidas por profissionais qualificados e experientes, uma vez que uma cotação abaixo do valor real pode comprometer as finanças da empresa, enquanto um valor excessivamente alto pode levar à recusa do cliente e à perda do pedido, gerando incertezas e impactos negativos ao negócio.

Lanzer, Steffani e Gonçalves (2018) reafirma a observação do problema no processo de orçamentação encontrado na indústria de plásticos, evidenciando os riscos que a ferramentaria assume ao fechar o contrato de fornecimento antes mesmo de ter o projeto detalhado em mãos. A incerteza gerada pela complexidade do projeto provoca distorções significativas e custos não previstos, elevando o risco financeiro para a empresa, pois as contrapartidas pelo descumprimento das exigências são muitas altíssimas.

Assim, a falta de um método para previsão de despesas para cotação rápida, mesmo que preliminar, contribui para o desânimo do cliente em efetuar a contratação do pedido, devido à imprevisibilidade do custo e, da mesma forma, na ótica do fabricante, para o acúmulo de custos e riscos financeiros que podem minar a sustentabilidade do negócio. (LANZER; STEFFANI; GONÇALVES, 2018; KAZMER, 2016)

Finalizando, ao contextualizar o trabalho no escopo do projeto DEMIBAV, o problema estudado revela-se uma questão pertinente no dia a dia dos fabricantes de peças plásticas, que enfrentam a necessidade de avaliar as características dos materiais e

das geometrias das cavidades para garantir uma produção eficiente. O escopo também se estende às ferramentarias que projetam e produzem moldes, as quais precisam analisar o custo das peças injetadas em relação ao custo do ferramental.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Como mencionado no tópico anterior, o processo orçamentário de produtos poliméricos é bastante complexo, devido às poucas informações disponíveis para orçar a lista de peças de um ferramental sofisticado, como o molde híbrido, ou mesmo para cotar o inserto impresso que o compõe. As combinações de matéria-prima e os ajustes de geometria são exemplos de fatores que demandam tempo, algo que, em geral, o ferramenteiro não dispõe para propiciar um projeto otimizado. É importante ressaltar que uma cotação com baixa precisão se torna prejudicial para o ferramenteiro, colocando em risco a viabilidade do negócio ou mesmo levando-o à falência.

Retomando as características que tornam o processo de injeção de termoplásticos amplamente utilizado na produção em massa, Kazmer (2016) destaca o curto tempo de ciclo de moldagem das peças, a excelente qualidade final e a possibilidade de produzir peças de alta complexidade de forma econômica. No entanto, isso só é viável por meio de um bom projeto do ferramental.

Pelin, Sonmez e Pelin (2024a) faz um contraponto sobre o emprego da manufatura aditiva em relação às manufaturas tradicionais, como é o caso da injeção plástica. Embora a manufatura aditiva esteja se tornando cada vez mais atrativa em diversas áreas, a manufatura tradicional ainda possui a vantagem de produzir grandes volumes em pouco tempo e com baixo custo por peça. Por outro lado, a impressão 3D oferece maior flexibilidade no uso de materiais e na personalização das peças, especialmente quando o volume de produção é baixo. No entanto, fatores como tempo e custo devem ser analisados com mais atenção.

Martinho et al. (2005) enfatiza a corrida da indústria por metodologias e ferramentas de projeto mais eficientes para o trabalho com moldes híbridos. Nesse sentido, sugere-se o uso de tecnologias de ferramentaria rápida, ou seja, a manufatura aditiva, e a maior utilização de alternativas de materiais para a fabricação dos insertos dos moldes híbridos.

O método apresentado como objeto da pesquisa visa compor o arsenal de ferramentas de apoio ao projeto para os fabricantes de peças injetadas, trazendo contribuições não apenas para o ambiente acadêmico, mas também para o industrial, atendendo aos anseios do setor em minimizar distorções e imprevisibilidades no orçamento das peças plásticas, oferecendo uma resposta rápida e precisa ao cliente. Tem base em um dos métodos de custeio presentes nas literaturas de contabilidade de custos, o método de ABC, que, segundo Zha (2024), segmenta o processo de fabricação do produto em uma série de atividades para, em seguida, calcular o custo de cada uma delas.

Para concluir e enfatizar a relevância deste trabalho, o mesmo tem sua importância como um meio alternativo para a verificação do custo de peças injetadas. proporcionando a verificação do custeio dos componentes do molde para fabricação das peças.

1.4 HIPÓTESES

Com o objetivo de desenvolver um método para o custeio de peças plásticas produzidas pelo processo de injeção de polímero, a partir da análise dos custos dos componentes do molde, tendo como foco os insertos de cavidade fabricados por manufatura aditiva, foram definidas hipóteses a serem verificadas ao longo do estudo. Tais hipóteses têm como propósito investigar a aplicabilidade da metodologia ABC na identificação dos custos envolvidos na fabricação desses componentes. Assim, estabelecem-se as seguintes hipóteses:

1. A metodologia ABC permite identificar, os custos diretos e indiretos associados à produção de insertos de cavidade de moldes híbridos;
2. A contabilização dos custos de insertos impressos em 3D, por meio da ABC, contribui para uma tomada de decisão mais eficaz em relação ao custo total do molde;
3. A adoção de insertos produzidos por impressão 3D mostra-se economicamente viável para determinadas faixas de volume de produção.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral é desenvolver um método de custeio baseado em atividades para auxiliar no processo de custeio de componentes de moldes híbridos, sendo também aplicável ao custeio de peças produzidas por impressão 3D, mediante a análise da viabilidade de fabricação, fundamentada em comparativos de custos.

Com as hipóteses formuladas, foram definidos os seguintes objetivos específicos de modo a testar e avaliar as proposições estabelecidas:

1. Mapear os recursos, as atividades e os direcionadores de custos destinados à produção de insertos de cavidade fabricados por impressão 3D para moldes híbridos utilizados na injeção de peças plásticas;
2. Implementar o método ABC na fabricação dos insertos, aplicando também o método de Kazmer (2016) para fins comparativos, a fim de analisar as diferenças de custo;
3. Avaliar a relação entre o custo total dos insertos e a produtividade do molde híbrido, com foco na viabilidade econômica da adoção da manufatura aditiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo do trabalho dispõe da fundamentação teórica para contextualizar tópicos específicos inerentes ao tema do trabalho trazendo uma introdução.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Fundamentação teórica é dividida em 3 partes de modo a ter base para entendimento das variáveis de custos empregadas na fabricação de moldes de injeção plástica: 1) Introdução a contabilidade de custos, 2) Projeto de moldes e 3) Estado da arte sobre métodos e direcionadores de custos atuais para análise de custeio de impressos por manufatura aditiva voltados para compor peças plásticas moldadas visto por uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

2.1.1 Contabilidade de Custos

A contabilidade de custos veio da contabilidade financeira, com a necessidade de avaliar estoques industriais o que não era nada de novo nos tempos do mercantilismo. Entretanto, por seus conceitos virem da linha financeira, pouco atendia as tarefas de controle e decisão, abrindo um mundo de estudo para suprir essas necessidades e apesar de já existir métodos e ferramentas ainda não se conseguiu explorar todo o potencial dessa ciência. (MARTINS; ROCHA, 2003)

Ainda assim, as atividades da contabilidade de custos são: planejar, classificar, alocar, acumular, organizar, registrar, analisar, interpretar e relatar os custos dos produtos fabricados e vendidos. Ou seja. para que a organização monitore e cumpra suas metas, mediante um mercado aquecido, dinâmico e globalizado, é necessário que se tenha uma contabilidade de custos bem montada. (PAULA; CORRÊA; SILVA, 2019)

O estudo da terminologia presente na contabilidade de custos acontece pela necessidade de dar entendimento único sobre termos que fornecer distinções entre ideias e conceitos diferenciados a diversos profissionais, sendo importante para que a sua análise seja contextualmente precisa, tecnicamente e sólida.

Em todas as áreas do conhecimento, principalmente nas sociais, sofrem com o uso de palavras que tem vários conceitos assim como o contrário, conceitos que podem ser entendidos por palavras que são comuns entre áreas (MARTINS; ROCHA, 2003). Por tanto, na Tabela 2, segue as seguintes nomenclaturas e conceitos explanados de modo ter compreensão do ponto de vista técnico sua aplicação.

Tabela 2 – Principais termos e conceitos empregados nos estudos da contabilidade de custo.

Terminologia	Definição	Comentário
Gastos	São transações financeiras realizada para aquisição de um produto ou serviço.	Um gasto pode ser classificado como sendo de investimento (algo que incorpora a empresa) ou de consumo (algo que sera uma despesa, que está de passagem pela empresa)
Despesas	São bens ou serviços contratados pela empresa ou consumidos, direta ou indiretamente, para obter receita.	Despesas retraem o patrimonio da empresa. Faz parte do processo de obtenção de receita, despesas são gastos, mas nem todo gasto é uma despesa.
Custo	São gastos ligados a um bem ou serviço usados na produção de outros bens ou serviço.	Custos é um gasto, mas só reconhecido no momento da utilização dos fatores de produção, para fabricação de novos produtos ou serviços
Insumo	São bens adquiridos para serem usados no processo de novos bens ou em serviços.	São materiais, mão de obra, matéria-prima, são materiais ou serviços que serão consumidos na produção de novos bens ou serviços.
Preço	É o valor de venda de produtos ou serviços.	Valor dado para realização de uma atividade ou aquisição/-venda de um produto.
Receita	É o valor resultante do produto entre quantidade de vendas ou serviços prestados pelo preço unitário de cada item.	Valor que se ganha ao vender um produto ou prestar um serviço.
Custo recorrente	São custos que se repetem cada vez que a empresa produz um unidade do produto.	São custos intrínseco ao uso de materiais, mão de obra e máquinas.

Continua na próxima página.

Tabela 2 – Continuação da página anterior.

Terminologia	Definição	Comentário
Custo não recorrente	São os custos que não se repetem e não estão ligados a quantidade de produtos fabricados.	Os custos não recorrentes geralmente estão incididos sob a operação, ou também em maquinário para linha de produção.

Fonte: Extraído de STRUTZ (2017) e Mislick e Nussbaum (2015).

Após a familiarização dos termos, é importante também ter conhecimento da classificação dos custos para entender os métodos de custeio. Martins e Rocha (2003) os classifica da seguinte forma:

1. Custos Diretos e Indiretos:

- **Custos Diretos:** São valores que podem ser diretamente ligados aos produtos, geralmente estão associados a medidas de consumo como: quilogramas de matéria prima, embalagens utilizadas, horas de mão de obra direta ou de máquina.

Considera-se custo direto aquele que pode ser identificado de maneira fácil e mensurado adequadamente ao objeto de custo. (SANTOS, 2018)

- **Custos Indiretos:** São valores que não tem uma medida objetiva e, normalmente, a alocação deste custo é de maneira estimada e quase sempre arbitrária, são exemplos: aluguel do prédio, gerenciamento, energia elétrica do prédio.

Entende-se por custo indireto aquele cuja identificação ao objeto de custo é feita de forma indireta, mediante parâmetros estabelecidos previamente. Portanto, não podem ser quantificados nos portadores finais. (SANTOS, 2018)

2. Custos Fixos e Variados:

- **Custos Fixos:** São custos que se mantêm constantes independentemente do nível de produção dentro de uma faixa relevante, como o aluguel do prédio. Sendo a faixa relevante:

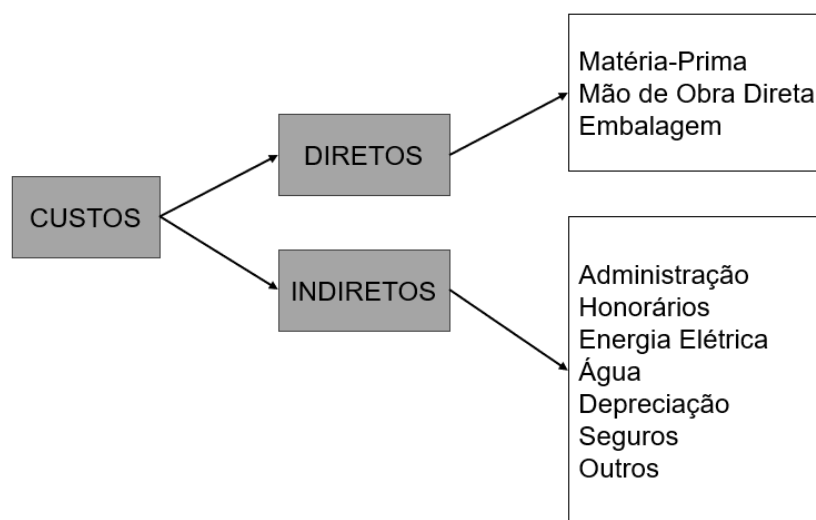
Um custo fixo permanece constante independentemente da mudança no nível de produção, dentro da faixa relevante a faixa. Faixa relevante é o volume de produção, ao longo do qual o comportamento dos custos permanece válido. (TAYYARI, 2021)

- **Custos Variáveis:** Os custos variáveis varia de acordo com o volume de produção dentro de uma unidade de tempo, a exemplo dos materiais diretos de um produto fabricado.

Um custo variável varia em proporção direta às mudanças no nível de atividade, ou seja, número de unidades produzidas ou quantidade de serviço prestado. A exemplo: matérias-primas diretas, mão de obra direta, custos de embalagem, royalties e comissão como porcentagem do preço. (TAYYARI, 2021)

A Figura 1 separa graficamente os atributos contidos nos Custos Diretos e Custos Indiretos.

Figura 1 – Atributos dos custos classificados em categorias de Custos Diretos e Indiretos.



Fonte: (STRUTZ, 2017).

Segundo Martins e Rocha (2003), todos os custos podem ser classificados em Fixos ou Variáveis e em Diretos ou Indiretos ao mesmo tempo. Podendo ter uma matéria-prima com custo variável e direto e o aluguel fixo e indireto.

Quanto aos métodos para custeio de produtos, Martins e Rocha (2003), destaca três: 1. Custeio por Absorção, 2. Custeio Variável 3. Custeio RKW e 4. Custeio Baseado em Atividades. A seguir, são apresentadas as devidas considerações sobre cada método e avaliado suas vantagens e desvantagens.

1. **Custeio por Absorção:** Drury (2013) lembra que custeio por absorção também pode ser chamado de custo total, apontando que nesse sistema todos os custos fixos de fabricação vão para os produtos.

Martins e Rocha (2003), o método foi originado a partir de princípios da contabilidade e de contextos históricos. Age com base na apropriação de todos os custos de produção aos bens elaborados, e só os de produção, demais recurso de produção são atribuídos a todos os produtos ou serviços. Aponta ainda que os custos de um dado período só sejam totalmente contabilizados no resultado

desse mesmo período quando toda a produção é vendida, não restando estoque. Para as despesas, são debitadas ao resultado no momento que as surgem.

Drury (2013) complementa caracterizando o lucro, em função do volume de vendas e do volume de produção, podem gerar resultados estranhos pois em caso de o volume de vendas aumentar, o lucro apresenta o resultado inverso, isso ocorre porque o sobre-recuperação dos custos fixos são considerados como um custo do período.

Martins e Rocha (2003) esquematiza o método de forma básica sem departamentalização e a forma completa com departamentalização, propondo seis passos para o esquema completo, exposto na Figura 2 e detalhado em seguida:

- i) Separação entre custos e despesas.
- ii) Apropriação dos custos diretos diretamente aos produtos.
- iii) Apropriação dos custos indiretos que pertencem, visivelmente, aos departamentos, agrupando, à parte, os comuns.
- iv) Distribuição dos custos indiretos comuns aos departamentos de produção ou de serviços.
- v) Escolha da sequência de divisão dos custos acumulados nos departamentos de serviços e sua distribuição aos demais departamentos.
- vi) Atribuição dos custos indiretos que agora só estão nos departamentos de produção aos produtos, segundo critérios pré-estabelecidos.

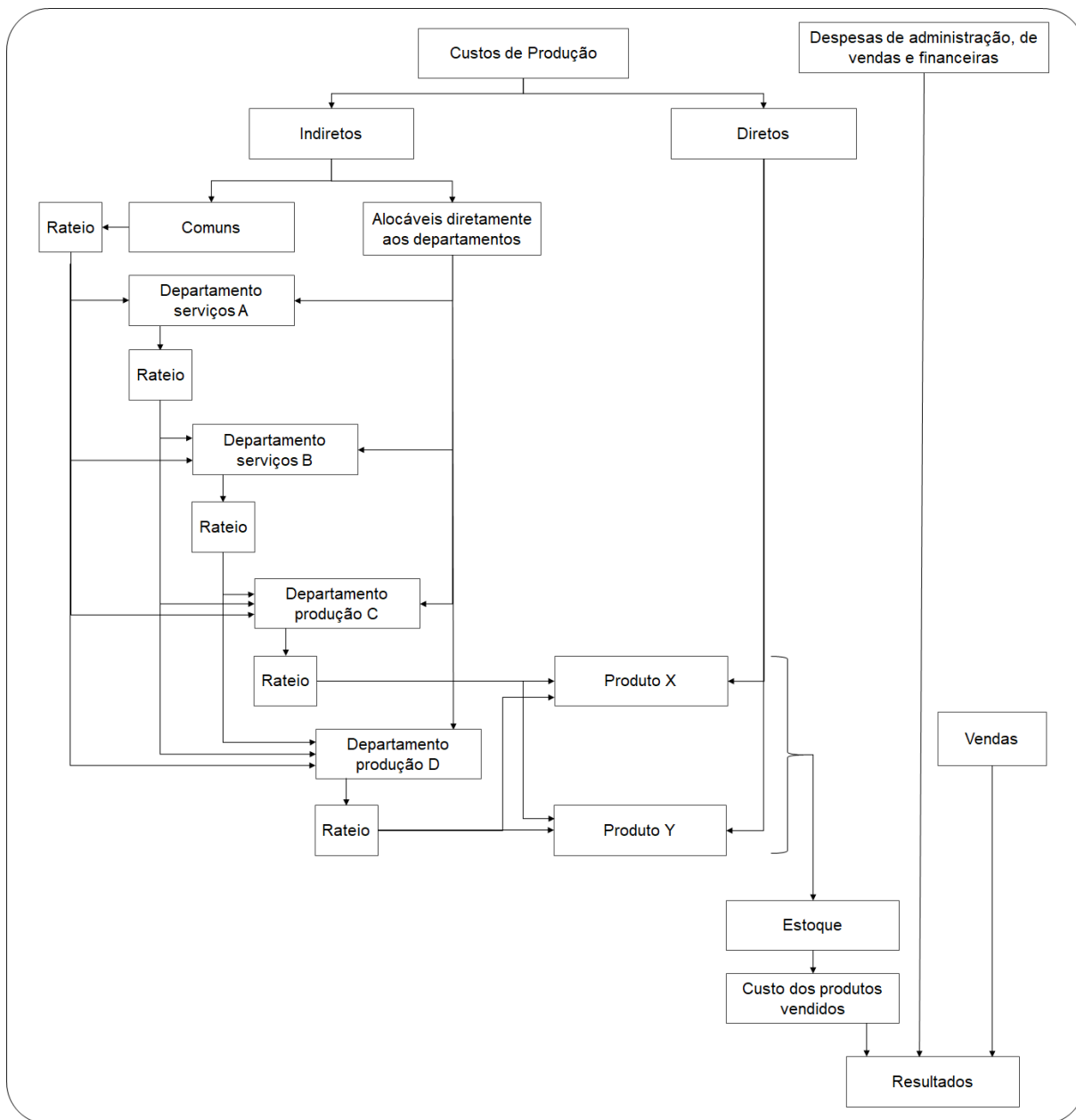
2. **Custeio Variável:** Drury (2013) deixa claro que esse sistema pode ser conhecido como custeio direto ou custeio marginal, mas inadequadamente pois nenhum dos dois são exatamente iguais aos custeio variável. Martins e Rocha (2003), afirma que no custeio variável apenas os custos variáveis são alocados aos produtos, tendo os custos fixos indo diretos para os resultados e sendo considerado como despesas. Por tanto, indiscutivelmente, nos estoques só vão os custos variáveis.

Santos (2018) enfatiza que sob à luz dos custos fixos, tais custos são considerados prejuízos visto que se a empresa estiver parada, os custos fixos ainda serão contabilizados sem ter entrada de receita.

Drury (2013) analisa a questão do lucro, afirmando que quando o volume de vendas aumentar o lucro também aumentar, em uma situação contraria, o lucro também diminui. Justificado pela razão de que é uma função apenas do volume de vendas, quando o preço de vendas e a toda estrutura de custo não mudam.

Martins e Rocha (2003) justifica o não uso do método em balanços financeiro, pois apesar de ter condições de propiciar melhores informações para decisões de um gestor por fornecer balanços mais rápidos, abandonando os custos fixos e

Figura 2 – Esquema de contabilidade de custos pelo método de absorção.

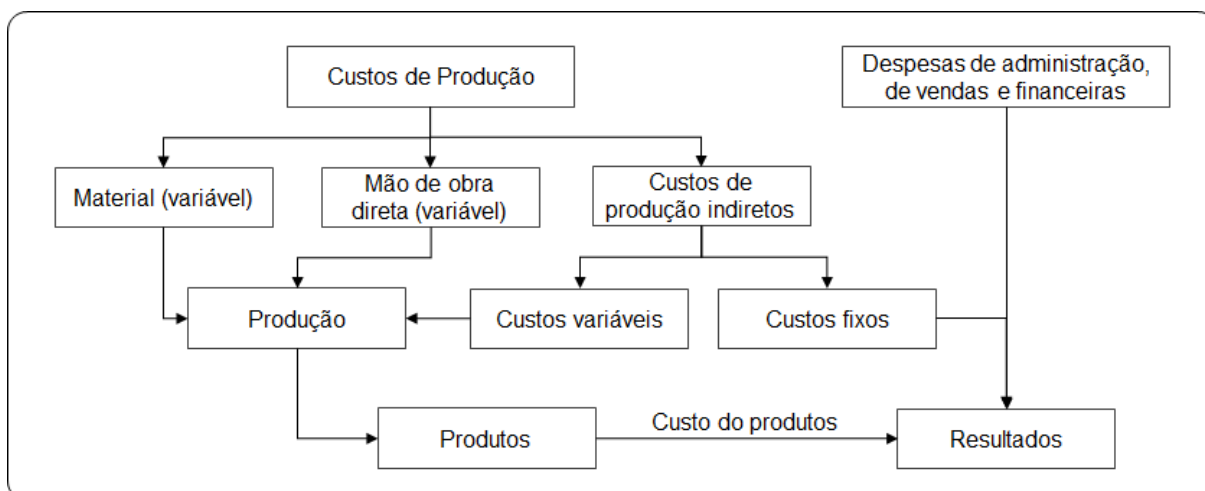


Fonte: Reproduzido de (MARTINS; ROCHA, 2003).

tratando, na contabilidade, como despesas, os princípios contábeis não aceitam o uso de demonstrações de resultados e de balanços a base deste método, não sendo reconhecido por profissionais da área.

Drury (2013) ainda fornece o esquema básico de funcionamento do método de custeio variável visto na Figura 3, deixando nítido que apenas os custos variáveis são contabilizados nos produtos, enquanto os custos fixos vão diretos para o demonstrativo na forma de custos.

Figura 3 – Esquema básico de contabilidade de custos pelo método variável.



Fonte: Reproduzido de (DRURY, 2013).

3. **Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit (Comitê do Reich para Eficiência Econômica) (RKW):** Nasce no início do século XX, o método RKW, Martins e Rocha (2003), afirma ser uma técnica difundida na Alemanha pelo órgão de preços daquele país. Resume seu funcionamento no rateio não apenas dos custos de produção como também de todas as despesas da empresa, incluído as financeiras, nos produtos.

Martins e Rocha (2003) ainda lembra que o rateio nesse método acompanha as técnicas tradicionais de apropriação dos custos indiretos de produto, em outras palavras, ocorre a alocação dos custos e despesas nos departamentos das empresas para em seguida fazer os diversos rateios que, ao final, todos os custos estejam presentes nos produtos, dessa forma, se o rateio ocorresse perfeitamente, resultaria no custo de produzir ou de vender, que acrescentado apenas o lucro teria o preço de venda final.

Martins e Rocha (2003) fecha a ideia sobre a forma tradicional de rateio, retratando que nesse método usando tal forma, só poderia ser empregado em economias centralizada ou em casos de monopólio ou oligopólio, sendo difícil seu emprego em economias de mercado.

Bornia (2002), citado de Backes et al. (2006) fornece cinco passos para implementação do método RKW:

- i) Separação dos custos em itens.
- ii) Divisão da empresa em centros de custos(departamentos).
- iii) Identificação dos custos com os centros.
- iv) Redistribuição dos custos dos centros indiretos até os diretos.

v) Distribuição dos custos dos centros diretos aos produtos.

4. **ABC:** A metodologia ABC foi desenvolvida para ser um procedimento mais objetivo para a alocação de custos, como resultado fornece medidas de custos mais detalhada (TAYYARI, 2021).

É um método que permite ser aplicado também nos custos diretos como a mão de obra direta, até recomendado que seja. No entanto, o método não se diferenciaria dos métodos tradicionais mencionados nos itens anteriores, pois o maior impacto estaria entre os custos indiretos. O referente método foi desenvolvido para reduzir as distorções do rateio arbitrário dos custos indiretos. (MARTINS; ROCHA, 2003)

Martins e Rocha (2003) destaca sua importância devido a necessidade de se contabilizar melhor os custos indiretos em função do avanço da complexidade dos sistemas de produção, os custos indiretos vêm aumentando. Outro fator é a grande diversidade de produtos e modelos de fabricas, acarretando a necessidade de melhor alocar os custos indiretos de produção aos produtos ou serviços. Ainda alerta para que os mesmos graus de arbitrariedades e de subjetividade as vezes toleradas, atualmente, causaria enormes prejuízos.

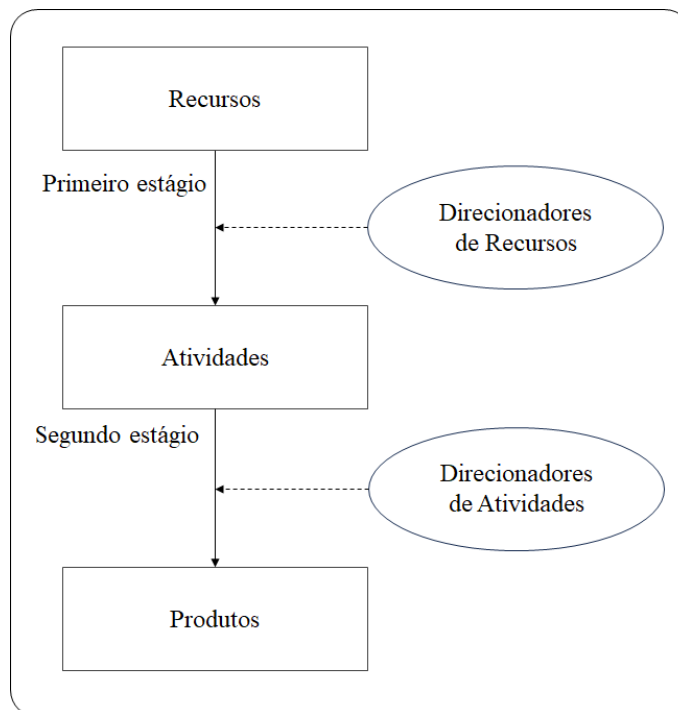
Tsai (1996) enfatiza que nos primeiros sistemas ABC, o custo indireto é dividido entre diversos grupos de custos, ou centros de custos como explanado por Martins e Rocha (2003), que nesses contém o custo das atividades que são consumidas pelos produtos, e em seguida são divididos entre os produtos através de uma taxa única que se assemelha ao custo consumido, taxa essa conhecida como base de alocação em outros métodos, pode ser relacionado ou não ao volume. Relata que para a extensão da aplicação do ABC à funções não industriais, o modelo é adaptado para o modelo de dois estágios como apresentado na Figura 4.

Tsai (1996) explica o método, afirmando que no primeiro estágio os custos presentes nos recursos são transferidos às atividades através de direcionadores de custos de recursos e são parâmetros definidos de modo a assemelhar o consumo de recursos pelas atividades. Já no segundo estágio ocorre a atribuição dos custos das atividades aos produtos através dos direcionadores de atividades, usados para medir os gastos de atividades pelos produtos.

Martins e Rocha (2003) esquematiza definindo cinco passos para a aplicação do método ABC, atribuindo os custos de produção em produtos:

- i) **Identificação das atividades relevantes:** Martins e Rocha (2003) define uma atividade é uma ação feita para produzirem bens ou serviços fazendo uso de recursos como: recursos humanos, materiais,

Figura 4 – Modelo ABC.



Fonte: Adaptado de Tsai (1996).

tecnológicos e financeiros. Sua composição é feita de uma sequência de tarefas necessárias para efetivar um processo, que é um conjunto de atividades que tem estreita relação. As atividades efetuadas dentro de um departamento têm, normalmente, características semelhantes, portando nessa etapa é identificado as atividades importantes dentro dos departamentos da empresa.

- ii) **Atribuição de custos às atividades:** Segundo Martins e Rocha (2003) os custos de uma atividade são todos os recursos dispostos para desempenha-las. Inclui salários, encargos sociais, materiais, depreciação, energia e uso das instalações. Ainda alerta que dependendo da precisão que se almeja, deve-se simplificar o custo para enxergar melhor a natureza dos gastos ou desmembrar em subcontas para se analisar melhor os recursos presentes nas atividades.

