

# **PROGRAMA ROTA 2030 - MOBILIDADE E LOGÍSTICA**

**Linha IV: FERRAMENTARIAS BRASILEIRAS MAIS COMPETITIVAS**

**Eixo (iii) – Pesquisa e desenvolvimento disruptivos**

**CHAMADA DE PROPOSTAS Nº 03/2020**

## **Projeto MAM: Manufatura Avançada de Moldes**

**Coordenador Geral:**

Prof. Dr. Adriano Fagali de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina **UFSC-CTJ**

**Coordenador Associado:**

Prof. Dr. Carlos Henrique Ahrens

Universidade Federal de Santa Catarina **UFSC-Florianópolis**

**Instituições envolvidas:**

**Proponente: UFSC-CTJ** Universidade Federal de Santa Catarina / Centro Tecnológico de Joinville

**UFSC** Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis

**USP-EESC** Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos

**UNICAMP** Universidade Estadual de Campinas

Julho de 2020

## Sumário

1.	Resumo executivo.....	2
2.	Objetivos gerais da proposta.....	2
3.	Apresentação dos projetos e subprojetos sistemáticos .....	3
3.1.	Projeto sistemático 1: Tecnologias avançadas em usinagem .....	5
3.2.	Projeto sistemático 2: Sistemas computacionais e gestão: Indústria 4.0 e gestão de ferramentarias .....	10
3.3.	Projeto sistemático 3: Manufatura aditiva, projeto e metrologia.....	12
3.4.	Projeto sistemático 4: Inovações no Processo de Injeção.....	15
4.	Justificativa e Relevância .....	17
5.	Introdução e estado da arte .....	19
6.	Metodologia.....	19
6.1.	Fase de concepção: levantamento das demandas técnicas das ferramentarias .....	19
6.2.	Equipamentos empregados e laboratórios .....	20
6.3.	Governança .....	21
7.	Resultados previstos e transferências ao setor industrial.....	21
8.	Equipe técnica.....	24
9.	Plano de trabalho .....	25
10.	Planos de trabalho individuais - bolsistas e pesquisadores.....	27
11.	Orçamento detalhado .....	27
12.	Método de tracking .....	29
13.	Referências .....	29

## 1. Resumo executivo

Esta proposta busca contribuir com o **PPP FEB+C Eixo iii** através do desenvolvimento de um conjunto de projetos sistemáticos de pesquisa e interações com indústrias fabricantes de moldes e injeção de plásticos, para atender as indústrias automotivas nacionais. O resultado do desenvolvimento destes projetos sistemáticos multidisciplinares representará um importante apoio no desenvolvimento e na implantação de novas tecnologias no ambiente industrial no Brasil. O projeto será realizado na **UFSC-CTJ Joinville-SC** integrando laboratórios já existentes na instituição, formará uma rede de trabalho com a **UNICAMP, USP-EESC e UFSC-Florianópolis**, e conta com a participação da **ABINFER**, apoio de diversas indústrias parceiras e de apoio. Será desenvolvido *“um conjunto de 4 projetos sistemáticos (TRL 2-4) subdivididos em 15 subprojetos interligados”*, focados no setor automobilístico, em consonância com a **Chamada Nº03/2020**. Os temas de pesquisa foram levantados juntamente com ferramentarias durante a concepção desta proposta. De forma geral, objetiva-se: i) redução dos tempos que não agregam valor ao produto; ii) redução de custos; iii) estudo e implantação de novas tecnologias (consolidar e manter o conhecimento no Brasil). Estão envolvidos 13 professores/pesquisadores e previstos 32 bolsistas de graduação e pós-graduação, fomentados pelo **ROTA 2030**. Esta proposta abrangerá parceiros industriais diretos e parceiros remotos, que deverão oficialmente participar das atividades propostas oferecidas no decorrer da proposta (estimam-se 80 indústrias). Estão previstos *workshops*, publicações de artigos, cursos de capacitação, implementação da grade curricular do curso de engenharia automotiva da **UFSC Joinville**, dentre outros. Na governança da proposta prevê-se a continuidade do núcleo após os 3 anos do projeto, com eleição de novo coordenador. Este projeto ainda pretende contribuir massivamente com o desenvolvimento de indústrias brasileiras que projetam e fabricam periféricos para ferramentarias, a citar: fabricantes de máquinas CNC e CLP para injetoras; fabricante de sistemas de referenciamento; fabricantes de sistemas de fixação, dentre outros.

## 2. Objetivos gerais da proposta

O objetivo geral desta proposta é desenvolver um conjunto de projetos sistemáticos, e respectivos subprojetos, que resultarão na formação de uma rede de pesquisa aplicada para apoio ao segmento de moldes e injeção de plásticos no Brasil, e por consequência, apoio para as indústrias automotivas através da redução dos custos de moldes fabricados no país. Com o desenvolvimento destes projetos sistemáticos, pretende-se:

i) Colaborar com as ferramentarias e demais indústrias brasileiras relacionadas ao setor automotivo para se manterem ativas e competitivas (cadeia de fornecedores de ferramentarias). Consolidar e manter o conhecimento no Brasil.

ii) Consolidar um núcleo tecnológico de pesquisa e formar uma rede de pesquisadores para apoiar este segmento industrial brasileiro, através do desenvolvimento e implantação de novas tecnologias e processos em ambiente de pesquisa e industrial. Após o encerramento deste projeto (3 anos) objetiva-se manter o centro de pesquisa, expandir tanto a rede de pesquisadores (outros estados do Brasil) assim como número de empresas parceiras.

iii) No âmbito técnico-aplicado, tem-se por objetivo geral aplicar novas tecnologias e processos para:

- Redução custos e tempos improdutivos em ferramentarias (tempo de preparação de máquina, compensação das ferramentas de corte, dentre outros). Espera-se reduzir 30% dos tempos que não agregam valor ao produto.

- Elevar produtividade (redução de tempos em ferramentarias, processos de fabricação). Espera-

se reduzir 20% os tempos de fabricação de moldes.

- Estudar tecnologias avançadas. Serão estudadas novas tecnologias e adequações de tecnologias já utilizadas em outros segmentos industriais, para serem empregadas em ferramentarias. Aprimoramentos significativos serão alcançados com o projeto, muitas vezes não mensuráveis diretamente, mas imprescindíveis para manter a competitividade desta indústria frente ao desafio internacional. Incluem-se neste item: aprimoramentos em projetos, processos de fabricação, qualidade dos moldes, gestão da produção, redução dos ciclos de injeção de peças plásticas. Pode-se citar algumas tecnologias a serem desenvolvidas, nesta proposta, para este segmento: Indústria 4.0 para monitoramento e controle do processo de produção de moldes e do processo de injeção de plásticos; integração entre sistemas CAx e ERP/MRP para gestão de produção não-seriada; moldes com canais complexos de refrigeração (*conformal cooling*), fabricados por manufatura aditiva metálica (SLM); instrumentação de moldes com sensores internos de pressão e temperatura; texturização a laser em máquina CNC; novos materiais; dentre outros.

Assim, este projeto pretende colaborar com a atualização e desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas em ferramentarias brasileiras e, por consequência, com as indústrias automotivas nacionais.

Os níveis de desenvolvimento dos 4 projetos sistemáticos estão concentrados entre os TRL 2-4. Contudo, durante as reuniões com as indústrias e ABINFER, na fase de concepção desta proposta, identificou-se a extrema necessidade de implementar e consolidar tecnologias já desenvolvidas, mas ainda não implementadas nas indústrias de moldes no Brasil. Assim, de forma geral, é necessário primeiro nivelar as indústrias brasileiras com os competidores internacionais, para posteriormente possibilitar a implementação de novas tecnologias. Neste contexto, o projeto prevê, adicionalmente, atividades baseadas no TRL 5 (experimentos em ambiente relevante para cadeia automotiva) que serão realizadas nas indústrias parcerias (7 fabricantes de moldes e 2 fabricantes de peças plásticas por injeção), durante o período de *Tracking*.

### 3. Apresentação dos projetos e subprojetos sistemáticos

Esta proposta é composta por um conjunto de 4 projetos sistemáticos subdivididos em 15 subprojetos que estão interligados. Os temas dos projetos foram identificados na fase inicial de concepção da proposta, em discussão diretamente com ferramentarias e indústrias de suporte (a fase inicial encontra-se detalhada no Item 6.1).

Unindo as expectativas das indústrias com a experiência do grupo de pesquisadores envolvidos, identificaram-se as áreas de atuação que o presente projeto contemplará: processos de fabricação de moldes (usinagem, manufatura aditiva metálica), indústria 4.0 / sistemas computacionais, projeto, metrologia e processos de injeção. Nesta ocasião, baseando-se no escopo da presente Chamada Pública, foram também identificados 3 níveis de amadurecimento tecnológico abordado nos projetos:

- i. novas tecnologias;
- ii. tecnologias já existentes, mas que comumente não são empregadas em produção não-seriada (ferramentarias);
- iii. tecnologias disponíveis, mas que, as ferramentarias, devido suas características de demanda e limitações de capacidade da empresa, não são capazes de absorvê-las e introduzi-las na rotina de produção.

Assim, para contribuir efetivamente com o objetivo geral da **Chamada FEB+C**, confrontou-se os 3 níveis de desenvolvimento tecnológico para identificar 4 linhas de projetos sistemáticos (PS) e 15 subprojetos (**SPS**), como resumido pela Tabela 1.

Tabela 1: Apresentação geral dos 4 PS e 15 SPS e principais interações entre eles.

	<b>Subprojeto Sistemático (SPS)</b>		<b>Interações</b>	
			<b>Fornecerá</b>	<b>Receberá</b>
<b>Projeto Sistemático 1</b> <b>PS-1: Tecnologias avançadas em usinagem</b>	SPS 1.1	Programação, simulação e usinagem com robôs. Avaliação de processos de usinagem e materiais.	Robô para testes de usinagem SPS 1.5; 1.6	Do SPS 1.2, auxílio programação CAD/CAM; e dados para estudos comparativos de erro de forma e avaliação de superfície para realização de estudos comparativos da usinagem com robôs e máquinas 5 eixos (UNICAMP e parceiro JN Ferramentaria).
	SPS 1.2	Estudo e desenvolvimento do fresamento 5 eixos aplicado em ferramentarias. Trabalho em parceria com a UNICAMP e a indústria JN Ferramentaria.	Experiência programação CAD/CAM para 1.3.; material para avaliação de fresamento 5 eixos com SPS 1.1.	Do SPS 1.3, experiência de processos de usinagem; e do SPS 1.1 material para avaliação de usinagem com robô x 5 eixos.
	SPS 1.3	Estudo do processo de furação profunda em moldes empregando fresamento 5 eixos, UNICAMP.	Experiência de usinagem para SPS 1.1-1.6. Interações com indústrias parceiras.	Do SPS 1.2, auxílio programação CAD/CAM
	SPS 1.4	Modelo para identificar dinamicamente o contato ferramenta-peça para previsão de força no fresamento de moldes.	Modelo matemático para prever força de usinagem e consequentemente os erros de forma.	Do SPS 1.2 e 1.3, retorno das condições reais de usinagem.
	SPS 1.5	Estudo de fluídos de corte e diferentes técnicas de aplicação para usinagem de moldes.	Conhecimento para otimização de processos de usinagem para os SPS 1.2, 1.3 e 1.6. Interações com indústrias parceiras.	Dos SPS 1.2, 1.3 e 1.6 resultados sobre força de usinagem.
	SPS 1.6	Programação CNC avançada para fabricação de moldes Estudo de texturização a laser na máquina CNC.	Informações dos problemas de contato ferramenta-peça para SPS 1.4. Interações com indústrias parceiras. Fornecer insertos de moldes com diferentes materiais para testes do SPS 4.2.	Dos SPS 1.2, 1.3, 1.4 informações para otimização da fabricação de moldes.
<b>Projeto sistemático 2 (PS-2)</b> <b>Sistemas computacionais e gestão: Indústria 4.0 e gestão de ferramentarias</b>	SPS 2.1	Desenvolvimento das técnicas de Indústria 4.0 para ferramentarias.	Ferramentas de indústria 4.0 para testes em laboratório para o SPS 2.2, 4.1, 4.2. Interações com indústrias parceiras.	Do SPS 2.2, informações para desenvolver aplicativo para controle e gestão da produção remotamente (máquina CNC e injetora).
	SPS 2.2	Sistemas computacionais para gestão de indústrias de moldes.	Ferramentas para gestão de produção não seriada (ferramentarias) e produtos plásticos. Interações com os SPS 1.2, 1.6, 2.1. Interações com indústrias parceiras.	Do SPS 1.6 informações para gestão industrial de ferramentarias; do SPS 4.2 informações sobre gestão de injeção de plásticos.
	SPS 2.3	Aprendizado de Máquina para a determinação de rugosidade de superfícies	Métodos computacionais para a estimativa de rugosidade de superfícies. Interações com SPS 2.1, com possibilidade de integração ao sistema.	Do SPS 3.3, estimativas de rugosidade obtidas com métodos advindos da metrologia.
<b>Projeto sistemático 3 (PS-3)</b>	SPS 3.1	Projeto de moldes e simulações CAE: padronização para manufatura e projeto.	Fornecer simulações CAE para SPS 3.2, 4.1, 4.2 e 4.3.	Informações de fabricação do SPS 1.6 e de injeção do SPS 4.2.

