

APENDICE B – ENCOMENDAS TECNOLÓGICAS DO EIXO 2: MATRIZ PARA ESTAMPAGEM DE ALUMÍNIO

O projeto a ser financiado neste eixo caracteriza-se por uma ação que visa à consolidação, harmonização e difusão dos atuais conhecimentos, competências e boas práticas já existentes no setor ferramenteiro internacional, buscando a nacionalização da tecnologia e a difusão de conhecimentos referentes à fabricação de matrizes para estampagem de alumínio para componentes automotivos. Espera-se criar uma métrica para que resultados quantitativos possam ser medidos em relação ao aumento de competitividade (redução de custos, redução de tempos produtivos, melhoria de qualidade, etc.) e que os conhecimentos interdisciplinares relativos à complexidade da temática sejam difundidos de uma maneira holística a todos os *stakeholders* da cadeia.

Este demonstrador será baliza para identificar, entre outros, os gargalos tecnológicos, metodológicos e organizacionais atuais da produção de ferramentas para estampagem de superfícies classe A de alumínio. Tais identificações poderão, ao longo do programa, subsidiar novas chamadas públicas para pesquisas e desenvolvimentos relativos à competitividade do setor. Ainda, ao final do Programa Ferramentarias Brasileiras Mais Competitivas, ao se avaliarem novas soluções desenvolvidas, espera-se ter uma base de comparação para que possam ser medidos os impactos gerados.

O **objetivo geral** do projeto demonstrador no eixo central é ser o ponto de conexão, articulação e compartilhamento de conhecimentos técnicos e científicos gerados pelas fases do projeto.

A divisão do projeto é feita seguindo-se as 4 fases de desenvolvimento de ferramental já citadas. Abaixo, listam-se as fases, relacionadas ao tema do eixo central:

Matrizes para Estampagem de Alumínio

Fase 1. Planejamento

Fase 2. Projeto

Fase 3. Construção

Fase 4. Testes

A seguir, as fases 1 a 4 são descritas, assim como os objetivos específicos, resultados esperados e metas são detalhados.

FASE 1: PLANEJAMENTO

Todo planejamento de fabricação inclui, nas etapas iniciais, a seleção de matéria-prima. Além da definição da matéria-prima, o planejamento da construção de

um ferramental tem importância fundamental para que a execução tenha eficiência. Deseja-se responder às seguintes perguntas:

- Quais materiais atendem tecnicamente ao projeto?
- Há informações suficientes sobre esse material para o planejamento do processo?
- Quais materiais estão disponíveis nas condições necessárias?
- Quem são os fornecedores brasileiros dos materiais críticos para o projeto?
- A seleção e adaptação da peça estampada para produção em alumínio estão corretas?
- Há bons modelos para projeto de superfícies Classe “A” em alumínio?

Esta linha temática tem como **objetivos**:

1. Ser responsável por definir e levantar informações a respeito dos materiais utilizados e o comportamento dos materiais durante as fases de interesse para fabricação de ferramental para estampagem de alumínio.
2. Realizar revisão bibliográfica, benchmarking e seleção de materiais e processos de produção, com dois focos: matrizes para estampagem de alumínio e chapas de alumínio para estampagem. Os materiais deverão ser selecionados segundo critérios técnicos e de mercado, possibilitando a produção nacional de pelo menos 90% dos componentes.
3. Reproduzir as etapas de planejamento de fabricação de uma matriz para estampagem, a partir do modelamento da peça conformada e do processo de conformação e levantamento de custos. Os processos deverão ser justificados e documentados e, sempre que possível, baseados em valores realísticos do mercado brasileiro atual (levantamento de tempos e custos reais, preço de matéria-prima, serviços, mão de obra, etc.).

O escopo deverá ser abordado em 5 (cinco) frentes de trabalho, detalhadas a seguir:

Frente 01 - Chapas de alumínio

O demonstrador reproduzirá a estampagem de um componente de superfície Classe A para automóvel, a partir de chapas de alumínio laminadas, levantando as informações técnicas através de ensaios laboratoriais, sempre que necessário. A **meta** desta etapa é selecionar um material de chapa de alumínio que será utilizado nos

desenvolvimentos de matriz para estampagem. A chapa deverá ser especificada quanto a:

- a. Liga de alumínio (composição química, teores mínimos e máximos);
- b. Têmpera;
- c. Dimensões (medidas e tolerâncias);
- d. Propriedades mecânicas (valores mínimos e máximos e tolerâncias);
 - i. Tensão limite de escoamento;
 - ii. Tensão limite de ruptura;
 - iii. Alongamento de fratura;
 - iv. Dureza;
 - v. Módulo de elasticidade (módulo de rigidez ou módulo de Young).
- e. Propriedades físicas (valores mínimos e máximos e tolerâncias);
 - i. Tamanho de grão;
 - ii. Textura metalográfica;
 - iii. Condutibilidade elétrica;
 - iv. Condutibilidade térmica;
 - v. Densidade;
 - vi. Coeficiente de expansão térmica;
 - vii. Ponto de fusão.
- f. Lista de produtores nacionais para fornecimento em larga escala.

Outras propriedades e/ou características adicionais podem ser especificadas, desde que não impliquem em limitação de fornecimento do material por fabricantes internacionais ou lotes pequenos, ou estejam restritos por patentes válidas no Brasil.

Frente 02 - Material da matriz

Para que o projeto de produção de matriz para estampagem de alumínio seja bem-sucedido, a boa escolha de materiais para fabricação tanto da matriz como de seus componentes é fundamental. A **meta** desta etapa é selecionar o(s) material(is) para produção da matriz para estampagem de alumínio (superior e inferior) e seus componentes, levantando as informações técnicas através de ensaios laboratoriais, sempre que necessário. Os materiais deverão ser selecionados segundo critérios e exigências técnicas específicos de cada componente (bases, matrizes, insertos, buchas, pinos, guias, colunas, prensa-chapas, extratores, molas, punções, limitadores, parafusos etc.).

Os materiais deverão ser especificados, sempre que necessário para o adequado projeto, fabricação e simulação, quanto a:

- a. Liga (composição química, teores mínimos e máximos);
- b. Processo de produção (fundição, laminação, forjamento, tratamentos térmicos etc.);
- c. Dimensional (medidas e tolerâncias);
- d. Propriedades mecânicas (valores mínimos e máximos e tolerâncias);
 - i. Tensão limite de escoamento;
 - ii. Tensão limite de ruptura;
 - iii. Alongamento de fratura;
 - iv. Dureza;
 - v. Módulo de elasticidade (módulo de rigidez ou módulo de Young).
- e. Propriedades físicas (valores mínimos e máximos e tolerâncias);
 - i. Tamanho de grão;
 - ii. Condutibilidade elétrica;
 - iii. Condutibilidade térmica;
 - iv. Densidade;
 - v. Coeficiente de expansão térmica;
 - vi. Ponto de fusão.
- f. Lista de produtores nacionais para fornecimento em larga escala.

Outras propriedades e/ou características adicionais podem ser especificadas, desde que não impliquem em limitação de fornecimento do material por fabricantes internacionais ou lotes pequenos, ou estejam restritos por patentes válidas no Brasil.

Frente 03 - Tribologia

Esta etapa tem como **meta** realizar levantamento de informações sobre tribologia (atrito, lubrificação e desgaste) dos pares chapa-matriz e outras partes móveis críticas, gerando um conjunto de informações relevantes para as etapas de projeto, manufatura, tryout e para o uso e manutenção das matrizes que serão trabalhadas nos outros eixos transversais. Através de ensaios de caracterização tribológica ou modelamento dos fenômenos, deverão ser gerados dados para os bancos de dados de simulação, que serão dados de entrada para os modelos matemáticos de conformação. O objetivo principal desse estudo é fundamentar projetos dos elementos que trabalhem sob atrito e deslizamento. As informações também orientarão a elaboração da estratégia de lubrificação industrial (tipos de lubrificantes, intervalo de lubrificação, ensaios, etc.).

Os dados a serem fornecidos após o levantamento são:

- a. Coeficiente de atrito
- b. Coeficiente de transferência de calor
- c. Perda de massa
- d. Profundidade de risco
- e. Rugosidade
- f. Tipos de lubrificantes

Quando aplicável e necessário, os dados poderão ser levantados em função da carga aplicada, da temperatura ou de outros parâmetros que variem durante os processos de produção e uso das matrizes para estampagem de alumínio. Neste caso, deverão ser entregues, também, as curvas de variação das propriedades em função da variável estudada.