Indicando que o rateio dos custos deve ser de forma bem criteriosa, a atribuição de custos deve seguir a seguinte ordem de prioridade, segundo Martins e Rocha (2003): 1. alocação direta; 2. rastreamento e 3. rateio.

A alocação direta acontece quando o custo esta associado à atividade de forma clara, direta e objetiva. Ocorrendo em casos como salário,

depreciação, viagens, material de consumo etc.

O rastreamento é a apropriação com base na identificação da relação de causa entre a origem da atividade e a geração dos custos. A relação entre a origem das atividades e a geração de custos é, normalmente, conhecida através de direcionadores de custos de primeiro estágio ou direcionadores de custos de recurso. Tais direcionadores partem dos recursos em direção às atividades. São exemplos: nº de empregados, tempo de mão-de-obra, tempo de máquina, quantidade de kwh.

Já o rateio acontece quando não se consegue utilizar nenhuma das outras formas, entretanto deve-se ter ciência que os rateios tem que serem feitos logicamente.

Martins e Rocha (2003) evidencia que nos centros de custo, uma unidade mínima de acumulação de custos indiretos, outro termo para tratar de departamento de forma simplificada quando o mesmo corresponde a único centro de custo, podem executar uma atividade; uma parte de uma atividade, ou seja, uma tarefa; ou também mais de uma atividade. Que a depender do grau de precisão é indicado analisar a possibilidade de juntar ou desmembrar centros de custos.

- iii) **Identificação e seleção dos direcionadores de custos:** Os direcionadores de custos são retratados como fator que determina o custo de uma atividade. De acordo com Martins e Rocha (2003), as atividades consomem recurso para que sejam efetivadas, assumindo que os direcionadores são as causa dos custos. No custeio de produtos, o direcionador deve ser decisivo para definir e conduzir como as atividades são consumidas ou empregadas nos produtos.

É importante ressaltar a existências dos dois tipos de direcionadores: os de primeiro estágio, conhecido por direcionadores de custos de recurso e, os de segundo estágio, conhecido por direcionadores de custos de atividades. Martins e Rocha (2003) explica que o primeiro identifica como os recursos são consumidos pelas atividades servido também para custear-las, firmando a relação entre recursos demandados e as atividades. Já o segundo identifica como as atividades são consumidas pelos produtos, servindo para custear-los, firmando a relação entre as atividades e os produtos.

- iv) **Atribuindo custos dos recursos às atividades:** Neste momento ocorre a atribuição às atividades de parte dos custos indiretos alocados em cada departamento utilizando os direcionadores de custos de recursos, devendo-se sobretudo ter atenção no momento de atribuir os custos de uma atividade de apoio a outra atividade para seguir

a ordem de prioridade mencionada no item de atribuição de custos às atividades, não gerando assim distorções no custeio. Ao final, os custos de cada atividade terá os mesmos componentes do custo do departamento.

Martins e Rocha (2003) lembra das críticas em relação ao ABC ao não eliminar a abstração do rateio dos custos, por tanto há a necessidade de distinguir rateio de rastreabilidade, esse último ocorrendo no método. No rateio ocorre a alocação dos custos de forma arbitrária e subjetiva, já no rastreamento de custos ocorre busca da verdadeira relação entre o custo e a atividade através dos direcionadores de recursos.

- v) **Atribuição dos custos das atividades aos produtos:** Nesse momento, Martins e Rocha (2003) evidência a necessidade de avaliar a qualidade e quantidade da incidência dos direcionadores de atividades por período e por produto. Destacando que os direcionadores que levam o custo das atividades aos produtos devem refletir a melhor relação entre atividade e produto.

Martins e Rocha (2003) deixa claro situações em que produtos que pareciam dar lucro com outros métodos, podem parecer dando prejuízo agora. Isso ocorre nos seguintes fatores: i) Alto quantitativo de custos indiretos nas atividades de apoio e ii) Quando houver variedade de produtos, destacando-se para quando houve complexidade e variados volumes de produção. Justificado pelo motivo de nos sistemas tradicionais de custeio o rateio não reflete realmente como os recursos são consumidos pelos produtos.

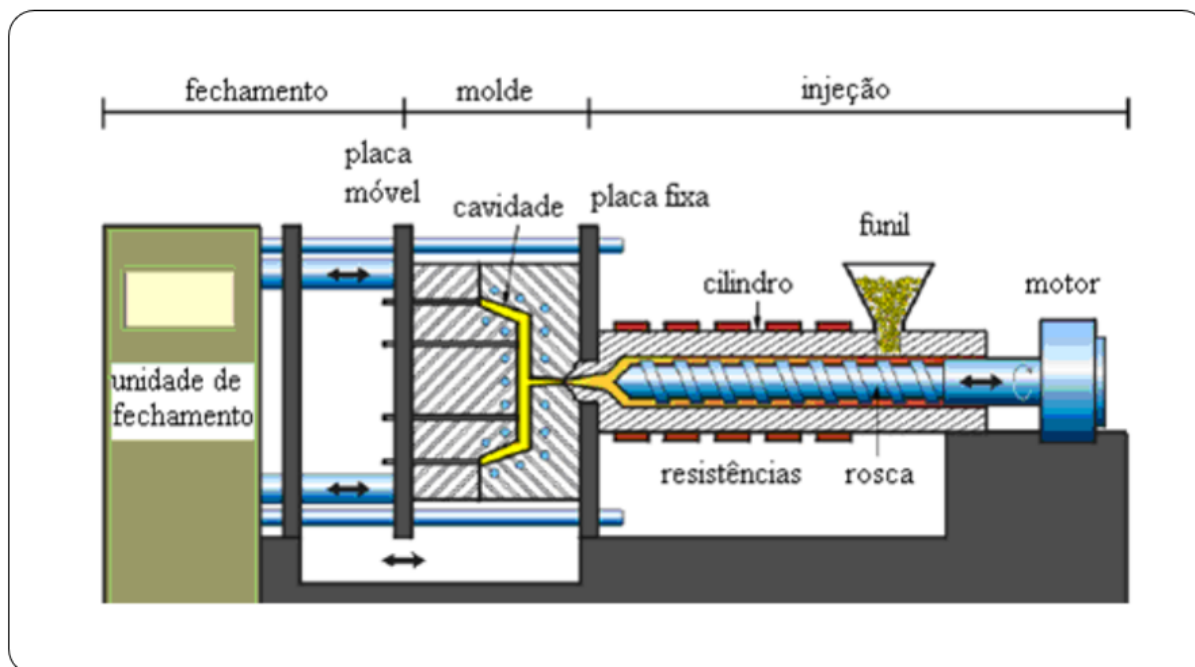
2.1.2 Processo de Injeção Plástica

O processo de injeção plástica, eventualmente, é apresentado como um processo de fabricação de "forma líquida" devido as peças moldadas terem origem da moldagem propriamente dita sem necessitar de processos posteriores, como apontado por (KAZMER, 2016).

A Figura 5 apresenta a nomenclatura das partes de uma máquina de injeção convencional, segundo Bralla (2007) na seção de injeção, o processo de moldagem por injeção plástica tem início com o material plástico granulado, um termoplástico, passando por um funil para um cilindro que aquece, onde torna o plástico granulado em uma pasta. Través de um parafuso transportador ou rosca acionado por um motor, a massa pastosa é empurrada para frente sendo injetado sob pressão no molde montado entre uma placa fixa e outra móvel. O molde é assim montado para que após as peças se solidificarem dentro da cavidade, o molde possa abrir e as mesmas possam ser retiradas. Apesar de o plástico

ser aquecido, o mesmo não se mistura de forma homogênea, deixando esse papel para o parafuso transportador.

Figura 5 – Nomenclatura de uma máquina injetora convencional.



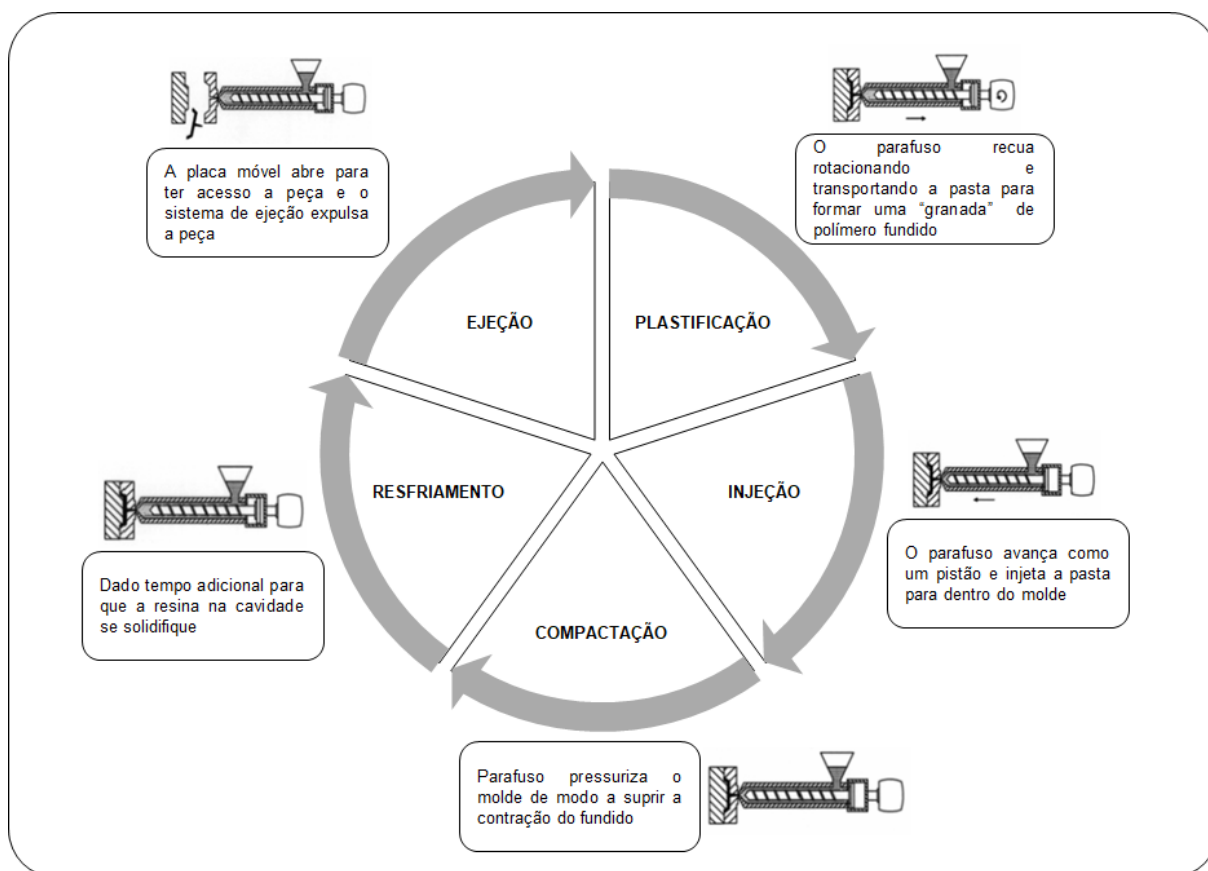
Fonte: Extraído de Leães et al. (2008).

Os variados processos de moldagem de peças podem ter suas particularidades quanto a operação e forma, mas a maior parte dos processos de injeção plástica conta com os ciclos de plastificação, injeção, compactação, resfriamento e ejeção detalhado na Figura 6

A condição presente no processo é que o molde normalmente é mais frio que o cilindro de injeção, onde a temperatura chega a 200 °C, enquanto o molde fica entorno de 80 °C, segundo dados de Bralla (2007). O mesmo ainda enfatiza que o processo é o mais usual para produção de peças plásticas de longe o mais adequado para produções em massa.

Bralla (2007) detalha ainda que o molde de injeção plástica é uma cavidade de aço feita por ao menos duas placas bem unidas, onde sua cavidade tem o formato da peça final desejada, sendo fácil de encontrar moldes com multicavidades. Kazmer (2016) aprofunda o assunto trazendo a complexidade do molde, como um sistema complexo com a função de atender a diversos requisitos impostos pelo processo. O primeiro requisito é resguardar que nenhum polímero fundido vaze do molde para que a peça desejada seja formada, o segundo é que conduza calor do polímero quente para outro agente de maneira a gerar peças mais rapidamente e de maneira uniforme, encerrando as funções principais vem a função de ejetar a peça de maneira eficiente, sem estressá-las.

Figura 6 – Ciclo comum do processo de injeção plástica discutido em Kazmer (2016), com adaptação gráfica de Zoto (2020) apud Cunha, Soares e Pontes (2003).

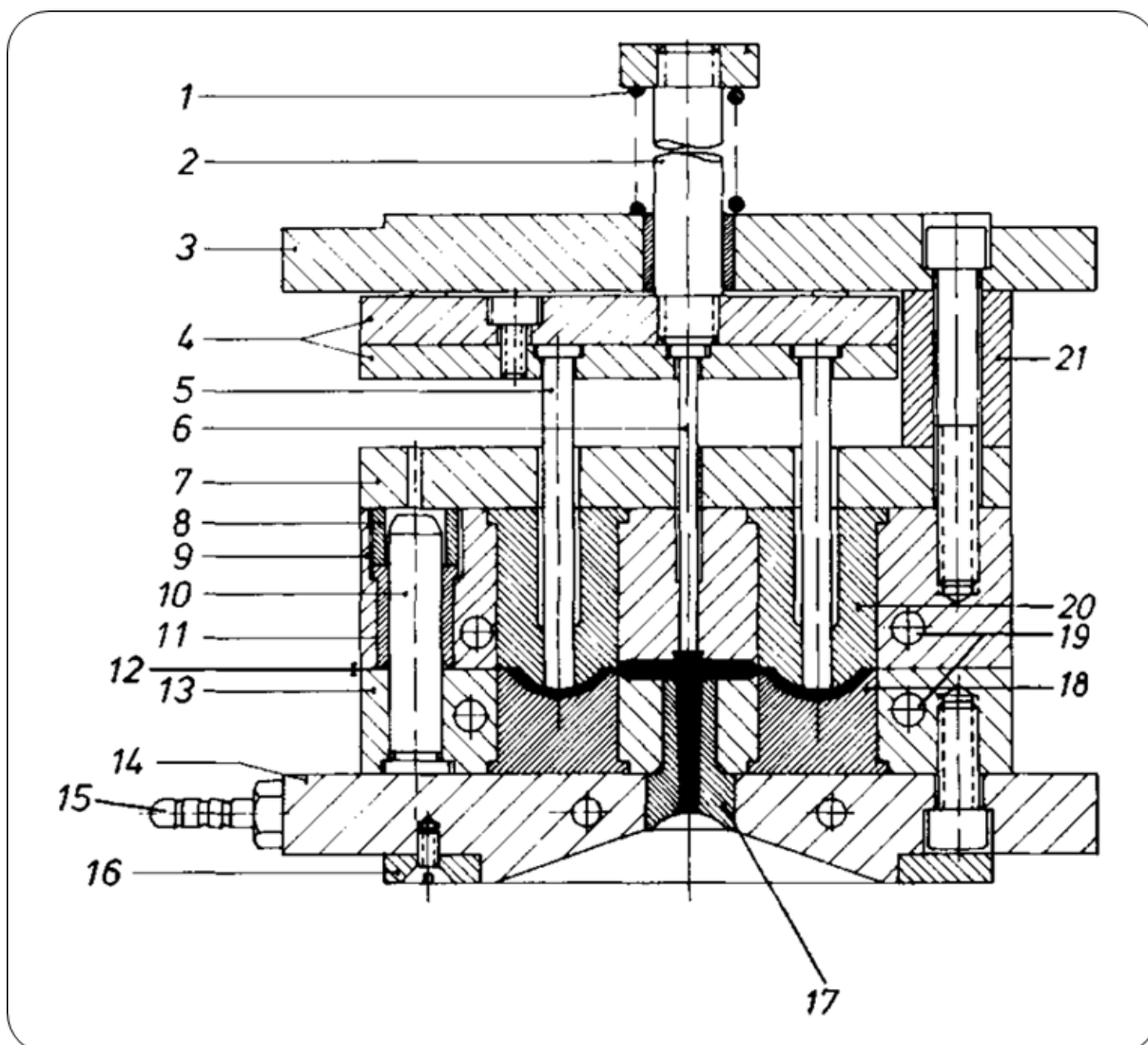


Fonte: Elaborado pelo autor.

Menges, Michaeli e Mohren (2013, p.109) aborda as terminologias empregadas nos componentes de moldes de injeção usando o padrão Europeu. Na Figura 7 é exposto a estrutura de um molde de duas placas convencional de injeção plástica fechado, com a respectiva terminologia: mola de compressão (1), pino ejetor (2), placa de fixação móvel (3), placa do ejetor e do retentor do ejetor (4), pino ejetor (5), ejetor do canal de injeção (6), placa de apoio (7), bucha reta (8), placa retentora da cavidade (9), pino guia (10), bucha com flange (11), linha de separação (12), placa retentora da cavidade (13), placa de fixação estacionária (14), Bocal para o sistema de arrefecimento (15), anel de centragem (16), bucha do canal de injeção (17), inserto da cavidade (18), linha de arrefecimento (19), inserto da cavidade (20) e pilar de apoio (21).

Através de grampos, o molde é fixado na injetora por meio das placas de fixação móvel e estacionaria para posteriormente ser parafusadas à máquina através das placas fixas e móveis. No molde é posicionado um anel de fixação no centro do molde para facilitar o encaixe na placa fixa da injetora e se alinhar com o bico injeto. Sua importância é enfatizada por Kazmer (2016) por dois motivos. O primeiro, para alinhar o molde de

Figura 7 – Estrutura de um molde convencional de duas placas fechado.



Fonte: Extraído de Menges, Michaeli e Mohren (2013).

maneira a coincidir a entrada do plástico fundido do bico de injeção no canal de vazamento. O segundo, o sistema de extrator da máquina coincidir com o sistema de ejeção do molde.

O molde exemplificado é chamado de molde de duas placas devido o uso de apenas duas placas para comportar a pasta fundida. Neste trabalho é abordado apenas mais profundamente moldes de duas placas e de canal frio, porém Kazmer (2016) apresenta outros tipos de moldes como:

1. **Molde de três placas:** O molde detêm uma terceira placa que se move entre a cavidade do molde e placa de fixação superior e;
2. **Molde de canal quente:** Molde similar ao de três placas, porém sem as desvantagens em relação ao canal frio devido o sistema de alimentação está constantemente aquecido.

O processo de fabricação de moldes conta com tecnologias convencionais usando métodos subtrativos como usinagem, ou para o caso dos moldes híbridos, usa tanto a subtrativa, quanto manufatura aditiva também. A diferença nos processos de fabricação influenciam diretamente no custo da ferramenta, tendo a escolha do material condicionada a vários fatores como o custo e tempo de desenvolvimento do produto e ainda o tamanho do lote que se pretende para o molde de injeção.(GOMES, 2015)

Segundo Martinho, Bártolo e Pouzada (2009), os moldes híbridos sugeriram como uma solução para a crescente tendência da indústria de plástico. Tais moldes permitem ter vantagens como eficiência, agilidade e flexibilidade em relação a adoção de novos conceitos de projeto. Esse ferramental utiliza diversas tecnologia e materiais para obter os inserts moldantes ou blocos de moldagem, sendo uma delas a tecnologia de prototipagem rápida que usa a manufatura aditiva.

Na Figura 8 é apresentado o molde híbrido, Pouzada (2009) destaca a característica de serem construídos com materiais e processos não convencionais, a manufatura aditiva, e processos convencionais, usinagem, para a construção de sua base. O objetivo da confecção desse tipo de molde é poder ter uma variação da zona da superfície moldante e preservação da mecânica operacional de modo a reduzir custo e tempo de construção, como levantado em Segal e Campbell (2001).

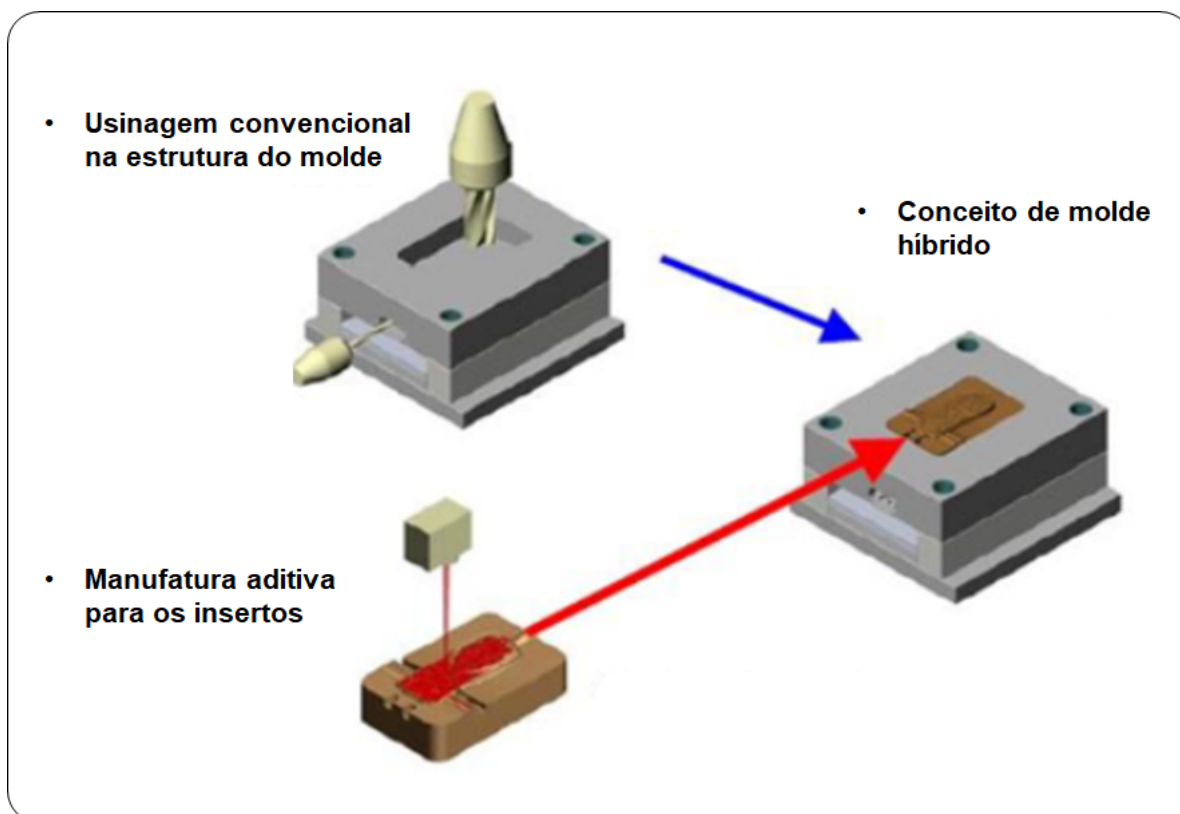
Pouzada (2009) aponta que para a produção de moldes híbridos existem dois caminhos usando ferramentaria rápida, ou seja tecnologia que adota técnicas de prototipagem rápida para a fabricação de moldes e matrizes, como conceituado por Chua, Hong e Ho (1999). A abordagem indireta, quando partem de moldes mestres feitos a partir da prototipagem rápida; e a abordagem direta, quando são formados diretamente em sistemas de prototipagem rápida.

O diagrama apresentado na Figura 9 resume as tecnologias que estão inseridas no conceito de tecnologias de ferramentaria rápida. Pouzada (2009) explica que as ferramentas leves ou macias são para pequenas series de fabricação, enquanto as ferramentas pesadas ou duras são para grandes series de produção. Além de apontar também, a critério de entendimento sobre a Ferramenta Rápida contida como tecnologia de Ferramentaria Rápida Direta Pesada, que isso engloba outras mais convencionais como a usinagem de alta velocidade (HSM) e da modelagem por reação (RIM).

Neste trabalho são abordadas duas tecnologias de ferramentaria rápida direta leve: Fused Deposition Modeling (Modelagem de Deposição Fundida) (FDM) e Stereo Lithography Apparatus (Aparelho de Estereolitografia) (SLA). A escolha dessas tecnologias se deve ao fato de já terem sido estudadas em outros trabalhos que avaliaram o desempenho dos materiais em laboratório da UFSC, sendo ambas detalhadas a seguir:

1. **FDM:** É uma técnica de manufatura aditiva por fundição de filamento, Pelin, Sonmez e Pelin (2024b) observa ser uma técnica de impressão 3D amplamente utilizada para impressão de componentes desde protótipo à peças funcionais.

Figura 8 – Conceito de moldes híbridos.



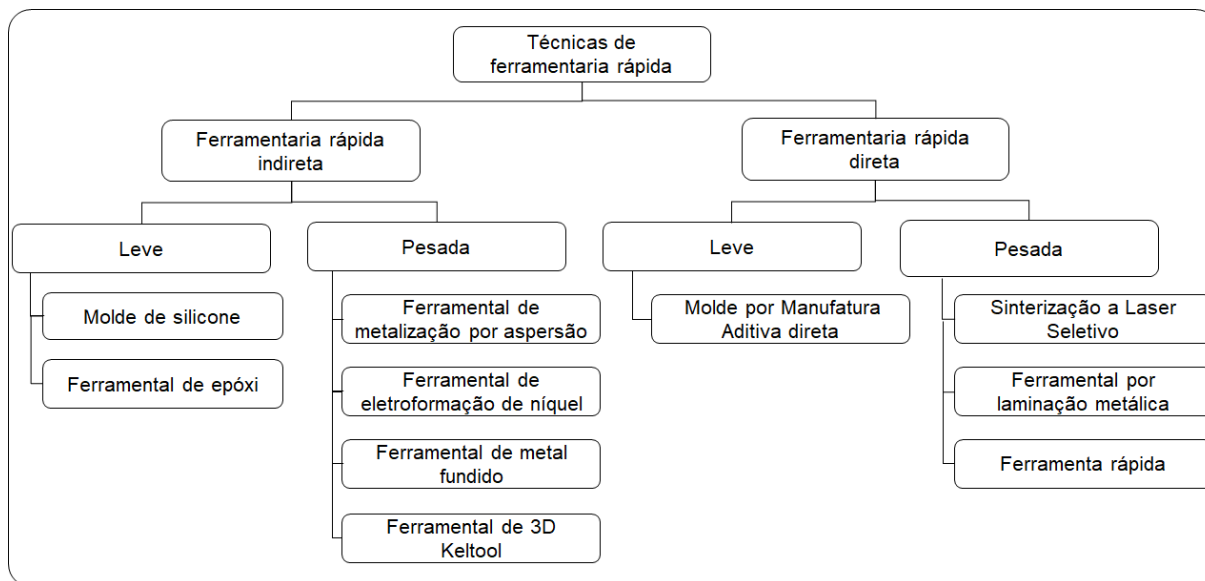
Fonte: Extraído de Queirós, Pontes e Pouzada (2005).

Na Figura 10 mostra o funcionamento da técnica, tendo o filamento enrolado sendo puxado pelas engrenagens de extrusão, passando por uma região aquecida por uma resistência elétrica até seu ponto de fusão onde sai pelo bico de extrusão. Pelin, Sonmez e Pelin (2024b) descreve o funcionamento cinemático das máquinas com esse princípio de tecnologia, onde afirma que o bico se movimenta em três graus de liberdade depositando o filamento derretido, camada a camada, sobre a plataforma através de instruções de coordenadas pré geradas em softwares.

O Quadro 1 revela uma seção adaptada da lista de polímeros mais comumente utilizados na tecnologia trazida por Pelin, Sonmez e Pelin (2024b), fornecendo assim as vantagens e desvantagens dos polímeros que serão discutido no decorrer do trabalho.

É destacado por Pelin, Sonmez e Pelin (2024b) a característica da tecnologia o fato de produções em nível de consumidor final geralmente ter baixa resolução e precisão comparada a outras tecnologias devido na sobreposição das camadas haver espaços vazios deixando-a altamente porosa, sendo puxada pelas propriedades do próprio filamento, necessitando de pós-processamento superficial.

Figura 9 – Classificação de tecnologias de ferramentaria rápida.



Fonte: Adaptado de Pouzada (2009).

Quadro 1 – Principais polímeros, vantagens, desvantagens e aplicações usados na técnica de impressão 3D FDM.