	SPS 3.2	Metrologia aplicada em processo de usinagem de molde.	Material para análise: SPS 1.2, 1.6 (erros de forma e superfície). Fornecer valores de referência de rugosidade em superfícies complexas para o SPS 2.3 (Imagem).	Material para estudo dos SPS 1.2, 1.6, 2.3, 4.2.
	SPS 3.3	Estudo de moldes com <i>conformal cooling</i> fabricados por manufatura aditiva metálica (SLM).	Matriz experimental de injeção com o molde com <i>conformal cooling</i> para SPS 4.2. Geometrias CAD para SPS 3.1 simular. Fabricação de insertos com novos sistemas de <i>conformal cooling</i> fabricados pela parceira Bosch.	Do SPS 3.1 dados da simulação CAE; do SPS 4.2 dados de injeção (temperatura, pressão etc).
<b>Projeto sistemático 4 (PS-4)</b> <b>Inovações no Processo de Injeção</b>	SPS 4.1	Desenvolvimento de malha de controle do processo de injeção e monitoramento.	Dados de pressão e temperatura para identificar qualidade das peças plásticas (SPS 4.2), gestão (SPS 2.2) e indústria 4.0 (SPS 2.1).	Molde e geometrias CAD do SPS 3.2. Simulações CAE do SPS 3.1.
	SPS 4.2	Influência dos materiais empregados na injeção em moldes com <i>conformal cooling</i> fabricados por manufatura aditiva metálica.	Informações do comportamento do molde padronizado durante processos de injeção (solicitações mecânicas, etc) para SPS 3.1. Informações do processo e peças plásticas com <i>conformal cooling</i> para o SPS 3.3. Comportamento dos diferentes materiais do molde, na injeção e nas peças, para SPS 4.3.	Do SPS 1.6, receberá insertos do molde de pesquisa fabricados com diferentes materiais. Receberá o molde com <i>conformal cooling</i> do SPS 3.3. Simulações CAE da injeção e peças plásticas do SPS 3.1.
	SPS 4.3	Estudo de materiais para a fabricação de moldes.	Material para fabricação de insertos do molde para o SPS 1.6.	Resultados da fabricação. Resultados do processo de injeção empregando diferentes materiais no molde.

A seguir, para cada um dos subprojetos sistemáticos, serão apresentados: 1) os objetivos específicos; 2) problema a ser resolvido; 3) benefícios esperados; 4) metodologia a ser aplicada; 5) indicadores de desempenho; 6) bases técnicas e científicas. Os resultados previstos estão apresentados no item 7. O Plano de Trabalho específicos de cada subprojeto está apresentado no Item Plano de Trabalho Individual.

### 3.1. Projeto sistemático 1: Tecnologias avançadas em usinagem

O PS-1 está focado em elevar a produtividade através do desenvolvimento de tecnologias inovadoras e otimizações focadas nas indústrias de moldes para o setor automotivo. Destacam-se integração CAD/CAM – robôs (TRL 3), estudos dos diferentes processos de usinagem/materiais com robôs (TRL 4), usinagem 5 eixos para fabricação de moldes (TRL 4), desenvolvimento de modelo matemático para prever as condições de usinagem de moldes (TRL 2). Este Projeto Sistemático contém 6 subprojetos (SPS), apresentados a seguir. Alguns temas do PS 1 serão avaliados em ambiente relevante para cadeia automotiva (indústrias parceiras TRL 5).

#### **SPS 1.1: Estudo e desenvolvimento da programação, simulação e usinagem com robôs.**

**Objetivos específicos:** Identificar as possibilidades e limites na utilização de robôs para fresamento de moldes, avaliando material a ser usinado, rigidez do robô, forças na usinagem, erros de forma nas peças usinadas, vibrações e operações de usinagem viáveis (desbaste, acabamento, polimento).

**Problema:** Elevado tempo de polimento manual de moldes. Alto custo de máquinas CNC. Pouca flexibilidade de usinagem com CNC devido a limitação do número de eixos. Necessidade de avaliação de usinagem com robôs visto sua flexibilidade (6 graus de liberdade) para atender às demandas da indústria 4.0. Para aplicações em usinagem robôs apresentam baixa rigidez e precisão as quais podem ser contornadas via programação. Robôs podem ser programados para realização de usinagem de formas complexas possibilitando integração direta CAD/CAM.

**Benefícios:** Redução do tempo de usinagem e de custos de fabricação. Definição da viabilidade de usinagem com robôs para diversas aplicações envolvendo materiais / formas / força / usinabilidade e solicitações de precisão. Aumento de disponibilidade de equipamentos para a indústria local gerando maior competitividade no mercado mundial.

**Metodologia:** consolidar o conhecimento da programação e simulação da usinagem de formas complexas utilizando robôs, e os sistemas CAD/CAM Siemens NX e simulação com software CGTECH Vericut. Ambos os sistemas disponibilizados pelos fornecedores como apoio ao projeto. Desenvolver uma matriz de experimentos práticos de usinagem variando material, geometria, ferramenta. Identificar os esforços (forças/momentos/vibrações) que surgem na usinagem. Ambos os recursos (robô/dinamômetro) serão adquiridos com recursos do ROTA 2030. Realizar a avaliação sistemática da qualidade da usinagem, erros de forma, vibrações, rugosidade em diferentes materiais e processos (desbaste até polimento). Apresentar uma matriz de aplicações com vantagens e desvantagens da usinagem com robôs.

**Indicadores de desempenho:** Redução do tempo de usinagem (e.g. polimento). Redução do custo de fabricação de moldes. Matriz com aplicações (material/processo/resultado/vantagens) factíveis de usinagem de moldes com robôs.

**Bases técnicas e científicas:** Verl et al. (2019) apresentam uma revisão bibliográfica geral sobre usinagem com robôs. Os autores apontam os principais problemas que estão relacionados principalmente com a rigidez, programação e comportamento dinâmico do robô o qual entra em ressonância em algumas tarefas de usinagem (e.g. fresamento) comprometendo qualidade e precisão. Ainda, os autores apresentam as principais aplicações de usinagem com robôs, os desenvolvimentos e resultados, os principais desafios para tornar a usinagem com robôs uma realidade, além das tendências futuras na área. Kim et al. (2019) apresentam uma revisão bibliográfica focada na calibração da cinemática do robô e da compensação de erros para melhorar a precisão da usinagem robótica. De acordo com os autores, erros geométricos do robô devido a inconsistências dos parâmetros cinemáticos e erros de alinhamento podem ser compensados com calibração. Já rigidez, ressonância, atrito, folga e fatores do ambiente (e.g. temperatura) podem ser compensados na execução da trajetória do robô.

### **SPS 1.2: Estudo e desenvolvimento do fresamento 3, 4 e 5 eixos em ferramentarias.**

**Objetivos específicos:** Identificar as possibilidades e limites do fresamento 5 eixos para operações de desbaste, pré-acabamento e acabamento de moldes. Identificar e quantificar os ganhos e as limitações do de fresamento 5 eixos envolvendo rugosidade e erros de forma: máquina / CNC / processo / ferramentas. Identificar operações econômicas de usinagem em função do grau de liberdade da máquina, aplicadas em ferramentarias.

**Problema:** Embora utilizadas há algumas décadas nas indústrias aeronáuticas, o fresamento 5 eixos ainda é incipiente para a fabricação de moldes. A viabilidade econômica, aplicações indicadas, e adequação das etapas de usinagem (desbaste, alívio de cantos, pré-acabamento e acabamento) ainda não são claros. Para viabilizar o emprego de máquinas 5 eixos para a fabricação de moldes, o elevado custo de máquina CNC, sistemas CAD/CAM e operação devem ser avaliados cautelosamente.

**Benefícios:** Maior flexibilidade de usinagem (comparado às máquinas CNC mais utilizadas, 3 eixos), resultando em redução de operações de eletro-erosão, redução de fixações, podendo representar redução de custos e tempos de fabricação de moldes, além de evitar micro trincas superficiais, causadas pela eletro-erosão.

**Indicadores de desempenho:** Aumento de competitividade, reduzindo tempos de fabricação. Elevação da vida-útil do molde (redução das micro trincas causada pela eletroerosão).

**Bases técnicas e científicas:** Souza e Albano (2012) apresentam um estudo de caso para avaliar a usinagem 5 eixos na indústria de moldes e mostram que ainda não é claro custo – benefício, uma vez que além da máquina, devem ser considerados os custos e os tempos envolvidos na programação e simulação de usinagem com software CAD/CAM. Conforme apresentado por Ozturk e Budak (2007), dois novos parâmetros de usinagem devem ser definidos para o fresamento 5 eixos: ângulo no sentido de avanço e ângulo perpendicular ao sentido de avanço (*lead* e *tilt*). Estes parâmetros ainda são definidos empiricamente pelas indústrias que utilizam 5 eixos, e podem ter um significativo impacto no processo de fabricação.

**Metodologia:** treinamento para programação e simulação da usinagem de formas complexas empregando máquinas CNC de 3, 4 e 5 eixos (está última será realizada na UNICAMP e na indústria parceira JN ferramentaria) com os sistemas CAD/CAM Siemens NX e simulação com software CGTECH Vericut. Matriz experimental para avaliação custo-benefício da usinagem com diferentes graus de liberdade aplicadas em ferramentarias: estudos dos tempos de processo, tempos envolvidos na programação CAD/CAM, simulação, tempos de processamento e pós-processamento, qualidade da usinagem, redução de eletroerosão. Matriz experimental com testes de usinagem para identificar as operações econômicas, e a rugosidade da superfície e os erros de forma: máquina / CNC / processo, identificando as componentes da força de usinagem para flexão da ferramenta. Avaliação com as máquinas dos laboratórios UFSC e indústrias parceiras.

### **SPS 1.3: Desenvolvimento do processo de furação profunda em moldes empregando fresamento 5 eixos**

**Objetivos específicos:** Identificar as possibilidades de se empregar máquinas 5 eixos para furação profunda em moldes, avaliando materiais endurecidos, forças na usinagem, rugosidade e otimização de parâmetros e ferramentas de corte.

**Problema:** Elevados tempos de usinagem por furação profunda em moldes. Utilização de diferentes máquinas, elevando tempo de preparação. Qualidade dos furos, avarias nas ferramentas de corte, adequação de máquinas, fluidos e parâmetros de corte ainda pouco aprimorados.

**Benefícios:** Redução de tempos produtivos de usinagem. Redução dos tempos improdutivos, de preparação e referenciamento de moldes em diferentes máquinas (fresamento e furação empregando a mesma máquina, com 5 graus de liberdade).

**Indicadores de desempenho:** Redução dos tempos produtivos de moldes (nas operações de furação) e redução dos tempos improdutivos, realizando o fresamento e a furação na mesma máquina CNC.

**Bases técnicas e científicas:** A furação profunda caracteriza-se por dois grandes desafios: condições instáveis de corte, principalmente porque as ferramentas possuem longos balanços e demanda por elevada qualidade dos furos. Para conciliar esses dois quesitos, as ferramentas utilizadas geram desbalanceamento de esforços a fim de diminuir os desvios de retitude e de diâmetro e aumentar a qualidade superficial. Além disso é necessária uma elevada vazão de fluido de corte para promover a remoção contínua de cavacos e melhorar a refrigeração e lubrificação. Em furos com diâmetros menores é muito importante selecionar a geometria, material e revestimento da ferramenta adequados, devido à situação instável de corte, quando da furação de materiais de alto desempenho. Ferramentas com diâmetros maiores possibilitam outras possibilidades de projeto para adequar sistemas adaptáveis tais como materiais com capacidade de amortecimento (para barras de mandrilamento, por exemplo) para vencer as condições instáveis Biermann et al. (2018).

**Metodologia:** treinamento para programação e simulação da usinagem de furos profundos em moldes empregando máquina CNC 5 eixos do laboratório de usinagem da UNICAMP.

Desenvolvimento de matriz experimental para testes de usinagem de furação profunda avaliando materiais endurecidos, forças na usinagem, integridade superficial, características geométricas dos furos e otimização de parâmetros e ferramentas de corte. Essa matriz experimental prevê etapas sequenciais, nas quais o melhor resultado de uma etapa é sempre refinado na etapa seguinte. Avaliação com indústrias parceiras.

#### **SPS 1.4: Modelo para identificar dinamicamente o contato ferramenta-peça para previsão de força no fresamento de moldes**

Objetivos específicos: Desenvolver modelo analítico do contato ferramenta-peça para fresamento de formas complexas empregando ferramentas de ponta esférica. Implementação no software CAD/CAM NX Siemens. Este modelo poderá ser utilizado para prever força real de usinagem de formas complexas. Erros geométricos. Rugosidade.

Problema: devido às constantes alterações do contato ferramenta-peça (fresamento das formas complexas dos moldes, necessitando ferramentas de ponta esférica), os sistemas CAM atuais não são capazes de identificar a força de usinagem, que oscilam constantemente, ao longo de uma trajetória, conforme alterações do contato ferramenta-peça. Assim, hoje os programadores que utilizam sistemas CAM não podem administrar os impactos destas oscilações da força, tais como: erros de forma causados pela flexão da ferramenta, desgaste da ferramenta, solicitações da máquina, rugosidade, etc.

Benefícios: Reduzir retrabalho de usinagem para corrigir erros de forma nos moldes, causados pela flexão da ferramenta. O programador poderá identificar as regiões de maior e menor esforço de usinagem, e assim, adequar melhor os parâmetros de corte. Implementação em software CAM.

Indicadores de desempenho: Redução do tempo de retrabalho devido a erros geométricos causados durante o processo de usinagem, pela flexão da ferramenta de corte.

Bases técnicas e científicas: Ferramentas de corte com pontas esféricas são as mais indicadas para o fresamento de formas complexas (moldes) e as condições do contato da ferramenta com a superfície a ser usinada altera-se constantemente ao logo da usinagem (Szymon e Mrozek, 2017). O planejamento do processo de fabricação destas peças fica limitado ao conhecimento do usuário. Este processo de usinagem ainda não está plenamente normalizado. A norma DIN 8589 define apenas como um caso especial do fresamento frontal. Estudos sobre os fenômenos de usinagem nestes casos já foram realizados pelo grupo (ex.: SOUZA et al, 2014). Contudo, um modelo analítico para identificar a região e a área de contato da ferramenta ao longo da usinagem é necessário para prever a força de usinagem e suas consequências (ex.: flexão da ferramenta – erros de forma, etc.) Este modelo ainda não foi desenvolvido.

Metodologia: desenvolvimento matemático de um modelo analítico para identificar as alterações do contato ferramenta-peça para fresamento de formas complexas empregando ferramentas de ponta esférica. Avaliar o modelo desenvolvido com simulações geométricas com o software CAD. Implementação no software CAD/CAM NX Siemens. Este modelo poderá ser utilizado para prever força real de usinagem de formas complexas. Erros geométricos. Rugosidade.