Frente 04 - Modelamento do processo de estampagem

O modelamento matemático realizado por simulação computacional é uma ferramenta essencial para projeto de componentes, uma vez que traz respostas rápidas sobre o processo e prevê a viabilidade de produção pelo método proposto. Através de simulação computacional, podem-se projetar as etapas de conformação, união e o desempenho dos produtos. Os modelos, entretanto, são fortemente dependentes de dados de entrada confiáveis, como propriedades físicas dos materiais, por exemplo.

A **meta** desta etapa é estudar o modelo computacional do processo de estampagem das chapas de alumínio, a ser utilizado nas outras etapas. Esta etapa começa com o recebimento de um modelo 3D de um componente “Classe A” atualmente fabricado em aço, para adaptação para estampagem em alumínio, mantendo-se as características especificadas pelo grupo de empresas apoiadoras do projeto.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Desenhos 3D do componente “Classe A” em alumínio;
- b. Necessidade de adaptação do modelo original para o novo processo;
- c. Relatório de simulação de processo, descrevendo:
 - i. Dados de entrada;
 - ii. Input (dados de entrada) da simulação (materiais, lubrificantes, forças de conformação, velocidades etc.);
 - iii. Parâmetros de processo;

- iv. Resultados da correlação com processo;
 - v. Cálculos estruturais;
 - vi. Condição de contorno;
 - vii. Steps;
 - viii. Descrição da malha de elementos Finitos;
 - ix. Resultados da correlação estrutural;
 - x. Conclusão.
- d. Arquivos de saída dos modelos, contendo cálculos de forças, temperaturas, pressões e deformações;
- e. Previsão de retorno elástico (*springback*) do componente após estampagem;

Por se tratar de um novo processo o planejamento tem a meta de estudar quais fatores devem ser considerados para melhorar o resultado de simulação, estabelecendo assim um guia de projeto.

Quando indisponíveis mesmo após o levantamento de dados experimentais, os parâmetros de entrada poderão ser calculados/simulados. Neste caso, deverão ser descritos metodologia e resultados dos cálculos.

Frente 05 - Previsão de springback

A combinação das tensões de compressão e tração afetam diretamente os resultados de springback e causam a deformação da parede do produto. Em muitos casos em que os resultados práticos não repetem os calculados pela simulação, podem ser encontradas falhas na engenharia. Como o processo de estampagem em alumínio é um processo novo no Brasil deve-se estudar a correlação do material e condições de estampagem para entendimento do springback.

A **meta** desta etapa é realizar levantamento do comportamento mecânico das chapas de alumínio quando submetidas a tensões típicas do processo de estampagem, através de ensaios laboratoriais e metrologia. Deverão ser medidos:

- a. Variação de espessura;
- b. Variação de tensão de escoamento;
- c. Variação do limite de resistência;
- d. Variação do módulo elástico;
- e. Coeficiente de escoamento;
- f. Ângulo de retorno elástico;
- g. Parâmetros de anisotropia plástica.

Os ensaios devem ser usados como dados de entrada para alimentar o processo de simulação, calibrando o processo para eliminação de ensaios laboratoriais futuros.

FASE 2: PROJETO

Os projetos básico e executivo compõem pilares fundamentais para a fabricação de um conjunto de ferramentas. É no projeto executivo que se encontra tudo que será necessário para guiar a fabricação e a montagem das ferramentas – desenhos detalhados, cronogramas, orçamentos, listas de fornecedores, especificações técnicas, entre outros.

Deseja-se responder às seguintes perguntas:

- A ferramenta e todos os seus subconjuntos estão corretamente projetados para suportar as cargas de trabalho?
- Há informações suficientes para a execução da fabricação da ferramenta em todos os seus detalhes?
- Há padrões reconhecíveis para prover agilidade, flexibilidade e repetibilidade ao projeto?
- Há ferramentas para o cálculo eficaz de orçamento para produção do ferramental?
- O projeto está bem suportado por modelagem CAD padronizada e automatizada?

Esta linha temática tem como **objetivos**:

1. Reproduzir as etapas de projeto de uma matriz para estampagem, utilizando ferramentas computacionais CAE/CAD bem difundidas entre as ferramentarias brasileiras e o restante da cadeia de ferramental.
2. Justificar e documentar as etapas de projeto de uma matriz para estampagem de alumínio, consolidando, harmonizando e difundindo os atuais conhecimentos, competências e boas práticas já existentes no setor ferramenteiro internacional, buscando viabilizar a nacionalização da tecnologia.
3. Realizar levantamento de valores realísticos do setor ferramenteiro brasileiro atual (levantamento de tempos e custos reais, preços de insumos, serviços, mão de obra, etc.).