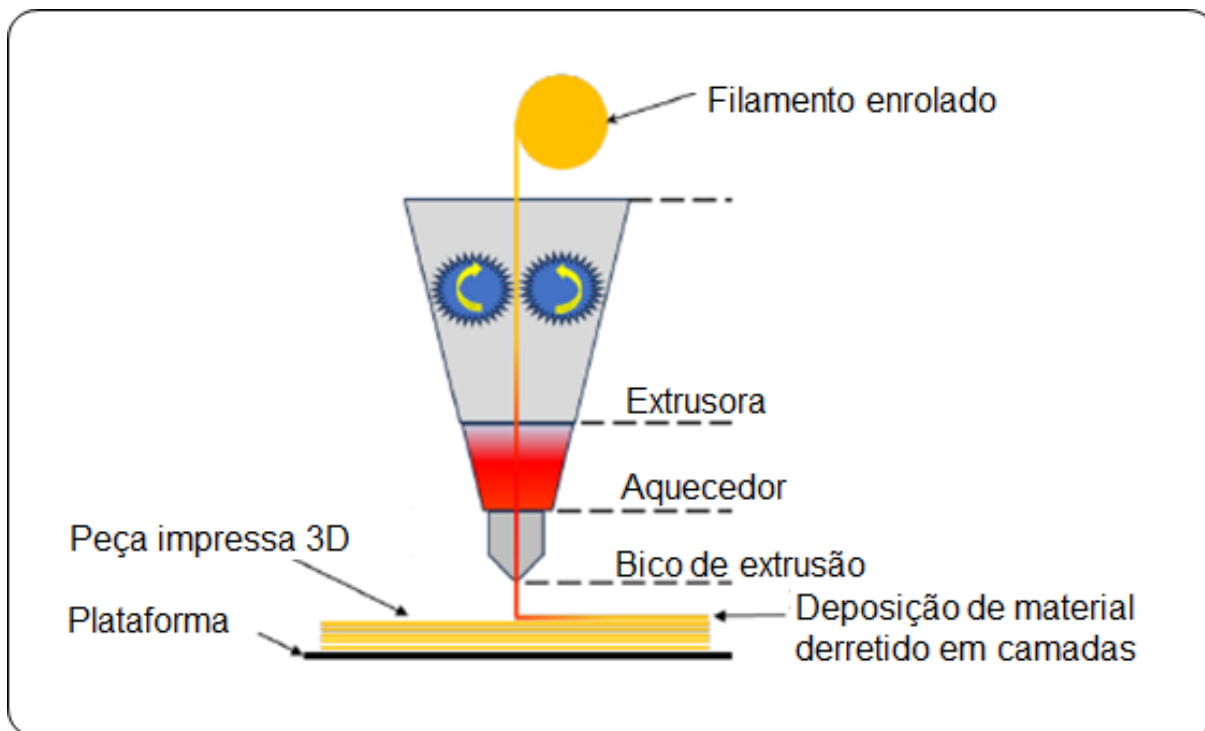
Termoplástico	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Ácido Polilático (PLA)	Biodegradável, fácil impressão, baixo custos	Baixa resistência, baixa durabilidade, quebradiço	Bens de consumo, brinquedos, faça você mesmo, embalagens, biomédica
Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)	Mais durável que o PLA, resistente a impactos, calor, produtos químicos e abrasão	Mais difícil de imprimir, sujeito a deformações	Bens de consumo, ferramentas, automotivos, gabinetes elétricos
Polietileno Tereftalato Glicol (PETG)	Versátil, flexível, resistência mecânica, fácil de imprimir	Propenso à umidade, facilmente arranhado	Embalagem, peças mecânicas, peças de impressora, componentes de proteção

Fonte: Adaptado de Pelin, Sonmez e Pelin (2024b).

Considerando a técnica inadequada para projetos complexos ou de geometrias com muito detalhamento, reservando-se a projetos domésticos e atrativa a hobbies, projetos caseiros e prototipagem em laboratório de pesquisa.

2. **SLA:** O processo de fotopolimerização é uma tecnologia de impressão 3D que usa fotopolimerização de resina polimérica. Pelin, Sonmez e Pelin (2024b) enfatiza que foi uma das primeiras tecnologias e que perdura aos dias atuais como uma das mais requisitadas, justamente pela alta resolução e precisão, sem preci-

Figura 10 – Princípio de funcionamento da técnica de impressão 3D FDM.



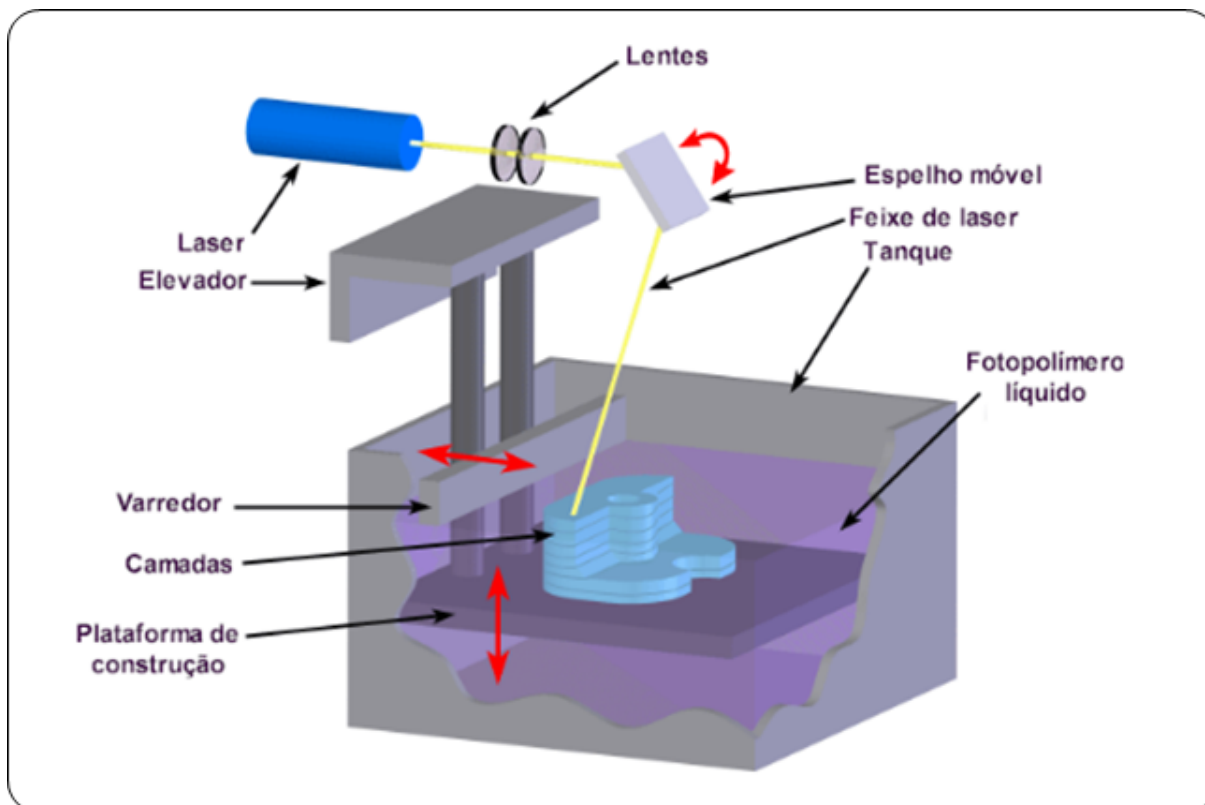
Fonte: Adaptado de Pelin, Sonmez e Pelin (2024b).

sar de processos adicionais. Também é destacado o fato de as peças resultantes serem isotrópicas, tendo as propriedades mecânicas não sendo influenciadas pela variância dos parâmetros de processo. Sendo assim uma técnica bem recomendada para produção de peças com alto grau de detalhes como moldes, gabaritos, implantes dentários ou peças de uso final.

Na Figura 11, é explicado por Formlabs (2021) que a técnica usa uma fonte de luz Ultra Violeta para endurecer o fotopolímero líquido que se encontra no tanque ou cuba, a representação gráfica disposta apresenta uma impressora 3D tradicional onde o laser é posicionado na parte de cima da máquina com direção à resina na cuba. Além esclarecer que quando a "resina" é exposta a determinados comprimentos de onda de luz, moléculas curtas em cadeia se unem, polimerizando monômeros e oligômeros, transformando em geometrias rígidas ou sólidos flexíveis.

Após o procedimento de polimerização, há o pós-processamento de limpeza, ou de forma literal, a lavagem da peça com álcool ou éter para extrair a resina líquida ainda por cima da peça. Finalizando o funcionamento da tecnologia, em Formlabs (2021) é condicionado ao tipo material mais uma etapa que é a completção da polimerização da peça para atingir as propriedades ideais em câmaras com luz ultra violeta.

Figura 11 – Princípio de funcionamento da técnica de impressão 3D SLA tradicional.



Fonte: Extraído de Ichi (2010).

Pelin, Sonmez e Pelin (2024b) comenta que além de todas vantagens da técnica, as resinas usadas são amplas e versáteis dispondo de várias propriedades seja mecânica, óptica, térmica ou de biocompatibilidade. Tendo sua qualidade em função do fabricante e do equipamento de impressão, as vantagens que mais se destacam são alta rigidez, suavidade da superfície e detalhes refinados de alto nível, porém como desvantagem mais forte é a o baixo alongamento na ruptura, ocasionando à fratura frágil, sendo sensível a aplicações em ambiente externo devido à fluência doo da radiação ultra violeta. No Quadro 2 é apresentado um recorte de materiais discutidos em Pelin, Sonmez e Pelin (2024b), sendo abordado apenas as resinas padrão, resistente ao calor e transparente, as que são abordadas no trabalho.

2.1.3 Estimativa de Custo

O processo de custeio de um molde de injeção de polímero pode se tornar um processo complexo tanto para o cliente quanto o fabricante. Por um lado, o cliente apresenta preocupação com o prazo de entrega e com os custos envolvidos; por outro, o fornecedor, juntamente com sua equipe de engenharia, investe tempo e recursos no desenvolvimento

Quadro 2 – Principais polímeros usados na tecnologia de impressão 3D SLA, vantagens, desvantagens e aplicações.

Resina	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Padrão	Alta resistência à tração, alta resolução, acabamento superficial liso	Baixo alongamento na ruptura (Frágil)	Protótipos visuais, modelos artísticos, modelos conceituais, protótipos com aparência
Resistente ao calor	Temperatura de Deflexão Térmica entre 200–300°C, Acabamento superficial liso	Baixa resistência ao impacto, quebradiço, não indicado para peças com paredes finas (mínimo 1 mm), O aumento da resistência à temperatura diminui o alongamento	Acessórios resistentes ao calor, protótipos de moldes; Equipamentos de fluxo de ar quente, gás e fluidos; Ferramentas de fundição e termoformação, suportes, alojamentos e acessórios resistentes ao calor; Moldes e insertos
Transparente	Polível até quase a transparência óptica, resistente à umidade, durável, disponível em grandes formatos, rígido	Requer operações secundárias para clareza funcional da peça	Peças que requerem transparência óptica, milifluídica

Fonte: Adaptado de Pelin, Sonmez e Pelin (2024b).

e na estimativa dos componentes, configurando um processo de interação entre ambas as partes. (KAZMER, 2016)

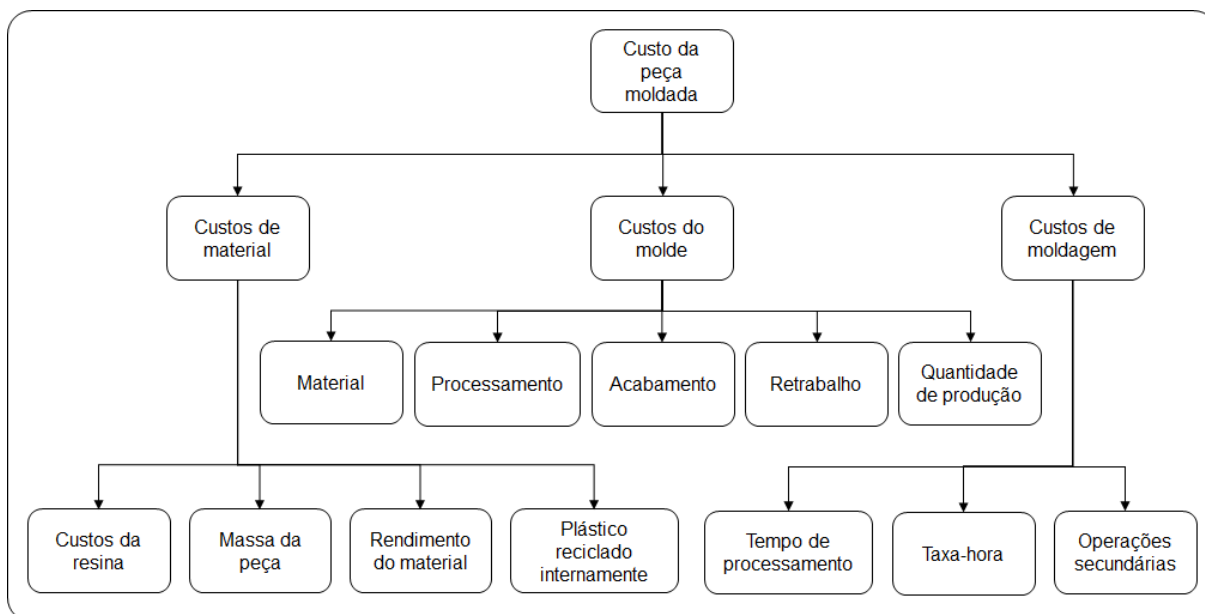
A estrutura de custos de uma peça plástica injetada é sustentada por três pilares: custo com molde e sua manutenção, custo com o material para injeção e custo com o processamento Kazmer (2016). Na Figura 12 é visto os direcionadores de custos oriundos destes destes pilares não incluindo os custos indiretos com as despesas com instalações, administrativas, lucros, entre outros. Entretanto, os mesmos podem ser contabilizados através de rateio ou taxas de custos indiretos. A Equação 1 representa os custos de uma peça injetada proposto por Kazmer (2016), onde $C_{molde/peça}$ é custo do molde dado a diferença de amortização e a manutenção por peça, $C_{material/peça}$ o custo do material por peça, $C_{processamento/peça}$ o custo de processamento por peça e, por fim o *rendimento* representa a fração de peças moldadas aceitáveis.

$$C_{peça} = \frac{C_{molde/peça} + C_{material/peça} + C_{processamento/peça}}{\text{rendimento}} \quad (1)$$

A estimativa desses custos são detalhado tendo como base o método de estimativa de custeio para moldes disposto em Kazmer (2016):

1. **Custo do molde por peça:** A Equação 2 determina o custo do molde por peça, onde: $C_{total/molde}$ é o custo estimado do molde explicado mais a baixo,

Figura 12 – Direcionadores de custos para fabricação de peças feitas pelo processo injeção plástica.



Fonte: Adaptado de (KAZMER, 2016)

n_{total} é a quantidade total de peças a serem moldadas e $f_{manutenção}$ é um fator interligado a manutenção do molde. O fator é necessário devido a rotina de manutenção preventiva, pequenos reparos, manutenção geral ou reconstrução total do molde caso for necessário, a rotina de manutenção está correlacionada ao número de ciclos de moldagem ocorridas, às propriedades do plástico e dos materiais do molde, às condições de processamento e à qualidade do molde (KAZMER, 2016). No caso deste trabalho, o fator é detalhado no Capítulo 4 onde é tido a demonstração do método de custeio de moldes, objeto central do trabalho, analisado sob a ótica do conceito de baixo volume de produção.

$$C_{molde/peça} = \frac{C_{total/molde}}{n_{total}} \times f_{manutenção} \quad (2)$$

2. **Custo do material por peça:** A Equação 3 fornece o custo de material por peça injetada, onde $V_{peça}$ é o volume da peça moldada, $\rho_{polímero}$ é a densidade do polímero usando na injeção em temperatura ambiente, $k_{polímero}$ é o custo do polímero usando na injeção por unidade de peso e f_{refugo} é um fator associado a quantidade de material consumido na inicialização, defeitos e no sistema de alimentação que virarão sucata.

Kazmer (2016) fornece a relação para f_{refugo} . Na Tabela 3 é disposto estimativas de material consumidos em sistemas de alimentação de canal frio, sendo apresentado somente esse sistema pois é o presente no molde estudado. Os

canais frio são mais simples e de baixo custo, porém gastam muito plástico que posteriormente devem ser reciclados ou descartados. Já os canais quentes são mais eficientes em larga escala, entretanto não se justifica em execuções curtas.

$$C_{material/peça} = V_{peça} \times \rho_{polímero} \times k_{polímero} \times f_{refugo} \quad (3)$$

Tabela 3 – Fator de desperdício de materiais.

Tipo de sistema de alimentação	Fator de desperdício do sistema de alimentação
Canal frio	1,25
Canal frio, utilizando totalmente o material reciclado	1,08

Fonte: Adaptado de Kazmer (2016).

3. Custo de processamento por peça: A Equação 4 fornece a função de custo de processamento por peça em função do número de cavidades, $n_{cavidades}$, tempo de ciclo, t_{ciclo} , detalhado na Equação 5 e do custo rateado para hora-máquina e hora-homem, $R_{moldagem}$, detalhado na Equação 6.

$$C_{processamento/peça} = \frac{t_{ciclo}}{n_{cavidades}} \times \frac{R_{moldagem}}{3600 \text{ s/h}} \quad (4)$$

O tempo de ciclo é visto na Equação 5, Kazmer (2016) descreve que esse termo é mais afetado pela espessura da peça, h_{asf} , e, de impacto menor, pelo tamanho da peça e pelo tipo do sistema de alimentação. A $f_{eficiência \text{ de ciclo}}$ pode ser estabelecido através de um coeficiente presente na Tabela 4, fornecida por Kazmer (2016), onde leva em consideração dois pontos: o tipo de sistema de alimentação e operação do molde.

$$t_{ciclo} = 4 \left[\frac{s}{mm^2} \right] (h_{asf}[mm])^2 \times f_{eficiência \text{ de ciclo}} \quad (5)$$

Tabela 4 – Coeficiente de eficiência de ciclo.

Tipo de sistema de alimentação e operação do molde	Fator de eficiência do ciclo para canal frio
Moldagem semiautomático com remoção das peças moldadas pelo operador	2,25
Moldagem semiautomático com queda por gravidade ou retirada robótica de alta velocidade	1,50
Moldagem totalmente automática	1,25

Fonte: Adaptado de Kazmer (2016).

O valor da hora-máquina de moldagem com mão de obra, $R_{moldagem}$, esta associado a tonelagem de fechamento, $F_{tonelagem}$, que é o sistema usado para resistir as pressões no enchimento do molde, onde o mesmo determina o tamanho e consequentemente o custo da máquina e um fator que correlaciona à capacidade da máquina e a mão de obra, $f_{máquina}$, tendo na Tabela 5 um recorte adaptado da relação estabelecida por Kazmer (2016) para $f_{máquina}$. Tendo assim, na Equação 6 a forma de estimar $R_{moldagem}$.

$$R_{moldagem} = (43,3 + 0,095 \times F_{tonelagem}) \times f_{máquina} \quad (6)$$

A tonelagem de fechamento, presente na Equação 7, é dada em toneladas métricas (t) e pode ser mais precisamente estimada durante o projeto do sistema de enchimento, entretanto pode ser calculado de forma conservadora, usando uma pressão média de 80 MPa sob à área projetada, $A_{projetada}$, das cavidades do molde. Tendo o produto do comprimento da peça, $L_{peça}$, e a largura da peça, $W_{peça}$, para caso se desconheça a área. Como a toneladas métricas (t) é $\approx 9800N$, a Equação 7 fica:

$$F_{tonelagem} = 80 \times 10^6 [Pa] \times \left(n_{cavidades} \times \overbrace{L_{peça} \times W_{peça}}^{A_{projetada}} [m^2] \right) \times \frac{[t]}{9800[N]} \quad (7)$$

Tabela 5 – Capacidade da máquina de moldagem.

Tipo de máquina de moldagem e mão de obra requerida	Fator de máquina
Máquina hidráulica antiga (antes de 1985) sem operador ou lucro	0,80
Operador ou lucro de máquina hidráulica padrão ou máquina elétrica mais antiga (antes de 1998)	1,00
Máquina elétrica moderna sem operador ou lucro	1,10

Fonte: Adaptado de Kazmer (2016).

- Custo de defeito por peça:** Kazmer (2016) estima que há muito motivos para uma peça ser rejeitada. Alguns motivos comuns são: injeção curta, rebarbas, contaminações, empanamentos, problemas dimensionais, entre outros. O custo desses defeitos são incluídos no custo da peça através do *rendimento*. Na Tabela 6 Kazmer (2016) fornece estimativas de rendimento em função do número de ciclos de moldagem e da qualidade.

Tabela 6 – Estimativa de rendimento.

Número total de ciclos de moldagem	Requisitos de baixa qualidade	Requisitos de alta qualidade
~10000	0,95	0,90
~100000	0,98	0,95
~1000000	0,99	0,98

Fonte: Extraído de Kazmer (2016).

Kazmer (2016) disponibiliza um método de custeio de molde retomando o que foi discutido no começo dessa seção, tendo na Equação 8 o custo total do molde através da soma dos custos da base do molde, $C_{base\ do\ molde}$, mais a das cavidades dos moldes, $C_{cavidade}$ e da personalização, $C_{customização}$. Sendo discutido cada item na listagem a seguir.

$$C_{total\ do\ molde} = C_{base\ do\ molde} + C_{cavidade} + C_{customização} \quad (8)$$

1. **Estimativa de custo da base do molde:** A base do molde ou porta molde, como conhecido em catálogos de fabricantes como Polimold (2023), geralmente é um modelo ainda a ser personalizado, na Figura 13 é disposto a representação desse item e também coincide com o usado para a avaliação dos custos discutidos no Capítulo 5. É a maior parte do molde, excluindo os insertos da cavidade e do núcleo mais detalhado em custeio de cavidade, câmara quente (para os que tem) e outros itens relacionados como ejetores, pilares de suporte e plugues de resfriamento. (KAZMER, 2016)

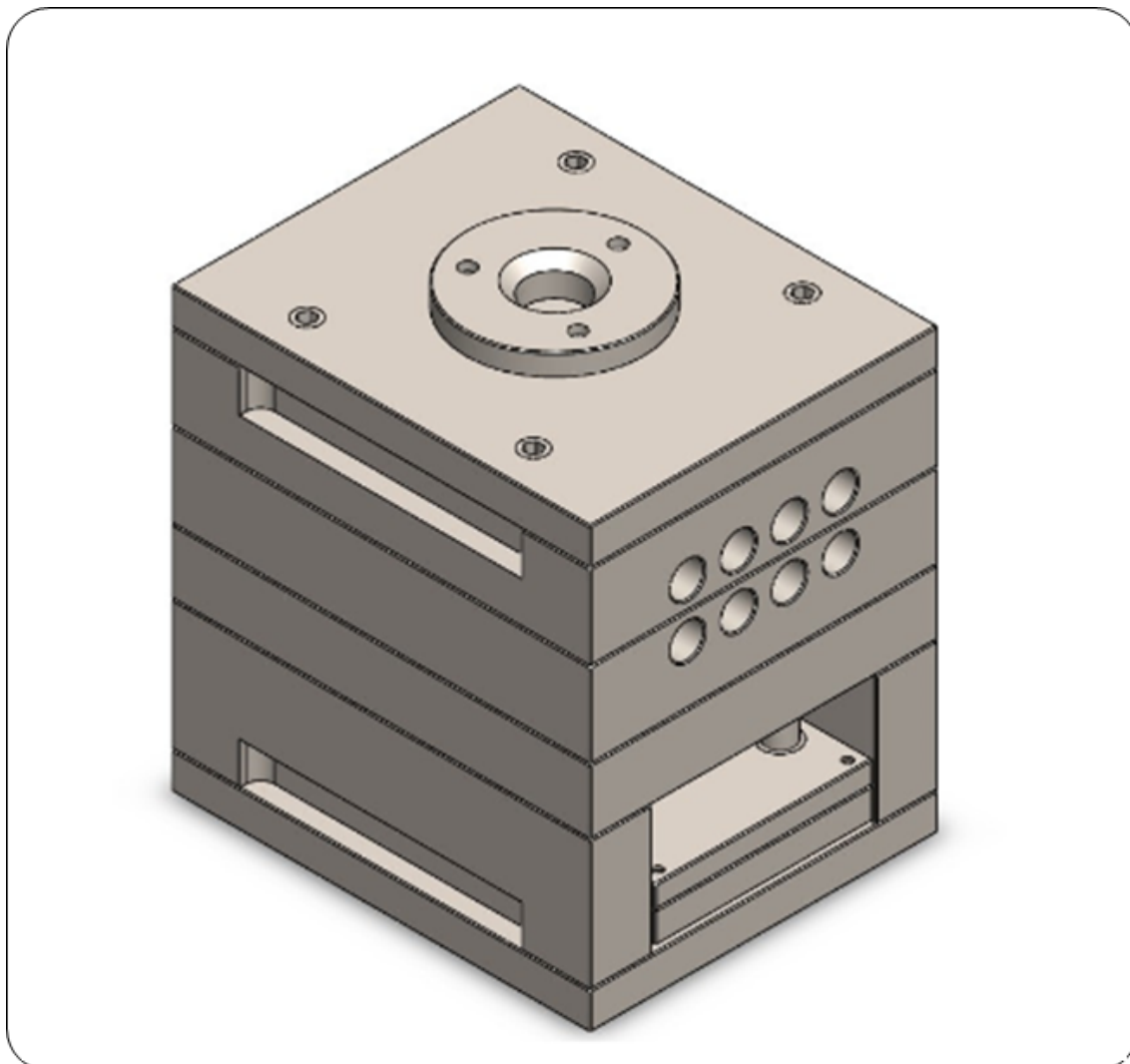
A Equação 9 expressa o custo da base do molde em função da massa da base do molde em kg, M_{molde} , e do custo do aço por kg, $k_{material\ do\ molde}$. Kazmer (2016) modela esse custo usando regressão estatística de custos de moldes cotados nos Estados Unidos da América, por tanto o termo independente usado que está contabilizado em dólar.

$$C_{basemolde} = \$910 + (M_{molde} \times k_{material\ do\ molde}) \quad (9)$$

2. **Estimativa do custo de cavidade:** Kazmer (2016) complementa com as terminologias: insertos de núcleo e inserto de cavidade, quando se referir à insertos de cavidade fornecidas por Menges, Michaeli e Mohren (2013), que são o conjunto de insertos da cavidade. Os insertos de núcleo e de cavidade normalmente agregam substancial valor por conter todos os detalhes da peça molda, assim como material adequado e o alto grau de acabamento e precisão. (KAZMER, 2016)

Seu custo em dólares é estimado através da Equação 10 apresentada por Kazmer (2016), onde $C_{cavidade}$ corresponde ao custo de cada conjunto de insertos

Figura 13 – Porta molde MDL padrão (duas placas) 25.30 usado neste trabalho.



Fonte: Extraído de Luciano (2021)

multiplicado pelo número de cavidades, $n_{cavidades}$, e por uma fator de desconto, $f_{desconto\ de\ cavidade}$, que faz o custo da cavidade diminuir com o aumento de conjuntos de cavidades, tendo a relação desses fatores dispostos na Tabela 7.

$$C_{cavidades} = (C_{cavidade} \times n_{cavidades}) \times f_{desconto\ de\ cavidade} \quad (10)$$

Kazmer (2016) estabelece o custo do conjunto de cavidade em dólares, $C_{cavidade}$, usando a Equação 11, define a soma entre o custo do material, $C_{material\ da\ cavidade}$, o custo de manufatura, $C_{manufatura\ da\ cavidade}$ e o custo de acabamento, $C_{finalização\ da\ cavidade}$. Sendo detalhado cada um dos custos abaixo:

$$C_{cavidade} = C_{material\ da\ cavidade} + C_{manufatura\ da\ cavidade} + C_{finalização\ da\ cavidade} \quad (11)$$

Tabela 7 – Fator de desconto em função do número de conjuntos de cavidades.

Número de conjuntos de cavidades	Fator de desconto
1	1
2	0,85
4	0,75
8	0,61
16 ou mais	0,52

Fonte: Extraído de Kazmer (2016).

- i) **Custo do material do conjunto:** É dado através da Equação 12, sendo a multiplicação entre o volume do conjunto de cavidades em metros cúbicos, $V_{material\ da\ cavidade}$, a densidade do material do conjunto de cavidades em kg por metros cúbicos, $\rho_{material\ da\ cavidade}$ e do custo do material em dólar do conjunto por kg $k_{material\ da\ cavidade}$.

$$C_{material\ da\ cavidade} = V_{material\ da\ cavidade} \times \rho_{material\ da\ cavidade} \times k_{material\ da\ cavidade} \quad (12)$$

- ii) **Custo de usinagem do conjunto:** O custo de usinagem ou processamento é o de maior impacto no custo total. O custo de usinagem ou processamento é dado através da Equação 13, sendo a multiplicação entre o tempo de usinagem do conjunto de cavidades, $t_{usinagem\ da\ cavidade}$ e a taxa de trabalho de usinagem, $R_{hora-máquina\ de\ usinagem}$, isso inclui hora-homem e hora-máquina de operação que pode varias a depender da região geográfica e da máquina onde está sendo confeccionado o conjunto.

$$C_{usinagem\ da\ cavidade} = t_{usinagem\ da\ cavidade} \times R_{taxa\ de\ usinagem} \quad (13)$$

- iii) **Estimativa de custo de acabamento da cavidade:** Os custos de acabamento costumam representar de 5 a 30% do custo total do molde. Tendo na Equação 14 o custo de acabamento, $C_{acabamento\ da\ cavidade}$, sendo a multiplicação entre o tempo de acabamento da cavidade, $t_{acabamento\ da\ cavidade}$, e a taxa de mão de obra com acabamento, $R_{taxa\ de\ acabamento}$.

$$C_{finalização\ da\ cavidade} = t_{finalização\ da\ cavidade} \times R_{taxa\ de\ finalização} \quad (14)$$

3. **Estimativa de custo de customização do molde:** Por fim, finalizando a estimativa de custos totais do molde, na Equação 15 tem-se o custo de

customização do molde que está relacionado ao tamanho da base do molde, ao custo da cavidade e as tecnologias específicas. Portanto, dentre os termos da equação tem-se: tem-se $f_{customização\ da\ cavidade}^i$ representando os fatores que norteiam os custos de customização do molde e $f_{customização\ molde}^i$ os fatores que norteiam os custos de personalização da base do molde. A soma sobre i é a personalização adicional para cada sub-sistema do molde, seja sistema de alimentação, refrigeração, ejeção e outros. Na Tabela 8 é apresentado coeficientes de custos para cavidade e base do molde, compilando apenas os sistemas de interesse deste trabalho, destacando o tipo de conjunto em cada sistema. Sendo uma adaptação dos coeficientes de custos presente em tabelas de sistemas em Kazmer (2016).

$$C_{customização} = C_{cavidades} \times \sum_i f_{customização\ da\ cavidade}^i + C_{base\ molde} \times \sum_i f_{customização\ molde}^i \quad (15)$$

Tabela 8 – Coeficientes de custos dos sistemas.