#### **SPS 1.5: Estudo de fluídos de corte e diferentes técnicas de aplicação para usinagem de moldes.**

Objetivos específicos: Elevar vida da ferramenta e a qualidade da superfície usinada em moldes com formas geométricas complexas, reduzir força de corte e erros de forma.

Problema: Desgaste acentuado das fresas de topo reto, toroidais e topo esférico devido aos elevados tempos de usinagem, especialmente desbaste, pré-acabamento e acabamento de

cavidades, de moldes e matrizes, associado à maior resistência mecânica do material da peça (aços ferramentas pré-endurecidos ou endurecidos contendo elementos de liga de difícil usinabilidade, como Cr, Ni, Si, V etc). Esta combinação induz a erros geométricos e baixa qualidade da superfície usinada também devido a maiores níveis de força de usinagem, dado o maior atrito na interface cavaco-ferramenta.

**Benefícios:** Redução dos erros geométricos e da força de usinagem causados pelo desgaste excessivo da ferramenta de corte. Melhor qualidade da superfície usinada com aplicação de MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante), em conjunto com o emprego de ferramentas abrasivas nas operações de acabamento. Identificação de pontos positivos e negativos da aplicação de MQL, com ou sem o uso de ferramentas abrasivas, na usinagem não seriada de moldes.

**Indicadores de desempenho:** Qualidade do Produto (erros de forma e acabamento) e Eficiência do Processo (força de usinagem e desgaste da ferramenta de corte). Métrica: medição de erros geométricos, rugosidade e força de usinagem em operações de acabamento, relacionando-os à aplicação ou não de MQL e ferramentas abrasivas; medição da evolução do desgaste das fresas nas operações de desbaste, associando-o ao emprego ou não de MQL. Meta: Buscar-se-á os menores valores dos 4 indicadores de desempenho (erros de forma, rugosidade, força de usinagem e desgaste da ferramenta).

**Bases técnicas e científicas:** Nos dias atuais, a otimização da usinagem não reside apenas em minimizar custos, mas também em impactar minimamente o meio ambiente e a saúde do trabalhador. Assim, técnicas de usinagem quase-seca, como Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) têm sido boas alternativas à aplicação abundante de fluidos de corte. A técnica de MQL é de fácil aplicação, baixo custo e pouco robusta (portátil), entretanto sua aplicação tem aumentado na indústria automotiva e pouco explorada na indústria não seriada (moldes e matrizes), sobretudo com usinagem abrasiva, que pode ser considerada ainda em evolução (Abellan-Nebot; Rogero, 2019).

**Metodologia:** Desenvolver matriz de experimentos práticos de usinagem avaliando o sistema convencional de aplicação de fluido de corte e o método MQL (mínima quantidade de lubrificante). O equipamento MQL e o fluido de corte serão fornecidos pelas empresas de apoio, Blaser e Ibatech. Avaliação da força de usinagem (dinamômetro a ser adquirido pelo ROTA 2030), vida da ferramenta e erros de forma (laboratório de metrologia EESC-USP e UFSC-CTJ). Avaliação com indústrias parceiras.

### **SPS 1.6: Programação CNC avançada para fabricação de moldes e texturização a laser.**

**Objetivos específicos:** Estudar novas técnicas na programação da usinagem de moldes, envolvendo geometria, novas trajetórias de usinagem (desbaste por mergulho, trocoidal) sequência de ferramentas, sequência de operações e parâmetros geométricos de corte. Estudo de texturização a laser na máquina CNC.

**Problema:** Falta de conhecimento sobre o nível de otimização empregado nos processos de fresamento de moldes, correlacionando: parâmetros de corte, operações (desbaste, alívio de cantos, pré-acabamento, acabamento), valores de sobre-metal, valores de tolerância de cálculo de trajetórias de ferramenta pelos sistemas CAM, material a ser usinado, rugosidade ótima (custo X benefício). Problemas e baixa produtividade com texturização convencional (química).

**Benefícios:** Redução de tempos produtivos de usinagem e redução de custos relacionados ao acabamento na máquina CNC versus polimento posterior. Melhora de qualidade nos texturizados.

**Indicadores de desempenho:** Redução dos tempos produtivos e custos relativos à rugosidade da superfície fabricada na máquina CNC, incluindo texturizações.

**Bases técnicas e científicas:** Embora a tecnologia de programação CNC via software CAD/CAM esteja relativamente bem difundidas nas indústrias de moldes, estes sistemas não são capazes de

identificar os melhores parâmetros de corte, os processos específicos nem as trajetórias de ferramenta mais adequada para uma geometria específica (os sistemas CAM comerciais oferecem várias opções). Esta tarefa é responsabilidade do usuário. Assim, muitas vezes a fabricação de moldes não é otimizada, comprometendo prazos de entrega e a competitividade, como mostra SOUZA et al. (2014), onde apenas na operação de acabamento por fresamento, pode-se reduzir em até 40% do tempo de fabricação, apenas identificando as melhores trajetórias de ferramenta. Portanto, muito estudo ainda deve ser realizado (parâmetros de corte e processos: desbaste, alívio de cantos, pré-acabamento, acabamento) e implementado nas indústrias de moldes no Brasil, para se manterem competitivas e colaborar com o desenvolvimento da indústria automotiva nacional e do país.

**Metodologia:** Treinamento com os sistemas CAD/CAM Siemens NX e simulação com software CGTECH Vericut. Levantamento sistemático de novas estratégias de usinagem como desbaste por mergulho, trocoidal e otimizadores de avanço e rotação da ferramenta. Desenvolver matriz de experimentos práticos de usinagem para avaliar estas novas opções processos de fresamento, variando também parâmetros de corte, tolerâncias de trajetórias de ferramenta, valores de sobre-metal e sequência de operações. Serão avaliados a força de usinagem, erro de forma e rugosidade, além dos tempos de fabricação para identificar as melhores técnicas de usinagem. Avaliação com as máquinas dos laboratórios UFSC e indústrias parceiras.

### **3.2. Projeto sistemático 2: Sistemas computacionais e gestão: Indústria 4.0 e gestão de ferramentarias**

O PS-2 está focado na redução dos tempos que não agregam valor ao produto diretamente, mas são fundamentais para manter a gestão de produção e do processo produtivo, aplicando conceitos computacionais de Indústria 4.0 e integração de sistemas computacionais (TRL 2-4). Este projeto sistemático apresenta 3 subprojetos sistemáticos (SPS), apresentados a seguir.

#### **SPS 2.1: Desenvolvimento das técnicas de Indústria 4.0 para ferramentarias**

**Objetivos específicos:** Desenvolver comunicação remota entre banco de dados em nuvem, com máquinas CNC/Injetoras de plásticos e aplicativo para conexão remota. Desenvolver sistema de monitoramento e apoio à gestão de fabricação. Desenvolver e validar sistema de rastreamento do processo, ferramentas, matéria-prima e peças finais com QR Code.

**Problema:** Limitações de velocidade de gestão de ferramentarias, das operações da máquina CNC em tempo real, e necessidade de periféricos específicos e/ou proprietários.

**Benefícios:** Obter sistema de gestão e monitoramento mais próximo ao real no chão de fábrica, acessível a partir de dispositivos móveis de uso geral. Monitoramento e controle da produção e das máquinas CNC em tempo real. Idealmente considerando diferentes arquiteturas.

**Indicadores de desempenho:** Facilidade e agilidade de acesso a informações de gestão, tal qual indicado pelos usuários; latência para acesso e persistência dos dados armazenados.

**Bases técnicas e científicas:** Para o desenvolvimento deste PS serão utilizados conceitos de computação em nuvem (*cloud computing*) e bancos de dados não relacionais (NoSQL), que são conhecidos por uma boa escalabilidade em aplicações de Indústria 4.0 (Di Martino et al. 2019; Villalobos et al. 2020). Após a persistência dos dados em um banco de dados mantido na nuvem, o acesso e o controle de equipamentos poderão ser realizados a partir dos mais diversos dispositivos de forma rápida e eficiente.

**Metodologia:** Desenvolver comunicação remota entre banco de dados em nuvem, com máquinas CNC/Injetoras de plásticos e aplicativo para conexão remota. Avaliação com as

máquinas dos laboratórios UFSC e indústrias parceiras. Desenvolver sistema de monitoramento e apoio à gestão de fabricação. Desenvolver e validar sistema de rastreamento do processo, ferramentas, matéria-prima e peças finais com QR Code.

### **SPS 2.2: Sistemas computacionais para gestão de indústrias de moldes**

**Objetivos específicos:** Desenvolver integração entre sistemas CAD/CAM/ERP/MRP/CNC para transferência de dados de projeto e manufatura para gestão de indústrias de moldes

**Problema:** Falta de integração de sistemas CAx (CAD-CAM-CNC) com sistema de gestão MRP e ERP, focando o sistema de produção não seriada.

**Benefícios:** Obter maior precisão e reduzir tempo de gestão de ferramentarias, alimentando os sistemas ERP e MRP com dados do projeto (identificação de itens no CAD), identificação da manufatura (CAM, ferramentas, tempos de processos), e dados da máquina CNC. Co-relação com indústria 4.0 (SPS 2.1).

**Indicadores de desempenho:** Integração dos sistemas computacionais para produção não-seriadas e elevar o nível de precisão na gestão (tempos de entrega de moldes, orçamentos).

**Bases técnicas e científicas:** Uma das limitações na gestão de ferramentarias é a dificuldade em se conhecer o tempo real de usinagem. Embora os sistemas CAM forneçam uma estimativa do tempo de usinagem, este valor pode atingir erros superiores a 1.000%, principalmente em usinagem em altas velocidades, pois CAM não consegue identificar as limitações de uma máquina CNC específica durante as trajetórias complexas de usinagem, como apresentado em trabalho desenvolvido pelo grupo (Coelho et al. 2010). Assim, pretende-se implementar no sistema CAM NX um módulo para estimar com maior precisão o tempo de usinagem de moldes. Esta ferramenta será conectada com os sistemas Siemens TEAMCENTER (disponibilizado pela Siemens conforme carta de apoio) para desenvolver um sistema de gestão de ferramentarias integrado com os processos de fabricação não seriados (CAD/CAM/ERP/MRP/CNC).

**Metodologia:** realizar treinamento com sistemas computacionais Siemens CAD/CAM e as ferramentas de gestão industrial. Desenvolver modelo de gestão de produção para sistemas de produção não-seriada, integrando projeto, programação da fabricação e máquinas CNC.

### **SPS 2.3: Aprendizado de Máquina para a determinação de rugosidade de superfícies**

**Objetivos específicos:** Obter estimativas de rugosidade de superfícies empregando técnicas de processamento de imagens, Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina.

**Problema:** A obtenção de estimativas de rugosidade está geralmente atrelada à necessidade do uso de equipamentos de metrologia. Tais equipamentos possuem alto custo e necessitam de calibração/manutenção especializada, dificultando sua adoção em ambientes industriais.

**Benefícios:** Obtenção de estimativas de rugosidade de superfícies a partir da captura de imagens e posterior aplicação de técnicas computacionais, sem a necessidade de equipamentos dedicados de metrologia. Diminuição do custo associado à obtenção de tais estimativas.

**Indicadores de desempenho:** Acurácia das estimativas obtidas, custo do sistema em comparação à um sistema de metrologia tradicional e tempo necessário para o processamento.

**Bases técnicas e científicas:** Técnicas de processamento de imagens têm sido aplicadas à diversos problemas, inclusive para a determinação de rugosidade de superfícies obtidas com máquinas CNC (Lee et al. 2005). Neste contexto, propõe-se a captura de imagens, extração de suas características e posterior aplicação de técnicas de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial, em especial Redes Neurais Artificiais e *Deep Learning*. Estas abordagens têm recebido crescente atenção e apresentam resultados promissores (Rifai et al. 2020).

**Metodologia:** Aquisição de imagens de corpos de prova e estabelecimento da rugosidade através de técnicas de metrologia para a criação de uma base de dados, possibilitando o treinamento das técnicas de Inteligência Artificial. A partir da base de dados, treinar e avaliar métodos baseados em Redes Neurais Artificiais e *Deep Learning* para a estimação de rugosidade de novas imagens, não vistas durante o treinamento. Comparação da acurácia obtida com os métodos baseados em Inteligência Artificial com os tradicionalmente usados em Metrologia.

### **3.3. Projeto sistemático 3: Projeto, metrologia e manufatura aditiva metálica**

O PS-3 contempla 3 SPS e, de forma geral, estão focados em novas tecnologia aplicadas na fabricação, inspeção e projeto de moldes e peças plásticas, reduzindo tempos produtivos e improdutivos, possuem um futuro promissor, tornando um diferencial competitivo em médio prazo e a longo prazo, uma necessidade para as indústrias de moldes para o segmento automotivo se manterem competitivas.

#### **SPS 3.1: Projeto de moldes e simulações CAE: padronização para manufatura e projeto**

**Objetivos específicos:** Estudo e simulação de injeção em moldes para padronizar componentes de moldes e redução dos tempos e custos de fabricação, bem como contribuir com os estudos das outras SPS.

**Problema:** A falta de padronização dos componentes dos moldes de injeção eleva tempos e custos de fabricação. Há um grande número de componentes semelhantes, superdimensionados pela falta de uma melhor análise de projeto e de uma padronização.

**Benefícios:** Melhorar e padronizar o dimensionamento dos componentes dos moldes, reduzindo assim os tempos (produtivos e que não agregam valor ao produto) e custos de fabricação de moldes.