O escopo deverá ser abordado em 2 frentes de trabalho, detalhadas a seguir:

Frente 01 - Modelamento da ferramenta

Ao se realizar simulação computacional da conformação das peças, muitas vezes ignoram-se os cálculos de esforços sobre as ferramentas, o que pode levar a defeitos de conformação, falhas prematuras da ferramenta ou erro no plano de lubrificação e manutenções preventivas. A **meta** desta etapa é obter o modelo computacional do processo e da ferramenta de estampagem das chapas de alumínio, com atenção sobre os esforços mecânicos exercidos pela/sobre a ferramenta. Com base nos resultados do planejamento produzir o projeto completo da ferramenta a ser executada levando em consideração toda a interação CAD|CAE, mantendo-se as características especificadas pelo grupo de empresas apoiadoras do projeto.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Desenhos 2D e 3D da ferramenta e todos os seus subconjuntos;
- b. Estrutura de Montagem
- c. Relatório de simulação do processo e ferramenta, descrevendo:
 - i. Descrição do componente;
 - ii. Dados de entrada;
 - iii. Input (dados de entrada) da simulação (materiais, lubrificantes, forças de conformação, velocidades etc.);
 - iv. Modelamento;
 - v. Parâmetros de processo;
 - vi. Resultados da correlação com processo;
 - vii. Cálculos estruturais;
 - viii. Condição de contorno;
 - ix. Steps;
 - x. Descrição da malha de elementos Finitos;
 - xi. Resultados da correlação estrutural;
 - xii. Conclusão.
- d. Arquivos de saída dos modelos, contendo cálculos de forças, temperaturas, pressões e deformações;
- e. Previsão de vida das ferramentas;

Como resultado do modelamento busca-se a definição de uma metodologia que possa ser replicável para novos projetos, levando em consideração tecnologias e conhecimentos aplicados para validação do projeto.

Frente 02 - Padronização

A existência de padrões para projeto acelera os processos de desenho, planejamento e execução e uniformiza as atividades e rotinas de uma empresa. A padronização tem como objetivo definir especificações técnicas que auxiliem na maximização da compatibilidade, reprodutibilidade, segurança ou qualidade de determinado processo, produto ou serviço. Uma boa padronização de projetos possibilita replicar os acertos, possibilitando ter ganhos em escala e qualidade.

Dependendo das necessidades de cada projetista, cliente ou fornecedor, diferentes padrões podem ser negociados. No entanto, a padronização de processos operacionais exige boa comunicação e estruturação entre os setores e hierarquias dentro das organizações envolvidas.

Entre os processos industriais que podem ser padronizados, podem-se listar:

- Informações e formatação de documentos;
- Formatos de arquivos eletrônicos;
- Instruções e descrições de tarefas e sequências de tarefas;
- Estoques;
- Uso de peças padrão ou catálogos como parafusos, buchas, acionadores etc.;
- Parametrização de componentes para integração a novos projetos;
- Definição de geometrias simples para montagem rápida e automatizada;
- Entre outros.

A **meta** desta etapa é oferecer um conjunto de padrões para projeto de manufatura de um conjunto de matrizes para estampagem de alumínio, fornecendo desenhos 3D e 2D, listas de materiais, sequências de procedimentos e especificações para uso futuro em larga escala dentro da cadeia de ferramentarias brasileiras. Os padrões deverão ser planejados em acordo com as empresas parceiras, representando diferentes tiers da cadeia automotiva (montadoras, sistemistas, autopeças e ferramentarias), de modo que a personalização de seus projetos particulares seja viável com a existência dos padrões.

FASE 3: CONSTRUÇÃO

Com o processo de estampagem e projeto da ferramenta validados inicia-se o processo de construção da ferramenta. A fabricação deverá ainda integrar os achados da fase de planejamento referentes a materiais e processos na fabricação da ferramenta fundida, usinagem e montagem.

Deseja-se responder às seguintes perguntas:

- Como garantir um fundido livre de porosidade e trincas?
- Como otimizar a programação de usinagem?
- Como otimizar caminho de ferramentas e tempo de usinagem?
- Quais os processos essenciais para garantir a fabricação precisa do ferramental?
- Como otimizar os processos de montagem e acabamento do ferramental?