Sistemas	Coeficiente de custo da cavidade	Coeficiente de custo do molde
Coeficiente de custo do sistema de alimentação para sistema de canal frio de duas placas	0,05	0,1
Coeficiente de custo do sistema ejetor pinos ejetores redondos	0,1	0,1
Coeficiente de custo do sistema estrutural para pilares de suporte	0,0	0,1

Fonte: Extraído de Kazmer (2016).

2.2 ESTADO DA ARTE

A RSL desenvolvida teve o objetivo de conhecer os: direcionadores de custos presentes em modelos de custeio de manufatura de ferramental moldante, direcionadores de custos em modelos de custeio baseados no método ABC e, por último, buscar técnicas de custeio para componentes de moldes de injeção plástica.

Na Tabela 9 é apresentado um resumo com os direcionadores de custos encontrados nos trabalhos que foram aprovados após passar na triagem seguindo os critérios de aceitabilidade, também é fornecido a abordagem de custo adotadas pelos autores, assim

como a tecnologia que foi estudada. Os trabalhos com abordagem de custo baseado em método corresponde a estudos com método próprio desenvolvido, sem a identificação de um artefato conhecido para o problema do referido estudo. Boa parte dos trabalhos eram relacionados a comparação de tecnologias, portando eram abordados mais de um no mesmo trabalho. Vale salientar que as linhas preenchidas com hífen são de trabalhos aprovados na triagem, mas foram usados como embasamento de novas pesquisas, usados para ter conhecimento de quais temas eram importantes para compor a pesquisa. Sendo assim, segue os trabalhos avaliados na RSL.

Tabela 9 – Lista de documentos que entraram para a pesquisa e seus respectivos direcionadores de custos.

Referência	Direcionador de Custo	Abordagem de custo	Tecnologia de fabricação
Tosto, Pergolizzi e Cicala (2022)	Custo _{material}	Baseado em método	MA - FDM
	Custo _{energia para máquina}		MA - FFF MA - LCD
Moshiri et al. (2022)	Custo _{mão de obra para setup de máquina}	Baseado em método	MA- LPBF
	Custo _{energia para máquina}		Usinagem
Previtali et al. (2017)	Custo _{material}	Baseado em método	MA - SLM
	Custo _{desperdícios}		
	Custo _{ferramenta}		
	Custo _{energia para máquina} Custo _{indiretos}		
Slama et al. (2023)	Tempo de produção	Baseado em método	MA
	Número de peças injetadas		Injeção plástica
	Taxa de retorno		
	Lucro		
Manogharan, Wysk e Harrysson (2016)	Tempo de setup	Baseado em método	MA - EBM
	Altura da peça		Usinagem
	Somatório da área da seção transversal de cada camada		

Continua na próxima página.

Tabela 9 – Continuação da página anterior.

Referência	Direcionador de Custo	Abordagem de custo	Tecnologia de fabricação
	Tempo de pós-processamento		
Tang, Eversheim e Schuh (2004)	Custo _{material} Custo _{usinagem}	Baseado em método	Usinagem
Dippenaar e Schreve (2013)	Custo _{material} Custo _{fabricação}	Baseado em método	MA - FDM
Tseng e Jiang (2000)	-	-	-
Atzeni e Salmi (2012)	Custo _{material} Custo _{energia para máquina}	Baseado em método	Fundição MA - SLS
Wei et al. (2021)	Custo _{material} Custo _{energia para máquina} Custo _{fabricação}	Baseado em método	MA - LDD
Favi et al. (2021)	-	-	-
Kadir, Yusof e Wahab (2020)	-	-	-
Franchetti e Kress (2017)	Custo _{material da MA} Custo _{material da injeção} Custo _{componente padrão} Custo _{cavidade injeção} Custo _{acessório injeção} Custo _{mão de obra máquina MA} Custo _{fabricação MA} Custo _{fabricação injeção} Custo _{mão de obra máquina injeção}	Baseado em método	MA - FDM Injeção plástica
Singh, Joshi e Patil (2022)	Custo _{material} Custo _{canal}	Baseado em método	Injeção plástica
Mandolini et al. (2020)	Custo _{material} Custo _{mão de obra para máquina}	Baseado em tarefa	Forjamento

Continua na próxima página.

Tabela 9 – Continuação da página anterior.

Referência	Direcionador de Custo	Abordagem de custo	Tecnologia de fabricação
	Custo _{energia para máquina} Custo _{consumíveis} Custo _{acessórios} Custo _{resíduos}		
Bouaziz, Younes e Zghal (2006)	Custo _{fabricação}	Baseado em método	Usinagem
Fera et al. (2017)	Custo _{mão de obra para máquina} Custo _{fabricação}	Baseado no tempo	MA
Campi et al. (2020)	-	-	-
Canellidis, Giannatsis e Dedousis (2009)	Custo _{material} Custo _{fabricação} Custo _{acessório}	Baseado em método	MA - SL
Xu, Sanchez e Njuguna (2014)	Custo _{mão de obra para máquina} Custo _{fabricação} Custo _{material}	Baseado em ABC	Forjamento
Tosello et al. (2019)	Custo _{material} Custo _{fabricação} Custo _{indiretos} Custo _{aquisição do molde}	Baseado em método	AM - SL Injeção plástica
Surace et al. (2023)	Custo _{material} Custo _{fabricação} Custo _{mão de obra para máquina}	Baseado em método	AM - (L-PBF)
Ponticelli et al. (2023)	Custo _{material} Custo _{fabricação} Custo _{mão de obra para máquina}	Baseado em método	AM - FDM
Thomas (2016)	-	-	-

Continua na próxima página.

Tabela 9 – Continuação da página anterior.

Referência	Direcionador de Custo	Abordagem de custo	Tecnologia de fabricação
Kumar et al. (2018)	Custo _{ferramenta de corte} Custo _{fabricação} Custo _{mão de obra para máquina}	Análise de ciclo de vida	Usinagem
Colosimo, Cavalli e Grasso (2020)	Custo _{corte} Custo _{fabricação} Custo _{inspeção}	Baseado em método	AM - LPBF
Asiedu e Gu (1998)	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Atzeni e Salmi (2012) fornece um modelo de análise de custos para peças feitas por sintetização a laser. Os direcionadores de custos contemplam o custo de material, custo de pré-processamento, processamento e pós-processamento. Tendo a seguir a forma como cada direcionador foi calculado:

- Custo de matéria prima por peça = massa de material em quilograma × custo de material por quilograma;
- Custo de pré-processamento por peça = custo do operador da máquina por hora × (tempo de configuração por impressão número de peças produzidas por impressão);
- Custo de processamento = custo da máquina por impressão número de peças projetadas;
- Custo de pós-processamento = (Custo de operação da máquina por hora × tempo de pós-processamento por impressão × custo de tratamento térmico por impressão) número de peças projetadas.

(FRANCHETTI; KRESS, 2017) estruturar os custos da Manufatura Aditiva e, em paralelo, do processo de injeção plástica, apresentando uma modelagem da função de custo energético da máquina de impressão, Equação 16, e da máquina de injeção plástica, Equação 17.

$$Energia_{aditivo} = \left(\sum_n^N \frac{0.001(w) * t_{aquecimento}}{3600} + \frac{0.001(w) * t_{execucao}}{3600} \right) \quad (16)$$

$$Energia_{injecao} = \left(\sum_n^N \frac{0.001(w) * t_{configuracao}}{3600} + \frac{0.001(w) * t_{execucao}}{3600} \right) \quad (17)$$

Por fim, Xu, Sanchez e Njuguna (2014) fornece uma estimativa de custos para avaliar a relação custo-benefício entre alternativas de recuperação de componentes automotivos em fim de vida. Dentre a análise de final de ciclo de vida, é aplicada a seguinte metodologia: 1) entender os requisitos da estimativa de custos, 2) selecionar a técnica de estimativa de custos, 3) desenvolver estrutura analítica de custos, 4) Identificar direcionadores de custos, 5) desenvolver relacionamentos de estimativas de custos, 6) coletar dados, 7) implementar modelo de custos, 8) validar o modelo de custos. A técnica selecionada foi o ABC e foi montada uma estrutura analítica de custos com todas as atividades e custos.

Para detalhes de protocolo de busca e triagem dos documentos estão, no Apêndice deste referido trabalho tem o arquivo completo sobre o estudo de RSL realizado.

3 METODOLOGIA

Segundo Severino (2014), o método científico consiste na união de uma série de passos organizados logicamente e de procedimentos específicos utilizados para realizar uma atividade que permita compreender como determinados fenômenos estão interligados. Lacerda et al. (2013) orienta sobre a condução da pesquisa na engenharia, tendo como base os conceitos da “Ciência do Artificial” ou “Ciência do Projeto” Design Science (Pesquisa em Ciência) (DS) estudada por Simon (1996) e a metodologia por trás dessa ciência. Dessa forma, o objetivo deste capítulo é apresentar como cada etapa do método de DSR é aplicada no desenvolvimento deste trabalho, além de relatar os procedimentos metodológicos adotados na construção da solução proposta para o problema introduzido.

3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

Simon (1996) apresenta o conceito de DS, começando pela diferença entre a ciência natural e a ciência artificial. A ciência natural é compreendida como o conhecimento sobre coisas, objetos ou fenômenos do mundo, sendo indiscutivelmente representada pelas ciências físicas e biológicas. Já a ciência artificial é definida como aquilo que é feito pelo homem e não pela natureza. Simon (1996, p. 5) também identifica distinções entre o artificial e o natural:

- 1) Coisas artificiais são sintetizados.
- 2) Coisas artificiais podem imitar aparências em coisas naturais, mas não possuem, em um ou muitos aspectos, a realidade das coisas naturais.
- 3) Coisas artificiais podem ser caracterizadas em termos de funções, objetivos e adaptação.
- 4) Coisas artificiais são frequentemente discutidas, particularmente quando estão sendo projetadas, em termos de imperativos e também descritivos.

Lacerda et al. (2013) define as classes de problemas e os tipos de artefatos como “objetos centrais do conhecimento em DS”. Tendo as classes de problemas, segundo Lacerda et al. (2013, p. 747), como sendo:

A organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para a ação nas organizações.

Lacerda et al. (2013) exemplifica ainda a questão da classe de problemas, que, para o problema central deste trabalho, se enquadra na de mensuração dos custos. O autor traz ainda alguns artefatos existentes na literatura para essa classe de problemas, como: Contabilidade de Ganhos, Custeio Baseado em Atividades e Unidades de Esforços de Produção. Devido ao ineditismo do estudo, às vantagens identificadas por meio do RSL, limitou-se a adoção do ABC neste trabalho.

A identificação de artefatos para uma dada classe de problemas obedece a uma lógica, assim pontuada por Lacerda et al. (2013). Inicia-se com a identificação de um

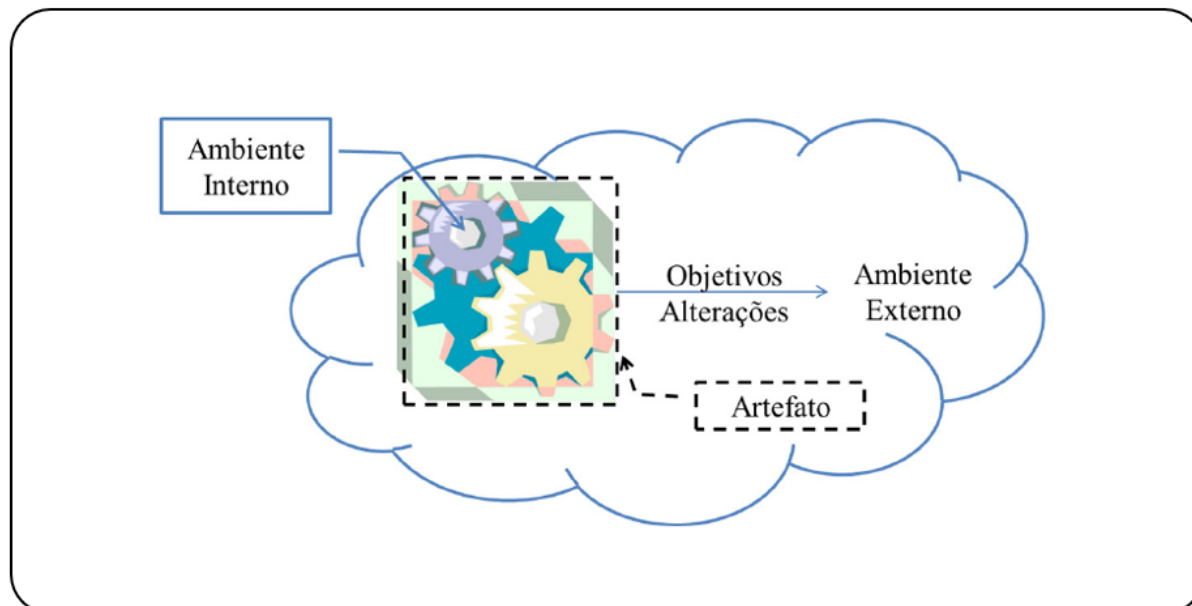
problema teórico ou prático, apontando sua relevância ou importância. A partir desse ponto, é necessário definir objetivos e metas que possam conduzir à sua satisfatória solução. Como etapa seguinte, realiza-se uma RSL para mapear soluções, isto é, artefatos já desenvolvidos para o problema em questão.

Sobre as coisas artificiais, Simon (1996) analisa sob o prisma funcional ou de seu propósito. Afirma que seu cumprimento está correlacionado a três termos: o propósito ou objetivo, o caráter do artefato e o ambiente no qual o artefato é empregado. A DS impacta o artefato por dois desses três termos, definindo-o pela estrutura do próprio artefato e pelo ambiente em que ele atua. Dessa forma, abstrai o artefato da seguinte forma:

Um artefato pode ser pensado como um ponto de encontro, uma "interface" nos termos atuais entre um ambiente "interno", a substância e organização do próprio artefato, e um ambiente "externo", os arredores nos quais ele opera. (SIMON, 1996, p.6)

Conforme representado na Figura 14 e expresso por Simon (1996), pode-se observar o emprego do artefato como algo para organizar o ambiente interno, com o objetivo de operar no ambiente externo.

Figura 14 – Caracterização do Artefato.

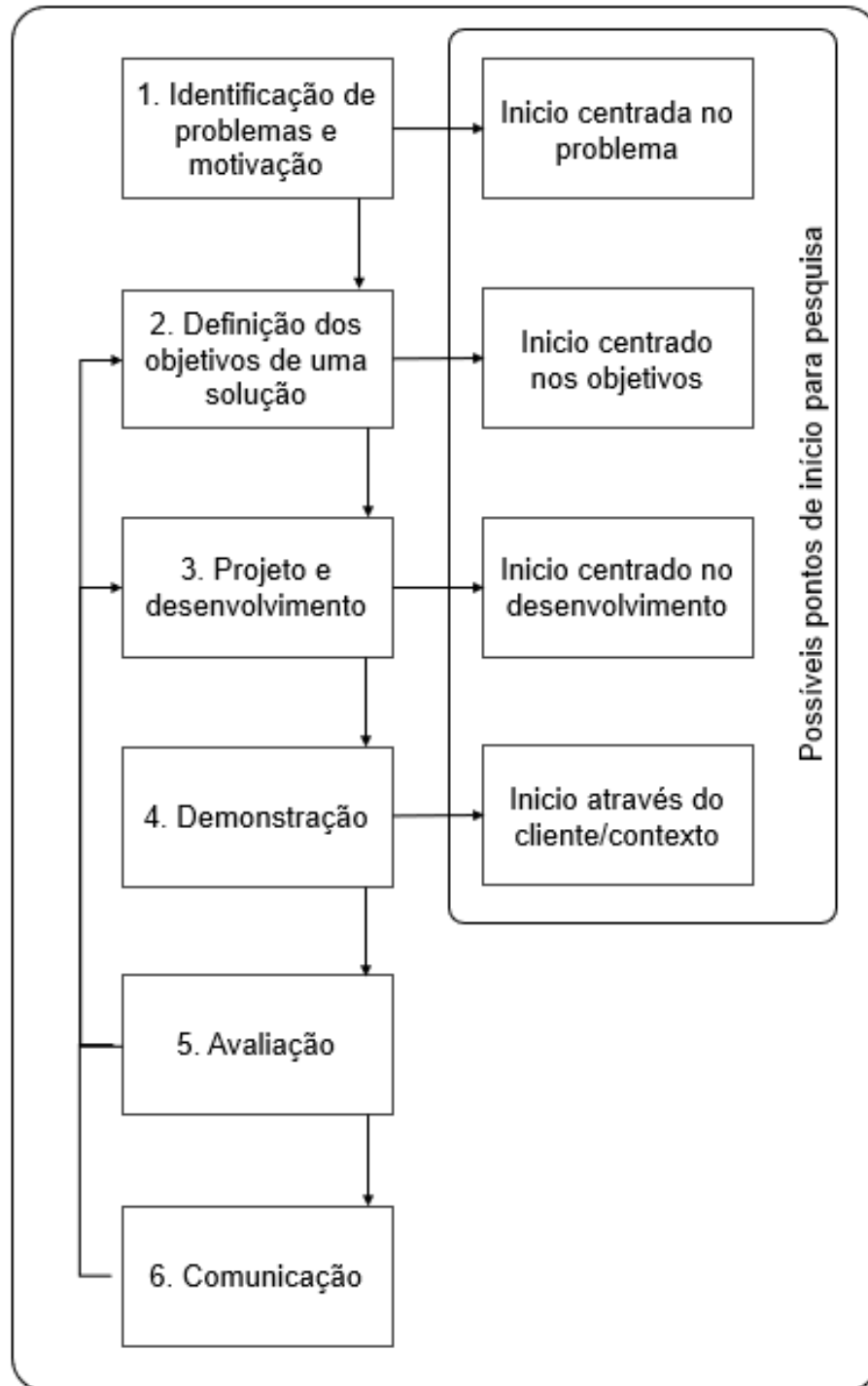


Fonte: Concebido por Lacerda et al. (2013).

A proposição de uma metodologia para DSR foi realizada por Peffers et al. (2007), que expõe um modelo de processo composto por seis etapas, apresentadas na Figura 15 e discutidas, na lista enumerada abaixo, quanto à implantação de cada etapa para o desenvolvimento desta pesquisa. O método proposto indica o início pela observação de um problema, seguindo nominalmente uma sequência até a sexta etapa; contudo, permite

a possibilidade de iniciar em qualquer etapa. Neste trabalho, seguiu-se a ordem nominal, iniciando pela primeira etapa, com a investigação partindo da análise do problema.

Figura 15 – Diagrama da metodologia DSR para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Adaptado de (PEFFERS et al., 2007).

- 1. Identificação de Problemas e Motivação:** Nessa etapa ocorre a definição do problema e a justificativa da pesquisa, atribuindo valor ao desenvolvimento de

uma solução (PEFFERS et al., 2007). Nesta pesquisa, essa etapa está detalhada nas seções 1.2 e 1.3, sendo a definição do problema originada com base na complexidade de orçar o molde de injeção de polímero, devido ao tempo e aos recursos humanos necessários para estimar o custo de todo o conjunto mecânico.

2. **Definição dos Objetivos de uma Solução:** Neste momento, os objetivos da solução são definidos a partir da clara compreensão do problema e do conhecimento sobre o que é possível e viável (PEFFERS et al., 2007). O desenvolvimento desta etapa está aprofundado na seção 1.5, retratando o objetivo central de oferecer uma alternativa para a orçamentação de peças plásticas injetadas ou impressas aditivamente. Assim, são estabelecidos o objetivo geral e três objetivos específicos para orientar a elaboração e a validação da solução.
3. **Projeto e Desenvolvimento:** Neste estágio, segundo Peffers et al. (2007), ocorre a criação do artefato, definindo sua funcionalidade. Como artefato utilizado, o ABC, foi definido para o problema apresentado, incrementado por uma contribuição específica: sua implementação no processo de custeio da fabricação de insertos poliméricos para moldes híbridos. Essa implementação dá origem ao método que constitui o tema do trabalho e a solução para o problema proposto. O detalhamento da arquitetura do método, objeto de interesse, encontra-se nas seções 3.2 e 3.3, onde são descritos todos os procedimentos adotados em seu desenvolvimento.
4. **Demonstração:** Nessa fase, Peffers et al. (2007) afirma que deve ocorrer a demonstração do artefato desenvolvido por meio da resolução de instâncias do problema. O desdobramento detalhado dessa etapa encontra-se no capítulo 4, mediante estudos de caso envolvendo a experimentação de cavidades impressas para moldes híbridos, destinadas à injeção de uma peça pré-estabelecida, injetada por meio da máquina Arburg Allrounder 320 C Golden Edition, localizada no Laboratório de Manufatura da UFSC Joinville. A experimentação envolve a aplicação da metodologia elaborada e o uso do método tradicional de custeio em insertos avaliados quanto ao desempenho na injeção da peça plástica, bem como em peças impressas aditivamente destinadas ao consumidor final.
5. **Avaliação:** A etapa de avaliação, segundo Peffers et al. (2007), corresponde à avaliação do artefato desenvolvido, verificando sua capacidade de resolver problemas reais e apresentar resultados concretos. Essa etapa exige o domínio de métricas relevantes e de técnicas de análise (PEFFERS et al., 2007). O desenvolvimento detalhado dessa etapa encontra-se no capítulo 5, no qual são avaliados os custos finais, diretos e indiretos, obtidos por pelo método proposto e o método de Kazmer (2016), sendo extraídas as diferenças numéricas e percentuais. Além disso, é realizada uma análise comparativa entre os métodos em

cada estudo de caso.

6. **Comunicação:** Segundo Peffers et al. (2007), a etapa de comunicação consiste na divulgação do problema, do artefato criado, de sua aplicação e de sua eficácia para os pares acadêmicos ou outros públicos relevantes. Ao final do desenvolvimento deste trabalho, está prevista a sua divulgação em congressos acadêmicos, jornais e revistas especializadas na fabricação de peças plásticas.

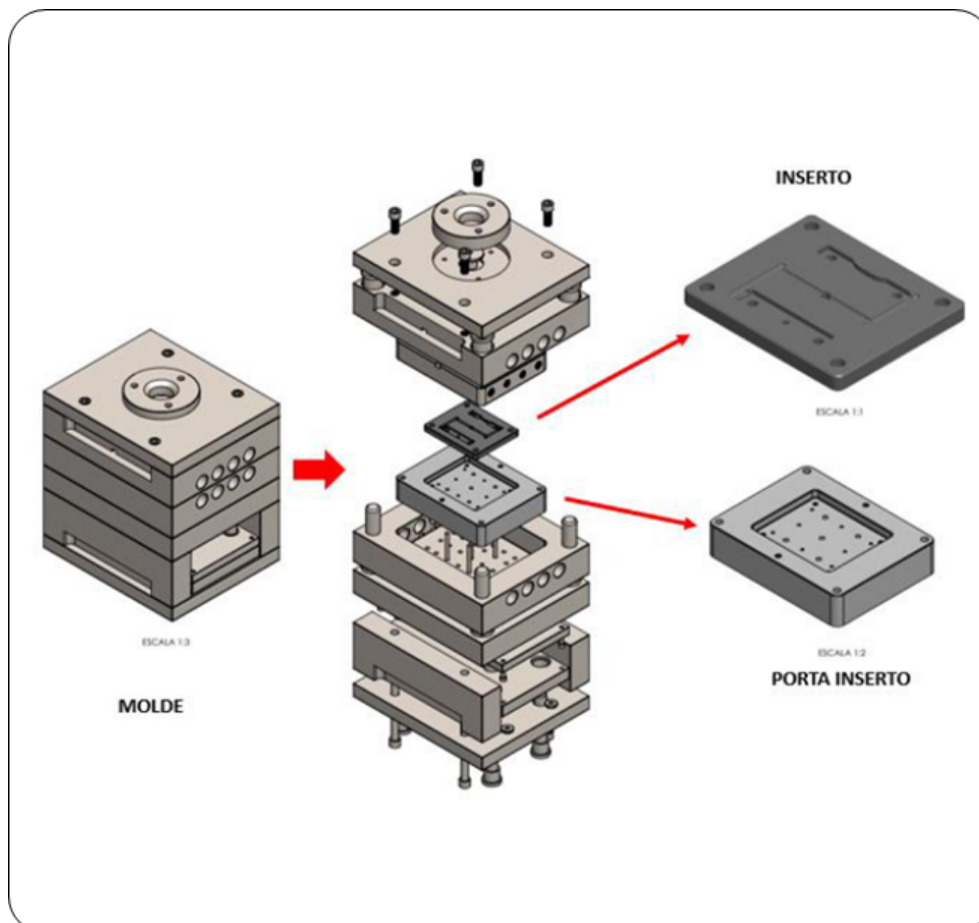
3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho incluem tanto aqueles já estudados em caracterizações mecânicas e térmicas por autores como Luciano (2021), Damasceno (2024) e Vasconcelos et al. (2020), quanto materiais inéditos, porém provenientes do mesmo projeto do qual a UFSC faz parte: DEMIBAV. Considerando que um dos objetivos deste trabalho é analisar a viabilidade econômica dos insertos de cavidade produzidos com diferentes materiais, tornou-se necessário avaliá-los à luz da quantidade de peças injetadas. Tal análise não poderia ser realizada de forma isolada, exigindo o complemento com os valores de outros componentes que integram o conjunto do molde.

Os materiais envolvidos neste estudo referem-se ao conjunto molde representado na Figura 16, ou seja: a base do molde, os insertos de cavidade, o porta-inserto, as máquinas de impressão e de cura utilizadas no processo de fabricação, bem como a máquina de injeção. Tais elementos são detalhados na lista a seguir, com os orçamentos disponibilizados nos anexos deste trabalho:

1. **Porta molde:** Em Luciano (2021) é visto o porta molde de injeção plástica da empresa MDL utilizado como material de estudo neste trabalho, anteriormente apresentado na Figura 13. Com referencial no catálogo da empresa — Série 25.30, de aço SAE 1045, espessura das placas de suporte da cavidade 60 mm, curso de placa extratora 50 mm, tipo C e montagem B1 — e considerando que o orçamento da empresa foi realizado em 2014, atentou-se para a defasagem do custo real. Por isso, realizou-se um novo orçamento com a empresa Polimold usando a referência mais próxima da citada; entretanto, pela inexistência exata, optou-se pela imediatamente superior, que é: Série 25.30, Tipo 2, Subsérie 33, Aço 1045, Curso 3, Montagem 2A. O valor do orçamento fornecido pela empresa para o porta molde foi de R\$ 8.793,00.
2. **Insertos de cavidade:** Na Tabela 10 é reunido todos os insertos abordados no trabalho, sendo, daqui para frente, quando se referir a um dado inserto, será identificado pelo número presente na tabela. A tabela reúne os dados de massa, tecnologia, material, custos do material e fonte dos orçamentos e dado de massa para cada material.

Figura 16 – Molde híbrido representado em vista explodida, destacando a base do molde, o porta-inserto e o inserto de cavidade, utilizados em injeções realizadas no laboratório da UFSC.



Fonte: Extraído de Damasceno (2024).

A Figura 17 apresenta os oito insertos mencionados, seus respectivos materiais e a geometria comum a todos. Os insertos 1 e 2 são descritos no trabalho de Vasconcelos et al. (2020), onde foram fabricados pela técnica de FDM na impressora Creality modelo Ender 3, seguindo os materiais e configurações: PLA com preenchimento de 100% e ângulos de saída para favorecer a extração, Figura 17a, e PLA com 20% de fibra de carbono seguindo a mesma configuração, Figura 17b. Os insertos 3 e 4 são apresentados em Damasceno (2024), sendo feitos de PETG, Figura 17c, e PETG com 20% de fibra de carbono, Figura 17d, respectivamente, ambos com 100% de preenchimento e fabricados pela mesma tecnologia, máquina e configuração dos insertos de Vasconcelos et al. (2020). Os insertos 6 e 7 foram estudados por Silva (2025), sendo o inserto 6 fabricado com resina 3D standard clear pela impressora Creality modelo LD-002H de tecnologia SLA, Figura 17e, e o inserto 7, Figura 17f, feito com resina de alta

Tabela 10 – Resumo de insertos avaliados nesse trabalho.