**Indicadores de desempenho:** Redução de tempos de fabricação dos componentes dos moldes e de seus custos.

**Bases técnicas e científicas:** O molde de injeção é composto de vários componentes, em que cada um deve ser devidamente definido a fim de garantir a qualidade do componente injetado a ser obtido no processo de transformação do material polimérico. No desenvolvimento de um molde de injeção, muitas informações de projeto são obtidas por meio de equações empíricas e baseadas na experiência dos projetistas (KAZMER, 2007; BEAUMONT, NAGEL & SHERMAN, 2002), gerando desta maneira em muitos casos, após o molde ter sido fabricado a identificação de problemas, tais como: o não preenchimento total das cavidades, pontos de injeção mal localizados, refrigeração deficiente, manutenção elevada por incorreto dimensionamento dos componentes do molde, entre outros. Nesses casos, o molde, então, retorna para a ferramentaria para ser retrabalhado. Este ciclo ocorre até que molde esteja adequado, contudo tempos e recursos extras são gastos no desenvolvimento do molde de injeção, gerando uma baixa competitividade das empresas nacionais, quando comparado a concorrentes de outros países (Sacchelli, 2007). Desta maneira há necessidade de analisar melhores práticas de projeto do molde de injeção, sendo a padronização dos componentes do molde uma possível solução para que o tempo de desenvolvimento e o retrabalho seja diminuído, melhorando a competitividade das empresas nacionais.

**Metodologia:** Realizar projetos e simulações da estrutura do molde para reduzir material. Conciliar com simulações do processo de injeção e do produto injetado. Propor padronização de componentes de moldes para redução dos tempos e custos de fabricação. Validações com empresas parceiras e de apoio.

### **SPS 3.2: Metrologia aplicada em processo de usinagem de moldes**

**Objetivos específicos:** Relacionar os parâmetros de rugosidade e tolerâncias aplicáveis à fabricação de moldes e desenvolver método de análise de sistemas de medição utilizados em ferramentarias. Colaborar com o subprojeto sistemático 2.3 na determinação da rugosidade por imagens.

**Problema:** Entre os aspectos metrológicos relacionados à fabricação de moldes, destacam-se a medição de rugosidade e assertividade na definição das tolerâncias geométricas atribuídas aos produtos de plástico injetados. As práticas convencionais de medição de rugosidade utilizam equipamentos de contato, que muitas vezes são inviáveis para medição in-situ, não podendo ser realizada remotamente. A falta de clareza na especificação dos produtos de plástico injetados provoca a utilização de equipamentos de medição não adequados à tarefa requerida.

**Benefícios:** O desenvolvimento de uma técnica de medição de rugosidade por processamento de imagem in-situ permitirá o monitoramento da usinagem remotamente. Por reconhecimento de imagem, inadequações ocorridas já durante o processo de usinagem, causadas por esforços de corte, alterações da matéria-prima, trajetórias da ferramenta, desgaste ou avarias na ferramenta de corte, dentre outros fatores, poderão ser identificados e mais rapidamente corrigidas. Permite utilizar com maior segurança a máquina CNC 24 horas sem operador. Em trabalhos futuros, estas informações alimentarão um sistema de controle por inteligência artificial. Outro ponto a ser tratado neste Projeto, é a aplicação de métodos estatísticos para avaliação dos sistemas de medição utilizados para controlar os produtos de plástico injetados e a cavidade de moldes, o que permitirá assegurar a validade dos resultados de medição obtidos em planejamentos experimentais e inspeção.

**Indicadores de desempenho:** Redução dos tempos de avaliação de superfície. Resposta da rugosidade durante o processo de usinagem. Adequação dos sistemas de medição utilizados nas ferramentarias.

**Bases técnicas e científicas:** A metrologia somente poderá agregar valor ao processo produtivo se os processos de medição utilizados forem suficientemente confiáveis. Parâmetros estatísticos de localização e de dispersão são comumente utilizados para caracterizar a qualidade dos dados obtidos de um sistema de medição, conforme explicitado no Manual de Análise dos Sistemas de Medição largamente exigido pelo segmento automotivo (AIAG, 2010). Para Oliveira (2017), a automatização das medições no processo é justificada pelo elevado volume de produção e pelos ganhos em produtividade e qualidade. E a variação geométrica de produção de uma peça plástica injetada é resultado da superposição de diversos fatores de influência, como relacionados à geometria da peça, ao material, ao projeto do molde e aos parâmetros de processo. Por outro lado, também o material e as propriedades da superfície das cavidades podem influenciar drasticamente a qualidade da superfície do produto final. A escolha dos parâmetros de rugosidade depende da aplicação da superfície, sendo recomendado o uso de mais de um parâmetro para identificar particularidades desejáveis (MARCHIORI, 2013). A utilização de técnicas estatísticas para análise dos sistemas de medição quanto a sua adequação à tarefa requerida, e a utilização de sistemas ópticos de medição é uma tendência na confiabilidade metrológica, também no que se refere a medição de superfícies complexas.

**Metodologia:** Colaborar com o subprojeto sistemático 2.3: correlacionar padrões de rugosidade comuns em moldes com imagens obtidas nas superfícies usinadas (as imagens serão obtidas por fotos tiradas durante a usinagem na máquina CNC). Interagir com os demais projetos sistêmicos para identificar limitações e melhores práticas de inspeção. Desenvolver métodos de análise dos sistemas de medição utilizados no controle de peças plásticas injetadas e cavidade de moldes.

### **SPS 3.3: Manufatura aditiva metálica para fabricar moldes com *conformal cooling***

**Objetivos específicos:** Estudar moldes fabricados por manufatura aditiva metálica SLM com canais complexos de refrigeração (*conformal cooling*). Instalar sensores de temperatura e pressão em molde já fabricado pelo grupo. Avaliar os fenômenos de transformação nestes moldes, custo e benefícios.

**Problema:** Tecnologia ainda pouco aplicada e pouco conhecimento para fabricação de moldes. Não é clara a viabilidade econômica devido ao seu elevado custo.

**Benefícios:** Redução dos ciclos de injeção de plástico e elevar a qualidade das peças por propiciar troca de calor mais homogênea e eficiente. Desenvolver conhecimento sobre projeto de *conformal cooling* e fabricação de moldes por SLM.

**Indicadores de desempenho:** Identificar viabilidade econômica e aplicações mais indicadas.

**Bases técnicas e científicas:** A manufatura aditiva metálica por SLM vem desempenhando um papel importante na introdução de novas tecnologias no setor industrial. Entre os setores de destaque está o de moldes de injeção, onde o objetivo da manufatura aditiva é o de competir com os processos tradicionais de usinagem dos insertos, em especial na fabricação do sistema de refrigeração. De acordo com Volpato e Ahrens (2017), a possibilidade de projetar canais de refrigeração em qualquer formato e combinação de circuitos, pelo que é conhecido como *conformal cooling*, permite fabricar insertos mais rapidamente e obter moldes mais eficientes, mesmo considerando a necessidade de operações de acabamento posterior. Conforme o estudo realizado por Marin, Miranda e Souza. (2017), reduções do ciclo de injeção foram superiores a 30%, pois estes moldes permitem maior troca térmica. Contudo, o custo do processo ainda é bastante elevado, e a viabilidade econômica ainda carece de estudo, relacionando o material a ser injetado, o valor e a qualidade da peça plástica.

**Metodologia:** Utilizar o molde com *conformal cooling*, já fabricado pelo grupo de pesquisa utilizando manufatura aditiva metálica (SLM) em uma fase inicial (SOUZA, et al. 2018, Figura 1) para estudar as peças plásticas injetadas empregando o molde convencional e o molde com *conformal cooling* (molde com insertos intercambiáveis). O molde será instrumentado com sensores de pressão e temperatura (apoio do SPS 4.1) para avaliar comportamento do processo de injeção nesta nova concepção de molde. Serão avaliados empenamentos e contrações, utilizando a máquina de medir por coordenadas (laboratórios UFSC-CTJ). O custo-benefício e as influências do molde com *conformal cooling* serão avaliados empregando diferentes materiais plásticos. Será projetado e fabricado por SLM, outros insertos com diferentes sistemas de *conformal cooling* para avaliar a eficiência na troca de calor e os resultados nas peças plásticas e no processo de injeção. Esta etapa terá a colaboração da Bosch para a fabricação por SLM.

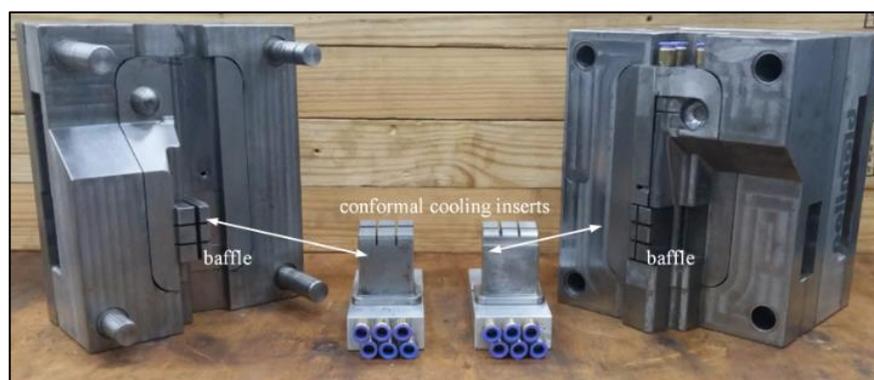


Figure 1: Molde para o projeto - insertos intercambiáveis (*conformal cooling* e convencional)

### 3.4. Projeto sistemático 4: Inovações no Processo de Injeção

O PS-4 contempla 3 SPS e, de forma geral, estão focados em novas tecnologia aplicadas no processo de injeção de plásticos, incluindo a instrumentação de moldes com sensores de temperatura e pressão instalados internamente nos moldes. Conforme relato de algumas empresas parceiras, durante a fase de concepção desta proposta, algumas montadoras europeias já estão solicitando estes recursos para monitorar a produção de peças plásticas. Buscando a vanguarda nesta área, este monitoramento será conectado em rede móvel (Industria 4.0). Ainda, com o objetivo de reduzir os ciclos de injeção e garantir qualidade das peças plásticas, o PS-4 investigará os processos de injeção empregando moldes com *conformal cooling* fabricados por SLM, e diferentes materiais empregados na fabricação de moldes (apoio Robert Bosch: fabricação dos insertos para teste no molde do grupo de pesquisa, Figura 2).

#### **SPS 4.1: Desenvolvimento de malha de controle e monitoramento do processo de injeção**

Objetivos específicos: Desenvolver monitoramento do processo de injeção empregando sensores dentro da cavidade do molde. Desenvolver o modelo preditivo para controle da máquina injetora por malha fechada e implementar máquina na injetora do laboratório.

Problema: Crescente exigência de montadoras automobilísticas para controle de peças plásticas injetadas, através do monitoramento da temperatura e da pressão no interior do molde. Adicionalmente, as injetoras não possuem um sistema de controle por malha fechada. Pequenas alterações no processo (lote de matéria-prima, umidade e temperatura ambiente, etc) não são controladas automaticamente e podem gerar grande volume de refugo. Nestes casos, ajustes de processo ainda são empíricos.

Benefícios (para ferramentarias e transformadores): Oferecer às montadoras moldes instrumentados e peças plásticas com melhor qualidade, monitoradas durante a fabricação. Desenvolver um sistema automático de controle e ajuste da injetora durante sutis alterações durante a produção de um lote de peças.

Indicadores de desempenho: Redução de refugos (pelo monitoramento individual das peças injetadas). Oferecer moldes com sensores instalados – oferecer no BR estes tipos de moldes – reduzir - (desenvolver conhecimento em projeto e fabricação e aquisição de sinais). Oferecer controle do processo de injeção.

Bases técnicas e científicas: O processo de injeção de plástico é muito sensível a parâmetros externos, tais como: alterações de temperatura, umidade, variações na composição da matéria-prima, fato que ocorre corriqueiramente e pode comprometer a qualidade das peças injetadas e gerar refugos (Souza, et al. 2006). Devido à falta de automação deste processo, a qualidade e produtividade das peças fabricadas depende do conhecimento, atenção e habilidade do operador da máquina injetora. Assim, a otimização e a qualidade do processo ficam comprometidas (Becker, 2012). Os sensores convencionais de controle da máquina injetora não são suficientes para caracterizar o processo de injeção (Michaeli e Schreiber, 2009). O valor da pressão hidráulica não atende a necessidade de controle por malha fechada (Wong et al., 2008), pois os parâmetros da máquina não podem registrar os efeitos de solidificação no canal de injeção e compressibilidade do fundido. A informação da pressão na cavidade do molde é um importante dado de processo (Labban, et al. 2009). Este parâmetro pode otimizar a pressão de fechamento do molde, em cada ciclo, além da possibilidade de ser utilizada como critério para modificação do ciclo. Com controle de ciclos mais preciso é possível aumentar a produtividade e diminuir o custo operacional, melhorando os quesitos de qualidade e preço do produto de plástico moldado. A instrumentação de um molde com sensores pode auxiliar o desenvolvimento de estudos sobre os fenômenos que

ocorrem no interior das cavidades do molde, além de fornecer informações para o desenvolvimento de um sistema de controle por malha fechada para a automatização e melhoria do processo, com ciclos mais estáveis e independentes de parâmetros externos de operadores, ambiente e matéria prima. Em pesquisa no site do INPI não foi encontrado nenhum registro de patente / software. Ainda, as informações de processo provenientes dos sensores e da malha podem ser utilizadas para monitoramento de produção e controle do processo via aplicativos remotos, Indústria 4.0.

**Metodologia:** Instalação de sensores de pressão e temperatura no molde fabricado anteriormente pelo grupo (SOUZA, et al 2018). Obter dados para monitoramento do processo de injeção, colaboração da indústria parceira Sulbras. Desenvolver modelo preditivo para controle do processo de injeção por malha fechada. Implementação de CLP com arquitetura aberta na máquina injetora do laboratório, colaboração da empresa de apoio Branqs. Validação prática na injetora.

#### **SPS 4.2: Influência dos materiais empregados na injeção em moldes com *conformal cooling* fabricados por manufatura aditiva metálica**

**Objetivos específicos:** Avaliar a influência do material plástico no processo de injeção, empregando moldes com *conformal cooling* fabricados por manufatura aditiva. Identificar os plásticos que propiciem maior e menor benefício destes moldes, a fim de identificar viabilidade econômica.