Esta fase tem como **objetivos**:

1. Obtenção de um modelo fundido da ferramenta livre de falhas.
2. Programação da usinagem de ferramental de grande porte de maneira otimizada.
3. Usinagem de ferramental de grande porte levando em consideração otimização de caminho de ferramentas, adoção de novas ferramentas de cortes e tecnologias.
4. Estudo do processo de montagem para otimização de tempo e layout.

O escopo deverá ser abordado em 5 frentes e trabalho, detalhadas a seguir:

Frente 01 - Programação CAM

A programação de usinagem é uma etapa crucial para obtenção de um ferramental de maneira otimizada. Baseada em uma fonte única de projeto deve-se gerar as estratégias mais adequadas visando desempenho e acabamento da ferramenta.

A programação deve ser integrada ao projeto para que possa ser iniciada de maneira concorrente com ao projeto do ferramental.

Deve-se levar em conta ainda a introdução de novas tecnologias, procedimentos, ferramentas e exploração de capacidade de máquinas CNC na busca pelo estado da técnica.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Roteiro de Usinagem;
- b. Conjunto ideal de ferramentas;
- c. Simulação de usinagem para verificação de colisões;
- d. Código NC otimizado de acordo com controlador da máquina CNC.

Como resultado da etapa de programação da usinagem além dos entregáveis necessários para sua realização espera-se definir uma metodologia replicável e otimizada que re-use tais conhecimentos e compartilhe melhores práticas.

Frente 02 - Usinagem

A usinagem do ferramental e todos os seus componentes deve ser executada seguindo os padrões definidos pelo planejamento de processos e da etapa de programação CAM.

Novas estratégias de fixação, movimentação e manipulação de componentes devem ser estudadas buscando sempre a otimização do processo integrando novas tecnologias e procedimentos.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Análise do resultado de usinagem;
- b. Plano de inspeção possível de ser realizado ainda na máquina;
- c. Melhorias para processos de usinagens futuras;
- d. Ferramental pronto para montagem.

Na busca pela otimização dos processos além dos entregáveis necessários espera-se a definição de soluções que integrem usinagem e inspeção para garantir a qualidade e reduzir etapas futuras de metrologia.

Frente 03 - Tratamentos térmicos

O tratamento térmico tem como objetivo otimizar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, a fim de prolongar sua vida, melhorar o desempenho e uniformizar a microestrutura dos componentes. A **meta** desta etapa é especificar, tanto para as matrizes e seus componentes como para as peças de alumínio estampadas, quando necessário tratamento térmico, os seguintes parâmetros:

- a. Temperaturas de:

- Pré-aquecimento;
- Aquecimento;
- Retenção;
- Resfriamento;
- Número de etapas.

b. Meio de aquecimento (indução, em gás inerte, a vácuo, banho de sal etc.)

c. Meio de resfriamento (ar, água, óleo ou banho de sal)

Alguns componentes podem demandar tratamentos superficiais, tais como cementação, nitretação, têmpera superficial, revestimento PVD, pintura etc. Todas as especificações desses tratamentos superficiais, quando necessárias, deverão ser descritas de modo que possam ser reproduzidas por outros grupos e empresas.

Frente 04 - Montagem e Tryout

A montagem do ferramental de grandes dimensões chega a corresponder por 30% do tempo de fabricação. Portanto deve-se estudar novos processos para manipulação e movimentação de componentes assim como propor estratégias e layouts que possam dinamizar e reduzir o tempo dessa tarefa.

Ainda o processo de tryout deve ser reduzido ao mínimo número de interações possíveis com o uso das ferramentas e técnicas supracitadas.

A meta dessa etapa é propor novos modelos de montagem que permitam a redução do tempo de trabalho, aumentando a eficiência assim como definir estratégias para redução das interações de tryout.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Metodologia para manipulação e movimentação de componentes;
- b. Proposição de layout;
- c. Estratégias de tryout;
- d. Ferramenta montada e validada.

No intuito de otimizar os processos além dos entregáveis necessários espera-se a definição de soluções que tragam os requisitos dessa etapa para as fases iniciais de planejamento e projeto para a criação de uma metodologia replicável.

Frente 05 - Lotes piloto

O lote piloto é o entregável desejado ao final das etapas de construção, e bem como a validação do processo como um todo.