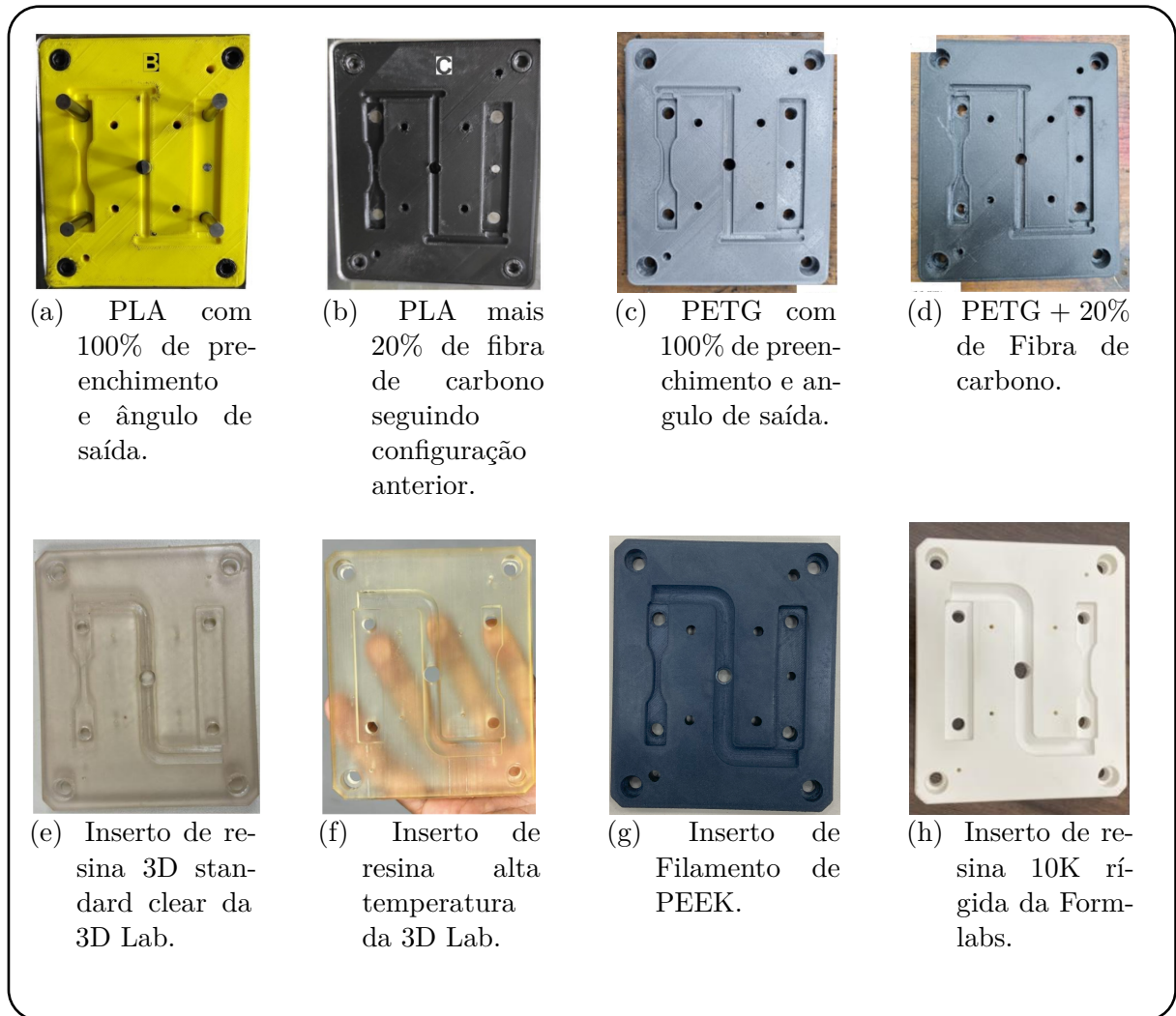
Nº	Massa [g]	Tecnologia	Material	Custo do material [$\frac{R\$}{g}$]	Fonte do valor
1	148	FDM	PLA	0,159	Creality (2025a)
2	162	FDM	PLA + 20% de Fibra de carbono	0,225	Creality (2025b)
3	152	FDM	PETG	0,150	Slim3D (2025b)
4	168	FDM	PETG + 20% de Fibra de carbono	0,240	Slim3D (2025a)
5	155	FDM	Polyetheretherketone (Poliéter-éter-cetona) (PEEK)	0,587	Toldo (2025)
6	139	SLA	Resina fotossensível alta temperatura	0,326	3DLAB (2025a)
7	139	SLA	Resina fotossensível standard clear	0,199	3DLAB (2025b)
8	139	SLA	Resina fotossensível 10K rígida	3,540	Formlabs (2025)

Fonte: Própria do autor.

temperatura, ambas da marca 3D Lab. Também são abordados os insertos 5 e 8, que ainda estão em fase de documentação da caracterização. Na Figura 17g é apresentado o inserto 5, fabricado com filamento de PEEK por tecnologia FDM, e na Figura 17h está exposto o inserto 8, feito com resina 10K rígida da Formlabs, impressa pela tecnologia SLA.

- Máquinas de impressão 3D:** As máquinas utilizadas para imprimir cada inserto encontram-se na Figura 18. Os insertos 1 a 4 foram produzidos na máquina Creality Ender 3, de tecnologia FDM, apresentada na Fig. 18a, com potência nominal de 350 watts e valor de mercado de R\$ 1.772. O inserto 5 foi fabricado no equipamento Intamsys Funmat HT, da Fig. 18c, também de tecnologia FDM, potência de 1200 W e valor de mercado de R\$ 73.631. Os insertos 6 e 7 foram manufaturados pela máquina Creality LD-002H, da Fig. 18b, de tecnologia SLA e valor de mercado de R\$ 1.737. Por fim, o inserto 8 foi produzido pela máquina FormLabs Form 3L, tecnologia SLA, apresentada na Fig. 18d, com potência de 350 W e valor de mercado de R\$ 112.170.
- Máquinas de pós-processamento:** Na Figura 19, são apresentadas as máquinas de pós-processamento, dispositivos nos quais as peças recém-impressas passam por etapas destinadas a melhorar suas propriedades. Para o inserto 5, feito em PEEK, é necessário o recozimento em forno por 30 minutos, processo

Figura 17 – Insertos de cavidade fabricados por manufatura aditiva utilizando diferentes materiais poliméricos: (a) PLA, (b) PLA + FC, (c) PETG, (d) PETG + FC, (e) Resina standard, (f) Resina alta temperatura, (g) PEEK e (h) Resina 10K rígida. As imagens ilustram as variações geométricas e acabamentos superficiais antes dos ciclos de injeção.



Fonte: Extraído (1) e (2) de Vasconcelos et al. (2020); (3) e (4) de Damasceno (2024); (5) e (6) de Silva (2025); (7) e (8) elaborado pelo autor.

Figura 18 – Máquinas usadas para confeccionar cada inserto.



(a) Impressora de FDM Creality modelo Ender 3.



(b) Impressora de SLA Creality modelo LD-002H.



(c) Impressora de FDM INTAMSYS Funmat HT.



(d) Impressora de SLA FormLabs Form 3L.

Fonte: Própria do autor.

essencial para aprimorar as propriedades mecânicas e o acabamento superficial. Para tal utiliza-se o forno Mufla 25L de 1200°C, mostrado na Figura 19b. Os insertos 6 e 7, fabricados pela tecnologia SLA, requerem um processo de lavagem com álcool isopropílico por 5 minutos para remoção da resina não curada, seguido da etapa de cura em equipamento com luz ultravioleta, que promove a reação da resina por 30 minutos. Ambos os processos foram realizados no equipamento Anycubic Wash and Cure 2.0, apresentado na Figura 19a. Para o inserto 8, também produzido por SLA, utilizou-se o equipamento Form Wash L Figura 19c para limpeza com duração de 5 minutos, e o equipamento Form Cure L Figura 19d para a etapa final de cura por 30 minutos.

5. **Porta inserto:** Damasceno (2024) cita a fabricação do porta-inserto, apresentado na Figura 20, confeccionado em aço SAE 1045, após a definição das especificações da base do molde e do inserto, com a função de servir como suporte para os insertos de cavidade. O processo de desenvolvimento teve início com o objetivo de adequar-se ao porta-molde e permitir a montagem do inserto; posteriormente, foram realizadas furações para o sistema de extração e sensoriamento. Nas Figuras 20a e 20b, é possível visualizar a parte frontal e traseira do porta-inserto, respectivamente.
6. **Máquinas de Injeção:** Para a injeção dos corpos de prova, foi utilizada a máquina de injeção plástica Arburg Allrounder 320 C Golden, disponível no laboratório da UFSC – Joinville e apresentada na Figura 21. Destaca-se que a máquina possui potência nominal de 19.000 W.

Para maior organização e documentação, foram reunidos no Anexo A deste trabalho os orçamentos com os valores de mercado dos materiais utilizados nos insertos, material de limpeza, notebook utilizado no desenvolvimento, fatura de energia com a tarifa-base empregada nos cálculos, além das máquinas de impressão, máquinas de pós-processamento e do porta-molde fornecido pelas empresas MDL e Polimold. Também são apresentadas as folhas de detalhamento com as dimensões do porta-molde, porta-inserto e da geometria dos insertos, assim como os dados dos equipamentos utilizados nos processos de fabricação e pós-processamento, com destaque para a potência nominal das máquinas.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção é dedicada à apresentação do processo de escolha do método ABC, bem como à exposição dos passos adotados para a sua implementação, com o objetivo de demonstrar o custeio dos oito insertos mencionados nos materiais utilizados.

Figura 19 – Máquinas de pós-processamento usadas para dar acabamento na confecção de cada inserto.



(a) Estação Anycubic Wash e Cure 2.0.



(b) Forno Mufla 25L 1200°C.



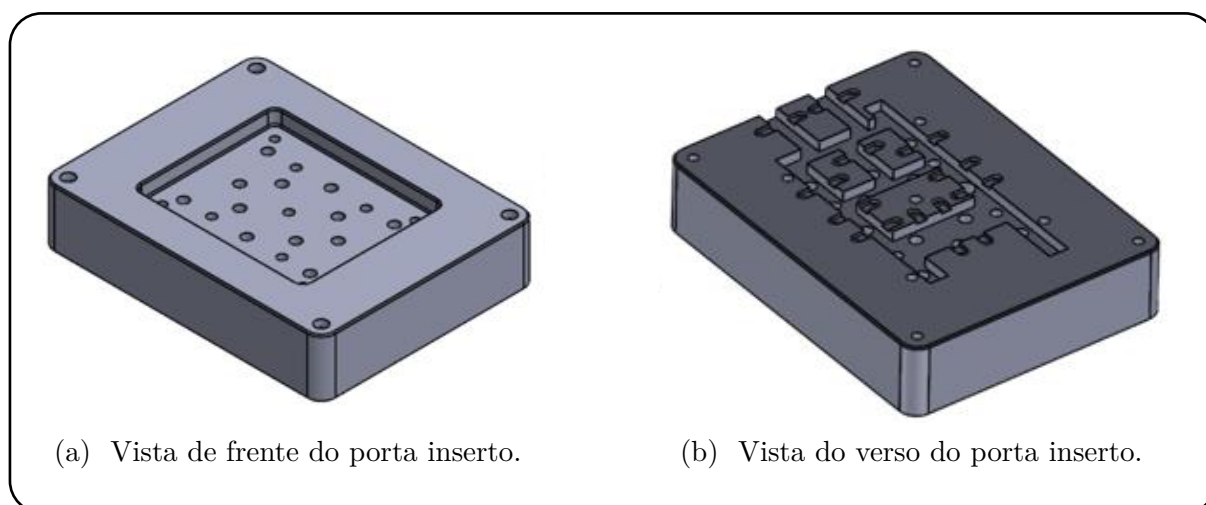
(c) Form Wash L.



(d) Form Cure L.

Fonte: Própria do autor.

Figura 20 – Frente e o verso do porta inserto detalhado em Damasceno (2024).



Fonte: Extraído de Damasceno (2024).

3.3.1 Escolha do Método de Custeio

Através da revisão bibliográfica realizada, reunindo informações sobre a descrição, os pontos positivos e negativos, bem como os apontamentos feitos em trabalhos selecionados na RSL, destacam-se as vantagens do método ABC em apresentar os custos de um produto

Figura 21 – Máquina de injeção plástica Arburg Allrounder 320 C Golden.



Fonte: Própria do autor.

de forma mais precisa, quando comparado aos métodos de custeio por absorção, custeio variável e RKW. Após avaliar a ausência de trabalhos relacionados ao custeio de insertos ou peças impressas utilizando esse método, mesmo após o mapeamento do estado da arte sobre componentes de moldes e métodos de custeio, definiu-se a implementação do ABC para a análise do custo do ferramental de moldagem.

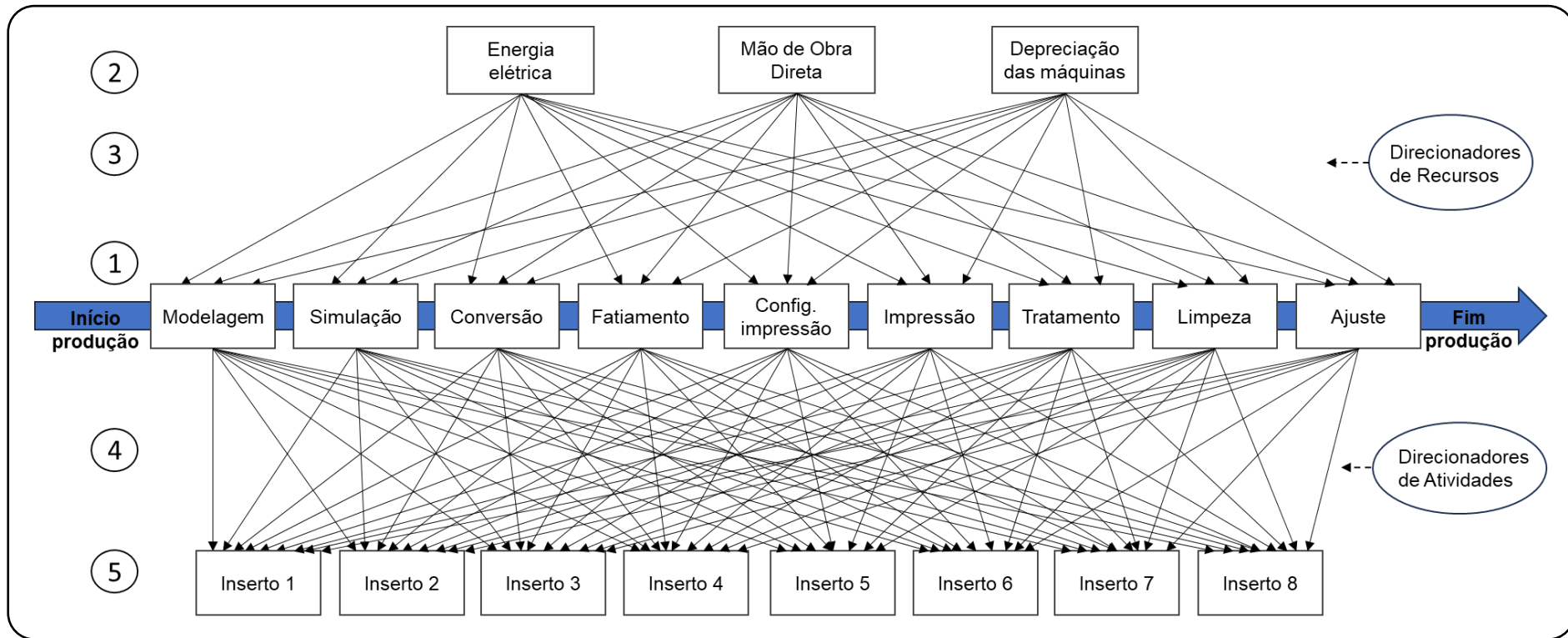
3.3.2 Coleta dos Dados

Os dados utilizados neste trabalho foram originados de pesquisas previamente desenvolvidas e mencionadas nos materiais, entrevistas com o técnico responsável pelas etapas de pré-processamento, processamento e pós-processamento, além da observação de casos inéditos em laboratório da UFSC. Todos os dados coletados foram organizados em colunas contendo: enumeração dos insertos, imagem de identificação, denominação do material, custo por grama do material, densidade, marca do material, máquina de processamento, valor de mercado da máquina, fonte do valor, tecnologia de processamento, potência da máquina de processamento, massa do inserto, quantidade de injeções suportadas pelos insertos sem deformações, horas para desenho do inserto, horas de simulação de enchimento do molde, horas de conversão de arquivo, horas de configuração da máquina de impressão, horas de impressão, horas de uso da máquina de cura, valor de mercado da máquina de cura, fonte do valor de mercado, potência nominal da máquina de cura, tempo de cura, quantidade de material de limpeza (álcool isopropílico) utilizado, horas de recozimento e valor da máquina de recozimento.

3.3.3 Implementação do Método Escolhido

Avaliando o processo de desenvolvimento do molde e extraindo o subprocesso para obtenção dos insertos, foi estabelecido o modelo presente na Figura 22, definindo os recursos, atividades e os insertos, com a distribuição dos direcionadores de recursos e de atividades. O modelo aloca os custos indiretos dos recursos aos insertos por meio dos direcionadores, destacando-se que os custos diretos empregados na produção são somados aos custos indiretos ao final da contabilização. Vale ressaltar que o modelo apresentado tem o propósito de representar, de forma abstrata, como ocorre o custeio dentro do processo produtivo, não refletindo necessariamente a totalidade dos direcionadores rateados.

Figura 22 – Esquema do modelo ABC para o custeio dos insertos.



Fonte: Própria do autor.

No nível de recursos, foram mapeados os recursos que melhor representariam os custos dos insertos, somados a um fator delimitador devido ao escopo do trabalho. Portanto, foram escolhidos: energia elétrica, mão de obra direta e depreciação das máquinas. Através dos direcionadores de primeiro estágio, os custos dos recursos são atribuídos às atividades. Esses direcionadores estão expressos em termos de kWh, hora-homem e hora-máquina.

O nível de atividades reúne todas as atividades necessárias para a confecção dos insertos. Essas atividades foram mapeadas por meio da observação do fluxo de processos para a fabricação dos insertos, sendo a sequência representada por setas azuis que remontam o processo produtivo. Quanto aos direcionadores de atividades, estes retratam a parcela da atividade consumida pelo produto, quantificada em horas demandadas para a execução de cada inserto. A enumeração nos balões indica a sequência dos níveis investigados no trabalho.

A implementação teve início com o processo de caracterização, reunindo informações básicas sobre a produção dos insertos, conforme discutido na seção anterior. Quatro pontos centrais nortearam essa etapa: volume de produção, tempo de produção e custos diretos associados. Após a conclusão da caracterização da produção, Martins e Rocha (2003) recomenda cinco passos para o emprego do método ABC. No entanto, foi realizada uma adaptação para adequar à realidade onde se desejava implementar o método, de modo que a ordem adotada foi a seguinte:

1. **Identificação das atividades relevantes:** Uma atividade é uma ação que utiliza recursos humanos, materiais e tecnológicos para produzir bens ou serviços (MARTINS; ROCHA, 2003). A partir do mapeamento das atividades desempenhadas para a confecção dos insertos, foi possível estabelecer os recursos necessários para realizá-las. Assim, foi elaborada uma matriz de correlação atividade versus recurso, onde era indicado com um “x” o recurso relacionado a cada atividade. Este passo corresponde aos níveis 1 e 2 do modelo ABC apresentado na Figura 22.
2. **Atribuição de custos às atividades:** Os custos de uma atividade abrangem todos os esforços dos recursos empregados para sua execução (MARTINS; ROCHA, 2003). Com os recursos identificados, foi calculada a contribuição de cada um para a atividade, ou seja, seu custo associado. Foram estabelecidas relações de custo como quilowatt-hora, homem-hora e hora-máquina, cujas sentenças estão descritas no capítulo seguinte. Após determinar as parcelas dos recursos atribuídas a cada atividade, a soma dessas parcelas, por linha de atividade, representa o custo total da atividade. Este passo corresponde ao nível 3 na Figura 22.
3. **Identificação e apropriação dos direcionadores de atividades:** Os direcionadores de segundo estágio, ou seja, os direcionadores de custo das atividades, indicam a parcela de contribuição de cada atividade para a execução de cada in-

serto, demonstrando como os insertos consomem as atividades. Nesta pesquisa, essa etapa corresponde a uma das informações de caracterização do problema: a coleta do tempo necessário para a execução de cada atividade em cada tipo de inserto. O tempo de execução foi o direcionador escolhido por ser o que melhor representava a relação entre as atividades e os insertos.

4. **Atribuição dos custos das atividades aos insertos:** O cálculo do custo do produto foi precedido por três fatores: o custo unitário do direcionador, Equação 25, o custo da atividade atribuída ao produto, Equação 25, e o custo da atividade por unidade de produto, Equação 25, todos demonstrados nesta etapa no Capítulo 4. A seguir, foram apresentados os custos unitários de cada atividade. Ao final, a soma dos custos de todas as atividades, somada ao custo direto dos materiais específicos de cada inserto, representa o custo total do inserto. Por fim, é elaborado um demonstrativo de resultados com os valores de custo por componente, no qual os custos dos insertos são discriminados em função dos custos diretos e indiretos.

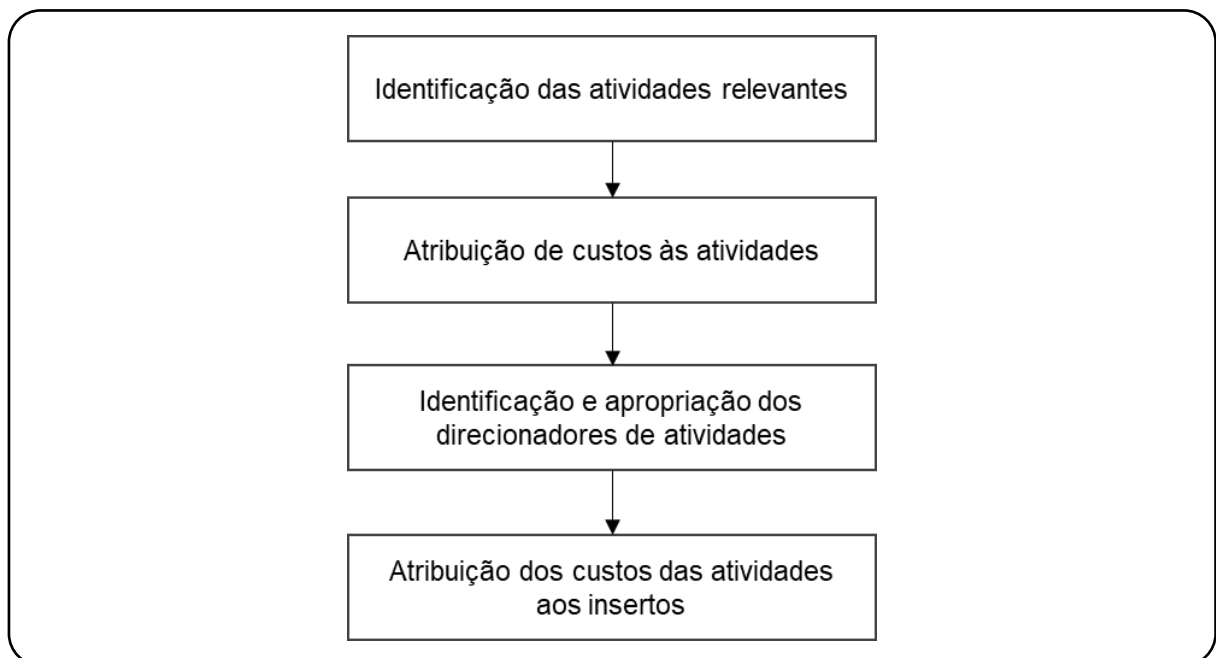
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

A aplicação ocorre no contexto da caracterização físico-mecânica de insertos de cavidade feitos por impressão 3D, destinados a moldes híbridos, com a injeção do polímero PP H105 da Braskem. Os insertos de cavidade foram detalhados no capítulo anterior, assim como todo o equipamento utilizado para fabricação, tratamento e limpeza. Utilizando tempos de processo, valores de mercado e dados de potência nominal, foi introduzida à metodologia desenvolvida para a devida aplicação. Este capítulo apresenta a implementação do método de custeio nos insertos de cavidade, seguindo as etapas de aplicação do método ABC adaptado para este trabalho.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE CUSTEIO

O processo de implementação do método ABC resultou da junção entre as instruções encontradas na literatura e o processo de aquisição do conjunto molde de injeção presente no laboratório. Aprofundando o que foi abordado sobre a implementação do ABC na Seção 3.3.3, para a aplicação proposta, a Figura 23 apresenta o fluxo de etapas estabelecido, o qual será discutido etapa por etapa nas subseções posteriores.

Figura 23 – Fluxo de etapas para implementação do método ABC.



Fonte: Própria do autor.

Para a implementação são analisados os insertos de cavidade abaixo e apresentado no capítulo anterior, buscando o custo para produção de uma única unidade de cada inserto.

- **Inserto 1:** PLA com 100% de preenchimento;
- **Inserto 2:** PLA mais 20% de fibra de carbono;
- **Inserto 3:** PETG com 100% de preenchimento;
- **Inserto 4:** PETG mais 20% de fibra de carbono;
- **Inserto 5:** PEEK com 100% de preenchimento;
- **Inserto 6:** Resina 3D standard clear;
- **Inserto 7:** Resina alta temperatura;
- **Inserto 8:** Resina 10K rígida.

O tempo, em horas, dispendido por cada atividade para a produção unitária de cada inserto de cavidade pode ser observado na Tabela 11. Os tempos das etapas de pré-processamento: modelagem, simulação, conversão, fatiamento e configuração da máquina, foram registrados com base em entrevista com um colaborador. Como essas etapas são realizadas uma única vez e reutilizadas para os demais insertos, inclusive mantendo-se inalteradas mesmo com variações na quantidade de peças, os mesmos valores foram replicados para todos os insertos. Para a etapa de processamento, impressão, foi utilizado o tempo estimado pelo software de fatiamento para os insertos de 1 a 5, enquanto para os insertos de 6 a 8 foram utilizados dados provenientes de relatórios de atividades do projeto DEMIBAV. Já os tempos referentes ao pós-processamento: tratamento, limpeza e ajustes, foram novamente obtidos por meio de entrevista com o colaborador.

Na Tabela 12 consta os custos com material de composição e o material usado para limpeza, que no caso é o álcool isopropílico. Os custos com material de composição foram calculados da seguinte forma:

1. **Para os insertos de 1 a 4:** Foi realizado o fatiamento utilizando as configurações descritas em Vasconcelos et al. (2020) e Damasceno (2024), a fim de obter o volume de filamento necessário. Com base nesse volume, expresso em cm^3 , e na densidade do material, foi possível determinar a massa dos insertos. A partir do valor por grama do material, calculado com base no custo do rolo e sua massa total, obteve-se o custo do material para cada inserto.
2. **Para o inserto 5:** Neste caso, o software de fatiamento forneceu diretamente a massa da peça. Assim, o custo do material foi determinado dividindo-se o valor total do rolo pela sua massa em gramas, obtendo-se o valor por grama, que foi então multiplicado pela massa do inserto.
3. **Para os insertos de 6 a 8:** Como a produção desses insertos ocorreu mais recentemente, foi possível mensurar suas massas diretamente. A densidade dos materiais variou entre 1,1 e 1,3 g/cm^3 , o que gerou pequenas diferenças no custo por grama. No entanto, devido à baixa variação, adotou-se a divisão direta entre o valor total do material e sua massa indicada, obtendo o custo por grama. O

custo do material por inserto foi, então, obtido multiplicando-se a massa do inserto pelo custo unitário do material.

Como os insertos de cavidade de 1 a 5 são fabricados por meio da tecnologia FDM, não é necessário o uso de álcool isopropílico em sua limpeza. No entanto, para os insertos de 6 a 8, produzidos por meio da tecnologia SLA, o uso desse insumo é indispensável no processo de limpeza. Dessa forma, foi estipulado o consumo de 1 litro de álcool isopropílico por peça.

Tabela 11 – Tempo de execução de cada atividade por cada inserto de cavidade.

Inserto	1	2	3	4	5	6	7	8
Modelagem do conjunto de insertos [horas]	8	8	8	8	8	8	8	8
Simulação com Moldflow [horas]	8	8	8	8	8	8	8	8
Conversão do arquivo para extensão STL [horas]	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Fatiamento [horas]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Configuração da máquina de impressão [horas]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Impressão da peça do conjunto de insertos [horas]	10	10	10	10	19,6	8	8	8
Tratamento do conjunto de insertos [horas]	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5
Limpeza do conjunto de insertos [horas]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ajuste do conjunto de insertos [horas]	0	0	0	0	0,5	1	1	1
Total [horas]	27,333	27,333	27,333	27,333	37,933	26,833	26,833	26,833

Fonte: Própria do autor.

Tabela 12 – Custos diretos de fabricação dos insertos.