**Problema:** Embora o novo processo de manufatura aditiva metálica permita fabricar moldes com canais de refrigeração otimizados (seguindo a geometria do produto, *conformal cooling*), possibilitando reduzir os tempos dos ciclos de injeção e obter melhores peças plásticas, sua viabilidade econômica ainda não é quantificada, podendo variar conforme material a ser injetado.

**Benefícios** (para ferramentarias e transformadores): Quantificar a fabricação e o uso de moldes fabricado por manufatura aditiva metálica, conforme especificações do material a ser injetado. Oferecer opções de moldes com *conformal cooling*.

**Indicadores de desempenho:** redução dos ciclos de injeção utilizando moldes com *conformal cooling*. Peças plásticas com melhor qualidade.

**Bases técnicas e científicas:** *Conformal cooling* é o processo de utilização de canais de líquido de arrefecimento em ferramentas de moldes de injeção plástica que seguem de perto, ou em conformidade, com a forma da peça que está sendo moldada. Eles diferem dos canais de resfriamento padrão, pois não estão confinados aos orifícios retos da linha de visão, criados a partir da furação ou fresamento convencional. Os canais de resfriamento conformes seguem as voltas e reviravoltas de projetos complexos de peças e, portanto, oferecem uma eficiência de resfriamento muito melhor e tempos de ciclo mais rápidos. Esta característica além de melhorar a produtividade ao diminuir o tempo de ciclo, é fundamental para a boa qualidade da peça injetada. A moldagem por injeção bem-sucedida depende do aquecimento e resfriamento uniformes da resina termoplástica para criar uma peça acabada livre de estresse térmico e de todos os defeitos que ela cria, como linhas de solda, deformação e marcas de afundamento. Ao se utilizar o processo de *conformal cooling* se consegue uma melhor uniformidade de temperatura nas peças injetadas, obtendo-se um aumento dramático na qualidade da mesma.

**Metodologia:** Desenvolver matriz experimental de testes de injeção de plásticos a serem conduzidos para avaliar a influência do material plástico no processo de injeção, empregando moldes com *conformal cooling*, disponível no laboratório do grupo. Apoio do SPS 3.1. Levantar os materiais que sofrem maior e menor influência do molde, assim, será identificado as aplicações (em função do material) que justifique o emprego de moldes com *conformal cooling*.

#### **SPS 4.3: Estudo de materiais para a fabricação de moldes**

**Objetivos específicos:** Conhecer e documentar os materiais utilizados na fabricação de moldes. Principais propriedades mecânicas necessárias, e relação com o material plástico a ser injetado. Aços convencionais e materiais com maior condutividade térmica, melhor usinabilidade e polibibilidade.

**Problema:** Ainda é pouco conhecida (empregada) a adequação do material do molde conforme tamanho do lote de produção e material a ser injetado. As perdas com este fato podem ocorrer devido ao super ou sub dimensionamento: a) desgaste prematuro do molde (custos e tempos de manutenção), e b) material super dimensionado, o molde pode atingir o final do lote de produção sem desgaste (custo do material e custo de usinagem).

**Benefícios:** Redução de custos e tempos de fabricação / manutenção, oferecendo moldes com material mais adequado.

**Indicadores de desempenho:** Redução de tempos de fabricação. Redução de manutenção de moldes.

**Bases técnicas e científicas:** A seleção correta do material para construção de moldes de injeção requer uma análise criteriosa relacionada a diversos fatores, tais como: a) resistência ao desgaste, b) tenacidade c) Baixa distorção, d) boa polibibilidade (DOMINGUES, 2009). O P-20 é indicado para injeção de plásticos não abrasivos e não clorados, como o PP, PE e ABS (HARADA, 2004). Contudo, muitas vezes os moldes são fabricados sem avaliação detalhada sobre o material, e podem resultar em moldes sub ou super dimensionados, conforme lote de produção de peças plásticas, geometria e material a ser injetado. Poucos estudos sobre a adequação de materiais para moldes estão disponíveis na literatura e as indústrias de moldes vêm utilizando os tradicionais. Fato que, indiretamente, reduz a competitividade do segmento, e conseqüentemente, das indústrias automotivas nacionais. Conforme apresentado por BARETA (2007), o alumínio pode ser utilizado em moldes de injeção para aumentar a produtividade, redução do custo de fabricação do molde, os efeitos da orientação molecular, cristalização na peça e preenchimento do molde. Para polímeros semicristalinos a fase de resfriamento é essencial devido ao processo de cristalização que se dá de forma não isotérmica, ocasionando diferentes taxas de cristalização. Assim, outros materiais, de maiores capacidades de transferência de calor, podem ser utilizados na fabricação de moldes. A usinagem e o acabamento da superfície também são etapas críticas na fabricação dos moldes e normalmente correspondem à maior fração do custo total do molde (Mesquita e Barbosa, 2007).

**Metodologia:** Levantamento dos materiais utilizados na fabricação de moldes e suas propriedades. Materiais convencionais (aço P20, H13, Inox) e materiais com maior condutividade térmica (alumínio, Ampcoloy, dentre outros). Fabricação de insertos para o molde do projeto (apoio do SPS 1.6). Desenvolver matriz experimental de testes de injeção de plástico empregado o molde do projeto, alterando os insertos fabricados com os diferentes materiais (apoio do SPS 4.2). Avaliar as peças injetadas e o ciclo de injeção. Avaliações de injeção em ambiente relevante para cadeia automotiva (indústria parceira SOKIT).

#### **4. Justificativa e Relevância**

A justificativa e relevância desta proposta estão apresentadas em duas dimensões:

i) **Relevância econômica para o Brasil e para indústrias automotivas:** Dentro da cadeia de manufatura da indústria automobilística, umas das principais etapas envolve o desenvolvimento e fabricação dos ferramentais (GUZEL e LAZOGLU, 2003). Moldes e matrizes, representando cerca de 35% do custo relativo do desenvolvimento de novos veículos (ROTA 2030, 2019). Como informado por uma ferramentaria parceira ao projeto, apenas a parte do painel de um automóvel pode conter mais de 200 moldes. Segundo Jefferson de Oliveira Gomes, o setor de ferramentaria movimenta US\$ 42 bilhões por ano em todo o mundo, mas o Brasil só participa com 0,4% deste

volume (Geres, 2018). Segundo o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), o setor de ferramentaria emprega quase 49 mil trabalhadores no país (Diário Regional, 26 de julho de 2018). Ainda, segundo o Dieese, entre 2012 e 2018 o País perdeu mais de 18% dos empregos no setor (Guimarães, 2018). De acordo com Christian Dihlmann, o Brasil precisa quadruplicar a capacidade produtiva das ferramentarias brasileiras apenas para atender a indústria automotiva nacional (Geres, 2018). Alavancando a indústria de moldes no Brasil, para substituir as importações, resultaria em média um acréscimo de aproximadamente 5.100 empregos diretos, pela substituição dos moldes importados (ROTA 2030, 2019). De acordo com o estudo apresentado por Wall (2019), depois da forte queda do setor automobilístico em 2016, o Brasil se recuperou significativamente nos anos subsequentes, até 2019, e a previsão é superar a produção dos Estados Unidos, Japão e União Europeia entre 2021 e 2026. Segundo dados da Fenabreve, o Brasil é o segundo mercado em crescimento do planeta (cresceu 13 % no período de 2017-2018) e representa 3 % do mercado global. Contudo, segundo esta previsão apresentada por Wall (2019), a produção automobilística brasileira ainda será muito inferior a produção da Índia e a da China. Este é um espaço que o Brasil poderia galgar. Isso enfatiza a importância de apoio ao segmento de fabricação de automóveis, o que inclui as ferramentarias e transformistas.

O projeto será desenvolvido em uma posição geográfica estratégica no Brasil. Joinville-SC ancora um importante parte tecnológico e industrial no segmento, destacando:

- a) Vocação regional e concentração dos Arranjos Produtivos Locais (*cluster*): ferramentarias e transformadores de plásticos na região norte de Santa Catarina.
- b) Grupo de pesquisa. Com natureza multidisciplinar, interinstitucional e estadual, os pesquisadores do grupo, de forma geral, possuem larga experiência nos temas propostos, como detalhado no Item 7. Grupo cadastrado no CNPQ.
- c) Local de instalação. Como contrapartida, a Universidade Federal de Santa Catarina UFSC-Joinville disponibilizará os laboratórios descritos no Item 7 deste projeto.

**iii) Justificativa e Relevância dos Projetos e Subprojetos Sistemáticos**: Em consonância com a Chamada N°03/2020 – PPP FEB+C, Eixo iii, esta proposta é constituída por um conjunto de projetos sistemáticos para a formulação de conceitos e tecnologias que tenham potencial de alto impacto na produção de ferramentais para a indústria automotiva, utilização de conceitos e tecnologias já estabelecidos para outros usos com similaridade ao setor de ferramentaria para a indústria automobilística”, incluindo estudos iniciais para desenvolvimento de tecnologias avançadas aplicadas ao segmento de moldes e injeção de plásticos, focados no setor automobilístico. Na fase inicial de concepção desta proposta, através de um convite público às ferramentarias brasileiras e indústrias de correlatas, foram realizadas reuniões as quais participaram representantes das indústrias interessadas e os pesquisadores do grupo. Utilizando esta visão industrial, juntamente com a experiência dos pesquisadores, nestas reuniões foram definidos os temas dos trabalhos sistemáticos, assim como as parcerias firmadas nesta proposta. Detalhes desta etapa está apresentada no Item 6.1. Devido a amplitude desta proposta (4 linhas de projetos e 15 subprojetos) e a limitação de 2 páginas para justificativas (conforme instrução de preenchimento FUNDEP), os problemas, os benefícios a serem alcançados com o projeto e os respectivos indicadores de desempenho estão apresentados pontualmente no Item 4 (estado-da-arte). Assim, de forma concisa, tem-se os seguintes aspectos gerais desta proposta:

Problemas: O Brasil está perdendo a competitividade no segmento de ferramentarias e transformação de plásticos, por consequência, prejudicando a indústria automotiva. A

desindustrialização que está ocorrendo no país propiciará um grave problema social.

Benefícios a serem alcançados com o projeto: Colaborar com o desenvolvimento do setor industrial (ferramentaria, transformistas e automotivas), retomada do crescimento, substituição das importações e elevar número de empregos.

Respectivos indicadores de desempenho: Volume de importações na área (redução). Número de empregos no setor. Tempo de entrega de moldes. Qualidade das peças injetadas.

## 5. Introdução e estado da arte

Na maioria dos casos, as ferramentarias são de pequeno ou médio porte, com características muito particulares, que se diferem drasticamente dos demais seguimentos industriais, pelos seguintes motivos:

i) produção não seriada de alta complexidade (molde). Devido a singularidade de cada produto, as dificuldades iniciam-se no orçamento, passam pelo planejamento da fabricação, escolha de ferramentas e processos, gestão da produção da fábrica, até os testes iniciais de cada molde. As definições são baseadas nas experiências dos profissionais envolvidos no momento.

ii) devido as formas geométricas complexas (*free form*) dos produtos deste segmento, as etapas de projeto, fabricação e inspeção (geométrica e superficial) necessitam de tecnologias avançadas de produção (sistemas computacionais, máquinas CNC, etc), além de elevada capacitação profissional.

iii) dificuldade em se manter a competitividade internacional e ativa. Ao mesmo tempo que exigem elevada tecnologia e capacitação, são limitados os recursos, de mão de obra (mesmo dentro das indústrias, são empresas de até médio porte, poucos funcionários para fazer o trabalho específico) assim como financeiro. Isto dificulta buscar melhorias em seus processos produtivos e conhecer novas tecnologias.

Ainda, para as ferramentarias que fornecem para o setor automotivo isso se agrava, pois um novo fator é acrescentado: tempo reduzido para a fabricação dos moldes. Isso ocorre porque, antes do início da produção de um novo veículo, a fabricação dos moldes é uma das últimas etapas da cadeia de manufatura da indústria automotiva. Assim as ferramentarias são cobradas exaustivamente pela redução dos prazos de entrega, principalmente em lançamentos. E, neste seguimento, a entrega inclui a aprovação dos testes iniciais. Devido as dificuldades nos processos de fabricação para se manter precisões dimensionais e de rugosidade, após a fabricação destes ferramentais é comum a realização de até 4 testes iniciais (*try-outs*), em máquinas injetoras, antes do ferramental estar adequado para iniciar a produção. Estes testes iniciais elevam o tempo de entrega e o custo do molde fica comprometido.

Baseado no exposto, é notória a necessidade de um centro de pesquisa no Brasil específico para apoiar e manter ativo este segmento industrial brasileiro, assim como as subsequentes indústrias automotivas.

## 6. Metodologia

Os métodos empregados no desenvolvimento deste projeto estão apresentados em 3 itens: a) concepção da proposta e levantamento das demandas técnicas das ferramentarias e sistemistas; b) equipamentos empregados respectivos fornecedores; c) governança.

### 6.1. Fase de concepção: levantamento das demandas técnicas das ferramentarias

Para levantar os temas de estudo a serem desenvolvidos nesta proposta, o grupo de

pesquisadores proponentes, cadastrado no DGP/CNPQ ([dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/3350386686514110](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/3350386686514110)), em um debate prévio com ferramentarias e com a direção da ABINFER, concluiu-se que esta proposta de projeto será composta por um conjunto de Projetos Sistemáticos (PS).

Na fase de concepção inicial desta proposta, com os objetivos de: ampliar a abrangência do projeto, atender as demandas tecnológicas das indústrias deste segmento, e tornar mais democrática a parceria industrial, o grupo de pesquisadores optou por realizar reuniões públicas com indústrias interessadas. Um convite às ferramentarias brasileiras, sistemistas e outras empresas co-relacionadas, foi divulgado nas redes sociais, *e-mail list* da ABIMFER e sites da área (ex. <https://gpcam.ufsc.br>) convidando para participarem da concepção desta proposta de projeto. Uma sequência de reuniões, por videoconferência, foi realizada para identificar, inicialmente, as limitações destas indústrias para superarem os desafios e se manter competitivas frente a concorrência internacional, envolvendo: i) novas tecnologias, ii) tecnologias já existentes, mas que comumente não são empregadas em produção não-seriada (ferramentarias), iii) tecnologias disponíveis, mas que, as ferramentarias, devido suas características de demanda e limitações de capacidade da empresa, não são capazes de absorver-las e introduzi-las no dia a dia de produção. Utilizando esta visão industrial, juntamente com a experiência dos pesquisadores envolvidos no projeto, foram definidos os Projetos Sistemáticos (PS) e os Subprojetos Sistemáticos (SPS), conforme apresentado anteriormente na Tabela 1.