A **meta** desta etapa é produzir um conjunto de 200 protótipos do componente de alumínio estampado, de forma que os protótipos possam ser utilizados para medições, produção de dispositivos, testes de montagem, planejamento de etapas etc. Estes protótipos idealmente serão produzidos em alumínio, a fim de reproduzir o peso real da peça projetada.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Análise estatística do resultado do produto;
- b. Análise de variações do produto versus projeto;
- c. Resultados de montabilidade do produto;
- d. Estudos sobre estabilidade de processo.

No intuito de otimizar os processos além dos entregáveis necessários espera-se a integração dos achados nessa etapa, para que tais conhecimentos possam ser replicados no planejamento e projeto de futuras ferramentas.

FASE 4: TESTES

Os testes de ferramental são fundamentais para assegurar atendimento às especificações de projeto, buscar reproduzir a geometria e propriedades do componente fabricado e levantar problemas não previstos na fase de planejamento.

Deseja-se responder às seguintes perguntas:

- Como devem ser obtidos protótipos, antes da fabricação do ferramental, para apoiar nos outros desenvolvimentos correlacionados à ferramenta e design de produto?
- Quais medições precisam ser realizadas e quais os procedimentos recomendados?
- Quais testes são necessários para assegurar e atestar qualidade na entrega do ferramental?
- Quais medidas corretivas devem ser tomadas caso seja detectado retorno elástico acima do tolerado no momento do tryout?

Esta linha temática tem como **objetivos**:

1. Definir o conjunto de testes necessários na busca pela validação do produto, processo e ferramental.
2. Definir as estratégias de controle de qualidade.
3. Integrar a etapa de testes ao planejamento e projeto.

O escopo deverá ser abordado em 3 frentes e trabalho, detalhadas a seguir:

Frente 01 - Metrologia

Dada a importância do uso e da qualidade que se tem exigido para os dispositivos de controle de qualidade do processo de produto estampado recomenda-se uma atenção especial a esta etapa.

Deve-se definir qual o conjunto adequado de controles e dispositivos para garantir a conformidade de processo e produto.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Conjunto ideal de controles;
- b. Pontos de controle;
- c. Integração da metrologia no processo de produção;
- d. Introdução dos requisitos de metrologia nas fases de planejamento e projeto.

No intuito de otimizar os processos além dos entregáveis necessários espera-se a integração dos achados nessa etapa, para que tais conhecimentos possam ser replicados no planejamento e projeto de futuras ferramentas.

Frente 02 - Testes e ensaios

Os testes e ensaios sejam na linha de produção ou em laboratório tem papel fundamental na garantia de estabilidade de produção e conformidade de ferramental e produto.

Nessa etapa deve-se definir quais são os testes necessários para garantir a qualidade do ferramental e do produto gerado no lote piloto.

Deverão ser entregues os seguintes resultados:

- a. Testes necessários para verificar a qualidade do ferramental fundido;
- b. Testes para verificar dureza e acabamento do ferramental;
- c. Testes para verificar o produto final;
- e. Ensaios que validem a eficácia do produto final.

No intuito de otimizar os processos além dos entregáveis necessários espera-se integração dos achados nessa etapa no planejamento e projeto de futuras ferramentas se valendo do reaproveitamento de conhecimento.

Frente 03 - Correção de springback

Os softwares de simulação disponíveis no mercado permitem a medição e consequente compensação virtual do retorno elástico (*springback*). Eles funcionam bem para os materiais comuns, mas podem não apresentar resultados satisfatórios para aços de alta resistência caso a compensação não seja feita com extrema cautela e atenção. Com o aumento da utilização de novos materiais, como aços de alta resistência e alumínio, o problema de retorno elástico se agrava, pois a previsão exata do *springback* torna-se mais difícil e a solução dos problemas dimensionais em try-out torna-se menos eficiente. Nos casos em que a simulação falha em prever a deformação final das chapas estampadas, é necessário utilizar compensações, como ajustes de rugosidade, alterações geométricas, correção no prensa-chapas, lubrificação etc.

A **meta** dessa etapa é aprimorar soluções já existentes baseadas em simulação computacional para correção de *springback* em chapas de alumínio, considerando as particularidades das chapas de alumínio selecionadas para produção do componente. As soluções deverão ser validadas experimentalmente em ensaios piloto em escala 1:1, a fim de comprovar a sua eficácia e aplicabilidade em linhas de produção de componentes estampados na indústria automotiva.