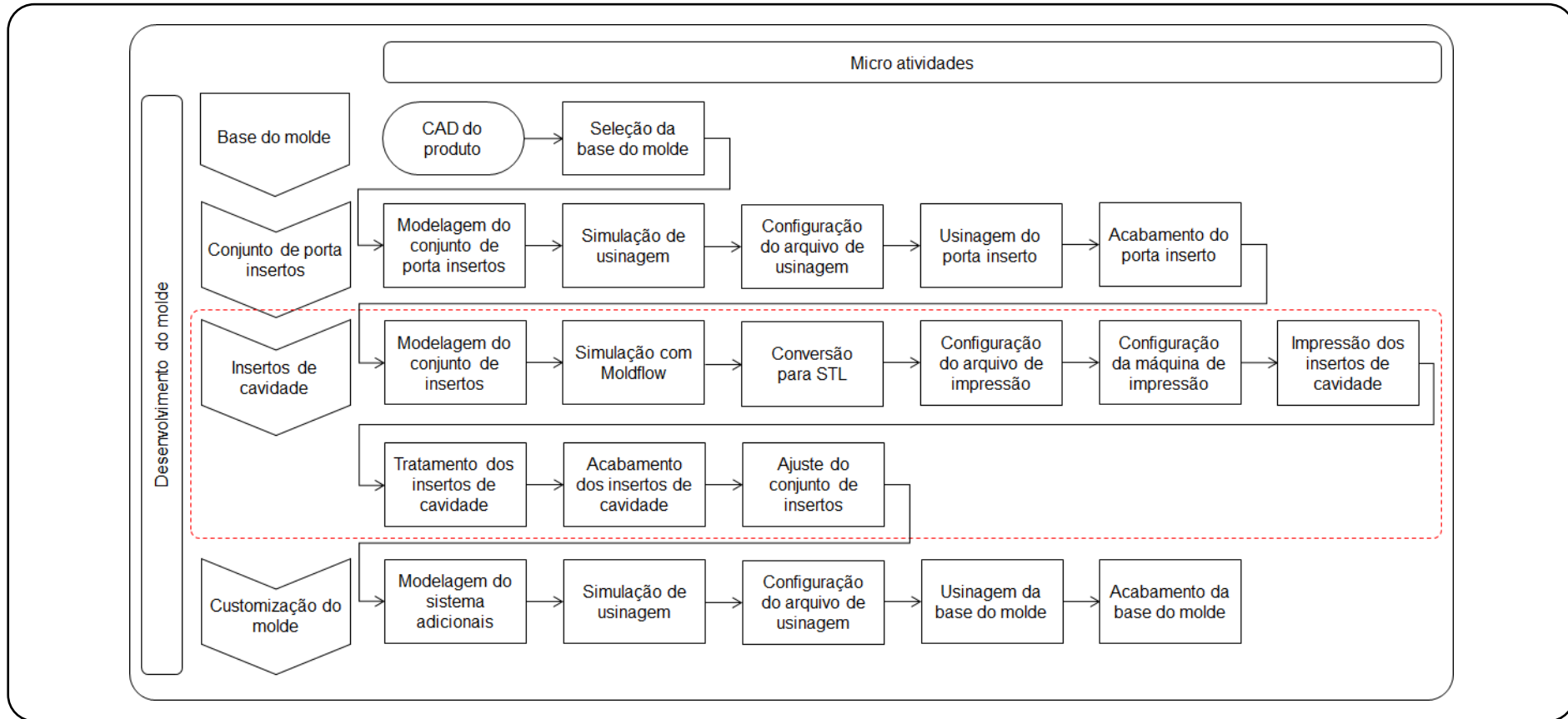
Inserto	1	2	3	4	5	6	7	8
Material de composição [R\$]	23,53	36,45	22,80	40,32	90,99	45,31	27,66	492,06
Álcool isopropílico [R\$]	0	0	0	0	25	25	25	25

Fonte: Própria do autor.

4.1.1 Identificação das Atividade Relevantes

A Figura 24 representa o fluxo de atividades envolvidas no desenvolvimento do molde de injeção plástica. As atividades delimitadas pelo retângulo tracejado em vermelho referem-se especificamente às etapas analisadas para o custeio dos insertos de cavidade. Esse fluxo foi elaborado com base nas atividades realizadas durante o processo de aquisição do conjunto molde disponível no laboratório da UFSC.

Figura 24 – Mapeamento de atividades no processo de desenvolvimento do molde usado para injeção de peças no laboratório da UFSC.



Fonte: Própria do autor.

O desenvolvimento do molde é estruturado em macroatividades segmentadas de acordo com os subconjuntos do conjunto molde de injeção, sendo eles: base do molde, par de porta-insertos, par de insertos de cavidade e, por fim, os conjuntos de customização. Após a definição dos subconjuntos, são traçadas as microatividades necessárias para a conclusão de cada macroatividade.

A ordem das atividades foi estabelecida conforme a sequência real de eventos ocorridos durante a aquisição do ferramental utilizado nas injeções. Como o conjunto molde tem aplicação exclusiva em pesquisa acadêmica, o fluxo foi mantido sucinto e objetivo.

A macroatividade correspondente à base do molde foi realizada por meio da seleção em catálogo de empresa fornecedora, após verificação dimensional do desenho do produto a ser injetado. Para o conjunto de porta-insertos, foi fornecido à ferramentaria parceira o modelo CAD do par, juntamente com o material-base, para execução da usinagem, conforme a sequência ilustrada no fluxograma. Já os pares de insertos de cavidade foram fabricados tanto nas dependências da UFSC quanto por parceiros externos, seguindo a mesma lógica de atividades. A etapa de customização do molde refere-se a sistemas adicionais desenvolvidos em trabalhos anteriores, não sendo objeto de análise neste estudo. Ressalta-se que todos os componentes mencionados foram detalhados no capítulo anterior.

As microatividades identificadas e analisadas em maior profundidade estão destacadas no retângulo tracejado em vermelho do fluxograma da Figura 24. Essas atividades estão listadas na Tabela 13 e discutidas nas subseções seguintes. Nessa mesma tabela, é apresentada a matriz de recursos por atividade, sendo marcado com “x” o recurso demandado por cada uma delas. O consumo de recursos é tratado no tópico seguinte.

1. **Atividade 1:** A modelagem do conjunto de insertos consiste na elaboração do modelo tridimensional, por meio de software de Desenho Auxiliado por Computador (CAD), do bloco que se encaixa no porta-inserto e apresenta a cavidade com o formato do corpo de prova definido na macroatividade da base do molde. Essa atividade demanda um computador, consumo de energia elétrica, mão de obra direta para operação e, como qualquer equipamento, sofre depreciação ao longo do tempo.
2. **Atividade 2:** A simulação com o software Moldflow contempla a análise do escoamento do material fundido no conjunto de insertos de cavidade, avaliando o desempenho da geometria modelada. Envolve a configuração do software, preparação do modelo e execução da simulação de preenchimento. Utiliza os mesmos recursos da etapa anterior: computador, energia elétrica, mão de obra e depreciação.
3. **Atividade 3:** Com os insertos já modelados e validados, é necessária a conversão do arquivo de CAD (geralmente no formato nativo do software) para o formato STL, compatível com os softwares de fatiamento. Essa etapa, também virtual,

utiliza novamente os recursos de energia elétrica, computador e mão de obra, além de considerar a depreciação do equipamento.

4. **Atividade 4:** O fatiamento transforma o modelo 3D (arquivo STL) em instruções (código G, por exemplo) legíveis pela impressora 3D. Nessa etapa são definidos os parâmetros de preenchimento interno, qualidade da superfície, suportes e demais ajustes de impressão. Por ser uma atividade computacional, demanda os mesmos três recursos: energia elétrica, mão de obra e depreciação do computador.
5. **Atividade 5:** A configuração da máquina de impressão envolve o carregamento do arquivo fatiado e o preparo da impressora, incluindo a calibração e a inserção do material de consumo. Essa etapa utiliza energia elétrica para funcionamento da máquina, mão de obra para operação e considera a depreciação do equipamento.
6. **Atividade 6:** A impressão é a atividade de fabricação propriamente dita, na qual as peças são produzidas camada por camada, seja por deposição de material ou por cura de resina. Consome energia elétrica e é sujeita à depreciação da impressora.
7. **Atividade 7:** O tratamento térmico e finalização do processo de cura variam conforme o material e a tecnologia de impressão. O inserto de PEEK requer recozimento para alcançar suas propriedades mecânicas ideais. Já os produzidos por SLA passam por pós-cura em equipamento com emissão de luz ultravioleta. Essa etapa envolve energia elétrica e depreciação dos equipamentos.
8. **Atividade 8:** A limpeza varia conforme a tecnologia utilizada. Para os insertos em FDM, realiza-se a remoção de pequenas rebarbas, enquanto os em SLA são imersos em cuba com álcool isopropílico para remoção da resina não curada. Essa atividade utiliza equipamentos específicos, demandando energia elétrica e sofrendo depreciação.
9. **Atividade 9:** O ajuste dimensional é realizado manualmente por meio de lixamento dos insertos que apresentaram dilatação excessiva após a impressão. Trata-se de uma atividade totalmente manual, consumindo apenas o recurso de mão de obra direta.

Tabela 13 – Matriz de Atividades x Recursos demandados para o desenvolvimento da macro atividade Insetos de cavidade.

Nº	Atividades	Descrição de Atividade	Recursos		
			Energia elétrica	Mão de obra direta	Depreciação das máquinas
1	Modelagem do conjunto de insertos	Elaboração do desenho em CAD do conjunto de insertos	x	x	x
2	Simulação com Moldflow	Analisar o desempenho fluidodinâmico de enchimento do conjunto de insertos	x	x	x
3	Conversão do arquivo para extensão STL	Geração do arquivo de leitura no software de fatiamento	x	x	x
4	Fatiamento	Configuração de preenchimento do inserto e geração do arquivo GCODE	x	x	x
5	Configuração da máquina de impressão	Seleção do arquivo, posicionamento de material e regulagem	x	x	x
6	Impressão da peça do conjunto de insertos	Ato de manufaturar as peças	x		x
7	Tratamento do conjunto de insertos	Inserir inserto no suporte, inserir insumo, produzir peça e material perdido;	x		x
8	Limpeza do conjunto de insertos	Limpeza da peça, material perdido;	x	x	x
9	Ajuste do conjunto de insertos	Inserir inserto no suporte, inserir insumo, produzir peça e material perdido;		x	

Fonte: Própria do autor.

4.1.2 Atribuição de custos às atividades

Os custos concentrados nos recursos são rateados através de direcionadores de custos de primeiro estágio às atividades. Esses custos são os custos indiretos mapeados no processo produtivo dos insertos de cavidade olhando o custo necessário para que a atividade seja realizada. Para tal foi estabelecido três recursos, visto que o foco do trabalho é mais tecnológico, visando dar um apontamento real apenas dos custos de fabricação dos insertos. Tendo assim como recursos:

1. **Energia elétrica:** Esse recurso é indispensável para o funcionamento de todos os dispositivos processamento e pós-processamento. Como teve insertos feitos em outros estados do Brasil, decidiu-se padronizar o custo de kWh para que houvesse uma comparação justa de custos entre os insertos. Portanto, adotou-se a tarifa da cidade de Joinville-SC para o grupo industrial: R\$ de 0,667.
2. **Mão de Obra Direta:** A mão de obra direta está relacionada as operações manuais realizadas por técnico responsável por operar computador para fazer modelagens, simulações, operar as máquinas de impressão, tratamento, limpeza ou mesmo dar acabamento com lixa aos insertos. Novamente, como alguns insertos não foram fabricados em Joinville, para uma justa comparação foi adotado o salário base, através de acordo sindical regional, para um Técnico em Mecânica em Joinville-SC de R\$ 2.478.
3. **Depreciação da máquina:** Como computadores, máquinas de impressão, máquinas de tratamento e máquinas de limpeza são considerados que após o fim do ciclo de vida seriam descartadas, já que são equipamentos que normalmente não passam por manutenção e com o tempo torna-se obsoletos. Para cálculo de depreciação desses equipamentos, como não existia um método pré-estabelecido, foi usado o método das quotas constantes sugerido e muito usado por várias empresas, sendo assim foi estabelecido a Equação 18 para esse cálculo. Onde o valor de custo é o valor do equipamento, o valor residual, nesse caso é zero visto que é considerado a inutilidade do equipamento após 10000 horas de operação previstas que justamente a vida útil, resultando em um custo de R\$ por hora.

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Valor de custo} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}} \quad (18)$$

A Tabela 14 apresenta o custo de cada dos direcionador de recursos para cada atividade, tendo a soma desses direcionadores o custo da atividade. A primeira coluna representa o número da atividade tendo sua correspondência na tabela anterior, as três próximas colunas representam os direcionadores de recursos, cada uma contendo os custos para realização de cada atividade, por fim na última coluna a soma desses custos.

Os custos dos direcionadores de energia elétrica para cada atividade foram calculados da seguinte forma:

Tabela 14 – Direcionador de recurso, custos dos direcionadores e custos das atividades.

Ativ. n.º	Direcionador de Recursos			Custo da atividade [R\$]
	Energia elétrica [kWh]	Mão de obra direta [hora-homem]	Depreciação das máquinas [hora-máquina]	
1	0,96048	103,25	0,1536	104,36408
2	0,96048	103,25	0,1536	104,36408
3	0,00996498	1,07121875	0,0015936	1,08277733
4	0,06003	6,453125	0,0096	6,522755
5	0,5659495	25,8125	4,909075	31,2875245
6	29,262624	-	243,91996	273,182584
7	1,904285	-	3,4375	5,341785
8	0,03335	51,625	2,91775	54,5761
9	-	45,171875	-	45,171875

Fonte: Própria do autor.

1. Custos dos direcionadores de energia elétrica para as atividades de

1 a 4: Essas atividades são contabilizadas apenas uma vez, visto que após realizadas para um inserto é repetido para as demais, logo se houver algum volume de produção deve ser contabilizado apenas uma vez sem multiplicar pelo volume. Usando a Equação 19 no Excel, foi calculado o custo dos direcionadores de energia elétrica para essas atividades, onde inicia-se com a verificação do volume de produção de todos os insertos, V , para que não haja contabilização desse direcionador quando não houver produção, em seguida calcular o custo do equipamento em kWh, deixando claro que o valor de 180 é a potência nominal em Watt de um notebook Dell G15 e o tempo da atividade é o tempo para se realizar em um dos insertos, 1000 é para deixar a unidade em kWh e a tarifa de energia é a discutida na apresentação dos recursos e que aparece em reais. Caso não haja volume de produção, para esses direcionadores, é retornado o valor de zero para que não dê erro no cálculo.

$$\text{Custo} = \begin{cases} \frac{180 \times \text{Tempo da atividade}}{1000} \times \text{Tarifa de energia}, & \text{se } V > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (19)$$

2. Custos dos direcionadores de energia elétrica para as atividades de

5 a 8: Foi usado a Equação 20, onde $T_{\text{total inserto } i}$ é o tempo multiplicado pelo volume de produção do inserto e $P_{\text{Máquina inserto } i}$ é a potência nominal da máquina responsável pelo processamento e pós-processamento do mesmo referido inserto, lembrando que os dados de potência da máquinas de impressão, tratamento e limpeza estão na seção 3.2 de materiais.

$$Custo = \frac{\sum_{i=1}^8 T_{\text{total inserto } i} \times P_{\text{Máquina inserto } i}}{1000} \times \text{Tarifa de energia} \quad (20)$$

Para os custos dos direcionadores de recurso de mão de obra direta seguiram a seguinte linha de cálculo:

1. **Custos dos direcionadores de recurso de mão de obra direta para as atividades de 1 a 4:** De maneira análoga ao custeio de direcionadores de energia elétrica, como essas atividades são feitas apenas uma vez os direcionadores devem ser contabilizadas da mesma forma. Na Equação 21 traz as sentenças condicionais usadas em célula no Excel para calcular o direcionador, onde se for detectado algum volume de produção, ou seja, $V > 0$ é calculado a hora-homem para aquela atividade, caso contrário é retornado zero para a célula.

$$Custo = \begin{cases} \frac{\text{Salário mensal}}{\text{horas trabalhadas}} \times \text{tempo da atividade,} & \text{se } V > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (21)$$

2. **Custos dos direcionadores de recurso de mão de obra direta para as atividades 5, 8 e 9:** Para essas atividades deve-se levar em consideração que o custo dos direcionadores é o custo de hora-homem multiplicado pela soma dos tempos para todos os insertos. Através da Equação 22 é calculado o custo dos direcionadores para essas atividades, onde a razão salário por horas de trabalho é a hora-homem e $\sum_{i=1}^8 t_i$ é o somatório dos tempos para todos os insertos, salientando que t é o tempo para realizar a atividade avaliada do dado inserto.

$$Custo = \frac{\text{Salário mensal}}{\text{Horas trabalhadas}} \times \sum_{i=1}^8 t_i \quad (22)$$

Os valores presentes dos direcionadores do recurso de depreciação das máquinas de impressão 3D seguiram a ordem de calculo segundo as atividades:

1. **Custos dos direcionadores do recurso de depreciação das máquinas de impressão 3D para as atividades de 1 a 4:** Seguiram de maneira similar aos outros recursos, no caso de se detectado algum volume de produção, deve-se contabilizar apenas uma vez e multiplicar-se com respectivo volume de produção. Na Equação 24 condicional é mostrado como foi calculado o custo para os direcionadores dessas atividades. Onde, o Tempo da atividade é o tempo para realizar a dada atividade. Como ela é comum para todos os insertos adota-se de qualquer deles. 6.174,05 é o custos em reais do notebook Dell G15 usado como base e 10000 é a vida útil em horas do equipamento.

$$Custo = \begin{cases} \frac{\text{Tempo da atividade} \times 6174,05}{10000}, & \text{se } V > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (23)$$

2. **Custos dos direcionadores do recurso de depreciação das máquinas de impressão 3D para as atividades de 5 a 8:** Como estão relacionadas as máquinas de impressão, cura e limpeza, tendo o custo do direcionador definido pela Equação 24 que leva em consideração os tempos totais, ou seja, o tempo para execução da atividade multiplicado pelo volume de produção e o valor de aquisição das máquinas. Logo, os termos da referida equação são: $\sum_{i=1}^8 T_{\text{total inserto } i} \times C_{\text{Máquina inserto } i}$, onde $T_{\text{total inserto } i}$ é o tempo total do inserto i e $C_{\text{Máquina inserto } i}$ é o custo da máquina associada a esse inserto, lembrando que esses valores estão na seção 3.2 de materiais. Já o valor constante de 10000 representa as horas como discutido na apresentação dos recursos.

$$\text{Custo} = \frac{\sum_{i=1}^8 T_{\text{total inserto } i} \times C_{\text{Máquina inserto } i}}{10000} \quad (24)$$

Com todos os direcionadores e recursos descritos e apropriados chega-se aos valores contidos na Tabela 14. A soma da linha de direcionadores representa o custo da atividade.

4.1.3 Identificação e Apropriação dos Direcionadores de Atividades

Os direcionadores de atividades ou conhecido também por direcionadores de segundo grau escolhidos são os próprios tempos da Tabela 11, onde a coluna de nomeação são os direcionadores, em horas, e na coluna de cada inserto são as horas correspondentes, justamente a apropriação do dado direcionador. Pelo motivo do viés do trabalho já mencionado, resumiu-se nesses 9 direcionadores que melhor retratam a relação processo produtivo e os insertos.

4.1.4 Atribuição dos Custos das Atividades aos Insertos

A atribuição dos custos dos insertos parte do cálculo do custo unitário do direcionador para em seguida calcular o custo da atividade atribuído aos insertos, para enfim calcular o custo da atividade por unidade de inserto. Na Tabela 25 é apresentado, após a soma do custo da atividade atribuído aos insertos, os custos indiretos totais dos insertos. A Equação 25 fornece o custo unitário do direcionador que é a divisão do custo das atividades contidas na Tabela 14 e o número de direcionadores, ou seja, a soma total dos direcionadores de atividades, nesse caso os tempos, da Tabela 12. Na Equação 26 representa o $C_{\text{ativ. insertos}}$, ou seja, o custo da atividade atribuído aos insertos através do produto entre o custo unitário do direcionador, $C_{\text{unitário dir.}}$, e o número de direcionadores dos insertos $N_{\text{dir. insertos}}^{\circ}$. A Equação 27 fornece o custo da atividade por unidade de inserto, $C_{\text{ativ. uni. insertos}}$, dividindo o custo da atividade atribuído ao inserto, $C_{\text{ativ. insertos}}$, pelo volume de produção dos insertos, $V_{\text{produção insertos}}$. Como nessa demonstração está sendo avaliado o custo para produção de apenas umas peça de inserto, a Tabela 25 representa, na linha Total, o custo indireto de cada inserto, porém poderia haver mais uma onde teria

o custo da atividade por unidade de inserto, sendo obtida através da divisão pelo volume de produção de cada inserto, a Equação 27 mostra essa relação. No próximo capítulo, é feito a avaliação desse custo unitário analisando a cada injeção plástica até 10000 peças, quantitativo adotado com base no maior valor de pequeno volume de produção sugerido pelas empresas participantes do projeto DEMIBAV.

$$C_{\text{unitário do direcionar}} \left[\frac{R\$}{\text{hora}} \right] = \frac{C_{\text{atividade}} [R\$]}{N_{\text{total de direcionadores}}^{\circ} [\text{horas}]} \quad (25)$$

$$C_{\text{ativ. insertos}} [R\$] = C_{\text{unitário dir.}} \frac{[R\$]}{\text{hora}} \times N_{\text{dir. insertos}}^{\circ} [\text{horas}] \quad (26)$$

$$C_{\text{ativ. uni. insertos}} \left[\frac{R\$}{\text{Unidade de Inserto}} \right] = \frac{C_{\text{ativ. insertos}} [R\$]}{V_{\text{produção insertos}} [\text{Unidades de Insertos}]} \quad (27)$$

A finalização do custeio dos insertos conta com a soma dos custos diretos que passam direto para os resultados como é recomendado na literatura, portando na Tabela 16 é fornecido o demonstrativo dos custos totais de fabricação dos insertos, tendo os custo diretos oriundo dos materiais diretos de fabricação de cada inserto e os custos indiretos calculados na Tabela 15.

Tabela 15 – Demonstrativo do custo das atividades atribuídas aos insertos.

Direcionador	Custo unitário do direcionador $\frac{[R\$]}{\text{horas}}$	Inserito							
		1 [R\$]	2 [R\$]	3 [R\$]	4[R\$]	5 [R\$]	6 [R\$]	7 [R\$]	8 [R\$]
Tempo de modelagem [horas]	1,63	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05
Tempo de simulação [horas]	1,63	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05
Tempo de conversão [horas]	1,63	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Tempo de fatiamento [horas]	1,63	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
Tempo de setup [horas]	15,64	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91
Tempo de impressão [horas]	3,27	32,68	32,68	32,68	32,68	64,05	26,14	26,14	26,14
Tempo de tratamento [horas]	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	1,34	1,34	1,34
Tempo de limpeza [horas]	13,64	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82
Tempo de ajuste [horas]	12,91	0,00	0,00	0,00	0,00	6,45	12,91	12,91	12,91
Total	-	70,45	70,45	70,45	70,45	109,61	78,16	78,16	78,16

Fonte: Própria do autor.

Tabela 16 – Demonstração dos custos totais de fabricação dos insertos.

Inserito	1	2	3	4	5	6	7	8
Custos diretos [R\$]	23,53	36,45	22,80	40,32	115,99	70,31	52,66	517,06
Custos indiretos [R\$]	70,45	70,45	70,45	70,45	109,61	78,16	78,16	78,16
Custos totais [R\$]	93,98	106,90	93,25	110,77	225,60	148,47	130,82	595,22

Fonte: Própria do autor.

5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Este Capítulo avalia os resultados obtidos a partir da análise de custos dos oito insertos: 1 – PLA, 2 – PLA com fibra de carbono (FC), 3 – PETG, 4 – PETG com FC, 5 – PEEK, 6 – Resina standard, 7 – Resina de alta temperatura e 8 – Resina 10K, em função do número de ciclos de injeção plástica, utilizando tanto o método desenvolvido quanto o método apresentado por Kazmer (2016) na literatura. A avaliação evidenciou a diferença entre os custos unitários dos insertos calculados pela metodologia desenvolvida e pelo método da literatura, além dos custos de fabricação do lote de insertos, do custo total do molde de injeção e do custo da peça injetada, todos analisados em função do número de peças injetadas, ou seja, dos ciclos realizados. Por fim, para a verificação da viabilidade econômica, todas as análises de custos foram realizadas considerando até 10.000 ciclos de injeção, com o intuito de avaliar o custo em relação à produtividade.

5.1 PARTICULARIDADES DA MÉTODO

No método desenvolvido com base ABC, houve a preocupação de calcular os custos inserto a inserto, individualmente, de modo a garantir que os recursos fossem corretamente atribuídos ao inserto analisado. Além disso, nas análises foram consideradas apenas as atividades de 5 a 9, ou seja, exclusivamente aquelas relacionadas ao processamento e pós-processamento, conforme descrito no Capítulo 4. Caso os custos fossem calculados para todos os insertos juntos, o custo das atividades seria distribuído conforme os “pesos” atribuídos pela quantidade do direcionador de atividade. A título de exemplo, a Tabela 17 apresenta o custo unitário de cada inserto analisado sob dois pontos de vista: 1) a fabricação simultânea de todos os insertos, considerando que essa abordagem influencia o custo unitário do direcionador, uma vez que o valor calculado contempla o conjunto total de insertos e 2) a fabricação individual de cada inserto, na qual o custo unitário do direcionador é determinado exclusivamente pelos quantitativos de direcionadores correspondentes a cada inserto, sem interferência dos demais. A partir desses dois cenários, calculou-se a diferença percentual entre os resultados, a fim de mensurar a variação relativa entre ambos os valores.

A diferença se deve ao fato de que a metodologia ABC, embora proporcione um rastreamento mais preciso dos custos, não elimina completamente a ideia de rateio. Fatores como a quantidade de direcionadores de custos e o agrupamento dos recursos podem ter influenciado na diferença percentual observada, conforme evidenciado por Martins e Rocha (2003). Outro ponto identificado é a alocação parcial de custos provenientes de insertos com valores mais elevados à aqueles com custos menores. Apesar dessas distorções, a diferença percentual em relação aos dois modos de observar os custos de fabricação foi de 0,05%, indicando que a soma dos custos unitários de todos os insertos não sofre influência significativa do modo como de observar os custos de fabricação, seja considerando a

Tabela 17 – Diferença percentual entre o custo para fabricação conjunta de todos os insertos e o custo da fabricação isolada de cada inserto.

Inserto	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Custo do inserto considerando a fabricação conjunta de todos os insertos [R\$]	66,94	79,86	66,21	83,21	198,55	121,43	103,78	568,18	1288,68
Custo do inserto considerando a fabricação isolada de cada inserto [R\$]	37,42	50,34	36,69	54,21	295,98	94,21	77,25	641,88	1287,98
Diferença percentual [%]	44,10	36,96	44,59	35,26	-49,07	22,42	25,56	-12,97	0,05

Fonte: Própria do autor.

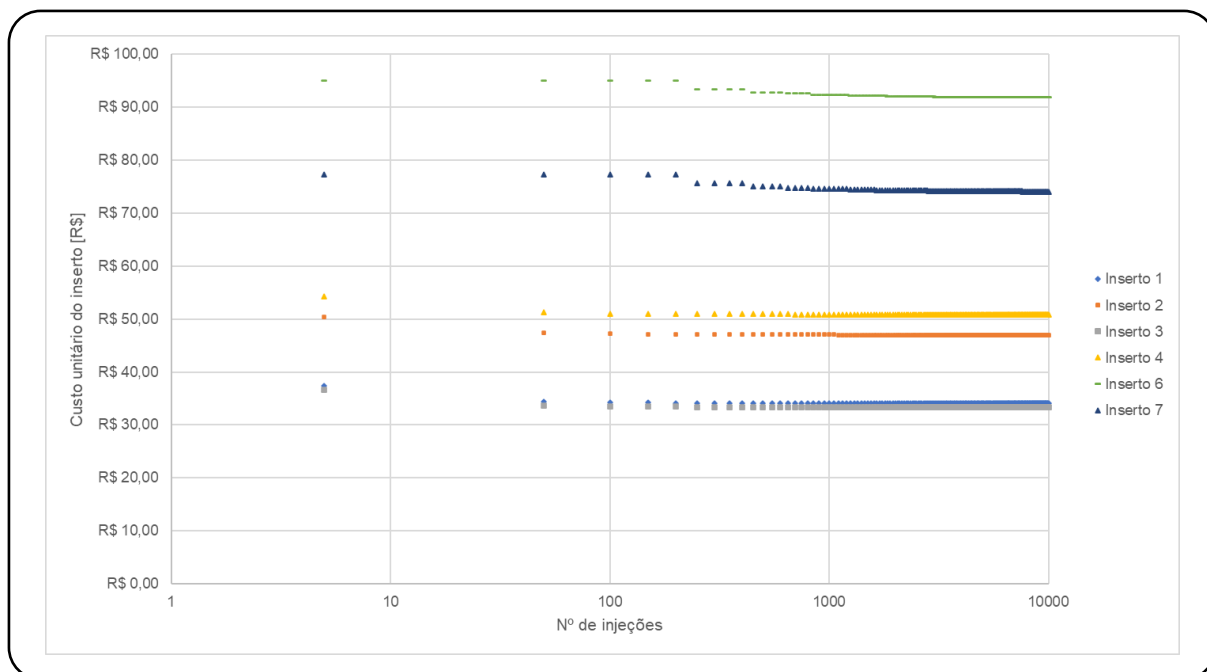
produção de todos em conjunto ou a produção independente. Entretanto, é importante deixar claro que se analisado o custo unitários de um dado inserto nas duas situações as diferenças se tornam significativas.

5.2 CUSTOS UNITÁRIOS DOS INSERTOS

Os custos unitários dos insertos foram calculados por meio da método desenvolvido e comparados com os valores obtidos através do método de Kazmer (2016), como proposto nos objetivos. Para isso, foi considerado o custo de produção de cada inserto de forma isolada, conforme explicado na seção anterior. A Figura 25 apresenta o gráfico com os custos unitários dos insertos 1 a 4, 6 e 7, enquanto a Figura 26 mostra os custos dos insertos 5 e 8, ambos calculados pela método desenvolvido. Os custos são apresentados em função do número de injeções plásticas, representado no eixo horizontal em escala logarítmica, a fim de facilitar a visualização dos dados.