Nesta fase de concepção foram identificadas e concretizadas duas formas de participação das indústrias no projeto: i) indústrias parceiras, as quais participarão ativamente no desenvolvimento deste projeto, e ii) indústrias de apoio, as quais trabalham em áreas correlatas, e que estarão apoiando diretamente os projetos desta proposta, com insumos e equipamentos (Item 11).

Com o objetivo de implementar efetivamente o conhecimento gerado no desenvolvimento deste projeto, nas indústrias parceiras, uma atividade adicional foi planejada, considerando TRL 5 (aplicação das tecnologias em ambiente relevante para cadeia automotiva). Esta atividade envolve ações diretas nas indústrias parceiras. Foram identificados temas de desenvolvimento tecnológico para serem avaliados, inicialmente nos laboratórios das ICTs, e posteriormente nas indústrias parceiras. Os detalhes desta transferência tecnológica encontram-se na Tabela 3.

## 6.2. Equipamentos empregados e laboratórios

A Tabela 2 apresenta a infraestrutura de laboratórios e equipamentos a serem utilizados no projeto, disponibilizados pelas ICTs e indústrias parceiras (período de *Tracking*). Os laboratórios GPCAM, LMU, METeQ, LaCMa e LID da UFSC-CTJ serão agrupados para formar o núcleo tecnológico pretendido.

Tabela 2: Infraestrutura de laboratórios disponíveis nas ICTs para execução do projeto.

Laboratório	Principais equipamentos a serem disponibilizados no projeto	Coordenador
GPCAM (Laboratório do Grupo de Pesquisa em Manufatura Auxiliada por Computador)	Centro de usinagem CNC ROMI D600 3+1 eixos. Comando Fanuc Eixo-árvore de 36.000 RPM (a ser instalado no robô). Martelo modal e sistema de aquisição de sinais (software Labview). Molde para pesquisa e insertos com <i>conformal cooling</i> .	Adriano F. de Souza
LMU (Laboratório de Manufatura da UFSC-CTJ)	Retíficas. Injetora de plásticos. Máquinas de usinagem convencionais.	Adriano F. de Souza
METeQ (Lab.de Metrologia e Qualidade Industrial)	Máquina de Medição por Coordenadas (manual). Projetor de Perfil Rugosímetro portátil. Instrumentos de medição convencionais	Suelí Fischer Beckert
LID (Laboratório de Inovação e Desenvolvimento de	Máquina de Manufatura Aditiva pelo processo -FDM Máquina de corte a Laser	Carlos M. Sacchelli

Produtos).	Estações de trabalho para softwares de CAD/CAE	
LaCMA. Lab. de Caracterização de Materiais.	Ensaio de índice de fluidez, resistência ao impacto, ensaio de dureza Shore D, preparo de corpos de prova de materiais injetados.	Wagner M. Pachekoski
Laboratório de Processos de Fabricação EESC-USP. Parceiro.	Centro de Usinagem CNC Romi modelo Discovery D600 4 eixos, perfilômetro óptico Veeco, microscópio confocal laser Olympus, máquina de medir por coordenadas Hexon Metrology.	Alessandro Roger Rodrigues
Laboratório de Usinagem da UNICAMP. Parceiro.	Centro de usinagem 5 eixos DMG Mori, modelo DMU 40, com preset a laser e bomba de alta pressão. Comando Heidenhain.	Anselmo Diniz. Amauri Hassui.
Nimma. Núcleo de Inovações em Moldagem e Manufatura Aditiva. UFSC Florianópolis.	Equipamento de Manufatura Aditiva por SLS LaserFunde Alkimat (fabricação nacional) para materiais compósitos e poliméricos. Laser de 100 watts.	Carlos Henrique Ahrens

Os materiais e equipamentos a serem fornecidos pelas indústrias parceiras estão apresentados na Tabela 3 (página 22). Materiais de consumo, serviços de terceiros (avaliações de MEV, fabricação de corpos de prova SLM), passagens e diárias para intercâmbio de alunos entre as ICTs e para a realização de workshops (pelo menos 1 em cada tema de estudo) estão previstos na planilha orçamentária.

### 6.3. Governança

Seguindo modelos observados em centros tecnológicos de excelência no exterior, propõe-se formar um conselho administrativo, com membros da comunidade industrial, representantes de associações, universidades e pesquisadores, a fim de auxiliar nas diretrizes de atuação e atividades do projeto. Para manter o andamento das atividades após o encerramento do fomento ROTA 2030, os pesquisadores são motivados, deste o início, a buscar fomento por outras fontes, públicas e privadas (formação de consórcio de empresas).

## 7. Resultados previstos e transferências ao setor industrial

Estão previstos a formação de 32 alunos bolsistas (todos os níveis) além dos diversos profissionais das indústrias envolvidas. A Tabela 4 (página 23) apresenta a produção esperada no projeto.

Tabela 3: Produção técnica/científica esperada no projeto.

PS	SPS	Coordenador	Relatório técnico	Artigo científico	Artigo técnico	Propriedade intelectual	Cursos	Workshop
1	1.1	Roberto Simoni	6	2	2	0	3	2
	1.2	Adriano Fagali	3	2	3	1	1	1
	1.3	Amauri Hassui	0	2	2	0	0	0
	1.4	Helton Gaspar	0	2	0	0	0	0
	1.5	Alessandro Roger	9	3	3	0	0	1
	1.6	Adriano Fagali	4	2	3	1	1	1
2	2.1	Pablo A. Jaskowiak	3	2	0	1	0	1
	2.2	Regis Scalice	2	2	3	1	0	1
	2.3	Pablo A. Jaskowiak	3	3	0	0	0	1
3	3.1	Carlos M. Sachelli	5	2	4	0	0	2
	3.2	Sueli Fischer Beckert	1	1	1	0	3	0
	3.3	Carlos Ahrens	6	3	2	0	0	0
4	4.1	Adriano Fagali	3	3	2	2	1	1
	4.2	Wagner Pachekoski	7	2	2	0	1	1
	4.3	Alessandro Roger	8	3	3	0	0	1
<b>Produção esperada em 3 anos:</b>			<b>60</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>13</b>

Interações com as indústria e transferência de conhecimento:

a) Incorporação dos resultados ao setor: com o objetivo de implementar efetivamente o conhecimento gerado no desenvolvimento deste projeto, nas indústrias parceiras, uma atividade adicional foi planejada, considerando TRL 5 (aplicação das tecnologias em ambiente relevante para cadeia automotiva). Esta atividade envolve ações diretas nas indústrias parceiras e estão previstas de 12 a 24 meses no decorrer do projeto. Desde o início do projeto serão formados grupos de pesquisa envolvendo alunos e pesquisadores (ICTs e indústrias parceiras) para delinear trabalhos de pesquisa aplicada.

Esta atividade estará dividida em 3 fases: na fase 1 os temas de estudo (apresentados na Tabela 3) serão desenvolvidos nos laboratórios das ICTs, pelos respectivos grupos de pesquisa; na fase 2 os resultados obtidos em laboratório serão aplicados nas indústrias parceiras (ambiente relevante para cadeia automotiva). A fase 3 consiste em um rodízio dos grupos entre as indústrias parceiras para difusão do conhecimento e efetiva implantação no ambiente industrial relevante.

b) Portal Tecnológico: será criado um portal referência para este seguimento, contendo com informações relevantes, cursos de capacitação, artigos técnicos, oportunidades de trabalho, e demais divulgações do projeto ROTA 2030.

c) Formação profissional: Além da formação dos alunos e profissionais envolvidos, o projeto buscará contribuir em vários níveis de formação profissional para atender a demanda das indústrias ferramentarias. No período de *tracking* (6 meses finais) serão oferecidos cursos de aperfeiçoamento profissional para professores de escolas técnicas (CEDUP) para formação de profissionais para ferramentarias. Os professores do grupo deverão implementar as ementas do curso de engenharia automotiva da UFSC-CTJ, relacionadas aos temas deste projeto. Um curso de pós-graduação *Lato-sensu* será oferecido (360 horas), focando também, os temas deste projeto (poderá estender ao período de *tracking*). Deverão participar funcionários de ferramentarias.

d) Interações com indústria parceira-remota: através do portal do projeto, serão convidadas indústrias do Brasil para aderirem ao projeto como indústria parceira-remota, e assim participarem dos cursos de capacitação profissional.

Tabela 3: Indústrias parceiras e contrapartida aportada ao projeto.

Empresa	Tema de trabalho (TRL 5)	Contra-partida / atividade (carta de anuência constam as horas e valores). OBS: foram apenas computadas horas dedidadas ao projeto	Valor
Robert Bosch	1) Desenvolver fresamento 5 eixos para fabricação de furos profundos, inclinados, em materiais duros. SPS 1.4. 2) Estudo de moldes com diferentes sistemas de conformal cooling fabricado por SLM SPS 3.2.	1) Hora-máquina CNC/hora profissional. Aplicar na indústria os desenvolvimentos obtidos no SPS 1.3 para a fabricação de furos profundos em moldes. Disponibilidade de máquina CNC para estudos em ambientes relevante. 2) Fornecimento de inserts fabricados por SLM e hora/profissional para auxiliar com projeto de moldes. Interações com o SPS 3.2, 3.1, 4.2.	R\$ 383,236.36
Magna Indústria de moldes e matrizes	Aplicar os conhecimentos desenvolvidos no SP 1.6, 1.2, 1.4 e 1.5 para: a) otimizar individualmente os processos de usinagem de moldes, do desbaste ao acabamento, e b) otimizar as definições entre estas etapas (sobre-metal, degraus, parâmetros de corte). Fresamento.	Hora-máquina CNC/hora profissional. Aplicar na indústria os desenvolvimentos obtidos no SPS 1.6 para otimizar a fabricação de moldes. Disponibilidade de máquina CNC para estudos em ambientes relevante.	R\$ 303,000.00
JN Ferramentaria	Estudos e desenvolvimento da usinagem 5 eixos e com robôs aplicados em ferramentarias.	Profissional com conhecimento prático para apoiar o SPS 1.1 e 1.2. Hora-máquina CNC/hora profissional. Aplicar na indústria os desenvolvimentos obtidos pelo SPS 1.1 e 1.2 para otimizar a fabricação de moldes. Disponibilidade de máquina CNC para estudos em ambientes relevante.	R\$ 303,000.00
FBM Moldes	Estudo de rigidez e sistemas de fixação de peças em máquina CNC. Estudo de usinagem de periféricos para moldes. SPS 1.6. SPS 3.1.	Profissional com conhecimento prático para apoiar o SPS 1.6. Disponibilidade de máquina CNC para estudos em ambientes relevante.	R\$ 303,000.00
Ribeiro Ferramentaria	Tecnologia de mínima quantidade de fluidos de corte MQL (utilizada em outros seguimentos de usinagem), aplicada em indústrias de moldes.	Hora-máquina CNC/hora profissional. Aplicar na indústria os desenvolvimentos obtidos pelo SPS 1.5 para otimizar a fabricação de moldes. Disponibilidade de máquina CNC para estudos em ambientes relevante.	R\$ 303,000.00
GTF Ferramentaria	Estudo usinagem por eletroerosão SPS 1.6. SPS 3.1 padronização.	Profissional com conhecimento prático para apoiar o SPS 1.6. Disponibilidade de máquina para usinagem por eletroerosão. Usinagem de corpo de prova e moldes contendo raios / chanfros e formas complexas.	R\$ 255,000.00
3R Moldes	Projeto e padronização de moldes. Investigar as solicitações mecânicas para reduzir estruturas de moldes. Reduções de material do molde e usinagem. Adequar projeto para manufatura DFM (raios/chanfros, etc.) testes de fabricação com moldes. Interações com SPS 3.1.	Hora-máquina CNC/hora profissional. Aplicações das padronizações desenvolvidas pelo SPS 3.1 para projeto e fabricação de moldes na indústria.	R\$ 303,000.00
SOKIT Ind. De Plásticos	Investigações de materiais para a fabricação de molde para injeção de plásticos. Usinabilidade, condutividade térmica, resistência mecânica.	Hora-máquina injetora/hora profissional. Fornecimento do molde. Aplicar em ambiente relevante os desenvolvimentos obtidos pelo SPS 4.3. Após estudos no laboratório, serão fabricados inserto com diferentes materiais e testados sistematicamente na indústria parceira. Avaliação das peças plásticas, tempo de ciclo e variáveis do processo de injeção. Durabilidade do molde.	R\$ 292,150.08
Sulbras Moldes e Plásticos	Monitoramento do processo de injeção de plásticos através de sensores instalados no interior do molde. Desenvolver conhecimento sobre instalação e projeto de moldes com sensores. Controle de qualidade das peças.	Hora-máquina injetora/hora profissional. Fornecimento do molde para estudos: instalar sensores de pressão e temperatura na cavidade do molde. Aplicar em ambiente relevante os desenvolvimentos obtidos pelo SPS 4.1 para monitoramento e controle do processo de injeção utilizando sensores. Relacionar os dados de pressão e temperatura com a qualidade das peças injetadas em um amplo período. Monitoramento e controle das peças injetadas em tempo real.	R\$ 240,310.08
<b>Tota da contra-partida ferramentarias e sistemistas</b>			<b>R\$ 2,685,696.52</b>

colaborar com o projeto as seguintes indústrias brasileiras: a) fabricante de máquina CNC; b) fabricante de sensores para referenciamento de matéria-prima na mesa da máquina e ferramentas de corte; c) fabricantes de sistemas de paletes para fixação rápida de matéria-prima na mesa da máquina d) fornecedor de sistema MQL modular; e) fornecimento de fluido de usinagem; f) fornecimento de aço para moldes. Os apoios identificados incluem desde material de consumo sem custo para o projeto, equipamentos cedidos por empréstimo com contratos de comodato, equipamentos de maior valor com desconto para o projeto. Detalhes de valores estão apresentados no Item 11.

Este projeto permitirá uma forte integração entre os pesquisadores das ICTs, entre as indústrias envolvidas e alunos bolsistas. Cabe ressaltar ainda, a importante aproximação que o projeto propiciará entre os alunos bolsistas e as indústrias.

## 8. Equipe técnica

A Tabela 5 apresenta a descrição da capacidade técnica, científica e experiência da equipe.

Tabela 5: Equipe técnica

Pesquisador ICT	Atuação / experiência	CV Lattes	Atribuições
1. Dr. Adriano Fagali de Souza/UFSC	Mais de 25 anos de experiência em usinagem de formas complexas CAD/CAM/CNC. Coordenações de projetos, publicações de artigos e livros sobre o tema e orientações de alunos.	<a href="http://lattes.cnpq.br/8744045259194288">http://lattes.cnpq.br/8744045259194288</a>	Coordenador geral. Líder dos SPS: 1.2; 1.6, 4.1. Orientar bolsistas, conforme <u>detalhado no Plano de trabalho</u>
2. Dr. Carlos Henrique Ahrens	Mais de 30 anos de experiência em processos de manufatura aditiva (impressão 3D) e CAE/CAD/CAM em aplicações para moldes de injeção. Coordenações de projetos, publicações de artigos e livros sobre o tema e orientações de alunos.	<a href="http://lattes.cnpq.br/7551898300957487">http://lattes.cnpq.br/7551898300957487</a>	Coordenador associado. Líder do SPS: 3.2. Orientar bolsistas, conforme <u>detalhado no Plano de trabalho.</u>
3. Dr. Wagner Pachekoski	Mais de 20 anos de experiência no estudo de polímeros, sua caracterização e processamento. Possui patentes, orientações de alunos, publicação de artigos e coordenação de projetos no tema.	<a href="http://lattes.cnpq.br/0905026139974742">http://lattes.cnpq.br/0905026139974742</a>	Líder do SPS 4.2: orientar bolsistas conforme detalhado no Plano de Trabalho.
4. Dr. Anselmo Diniz	Possui mais de 35 anos de experiência com pesquisador. Trabalha com usinagem dos materiais com foco em vibração, usinagem 5 eixos e materiais de difícil usinabilidade. Possui bom relacionamento com empresas, ministrando treinamentos e coordenando eventos técnicos.	<a href="http://lattes.cnpq.br/0900117595355390">http://lattes.cnpq.br/0900117595355390</a>	Pesquisador do SPS 1.3: Desenvolvimento do processo de furação profunda em moldes empregando fresamento 5 eixos.
5. Dr. Amauri Hassui	Possui 25 anos de atividades em pesquisas relacionadas à usinagem. Orienta trabalhos de IC, MS, DR e PD. Trabalha com processos de usinagem com foco em mecanismos de desgaste, usinabilidade e desenvolvimento de novos processos.	<a href="http://lattes.cnpq.br/9862345799372101">http://lattes.cnpq.br/9862345799372101</a>	Líder do SPS 1.3: Desenvolvimento do processo de furação profunda em moldes empregando fresamento 5 eixos
6. Dr. Alessandro Roger Rodrigues	Desenvolve pesquisas em integridade superficial e usinabilidade em macro e micro fresamento de materiais metálicos. Experiência de 34 anos em usinagem. Coordenação de projetos de pesquisa, formação de recursos humanos (IC, MS, DR, PD), publicação de artigos científicos, livros e patentes.	<a href="http://lattes.cnpq.br/2511836494580088">http://lattes.cnpq.br/2511836494580088</a>	Líder do SPS 1.5 - Novas técnicas de aplicação de fluidos de corte para reduzir a força de usinagem e erros de forma em moldes e SPS 4.3 - Estudo de materiais para a fabricação de moldes. Orientar bolsistas, conforme <u>detalhado no Plano de Trabalho.</u>
7. Dra. Suelí Fischer Beckert	Atua na área de metrologia dimensional desde 1988. Atua principalmente nos seguintes temas: processos de calibração, incerteza de medição, análise dos sistemas de medição (MSA), estatística e avaliação de laboratórios de calibração.	<a href="http://lattes.cnpq.br/7173233386836701">http://lattes.cnpq.br/7173233386836701</a>	Líder SPS 3.2: Metrologia aplicada em processo de usinagem de moldes
8. Dr. Régis	Mais de 20 anos de experiência na área de Desenvolvimento	<a href="http://lattes.cnpq.br/7173233386836701">http://lattes.cnpq.br/7173233386836701</a>	Líder do SPS: 2.2. Orienta bolsistas,

Kovacs Scalice	de Produtos, metodologia de projeto e ferramentas de apoio ao projeto de produtos, atuando em projetos de pesquisa, publicações de artigos e livros, e orientações de alunos nos temas.	<a href="http://lattes.cnpq.br/7242074413250683">cnpq.br/7242074413250683</a>	conforme <u>detalhado no Plano de trabalho</u>
9. Dr. Carlos M. Sachelli	Mais de 15 anos de experiência na área de desenvolvimento de moldes de injeção, atuando em coordenações de projetos, publicações de artigos e livros sobre o tema. Orientações de estudantes a nível de graduação e mestrado.	<a href="http://lattes.cnpq.br/4171332959305161">http://lattes.cnpq.br/4171332959305161</a>	Líder dos SPS: 3.1. Orientar bolsistas, conforme <u>detalhado no Plano de trabalho</u>
10. Dr. Helton da Silva Gaspar	Experiência em simulação numérica de sistemas dinâmicos e representação gráfica. Colabora há 2 anos com grupo GPCAM da UFSC Joinville, no desenvolvimento de modelos matemáticos e na orientação de IC e trabalho de conclusão de curso.	<a href="http://lattes.cnpq.br/4149018660913277">http://lattes.cnpq.br/4149018660913277</a>	Coordenador do SPS 1.4 - Desenvolvimento de novo modelo para prever o contato ferramenta-peça no fresamento de formas complexas em moldes
11. Dr. Pablo Andretta Jaskowiak	Experiência em desenvolvimento de sistemas computacionais, técnicas de Mineração de Dados e Aprendizado de Máquina. Orientações e publicações de artigos em conferências e periódicos internacionais.	<a href="http://lattes.cnpq.br/3294090242380648">http://lattes.cnpq.br/3294090242380648</a>	Líder dos SPS 2.1 - Desenvolvimento Indústria 4.0 para ferramentarias e 2.3 - Aprendizado de Máquina para identificar rugosidade de superfícies.
12. Dr. Roberto Simoni	Experiência em mecanismos e robôs serias e paralelos. Projeto, construção, controle e calibração de um robô. Publicação de artigos na área de robótica.	<a href="http://lattes.cnpq.br/0136325013477743">http://lattes.cnpq.br/0136325013477743</a>	Líder do SPS 1.1 Programação, simulação e usinagem com robôs nas etapas de fabricação de moldes.
13. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira	Atua a mais de 20 anos nas áreas de Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos, Gestão de Projetos, Gestão da Inovação e Empreendedorismo, atuando em projetos de pesquisa, publicações de artigos e livros, e orientações.	<a href="http://lattes.cnpq.br/2854174439495045">http://lattes.cnpq.br/2854174439495045</a>	Colaborador do SPS: 2.2. Coorientará os trabalhos de bolsistas em conjunto com o Dr. Régis Kovacs Scalice

Os bolsistas solicitados são imprescindíveis para o desenvolvimento dos 15 subprojetos sistemáticos, como apresentado detalhadamente no Plano de Trabalho Individual (Item 10).

## 9. Plano de trabalho

A Tabela 6 apresenta o plano de trabalho geral, contendo: cronograma de atividade; metas e entregas; desembolso por semestre, relacionadas a cada Projeto Sistemático, associadas ao cronograma de desembolso. O detalhamento das atividades previstas para cada subprojeto sistemático está apresentado na Planilha IX – Plano de Atividades.

Tabela 6: Plano de trabalho geral

<b>Plano de Trabalho geral (especifico encontra-se no Item Planos de trabalho individuais)</b>						
<b>PS 1: PS-1: Tecnologias disruptivas em usinagem</b>						
<b>Cronograma</b>	<b>Sem. 1</b>	<b>Sem. 2</b>	<b>Sem. 3</b>	<b>Sem. 4</b>	<b>Sem. 5</b>	<b>Sem. 6</b>
<b>Atividade</b>	Implementar máquinas para o tema usinagem de moldes automáticos. Seleção de bolsistas.	Delinear experimentos DOE. Interações com pesquisadores das indústrias.	Realização da etapa experimental 1, condução de testes e avaliações.	Realização da etapa experimental 2, condução de testes e avaliações.	Realização da etapa experimental 3, condução de testes.	Conclusão de experimentos > Interações com indústrias parceiras. Período de <i>tracking</i> .
<b>Meta / Entregas</b>	Equipe e infraestrutura em funcionamento.	Relatórios DOE.	Relatórios técnicos.	Relatórios e artigos científicos.	Relatórios e artigos científicos.	Relatório do período de tracking com indústrias.
<b>Desembolso</b>	Equipamentos e bolsas.	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas
<b>PS 2: Sistemas computacionais e gestão: Indústria 4.0 e gestão de ferramentarias</b>						
<b>Cronograma</b>	<b>Sem. 1</b>	<b>Sem. 2</b>	<b>Sem. 3</b>	<b>Sem. 4</b>	<b>Sem. 5</b>	<b>Sem. 6</b>
<b>Atividade</b>	Seleção de bolsistas. Levantamento bibliográfico, definir banco de dados e realizar treinamentos.	Estudo de aplicativos móveis, estudo de imagens.	Desenvolver aplicativo móvel, integrar CAD e gestão, testes com processamento de imagens.	Comunicação CNC, integrar CAM e gestão, implementação de técnicas de processamento de imagem.	Avaliar e validar sistemas desenvolvidos.	Publicar artigos e gerar relatórios.
<b>Meta/ Entregas</b>	Bolsas atribuídas e revisão bibliográfica.	Banco de dados, formação de recursos humanos.	Aplicativo móvel e proposição de modelos.	Coleta informações em máquinas, proposição de modelos	Controle/rastragem em aplicativo, validação de modelos	Artigos e relatórios
<b>Desembolso</b>	Equipamentos e bolsas.	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas
<b>PS 3: Manufatura aditiva, projeto e metrologia em ferramentarias</b>						
<b>Cronograma</b>	<b>Sem. 1</b>	<b>Sem. 2</b>	<b>Sem. 3</b>	<b>Sem. 4</b>	<b>Sem. 5</b>	<b>Sem. 6</b>
<b>Atividade</b>	Seleção de bolsistas. Levantamento bibliográfico, treinamentos.	Capacitação para trabalho dos respectivos SPSs aplicados em peças injetadas automotivas.	Desenvolvimento dos estudos propostos pelo SPSs. Interações com indústrias.	Simulações, proposições de modelos e análises estatísticas. Interações com indústrias.	Implementação e validação de modelos, e elaboração de artigos.	Análise e difusão de resultados, interações com empresas, cursos de capacitação, testes.
<b>Meta/ Entregas</b>	Bolsistas selecionados. Revisão bibliográfica e relatórios	Relatórios e planejamento de experimentos DOE.	Workshop, relatórios, cursos e manuais.	Artigos e relatórios.	Artigos e relatórios.	Relatórios, cursos, artigos e <i>workshop</i> .
<b>Desembolso</b>	Software e bolsas.	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas
<b>PS 4: Inovações no Processo de Injeção</b>						
<b>Cronograma</b>	<b>Sem. 1</b>	<b>Sem. 2</b>	<b>Sem. 3</b>	<b>Sem. 4</b>	<b>Sem. 5</b>	<b>Sem. 6</b>
<b>Atividade</b>	Seleção de bolsistas. Levantamento bibliográfico, treinamentos. aquisição de equipamentos.	Capacitação para trabalho dos respectivos SPSs aplicados em moldes/peças injetadas automotivas.	Desenvolvimento de modelos, tratamento de resultados.	Testes de controle em injetoras, fabricação e testes de inserts.	Elaboração de artigos, dissertações, interações com indústrias. tratamento de resultados	Redação de artigos, realização de <i>workshops</i> , interações com indústrias. Relatórios.
<b>Meta/ Entregas</b>	Bolsistas. Revisão da literatura. Matrizes experimental.	Relatórios e planejamento de experimentos DOE.	Workshop, relatórios, cursos e manuais.	Artigos e relatórios.	Validação de modelos. Patentes e registro de software.	Relatórios, artigos, dissertações e teses. <i>Workshop</i> .
<b>Desembolso</b>	Equipamentos e bolsas.	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas	Bolsas

## 10. Planos de trabalho individuais - bolsistas e pesquisadores

Conforme instruções o arquivo Excel “ANEXO-IX-Plano-de-Atividades”, apresenta o cronograma de atividades, metas e entregas de todos os bolsistas, pesquisadores e coordenadores, com as planilhas: 1) plano de trabalho dos bolsistas; 2) Plano de trabalho coordenador geral; 3) plano de trabalho coordenador associado; 4) plano de trabalho pesquisadores; 5) cronograma geral. Cabe ressaltar que os períodos de férias serão administrados por cada líder de SPS, por este motivo não foram apresentadas no plano de trabalho.

## 11. Orçamento detalhado

Uma vista geral dos valores do projeto:

- **ROTA 2030 FEB+C: R\$ 5.372.266,62**
- **Indústrias parceiras (contrapartida econômica): R\$ 2.685.696,52** (valores de contrapartida estão computados apenas as horas máquina/profissional que trabalharão no projeto).
- **ICTs: R\$ 1.092.141,50.**
- **Valor total do projeto: R\$ 9.732.962,49.**

O projeto conta ainda com a expressiva colaboração das empresas de apoio:

- **Empresas de apoio: R\$ 1.113.329,47** (Tabela 7).