Os custos foram obtidos a partir da soma do custo indireto, calculado com base no método desenvolvida, e do custo direto de material, determinado por meio de orçamentos reais. Para viabilizar esse cálculo, foi utilizado um algoritmo em VBA que, a partir do número de ciclos de injeção e da quantidade de insertos necessária para realizá-los, define o volume de produção e inicia o processo de cálculo segundo o método proposto. Assim, são realizadas iterações que variam a quantidade de insertos em função do número de ciclos de injeções plásticas. Em cada iteração do algoritmo, o número de injeções varia de 1 a 10000 que é o quantitativo referente a pequenos volumes de produção, segundo discutido pelas empresas participantes do projeto DEMIBAV.

Figura 25 – Gráfico do número de injeções versus custo unitário [R\$] dos insertos 1 - 4, 6 e 7

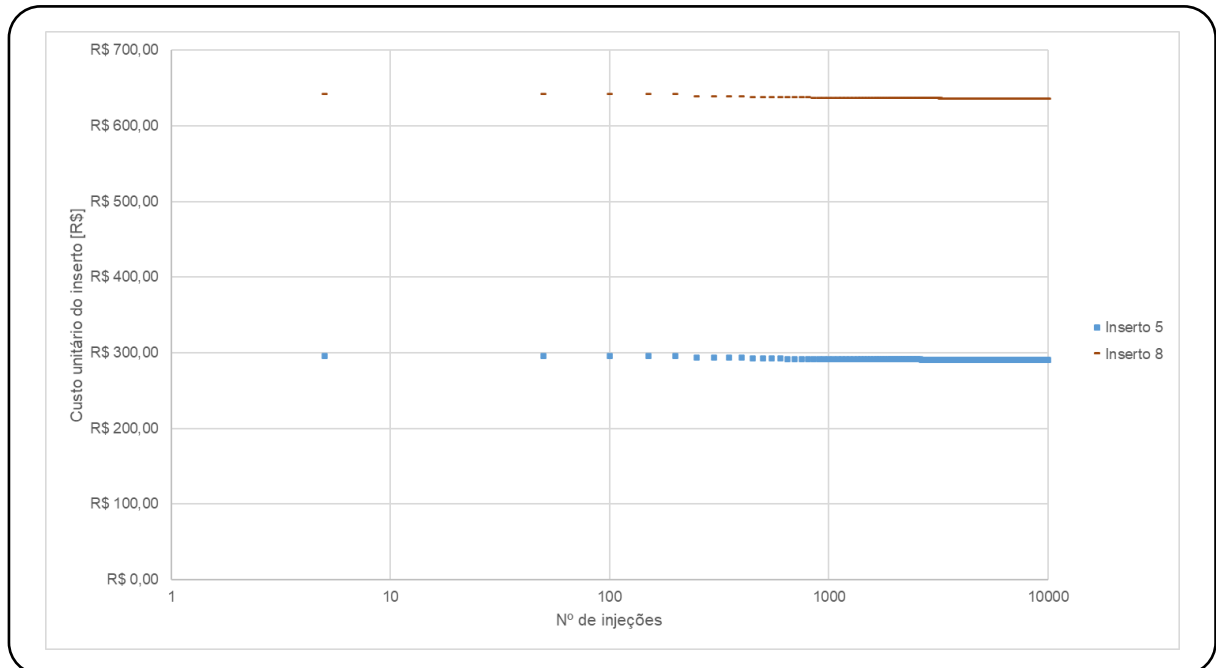


Fonte: Própria do autor.

Nesse processo foi considerado o limite de vida útil de cada inserto estabelecendo um fator de manutenção usado também para saber a quantidade de insertos necessárias para realizar um dado número de ciclos. Na Tabela 18 é fornecido o fator de manutenção dos insertos usados no molde híbrido, viabilizada por meio de estudos de caracterização de materiais realizados em trabalhos anteriores citados na apresentação dos insertos, além de entrevistas com responsável pela produção. Nos itens seguintes é detalhando os valores adotados para cada inserto:

- **Para os insertos 1 e 2:** Vasconcelos et al. (2020) aponta 12 e 6 produtos injetados com geometria aceitável de 50 amostras para os insertos 1 e 2, respectivamente. Apesar de esses insertos apresentarem peças aceitáveis tinham algumas características que faziam analisar o uso dos mesmos, como: superfície marcada e produtos com algum tipo de deformação, portanto nesse trabalho escolheu-se adotar 5 produtos de 50 amostras para cada inserto.
- **Para os insertos 3 e 4:** Damasceno (2024) aponta 5 e 2 produtos injetados aceitáveis de 50 amostras para os insertos três e quatro, respectivamente. Assim como nos insertos 1 e 2, e pelos mesmos motivos, adotou-se a possibilidade também de extrair 5 produtos de 50 amostras para cada inserto.
- **Para os insertos 5 e 8:** Para esses insertos, foi realizado uma entrevista com técnico laboratorista responsável pelas injeções no molde usando os insertos no

Figura 26 – Gráfico do número de injeções versus custo unitário [R\$] dos insertos 5 e 8.



Fonte: Própria do autor.

laboratório da UFSC - Joinville, haja vista que a documentação de caracterização ainda estava sendo feita. Sendo assim, foi relatado a duração de 200 ciclos sem perda de dimensional ou deformação superficial com um inserto. Portanto, nesse trabalho, limitou-se a 200 injeções com 1 inserto.

- **Para os insertos 6 e 7:**, Silva (2025) aponta 200 ciclos gerando peças com geometria aceitável necessitando de apenas um inserto. Adotando a injeção de 200 peças com 1 inserto.

Tabela 18 – Fator de manutenção de insertos adotados na pesquisa.

	Quantidade de ciclos realizadas	Quantidade de insertos usados	Fator de manutenção [ciclos/inserto]
Inserto 1	50	5	5
Inserto 2	50	5	5
Inserto 3	50	5	5
Inserto 4	50	5	5
Inserto 5	200	1	200
Inserto 6	200	1	200
Inserto 7	200	1	200
Inserto 8	200	1	200

Fonte: Própria do autor.

Os gráficos demonstram uma tendência de redução dos custos unitários de todos os insertos à medida que aumenta a quantidade de injeções plásticas, o que era esperado devido à apropriação progressiva dos custos indiretos ao longo da produção. Com o auxílio da Tabela 19, é possível identificar os valores críticos apresentados nos gráficos, evidenciando a tendência de queda dos custos unitários, a qual se estabiliza por volta de 1.000 ciclos de injeção.

Tabela 19 – Custos unitários dos insertos de 1 a 8, apresentados nas Figuras 25 e 26, foram avaliados em cinco marcos de produção, correspondentes a 1, 10, 100, 1.000 e 10.000 ciclos de injeção.

Nº de injeções plásticas	1	10	100	1000	10000
Inserto 1 [R\$]	37,42	34,42	34,26	34,11	34,09
Inserto 2 [R\$]	50,34	47,34	47,04	47,01	47,01
Inserto 3 [R\$]	36,69	33,69	33,39	33,36	33,36
Inserto 4 [R\$]	54,21	51,21	50,91	50,88	50,88
Inserto 5 [R\$]	295,98	295,98	295,98	291,77	290,82
Inserto 6 [R\$]	94,91	94,91	94,91	92,28	91,69
Inserto 7 [R\$]	77,25	77,25	77,25	74,63	74,04
Inserto 8 [R\$]	641,88	641,88	641,88	636,97	635,87

Fonte: Própria do autor.

Na Figura 25, os insertos 6 e 7 situam-se em uma faixa intermediária de custo e desempenho, sendo considerados de alta durabilidade no contexto dos oito insertos avaliados. Já os insertos 2 e 4 apresentam custos unitários bastante semelhantes, com durabilidade considerada intermediária-baixa. Por fim, os insertos 1 e 3 são os mais econômicos em termos de custo unitário, embora apresentem a menor durabilidade entre todos.

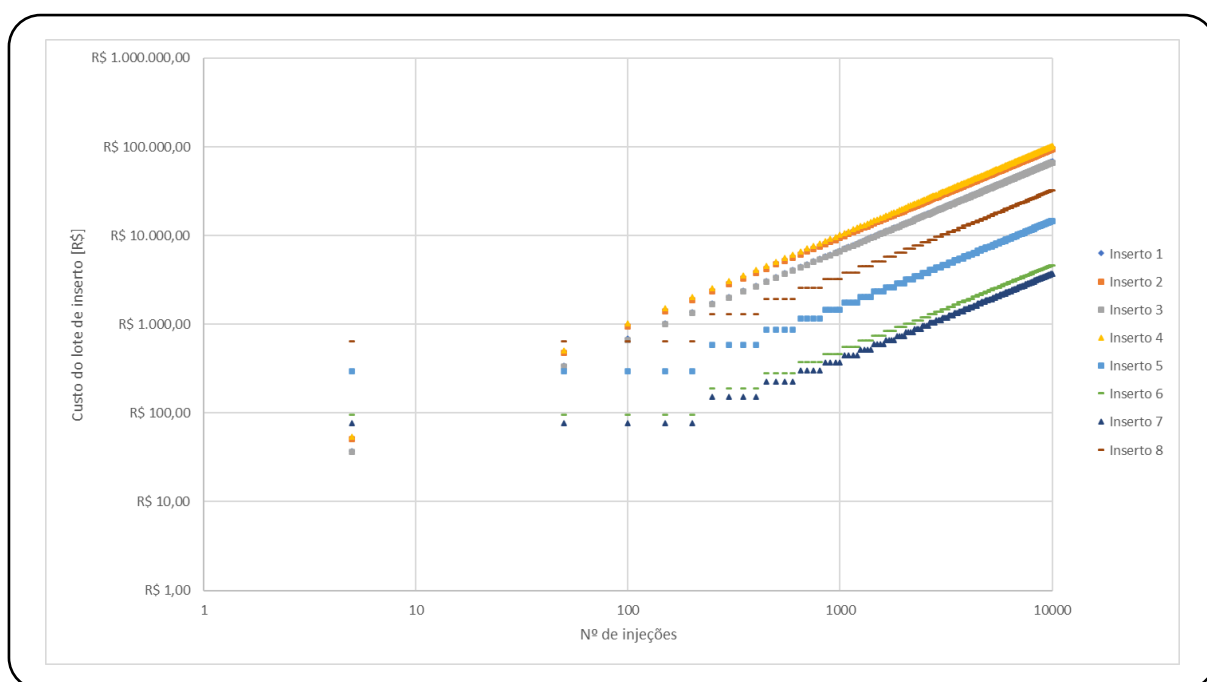
Na Figura 26, o inserto 8 apresenta o maior custo unitário, mesmo com o aumento no número de ciclos, o que se justifica pelo elevado custo de aquisição dos equipamentos e da matéria-prima necessária para sua fabricação. Ainda nessa figura, o inserto fornece custos mais baixos em comparação com o inserto 8. Embora também envolva equipamentos de alto desempenho, seu custo fixo com máquinas e materiais é relativamente menor, além de resultar em insertos com maior durabilidade.

Considerando apenas os custos unitários, os insertos 1 e 3 são os de menor custo unitário. No entanto, à medida que os custos se estabilizam em torno de 1.000 ciclos, torna-se pertinente incorporar outros critérios de análise, como a durabilidade e a qualidade dos insertos, o que amplia o escopo de avaliação e torna outros modelos tecnicamente mais atrativos.

5.3 CUSTOS DOS LOTES DE INSERTOS

Além de avaliar os custos unitariamente, é importante avaliar o custo total do lote de insertos para se injetar o quantitativo de peças, salientando que é contabilizado somente os custos de processamento e pós-processamento. No gráfico da Figura 27 é apresentado a dispersão, em escala logarítmica, dos custos de lotes em função do número de injeções poliméricas, calculado pela metodologia desenvolvida. A dispersão dos dados mostra uma tendência exponencial dos custos dos lotes, em outras palavras, os custos totais para obtenção dos insertos, aumentando a medida que o número de ciclos aumenta.

Figura 27 – Gráfico número de injeções versus custo do lote de insertos de 1 e 8, em reais.



Fonte: Própria do autor.

Primeiro ponto a se deixar claro é o fato de o número de insertos de 1 a 4 crescerem linearmente a uma taxa de 5 conforme aumenta o número de ciclos, já os insertos de 5 a 8 crescem à uma de 200, esse fato é crucial para entender a reviravolta da dispersão dos dados.

No gráfico da Figura 27, é possível observar que os insertos 2 e 4 e os insertos 1 e 3 apresentam custos muito semelhantes, com custo inicial baixo em comparação aos demais. Vale destacar que ambos os pares estão sobrepostos entre si. A partir de aproximadamente 100 ciclos, entretanto, os insertos 1 e 4 tornam-se os de maior custo por lote, devido ao aumento da quantidade de insertos acompanhando o número de ciclos.

O inserto 8, por sua vez, apresenta o maior custo, justificado pelo elevado valor da matéria-prima e do maquinário. Apesar de ser o mais caro, torna-se mais vantajoso que os

insertos de 1 a 4 a partir de 100 ciclos, uma vez que suporta um número maior de injeções sem necessidade de troca.

O inserto 5 inicia-se com custos elevados, de forma semelhante ao inserto 8, mas sua reversão de custo ocorre um pouco antes dos 100 ciclos, o que o torna interessante para avaliar características como durabilidade e qualidade superficial.

Nota-se que os insertos 6 e 7 se destacam como os mais econômicos, ainda que sejam ligeiramente mais caros que os insertos de 1 a 4 no início. Em análise por lote, mostram-se mais vantajosos bem antes dos 100 ciclos, além de apresentarem boas características para o processo de injeção.

Outro ponto interessante observado é a característica aproximadamente linear da dispersão dos dados sob os eixos em escalas logarítmicas, apontando um comportamento de proporcionalidade a partir de 100 ciclos muito provavelmente devido a presença dos custos variáveis aumentarem conforme a quantidade de insertos, sabendo que o custo unitários dos insertos se mantêm aproximadamente constantes.

Para averiguar a consistência dos custos gerados pela metodologia desenvolvida, realizou-se, em paralelo, o cálculo dos custos utilizando o método de Kazmer (2016) descrita na Seção 2.1.3, aplicada individualmente a cada inserto. Por esse método, o custo do lote foi obtido a partir da multiplicação do custo unitário pelo número de insertos necessários para realizar uma quantidade específica de ciclos de injeção. A Tabela 20 apresenta a diferença percentual média entre os custos dos lotes calculados por ambas as metodologias. Observa-se uma leve redução nos valores obtidos pela metodologia desenvolvida, indicada pelo sinal negativo ("") antes dos valores, o que pode ser interpretado como uma vantagem natural do método ABC, devido à sua capacidade superior de rastrear e alocar os custos indiretos com maior precisão.

Entretanto, ao se analisar as diferenças percentuais ao longo dos ciclos, nota-se que, no ciclo inicial, a diferença percentual no custo unitário é nula, visto que os valores são exatamente iguais entre as metodologias. Isso sugere que, nesse ponto, o resultado é apenas reflexo da multiplicação direta do custo unitário pelo número de peças, como ocorre na abordagem de Kazmer (2016). Diferentemente, na método desenvolvido, há amortização dos custos fixos antes da definição do custo final, o que proporciona uma visão mais fiel do comportamento dos custos ao longo da produção.

Tabela 20 – Diferença percentual média entre o custo do lote calculado pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).

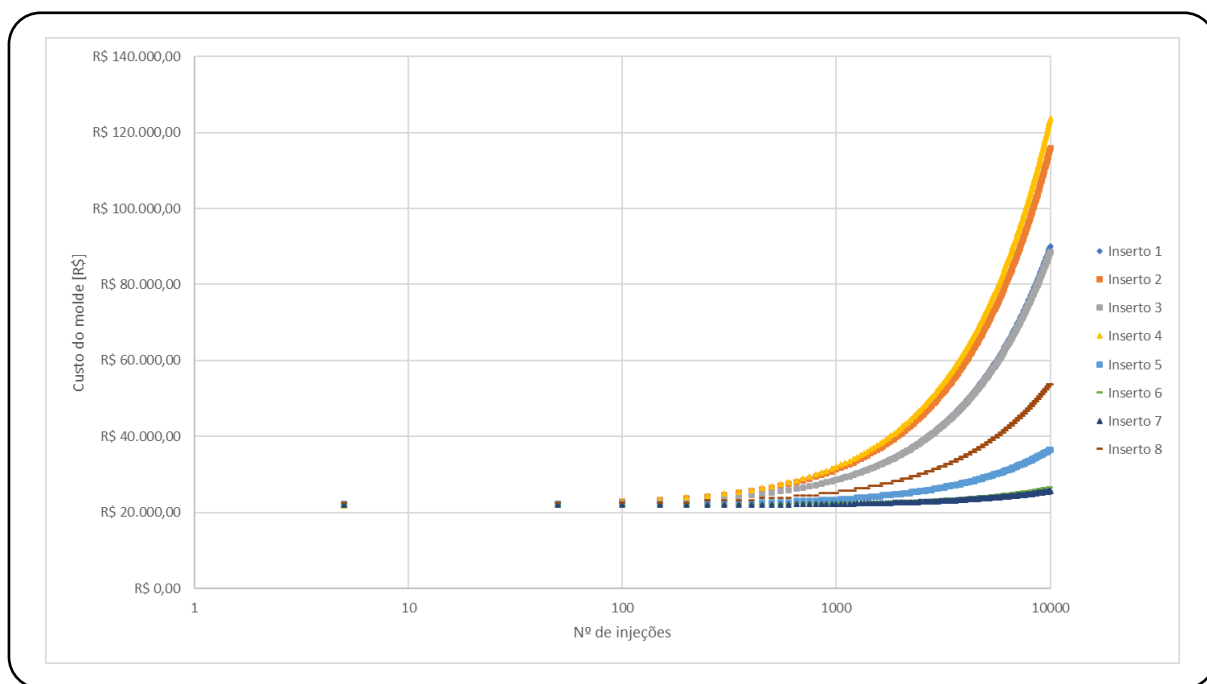
Insertos	1	2	3	4	5	6	7	8
Diferença percentual média	-9,69	-7,02	-9,90	-6,49	-1,64	-3,24	-4,01	-0,87
[%]								

Fonte: Própria do autor.

5.4 ANÁLISE DO CUSTOS FINAL PARA PRODUÇÃO DOS MOLDES DE INJEÇÃO

O custo do molde foi calculado usando o custo do lote de insertos, apresentado no tópico anterior, mais o custo da base do molde e a personalização obtido via orçamento, lembrando que esse último custo é de usinagem para adição dos sistemas auxiliares, que no caso do molde em questão é apenas para operacionaliza-lo. O custo do porta inserto foi obtido via método de Kazmer (2016), haja vista que não tinha orçamento do material e sua usinagem foi incluída no custo da personalização comentada anteriormente. Com exceção do custo variante do lote de insertos, o restante dos custos do molde se mantêm constante, no gráfico da Figura 28 é apresentado o custo do molde, em reais, em função do número de injeções plásticas calculado com o custo do lote de insertos via método desenvolvido.

Figura 28 – Gráfico número de injeções versus custo do molde completo usando os insertos de 1 e 8, em reais.



Fonte: Própria do autor.

A primeira observação pertinente é que, entre 100 e 1.000 ciclos, os custos permanecem praticamente constantes para todos os insertos, situando-se entre R\$ 20.000,00 e R\$ 30.000,00. Isso é compreensível, dado que o peso do custo fixo dos demais componentes do molde é significativamente maior do que o custo dos lotes de insertos. O segundo ponto relevante é o comportamento exponencial da dispersão dos dados dos insertos, ocasionado justamente pelo aumento da quantidade de insertos nos lotes, necessária para atender às trocas ao longo dos ciclos de injeção plástica. Sabendo que, a partir de 1.000 injeções, o comportamento dos dados passa a ser regido basicamente pelo custo dos lotes de insertos,

o custo total do molde torna-se diretamente influenciado pelas características específicas de cada inserto, resultando em um crescimento acelerado dos custos. Como os insertos 2 e 4 são os de maior custo entre os que apresentam maior taxa de substituição, eles se destacam como os mais onerosos, seguidos pelos insertos 3 e 4, com custos totais muito próximos entre si. É interessante destacar que o inserto 8, apesar de apresentar o maior custo unitário entre os avaliados, mantém-se substancialmente abaixo dos considerados mais econômicos quando se analisam os custos totais. Os insertos considerados candidatos à eficiência econômica são os de número 5 a 7, sendo o inserto 5 o de maior custo entre eles, conforme verificado na seção de avaliação dos custos dos lotes de insertos. Já os insertos 6 e 7 destacam-se por serem os mais duráveis e por apresentarem os menores custos, mantendo o custo total do molde praticamente constante ao longo dos ciclos, o que faz com que a avaliação de custos nesses casos se concentre mais nos valores do porta-molde e da personalização do que nos próprios lotes de insertos.

Os custos dos moldes também passaram por uma análise da diferença percentual média, cujos valores estão apresentados na Tabela 21, calculados da mesma forma que no caso dos lotes de insertos. Para cada interação, foi determinada a diferença percentual entre os métodos, sendo posteriormente extraída a média desses valores, a fim de proporcionar uma visualização geral das variações entre as metodologias. Os resultados indicam uma ligeira vantagem para a metodologia desenvolvida quando considerados os moldes com insertos de 1 a 4. Por outro lado, para os insertos de 5 a 8, os custos dos moldes estimados pelo método de Kazmer (2016) apresentaram-se inferiores. É importante destacar que, na comparação com o método de Kazmer (2016), foram considerados os custos da base do molde, do porta-inserto e da cavidade conforme descrito na literatura. No entanto, o valor da personalização adotado foi aquele obtido por orçamento real, a fim de manter a proporção entre os custos do molde e focar no principal objetivo do estudo: os insertos. Dessa forma, desde a concepção inicial dos custos dos moldes, observa-se uma diferença percentual decorrente da comparação entre valores reais e estimativas da literatura.

Tabela 21 – Diferença percentual média entre o custo do molde calculado pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).

Insertos	1	2	3	4	5	6	7	8
Diferença percentual média	-4,34	-3,39	-4,41	-3,31	1,22	1,61	1,64	0,95
[%]								

Fonte: Própria do autor.

5.5 ANÁLISE DO CUSTO DA PEÇA INJETADA

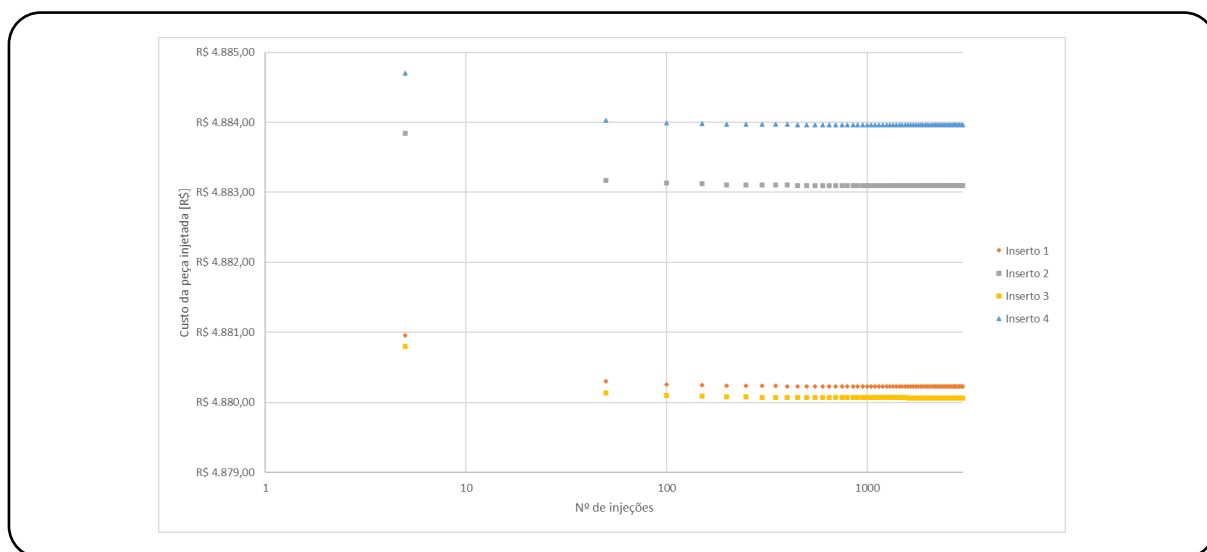
O custo da peça injetada é um ponto crucial da avaliação. Indiretamente, a que mais interessa para entender qual dos insertos fornece maior eficiência econômica para

aquisição do molde híbrido. O custo da peça injetada foi calculado como apresentado na literatura de moldes Kazmer (2016) e já apresentado, calculando de duas maneiras paralelas: i) usando os valores de inserto pela método desenvolvido para a cavidade, base do molde via orçamento, porta inserto via método de Kazmer (2016) e personalização via orçamento e ii) inserto, base do molde e porta inserto via método de Kazmer (2016) com personalização via orçamento.

Com o custo do molde por peça calculado por ambos os métodos, custo do material por peça, obtido via método da literatura, para ambos os casos e o custo do processamento por peça, também obtido via método da literatura, usando as equações para cálculo de custo da peça injetada contido no Capítulo 2 é extraído custo total da peça injetada para ambos os métodos.

Na Figura 29 fornece o gráfico de custo da peça injetada versus o número de injeções, em reais, gráfico específico para os insertos de 1 a 4 pois está com o eixo de custo da peça em faixa reduzida justamente para que se possa visualizar a pequena variação dos custos para essa faixa de insertos. Os custos de peças injetadas para todos os insertos dessa faixa variam entorno de R\$ 4879,00 e R\$4885,00 mantendo praticamente constante a partir de 100 ciclos, levando a reflexão à motivos já mencionados em seções anteriores como o alto número de substituições o que faz-se necessário um lote grande o que aumenta o custo do molde, então como no lote aumenta proporcionalmente com o aumento das peças injetadas, não se consegue diluir os custos variáveis que são a maior parte do custo da produção dos insertos. Por tanto não havendo ganhos com o aumento do número de peças injetadas.

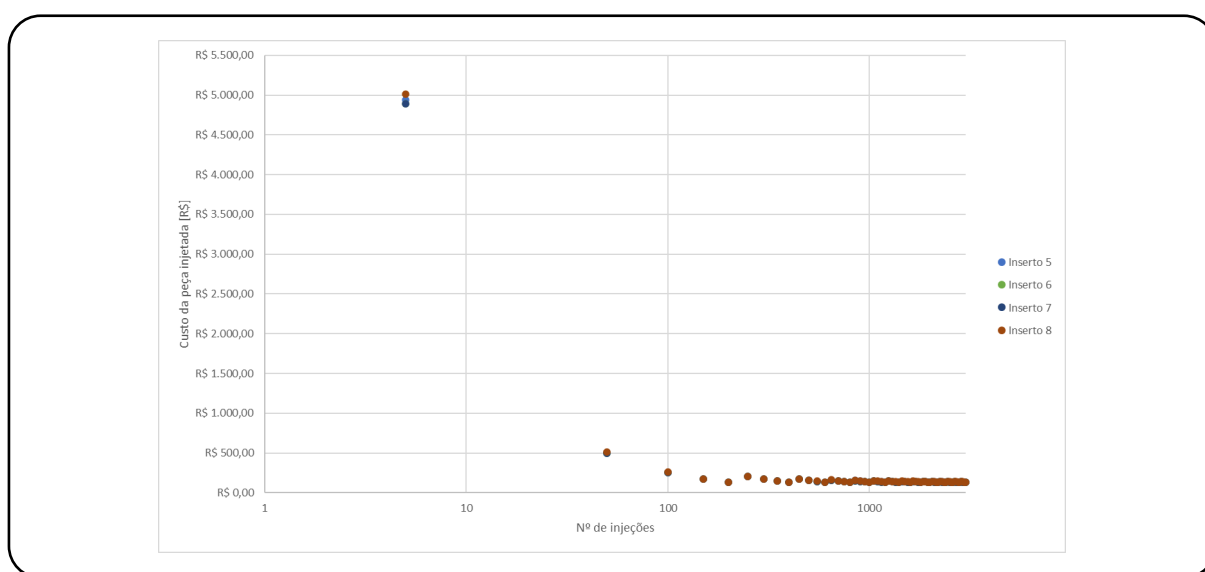
Figura 29 – Gráfico número de injeções versus custo da peça injetada, com molde usando os insertos de 1 a 4, em reais.



Fonte: Própria do autor.

Na Figura 30 é apresentado o gráfico, complemento do anterior, do custo da peça injetada em função do número de injeções realizada, em reais. os dados são referentes aos insetos de 5 a 8, estando sobrepostos no gráficos, sendo possível notar uma pequena variação no custo inicial que a proposito é bem alto entorno de R\$ 5000,00. Próximo de 100 ciclos, o custo por peça injetada cai substancialmente para R\$ 500,00 e em 1000 ciclos fica entorno de R\$ 250,00 estabilizando para 1000 ciclos o valor médio entorno de R\$ 130,00, apontando uma vantagem para produção em média e alta escala.

Figura 30 – Gráfico número de injeções versus custo da peça injetada, com molde usando os insertos de 5 a 8, em reais.