Tabela 7: colaboração das empresas de apoio (sem custo)

Material	Fornecimento/ Disponibilidade	Valor	colaboração
Fluido de corte	Blaser	R\$16,388.17	R\$16,388.17
Sistema MQL	Ibatech	R\$90,000.00	R\$90,000.00
Software CAD/CAM/CAI/CAx - MRP	Siemens	R\$236,320.00	R\$236,320.00
Software simulação usinagem	CGTECH	R\$665,866.18	R\$665,866.18
CLP arquitetura aberta para injetora	Branqs	R\$75,955.12	R\$75,955.12
Material para testes (aço)	Villares	fornecer conforme necessidade	R\$0.00
Suporte técnico programação CAD/CAM	Sidemis	R\$ 28,800.00	R\$28,800.00
<b>Total de acolaboraçãoapoio das empresas de apoio</b>			<b>R\$1,113,329.47</b>

Equipamentos permanentes previstos para serem adquiridos com recursos do ROTA 2030 e suas respectivas aplicações estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela: 8: Equipamentos permanentes e aplicações previstas.

<b>Aquisição Equipamento</b>	<b>Utilização</b>	<b>Preço</b>
Robô GP25 YASKAWA	Principal aplicação no SPS 1.1 - Viabilidade e limitações de robôs para diferentes processos de usinagem de moldes e diferentes materiais. SPS 1.6. Processos de polimento de moldes com robô. Será instalado no robô eixo-árvore portátil, 36.000 RPM, disponível no lab. GPCAM.	R\$ 191.679,53
Dinamômetro Kistler	Utilizado no SPS 1.1 para obtenção de parâmetros de força decorrentes dos diferentes processos de usinagem na fabricação de moldes (desbastes, pré-acabamento, acabamento por fresamento, polimento) serão avaliadas as forças e implicações nas movimentações do robô. SPS 1.2, obter a força de usinagem para desenvolver o processo de usinagem de moldes. SPS 1.4, obter a força real de usinagem para validar o modelo de força a ser desenvolvido, SPS 1.6, otimizar os processos de usinagem. Software Labview para aquisição dos sinais de força, disponível no lab. GPCAM.	R\$ 572.485,03
Rugosímetro 178-635-01A	Avaliação de perfis de rugosidade para auxiliar no desenvolvimento do reconhecimento de padrões de rugosidade em moldes, por imagem, na máquina CNC SPS 2.1. E nos demais SPSs que necessitem de avaliação de rugosidade.	R\$ 112.732,74
Controlador temperatura injetora	Para controlar a temperatura da injetora do laboratório - fluido dentro do molde. SPS 4.2 e demais relacionados com injeção.	R\$ 25.000,00
Cooler Injetora	Para sistema para resfriar a temperatura da injetora do laboratório - fluido dentro do molde. SPS 4.2 e demais relacionados com injeção	R\$ 40.000,00
Atualização de CNC com arquitetura aberta	É necessário uma máquina com CNC de arquitetura aberta para realizar os desenvolvimentos sobre o tema Indústria 4.0. SPS 2.1.	R\$ 161.878,30
Referenciador de ferramentas	Utilizado na máquina CNC eixos a ser adquirida. Desconto para o projeto ROTA 2030. SPS 1.1, 1.2, 1.3.	R\$ 10.000,00
Paletes para fixação de peças na máquina.	Será projetado para moldes em máquina CNC. Desconto para o projeto ROTA 2030. SPS 1.1, 1.2, 1.3. Empresa parceira. Redução de tempos de fixação e referenciamento.	R\$ 134.300,00
Laser para instalar na máquina CNC	Desenvolvimento do processo de texturização de moldes dentro da máquina CNC. SPS 1.2 e 1.6.	R\$ 182.000,00
Aquisição de licenças CAE	Projeto e simulação de moldes. SPS 3.1 e apoio aos demais SPS relacionados.	R\$ 40.000,00
Sensores de pressão e temperatura e periféricos. Kistler.	Monitoramento e controle do processo de injeção SPS 4.1. Será utilizado software Labview para aquisição dos sinais de força, disponível no lab. GPCAM. Estudo das temperaturas em moldes SPS 3.2, 4.3. Gestão de produção e indústria 4.0 SPS 2.1 e 2.2.	R\$ 67.720,59
Workstation	Tratamento de imagens para desenvolver sistema de reconhecimento de padrão de rugosidade em moldes na máquina CNC. SPS 2.1 e 3.1.	R \$17.000,00
Câmera EOS Rebel T7	Tratamento de imagens para desenvolver sistema de reconhecimento de padrão de rugosidade em moldes na máquina CNC. SPS 2.1 e 3.3.	R \$2.600,00
Lente EF 100mm f/2.8 Macro USM	Tratamento de imagens para desenvolver sistema de reconhecimento de padrão de rugosidade em moldes na máquina CNC. SPS 2.1 e 3.3.	R \$3.500,00
<b>Orçamento dos equipamentos permanentes previsto no projeto</b>		<b>1.573.896,19</b>

1) Indústrias parceiras contrapartidas econômicas: R\$ 2.685.696,52 (detalhado na Tabela 3).

2) Contrapartida das ICTs: R\$ 1.092.141,50. Considerado o salário médio de um professor universitário valor de R\$ 14.700,00 (40 horas/mês – portal transparência), a atuação de cada professor estimada em 24 horas/mês e o número de 13 professores. Soma-se a este valor R\$

60.201,50, referente a 64 horas/ semana de um técnico em Mecânica de laboratório, como contrapartida da UFSC-CTJ. Assim, o total de contrapartida das ICTs é: R\$ 1.092.141,50. Não estão considerados os custos de infraestrutura física e de equipamentos oferecidos pelas ICTs.

Como apresentado, o projeto contará com um importante apoio pelas indústrias de apoio, conforme apresentado pela Tabela 7.

## 12. Método de tracking

Estão previstos como métodos de *tracking* o período de 6 meses para implementar nas indústrias parceiras (ambiente relevante para cadeia automotiva), e as conclusões dos trabalhos dos alunos bolsistas, apresentação trabalhos, elaboração de artigos, realização do curso de capacitação envolvendo as áreas abordadas no projeto, a realização do *workshop* de conclusão do período quando serão convidadas outras indústrias para participação da fase subsequente, para dar continuidade do núcleo de pesquisa por mais 3 anos.

## 13. Referências

- Abellan-Nebot, J. V.; Rogero, M. O. Sustainable machining of molds for tile industry by minimum quantity lubrication. *Journal of Cleaner Production*, v. 240, 118082, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118082>
- AIAG. Measurement systems analysis - MSA, reference manual. 2010.
- Beaumont, J.P.; Nagel, R.; Sherman, S. Successful Injection Molding: Process, Design and Simulation. Munchen: Hanser, 2002.
- Biermann, D., Bleicher, F., Heisel, U., Klocke, F., Möhring, H.-C., Shih, A., Deep hole drilling, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 67 (2018), 673-694
- Bretas, R.E.S. Reologia de Polímeros Fundidos. Editora da UFSCAR. São Paulo. 2a Edição. 2005.257p.
- Canevarolo Jr., S.V. Ciência dos Polímeros. Artliber Editora. São Paulo. 2a Edição. 2002. 285 p.
- Di Martino, S., Fiadone, L., Peron, A., Riccabone, A., & Vitale, V. N. (2019, June). Industrial Internet of Things: Persistence for Time Series with NoSQL Databases. In 2019 IEEE 28th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE) (pp. 340-345).
- Fongsuwan, W.; Chamsuk, W.; Sirorath, K.; Tiengtavaj, S.; Dansomboon, S.; Takala, J.; (2017). Cluster And R&D Affecting The Competitive Advantage Of The Mould And Die Sector In The Thai Automotive Industry. *Management and Production Engineering Review*. Volume 8 • Number 4 • December 2017 •DOI: 10.1515/MPER-2017-0032
- Geres, M. (2018). A cidade dos moldes. *Indústria & Competitividade*. N. 16. PP. 18-24. Diário Regional (26 de julho de 2018). <https://www.diarioregional.com.br/2018/07/26/reducao-do-imposto-de-importacao-de-moldes-ameaca-ferramentaria-diz-sindicato>.
- Guimarães, E. (2018). Encontro de ferramentaria do ABC debate políticas para o setor (2018) <http://www.cnmcut.org.br/conteudo/encontro-de-ferramentaria-do-abc-debate-politicas-para-o-setor>
- Harada, J.; Ueki, M. M. Injeção de termoplásticos. Artliber Editora. São Paulo. 1a Edição. 2012. 250 p.
- Kazmer, D. Injection Mold Design Engineering. Munchen: Hanser, 2007.
- Kim, S.H., Nam, E., Ha, T.I., Hwang, S.H., Lee, J.H., Park, S.H., Min, B.K.: Robotic machining: A review of recent progress. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, volume 20, pg 1629-1642, (2019).
- Lee, K. C., Ho, S. J., & Ho, S. Y. (2005). Accurate estimation of surface roughness from texture features of the surface image using an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Precision engineering*, 29(1), 95-100.
- Manrich, S. Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. São Paulo: Artliber Editora, 2005. 431 p
- Marchiori, M. M. Estudo de um sistema de medição a laser na análise da textura da superfície gerada por torneamento. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, UFRGS, 2013.
- Oliveira, A. L. de. Proposta de um método para especificação de tolerâncias dimensionais em produção de

- peças plásticas injetadas. Dissertação de Doutorado, UFSC, 2017.
- Rifai, A. P., Aoyama, H., Tho, N. H., Dawal, S. Z. M., & Masruroh, N. A. (2020). Evaluation of turned and milled surfaces roughness using convolutional neural network. *Measurement*, 107860.
- Sacchelli, C.M. Sistematização do Processo de Desenvolvimento Integrado de Moldes de Injeção de Termoplásticos. Tese de Doutorado, UFSC, 2007
- Souza et al. (2018). Desenvolvimento de molde de injeção de plástico fabricado por manufatura aditiva metálica. *Revista Ferramental*, 2018. <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/desenvolvimento-de-molde-de-injecao-de-plastico-fabricado-por-manufatura-aditiva-metalica>
- Verl, A., Valente, A., Melkote, S., Brecher, C., Ozturk, E., Tunc, L.T.: Robots in machining. *CIRP Annals*, 68(2), pg 799-822, (2019).
- Villalobos, K., Ramírez-Durán, V. J., Diez, B., Blanco, J. M., Goñi, A., & Illarramendi, A. (2020). A three level hierarchical architecture for an efficient storage of industry 4.0 data. *Computers in Industry*, 121, 103257.
- Wall, M. (2019). Automotive Industry Outlook: Managing Volatility and Leveraging Opportunities in a Dynamic Market Environment. IHS Markit report, Automotive Analysis.
- SOUZA, A. F.; ALBANO, A. E. (2012). Evaluating Three and Five Axis Milling Technology Applied to the Mold Manufacturing Process. *Manufacturing Engineering*, v. 1, p. TP12PUB58.
- Ozturk, E.; Budak, E. (2007). Modeling of 5-axis milling processes. *Machining Science and Technology*, 11:3, 287-311.
- SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. (2013). Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC. Princípios e Aplicações. 2 ed. São Paulo: Artliber. v. 1. 332p.
- Souza, A.; F.; Machado, A.; Becker, S. F.; Diniz, A. E. (2014). Evaluating the roughness according to the tool path strategy when milling free form surfaces for mold application. *CIRP International Conference on High Performance Cutting*. 14. 188-193.
- Coelho, R.T., Souza, A. F., Roger, A.R., Rigatti, A.M.Y., Ribeiro, A.A.L. Mechanistic Approach to Predict Real Machining Time for Milling Free Form Geometries Applying High Feed Speed. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, 2010, 1103-1111.
- VOLPATO, N.; AHRENS, C. H. Fabricação de ferramental (Cap.12) do livro *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*, pp. 293-323, Ed. Blucher, 2017.
- MARIN, F.; MIRANDA, J. R.; SOUZA, A. F. Study of the design of cooling channels for polymers injection molds. *Polymer engineering and science*, v. 1, p. 1-8, 2017. DOI: 10.1002/pen.10827.
- Ferramental. ROTA2030/PPP - Projetos e Programas Prioritários: “Reestampando” o futuro da indústria de ferramentais no Brasil, 2019. Disponível em <https://www.revistaferramental.com.br/artigo/rota2030-ppp-projetos-programas-prioritarios-reestampando-futuro-da-industria-ferramentais-brasil>.
- SOUZA, A. F.; SACHELLI, C.M.; SCALICE, R. K.; GILAPA, L.; LACERDA, M. M. (2006). Management Alalyzes of Production of Injection Molds. In: *iv Congresso nacional de eng. mecânica*. Recife, Brazil, Ago 2006.
- BECKER, L. (2012). Instrumentação de moldes de injeção. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Tupy.
- MICHAELI, W.; SCHREIBER, A. (2009). Online Control of the Injection Molding Process Based on Process Variables. *Advances in Polymer Technology*. Vol. 28 65-76.
- WONG, H.Y.; FUNG, K.T.; GAO, F. (2008). Development of a transducer for in-line and through cycle monitoring of key process and quality variables in injection molding. *Sensors and Actuators* 141 (2008) 712 722.
- LABBAN, A. E.; MOUSSEAU, P.; DETERRE, R.; BAILLEUL J.; SARDA, A. (2009). Temperature measurement and control within moulded rubber during vulcanization process. *Measurement*, Vol. 42, 916-926.
- DOMINGUES, G. J. Polibilidade de Aços para Moldes de Plásticos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 74. 2009.
- HARADA, J. Moldes para Injeção de Termoplásticos: projetos e princípios básicos. São Paulo: Artliber, 2004.
- BARETA, D. R. Estudo comparativo e experimental de materiais aplicados a insertos macho de moldes de injeção dentro do conceito de molde híbrido. Dissertação. Pós-Graduação em Materiais, 2007.