Fonte: Própria do autor.

Assim como nas outras avaliações, como aqui também teve a comparação entre os dois métodos é importante avaliar a diferença percentual média para analisar o desempenho dos dados utilizado, portanto na Tabela 22 é fornecido a diferença percentual média dos valores usando ambos os métodos, podendo afirma com media dessas diferenças entorno de 2% que o os valores apresentados teriam um erro de cálculo do mesmo nível.

Tabela 22 – Diferença percentual média entre o custo da peça injetada calculada pelo método desenvolvido e o método de Kazmer (2016).

Insertos	1	2	3	4	5	6	7	8
Diferença percentual média [%]	2,11	2,11	2,11	2,11	1,96	1,98	1,98	1,92

Fonte: Própria do autor.

Por fim, no Apêndice deste trabalho é disponibilizado um arquivo MS Excel com planilhas contendo ambos os métodos para os oito insertos analisados, as análises de custos

para até 10.000 ciclos e o código VBA usado para automatizar o processo de interação entre os métodos.

6 CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo central desenvolver um método de custeio baseado em atividades para auxiliar no processo de custeio de componentes de moldes híbridos, sendo também aplicável ao custeio de peças produzidas por impressão 3D, mediante a análise da viabilidade de fabricação, fundamentada em comparativos de custos.

A escolha do método ABC para compor o método proposto foi embasado no conhecimento das vantagens e desvantagens assim como a carência de trabalhos voltados para o tema que usassem o método. Através de uma planilha do MS Excel foi disposto o método desenvolvido e, em paralelo, o método Kazmer (2016) para verificação. Os resultados obtidos envolvem 5 avaliações para verificar a viabilidade do uso de impressão 3D como inserto de molde híbrido: avaliação do custo unitário dos insertos em cenário com produção paralela e isolada dos outros insertos, avaliação dos custos para produção de lotes para diferentes insertos, avaliação de custos do molde, seguido de uma avaliação final com o custo da peça injetada, todas as avaliações em função do número de peças injetadas.

Avaliando as hipóteses deste trabalho, o resultado da comparação entre os métodos revela que o ABC fornece melhor clareza e detalhamento dos custos, principalmente os indiretos. O método mostrou-se vantajoso a medida que o número de injeções ocorria, fornecendo custos fixos atualizados a medida que o número de lote de insertos aumentava, em contrapartida do convencional que multiplicava o custo unitário pela quantidade do lote em cada interação. Quanto a viabilidade econômica, até 100 ciclos de injeção, todos os insertos mostraram-se viáveis, com o custo no lote mantendo-se abaixo do custos da base do molde. Entretanto, em médias e longas escalas, os insertos de PEEK, Resina standard e Resina de alta temperatura têm comportamento econômico interessante, devido uma melhor diluição dos custos iniciais ao longo do tempo. Os insertos de PLA, PLA mais FC, PETG, PETG mais FC, mantiveram seus custos constantes entre R\$ 4.479,00 e R\$ 4.485,00, ao passo que os insertos de PEEK, Resinas standard, Alta temperatura e 10K rígida tiveram queda nos seus custos ao logo dos ciclos, iniciando em R\$ 5.000,00 para até 10 ciclos e R\$ 130,00 para após 1.000 ciclos.

O método desenvolvido tem usabilidade associada operação de planilhas, tendo parte automatizada e com lógica em VBA que auxilia nas simulações e visualização de custos a longo prazo, apesar de ter um trabalho inicial de configurar custos de matéria-prima e máquinas, além de tempos de processo, sua interação com usuário é limitada a quantidade de insertos desejada e o número de ciclos a realizar.

O mesmo tem potencial para ser usada em insertos de outros materiais, tecnologias de fabricação e geometria, desde que obedeça a estruturação de atividades de fabricação ou inclua novas seguindo a mesma lógica para custeio dos direcionadores, salientando que para um cálculo mais apurado é interessante desagrupar alguns custos de recursos.

Sabendo que atualmente a planilha está configurada para atividades de fabricação voltadas a tecnologias de FDM e SLA.

Todo o método foi baseado no conceito e etapas do ABC adaptado para a aplicação, tendo a comparação dos valores com o método de Kazmer (2016) para validação dos resultados fornecido pela ferramenta. Logo, a ferramenta requer, apesar de simular vários cenários em baixo tempo, a necessidade de repetir o processo inserto a inserto.

Concluído, o ABC elucidou os custos de insertos feitos por manufatura aditiva, fornecendo a visão de custos e sua composição ao longo do tempo. O método permite decidir entre material e viabilidade econômica dos insertos montando estratégias de produção. Por fim, analisando os resultados, em particular o custo da peça injetada ao longo dos ciclos, afirma-se que para a faixa de até 10000 ciclos, os insertos de 1 a 4 tem emprego limitado para grande ciclos por não conseguirem abater os custos iniciais devido o alto fator de manutenção, em contraste os insertos de 5 a 8 exibiram um custo inicial elevado, porém conseguiram atingir a queda do custo da peça sendo ideal para média e grande escala, sendo a escolha do material do inserto influenciada por características físico-mecânicas. Se analisado à luz dos custos iniciais e eficiência, os insertos Resina standard e Resina de alta temperatura são candidatos fortes a compor molde de injeção.

Algumas limitações foram prejudiciais para a ampliação do alcance dos resultados, como a falta de dados de tempo, de custo do material, de custo de máquina e outros recursos para cobrir insertos feitos como o de tecnologia PolyJet que poderia ter entrado para o estudo.

Sugere-se como estudos futuros a implementação em empresas do setor, análise de estratégias de redução de custo para os materiais estudados, aprimoramento da estratégia de manufatura dos insertos visando aumento da vida útil.

REFERÊNCIAS

- 3DLAB. *Resina 3D Alta Temperatura – Clear, 1kg*. 2025. <<https://loja3d.com.br/resina-3d-alta-temperatura-clear-3d-lab-1kg/>>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- 3DLAB. *Resina 3D Standard Clear Transparente – 1kg*. 2025. <<https://loja3d.com.br/resina-resinas-3d-lab-resina-standard-clear-3d-lab-1-litro/>>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ABIPLAST. *ABIPLAST aposta em competitividade e inovação, comemora avanços do setor e vê 2025 promissor*. 2024. Acesso em: 16 dez. 2024. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y624zky4>>.
- ABIPLAST. *ABIPLAST aposta em competitividade e inovação, comemora avanços do setor e vê 2025 promissor*. 2024. Acesso em: 18 dez. 2024. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y624zky4>>.
- AOIAMA, G. *Orçamento impressora 3D SLA da Formlabs e seus insumos solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido pelo autor, em 21 de maio de 2025.
- ASIEDU, Y.; GU, P. Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International journal of production research*, Taylor & Francis, v. 36, n. 4, p. 883–908, 1998.
- ATZENI, E.; SALMI, A. Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 62, p. 1147–1155, 2012.
- BACKES, R. G. et al. *APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CUSTEIO RKW EM UMA COOPERATIVA AGRÍCOLA*. 2006. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1724>>.
- BIZARRI, L. D. S. *Fatura de energia elétrica do bloco universitario do campus Joinville da UFSC solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido pelo autor, em 05 de maio de 2025.
- BORNIA, A. C. *Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas*. [S.l.]: Bookman Porto Alegre, 2002.
- BOUAZIZ, Z.; YOUNES, J. B.; ZGHAL, A. Cost estimation system of dies manufacturing based on the complex machining features. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 28, p. 262–271, 2006.
- BRALLA, J. G. *Handbook of manufacturing processes : how products, components and materials are made*. 1st ed. ed. Industrial Press, Inc, 2007. ISBN 0-8311-3179-9,9780831131791,9780831191474,0831191473,9781601199331,1601199333. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=fd63fd749abb2af1bfc4d3cd161b7a8c>>.
- BRASIL. *Portaria SEPEC/ME n° 9.035, de 21 de setembro de 2021*. 2021. Acesso em: 16 dez. 2024. Disponível em: <https://www.lefisc.com.br/banco/2021/portariaSEPECME9035_21.htm>.
- CAMPI, F. et al. An analytical cost estimation model for the design of axisymmetric components with open-die forging technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 110, p. 1869–1892, 2020.

CANELLIDIS, V.; GIANNATIS, J.; DEDOUSSIS, V. Genetic-algorithm-based multi-objective optimization of the build orientation in stereolithography. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 45, p. 714–730, 2009.

CARUSO, L. A. *Orçamento da impressora 3D FDM Intamsys Funmat HT solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido pelo autor, em 23 de maio de 2025.

CASAS BAHIA. *Notebook Gamer Dell G15 i1300-U65P 15.6" FHD 13ª Geração Intel Core i7 32GB 512GB SSD NVIDIA RTX 3050 Linux*. 2025. <<https://tinyurl.com/3ru953kf>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

CHUA, C.; HONG, K.; HO, S. Rapid tooling technology. part 1. a comparative study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 15, p. 604–608, 1999.

COLOSIMO, B. M.; CAVALLI, S.; GRASSO, M. A cost model for the economic evaluation of in-situ monitoring tools in metal additive manufacturing. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 223, p. 107532, 2020.

CREALITY. *Filamento Hyper-PLA 1,75 mm 1 kg · Creality*. 2025. <https://www.slim3d.com.br/filamentos-premium/creality-hyper/filamento-hyper-pla-1-75-1kg-creality?variant_id=1444>. Acesso em: 16 jun. 2025.

CREALITY. *Filamento PLA CR Carbon Fibra de Carbono – Creality, 1,75mm – 1kg*. 2025. <https://loja3d.com.br/filamento-pla-cr-carbon-fibra-de-carbono-creality-1-75mm-1-kg/?srsltid=AfmBOooRbylj9oQTz2IMISfg8R5EdsN_0pxRKOirw6cv_qKDbFRp83gw>. Acesso em: 16 jun. 2025.

Creality Store Brasil. *Impressora 3D Creality Ender-3 V3 SE - 1001020508*. 2025. Acessado em 21 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.crealitystore.com.br/impressora-3d-creality-ender-3-v3-se-1001020508>>.

CUNHA, A.; SOARES, V.; PONTES, A. Manual do projectista para moldes de injeção de plástico: Moldação por injeção e materiais plásticos. *Marinha Grande: Centimfe-Centro Tecnológico da Indústria de Moldes Ferramentas Especiais e Plásticos*, 2003.

DAMASCENO, C. M. S. L. F. Desempenho de insertos de petg em moldes híbridos de injeção de peças em polipropileno. *XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2024.

DIPPENAAR, D. J.; SCHREVE, K. 3d printed tooling for vacuum-assisted resin transfer moulding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 64, p. 755–767, 2013.

DIZON, J. R. C. et al. 3d printed injection molds using various 3d printing technologies. In: *Materials Science and Engineering: Technological Advances and Research Results*. [S.l.]: Trans Tech Publications Ltd, 2020. (Materials Science Forum, v. 1005), p. 150–156.

DRECHSLER, M. *Orçamento porta molde padrão 25.30 MDL solicitado por e-mail*. 2014. Comunicação pessoal. Recebido por Prof. Carlos Maurício Sacchelli, Dr. Eng. / UFSC, em 6 de junho de 2014.

- DRURY, C. M. *Management and cost accounting*. [S.l.]: Springer, 2013.
- FAVI, C. et al. Key features and novel trends for developing cost engineering methods for forged components: a systematic literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 117, n. 9, p. 2601–2625, 2021.
- FERA, M. et al. A new mixed production cost allocation model for additive manufacturing (miprocama). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 92, p. 4275–4291, 2017.
- FIT Engenharia de Sistemas. *Comparativo das Ferramentarias: Brasil x Alemanha x Portugal x EUA*. 2021. Disponível em: <https://fit-tecnologia.com.br/comparativo-de-ferramentarias-mundo/>. Acesso em: 09 nov. 2025.
- Formlabs. *A Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing*. 2021. Accessed: 2025-04-24. Disponível em: <<https://3d.formlabs.com/rs/060-UIG-504/images/WP-EN-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing.pdf?version=1>>.
- FORMLABS. *Rigid 10K Resin – 1L*. 2025. <<https://loja.3dcriar.com.br/produtos/formlabs-rigid-10k-resina-para-impressora-3d-1l/>>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- FRANCHETTI, M.; KRESS, C. An economic analysis comparing the cost feasibility of replacing injection molding processes with emerging additive manufacturing techniques. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 88, p. 2573–2579, 2017.
- FUNDEP. *Relatório Semestral LIV 1 - 2024*. 2024. Acessado em: 18 dez. 2024. Disponível em: <https://mover.fundep.ufmg.br/wp-content/uploads/2024/08/Relatorio-Semestral-LIV_1_2024.pdf>.
- GOMES, C. d. S. *Avaliação de custos de processos de fabricação aditiva na produção de moldes híbridos versus moldes convencionais*. [S.l.]: Instituto Politecnico de Leiria (Portugal), 2015.
- ICHI, A. L. *Análise da viabilidade da aplicação da tecnologia CAD-CAM por prototipagem rápida na confecção de estrutura metálica da prótese parcial removível comparando-a ao método convencional*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- KADIR, A. Z. A.; YUSOF, Y.; WAHAB, M. S. Additive manufacturing cost estimation models—a classification review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 107, p. 4033–4053, 2020.
- KAZMER, D. O. *Injection mold design engineering*. [S.l.]: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2016.
- KUMAR, R. et al. Comparative study on machinability improvement in hard turning using coated and uncoated carbide inserts: part ii modeling, multi-response optimization, tool life, and economic aspects. *Advances in Manufacturing*, Springer, v. 6, p. 155–175, 2018.
- LACERDA, D. P. et al. Design science research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & produção*, SciELO Brasil, v. 20, p. 741–761, 2013.

LANZER, E. A.; STEFFANI, G.; GONÇALVES, T. P. Previsão de custos de fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. *Revista UNISOCIESC*, v. 8, n. 3, 2018. ISSN 2237-5163. Disponível em: <CentroUniversitÃ¡rioSOCIESC--UNISOCIESC>.

LEÃES, V. S. et al. *Avaliação da influência da diferença de temperatura entre as placas de um molde de injeção no empenamento de peças injetadas*. [S.l.]: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2008.

Loja 3D. *Impressora 3D de Resina Creality LD-002H*. 2025. Acessado em 21 de maio de 2025. Disponível em: <<https://loja3d.com.br/impressora-3d-de-resina-impressora-3d-de-resina-creality-ld-002h/>>.

LUCIANO, L. S. *Projeto de um molde de injeção de termoplástico modular*. Dissertação (TCC(graduação)) — Campus Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

MANDOLINI, M. et al. A framework for analytical cost estimation of mechanical components based on manufacturing knowledge representation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 107, p. 1131–1151, 2020.

MANOGHARAN, G.; WYSK, R. A.; HARRYSSON, O. L. Additive manufacturing–integrated hybrid manufacturing and subtractive processes: economic model and analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Taylor & Francis, v. 29, n. 5, p. 473–488, 2016.

MARTINHO, P. et al. Hybrid moulds: the use of combined techniques for the rapid manufacturing of injection moulds. In: *Virtual Modeling and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping*. Leiria, Portugal: Taylor & Francis, 2005. p. 505–510. ISBN 0-415-39062-1. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1822/34152>>.

MARTINHO, P. G.; BÁRTOLO, P. J.; POUZADA, A. S. Hybrid moulds: effect of the moulding blocks on the morphology and dimensional properties. *Rapid Prototyping Journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 15, n. 1, p. 71–82, 2009.

MARTINS, E.; ROCHA, W. *Contabilidade de custos*. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2003. v. 9.

MENGES, G.; MICHAELI, W.; MOHREN, P. *How to make injection molds*. [S.l.]: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013.

MISLICK, G. K.; NUSSBAUM, D. A. *Cost estimation: Methods and tools*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.

MOSHIRI, M. et al. Value chain comparison of additively and conventionally manufactured multi-cavity tool steel inserts: An injection molding industrial case study for high-volume production. *Applied Sciences*, MDPI, v. 12, n. 20, p. 10410, 2022.

OLIVEIRA, F. L. de. *Orçamento de usinagem de componentes de porta molde solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido por Prof. Carlos Maurício Sacchelli, Dr. Eng., em 05 de maio de 2024.

PAULA, S. C. d. N. de; CORRÊA, V. L. L.; SILVA, A. da. A contabilidade de custos e seu destaque na gestão. *Revista Eletrônica Organizações e Sociedade*, v. 8, n. 9, p. 125–139, 2019.

- PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, Taylor & Francis, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.
- PELIN, G.; SONMEZ, M.; PELIN, C.-E. The use of additive manufacturing techniques in the development of polymeric molds: A review. *Polymers*, v. 16, n. 8, 2024. ISSN 2073-4360. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/16/8/1055>>.
- PELIN, G.; SONMEZ, M.; PELIN, C.-E. The use of additive manufacturing techniques in the development of polymeric molds: a review. *Polymers*, MDPI, v. 16, n. 8, p. 1055, 2024.
- Polimold. *Catálogo Porta Molde 2 Placas*. 2023. Acesso em: 29 abr. 2025. Disponível em: <https://polimold.com.br/downloads/porta_molde/2placas/catalogo_2placas_web_full.pdf>.
- PONTICELLI, G. S. et al. Fused deposition modelling for aeronautics: techno-economic and environmental assessment for overhead locker supports replacement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 128, n. 9-10, p. 3817–3840, 2023.
- POUZADA, A. Hybrid moulds: a case of integration of alternative materials and rapid prototyping for tooling. *Virtual and Physical Prototyping*, Taylor & Francis, v. 4, n. 4, p. 195–202, 2009.
- PREVITALI, B. et al. Comparative costs of additive manufacturing vs. machining: the case study of the production of forming dies for tube bending. University of Texas at Austin, 2017.
- Prolab. *Forno Mufla 25 Litros 1200 °C com Rampas e Patamares*. 2025. Acesso em: 30 maio 2025. Disponível em: <<https://www.lojaprolab.com.br/forno-mufla-25-litros-1200-c-com-rampas-e-patamares-94446>>.
- QUEIRÓS, M.; PONTES, A.; POUZADA, A. Performance assessment of hybrid moulds for injection moulding. In: *PMI 2005 Á International Conference on Polymers & Moulds Innovations, Ghent*. [S.l.: s.n.], 2005.
- SANTOS, M. A. d. *Contabilidade de custos*. [S.l.]: UFBA, Faculdade de CiênciasContábeis, 2018.
- SEGAL, J.; CAMPBELL, R. A review of research into the effects of rapid tooling on part properties. *Rapid prototyping journal*, MCB UP Ltd, v. 7, n. 2, p. 90–99, 2001.
- SEVERINO, A. J. *Metodologia do Trabalho Científico*. [S.l.: s.n.], 2014.
- SILVA, V. H. Q. *Estudo do Desempenho de uma Cavidade de Molde de Injeção Construída pela Técnica de Estereolitografia com Máscara (MSLA) de Impressão 3D*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2025.
- SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. 3rd. [S.l.]: The MIT Press, 1996.
- SINGH, D.; JOSHI, K.; PATIL, B. Comparative economic analysis of injection-moulded component with conventional and conformal cooling channels. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, Springer, v. 103, n. 3, p. 307–317, 2022.

- SLAMA, M. B. et al. Design for additive manufacturing of plastic injection tool inserts with maintenance and economic considerations: an automotive study case. *Journal of Manufacturing Processes*, Elsevier, v. 102, p. 765–779, 2023.
- SLIM3D. *Filamento PETG Fibra – Slim 3D CORES: Carbon Fiber 1 kg*. 2025. <<https://www.slim3d.com.br/filamentos-premium/filamentos-de-engenharia/fibra-de-carbono/filamento-petg-fibra-slim-3d-cores-carbon-fiber-1kg>>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- SLIM3D. *Filamento PETG Premium – Slim 3D, 1 kg*. 2025. <https://www.slim3d.com.br/produtos/filamento-petg-premium-1kg-slim-3d?variant_id=351>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- SOARES, P. A. *Orçamento porta molde padrão 25.30 Polimold solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido pelo autor, em 12 de maio de 2025.
- STRUTZ, E. Gestão e análise de custos. *UNIASSELVI. Indaial-SC*, 2017.
- SURACE, R. et al. Laser-powder bed fusion molds without post-processing for micro-injection molding of mini/micro-products. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 127, n. 1, p. 677–688, 2023.
- Talmax. *Sistema de Lavagem e Cura para Resinas 3D Anycubic Wash & Cure 2.0 – Talmax*. 2025. Acesso em: 30 maio 2025. Disponível em: <<https://www.dentalweb.com.br/sistema-de-lavagem-e-cura-para-resinas-3d-anycubic-wash-cure-2-0-talmax>>.
- TANG, D.; EVERSHEIM, W.; SCHUH, G. Qualitative and quantitative cost analysis for sheet metal stamping. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Taylor & Francis, v. 17, n. 5, p. 394–412, 2004.
- TAYYARI, F. *Cost Analysis for Engineers and Scientists*. 1. ed. CRC Press, 2021. (Manufacturing and Production Engineering). ISBN 113836228X,9781138362284. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=F76764090CD38838170B870916801245>>.
- THOMAS, D. Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 85, p. 1857–1876, 2016.
- TOLDO, F. V. *Memorando de compra de Filamento de PEEK para impressão 3D de projeto solicitado por e-mail*. 2025. Comunicação pessoal. Recebido por Prof. Wagner Mauricio Pachekoski, Dr. Eng., em 21 de dezembro de 2023.
- TOSELLO, G. et al. Value chain and production cost optimization by integrating additive manufacturing in injection molding process chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 100, p. 783–795, 2019.
- TOSTO, C.; PERGOLIZZI, E.; CICALA, G. Comparison of three additive manufacturing (am) techniques for manufacturing complex hollow composite parts. In: WILEY ONLINE LIBRARY. *Macromolecular Symposia*. [S.l.], 2022. v. 404, n. 1, p. 2100340.
- TSAI, W.-H. Activity-based costing model for joint products. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 31, n. 3-4, p. 725–729, 1996.

- TSENG, Y.-J.; JIANG, B. Evaluating multiple feature-based machining methods using an activity-based cost analysis model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 16, p. 617–623, 2000.
- VASCONCELOS, L. et al. *Desempenho de insertos de PLA em moldes híbridos na injeção de peças em polipropileno*. Dissertação (TCC(graduação)) — Campus Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.
- WEI, H. et al. A motion state-based printing time modeling and printing cost analysis for laser direct deposition process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 114, n. 9, p. 3109–3121, 2021.
- XU, Y.; SANCHEZ, J. F.; NJUGUNA, J. Cost modelling to support optimised selection of end-of-life options for automotive components. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 73, p. 399–407, 2014.
- ZHA, J. Activity-based costing method: A study on controlling manufacturing costs in enterprises. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, v. 105, n. 5, p. 981 – 986, 2024. Cited by: 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85203266170&doi=10.1007%2fs40032-024-01088-2&partnerID=40&md5=3e6c2140bfd6b454eb9cfb1c19b8e340>>.
- ZLUHAN, G. P.; GONDAK, M. de O.; SANTOS, M. T. dos. Metodologia para elaboração da estimativa de custo para fabricação de moldes de injeção de termoplásticos. In: *4^o Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes*. Joinville, SC, Brasil: SOCIESC, 2006. p. 112–123. Trabalho apresentado no evento realizado de 2 a 5 de maio de 2006.
- ZOTO, J. F. *Especificação técnica aplicada as etapas de desenvolvimento de projeto de moldes de injeção de termoplásticos*. 2020.
- ÁLCOOL Isopropílico 1L de Limpeza Telas e Eletrônicos. 2025. Acesso em: 13 jul. 2025. Disponível em: <<https://www.mercadolivre.com.br/alcool-isopropilico-1l-de-limpeza-telas-e-eletronicos/p/MLB37557152>>.

APÊNDICE A – REPOSITÓRIO DE APÊNDICE

Na Tabela 23 estão os documentos que estão na pasta "Apendice" no repositório de documentos da UFSC para acesso integral dos arquivos. No arquivo: "Revisao Sistematica da Literatura" está as informações com protocolo de busca usado nas plataformas de indexação, assim como o de seleção dos documentos encontrados. No documento: "Custos Insertos" está a planilha MS EXCEL com o método desenvolvido para custeio dos inserto, método tradicional de conferencia, os dados de resultado e códigos VBA desenvolvido para automatizar o processo de obtenção dos valores nas interações entre os métodos.

Tabela 23 – Lista de documentos presentes na pasta "Apendice" no repositório da UFSC.

Nome do arquivo	Descrição
Revisao Sistematica Literatura	Descrição do protocolo de busca, seleção e triagem dos documentos da revisão do estado da arte.
Custos Insertos	Planilha MS EXCEL com método ABC e método tradicional, resultados e códigos VBA.

Fonte: Própria do autor.

Para acessá-los, utilizar o link do repositório: <<https://arquivos.ufsc.br/d/1d91e28c0dec47a48971/>>.

ANEXO A – REPOSITÓRIO DE ANEXO

Os anexos utilizados neste trabalho foram armazenados em nuvem para melhor organização e acesso por parte do leitor. Os documentos estão listados na Tabela 24 abaixo e distribuídos em três grupos: i) Dados técnicos de impressoras, ii) Folhas de detalhamento do molde e seus componentes, e iii) Orçamentos do molde, de serviços, impressoras 3D, máquinas de pós-processamento, materiais de consumo e fatura de energia elétrica, sendo listado o nome do arquivo, sua descrição e a fonte do respectivo documento.

Tabela 24 – Lista de documentos presentes na pasta "Anexos" no repositório da UFSC.

Nome do arquivo	Descrição	Fonte
Data - 01	Dados técnicos da impressora 3D de SLA Formlabs Form 3L	Aoiama (2025)
Data - 02	Dados técnicos da impressora 3D de FDM Intamsys FUNMAT HT	Caruso (2025)
Folha - 01	Detalhamento dimensional do porta-molde MDL 25.30 utilizado para injetar peças	Luciano (2021)
Folha - 02	Detalhamento de componentes do porta-molde MDL 25.30 utilizado para injetar peças	Luciano (2021)
Folha - 03	Parte 1 do detalhamento dimensional do porta-inserto utilizado para comportar os inserts de cavidade	Damasceno (2024)
Folha - 04	Parte 2 do detalhamento dimensional do porta-inserto utilizado para comportar os inserts de cavidade	Damasceno (2024)
Folha - 05	Parte 1 do detalhamento dimensional do inserto de cavidade utilizado para injetar peças no laboratório da UFSC	Damasceno (2024)
Folha - 06	Parte 2 do detalhamento dimensional do inserto de cavidade utilizado para injetar peças no laboratório da UFSC	Damasceno (2024)
Orçamento - 01	Orçamento do porta-molde MDL 25.30 utilizado para injetar peças no laboratório da UFSC	Drechsler (2014)
Orçamento - 02	Orçamento do porta-molde Polimold 25.30, utilizado como cotação substituta para o orçamento do porta-molde MDL 25.30	Soares (2025)

Nome do arquivo	Descrição	Fonte
Orçamento - 03	Orçamento de serviço de usinagem de componentes em porta-molde	Oliveira (2025)
Orçamento - 04	Orçamento da impressora 3D de SLA LD-002H da Creality	Loja 3D (2025)
Orçamento - 05	Orçamento da impressora 3D de FDM Ender 3 V3 SE da Creality	Creality Store Brasil (2025)
Orçamento - 06	Orçamento da impressora 3D de FDM Intamsys FUNMAT HT	Caruso (2025)
Orçamento - 07	Orçamento da impressora 3D de SLA Formlabs Form 3L, máquina de lavagem Form Wash L e máquina de cura Form Cure L	Aoiana (2025)
Orçamento - 08	Orçamento da máquina de lavagem e cura para resinas 3D Wash and Cure 2.0 Anycubic	Talmax (2025)
Orçamento - 09	Orçamento da máquina de recozimento de PEEK, forno Mufla 25 Litros	Prolab (2025)
Orçamento - 10	Orçamento do filamento PLA para impressão 3D por FDM	Creality (2025a)
Orçamento - 11	Orçamento do filamento PLA com 20% de fibra de carbono para impressão 3D por FDM	Creality (2025b)
Orçamento - 12	Orçamento do filamento PETG para impressão 3D por FDM	Slim3D (2025b)
Orçamento - 13	Orçamento do filamento PETG com 20% de fibra de carbono para impressão 3D por FDM	Slim3D (2025a)
Orçamento - 14	Memorial de compra do filamento de PEEK para impressão 3D por FDM	Toldo (2025)
Orçamento - 15	Orçamento da resina de alta temperatura para impressão 3D por SLA	3DLAB (2025a)
Orçamento - 16	Orçamento da resina padrão para impressão 3D por SLA	3DLAB (2025b)
Orçamento - 17	Orçamento da resina rígida 10K para impressão 3D por SLA	Formlabs (2025)
Orçamento - 18	Fatura de energia do bloco universitário do campus Joinville da UFSC	Bizarri (2025)
Orçamento - 19	Orçamento do notebook Dell G15 utilizado nas etapas de pré-processamento dos insertos	CASAS BAHIA (2025)

Nome do arquivo	Descrição	Fonte
Orçamento - 20	Orçamento do litro de álcool isopropílico utilizado para a limpeza dos insertos fabricados pela tecnologia SLA	Álcool... (2025)

Fonte: Própria do autor.

Para acessá-los, utilizar o link do repositório: <<https://arquivos.ufsc.br/d/1d91e28c0dec47a48971/>>.