



Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento

INSTITUIÇÃO PROPONENTE

Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria - RS

INSTITUIÇÕES ASSOCIADAS

Universidade Federal do Paraná – Curitiba - PR

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Ponta Grossa - PR

Universidade Federal do Rio Grande – Rio Grande - RS

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba - PR



Sumário

1. Dados do projeto de pesquisa:.....	3
2. Resumo expandido	4
3. Objetivos, metas e indicadores	5
4. Justificativa e relevância	7
5. Introdução e estado da arte.....	9
6. Metodologia	12
7. Resultados previstos	18
8. Cronograma de atividades	19
9. Valor estimado do orçamento a ser aportado pela FUNDEP	21
Referência Bibliográficas	31

1. Dados do projeto de pesquisa:

Título do projeto:

Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento

Área temática:

Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos

Tema B) Engenharia de superfície

Faixa orçamentária: R\$ 4.000.000,00

Coordenação da proposta:

Prof. Dr. Cristiano José Scheuer (coordenador geral)

Dr. Bruno Henrique Ramos de Lima (coordenador associado)

ICT proponente:

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

ICTs associadas:

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

Empresas parceiras:

nChemi Engenharia de Materiais Ltda – startup da (apoio econômico)

Toyota – montadora (apoio econômico)

Stara – montadora (apoio técnico)

Inova Industria de Matrizes – fabricante de matrizes (apoio técnico)

Indústria de moldes e matrizes – fabricante de matrizes (apoio técnico)

Stark Ferramentaria – fabricante de matrizes (apoio técnico)

Metalúrgica Schwarz S.A. – usuário de matrizes (apoio técnico)

Metalmatrix Indústria Metalúrgica – usuário de matrizes (apoio técnico)

Bruning Tecnometal – usuário de matrizes (apoio técnico)

2. Resumo expandido

No processo de forjamento de componentes na indústria automotiva, a precisão e integridade das matrizes desempenha um papel crucial na garantia da qualidade das peças fabricadas. Ao longo dos anos, diversos progressos têm sido realizados com o objetivo de melhorar a performance das matrizes diante dos modos de falha, maximizando sua vida útil. Esses avanços foram realizados com a finalidade primordial de reduzir o dano emergente e lucros cessantes, bem como de assegurar a conformidade geométrica e dimensional do componente forjado. Na atualidade, a abordagem empregada combina a aplicação do tratamento termoquímico de nitretação com revestimentos cerâmicos avançados, depositados por meio da técnica de deposição física de vapor (PVD).

Apesar de sua eficácia comprovada, essa estratégia acarreta um aumento substancial no custo de produção das matrizes. Esse aumento decorre não somente do custo da execução das referidas operações, mas também da necessidade de contratação de serviços terceirizados, e à logística necessária para o transporte das matrizes. Adicionalmente, essa abordagem também enfrenta desafios no tocante ao processamento de matrizes de grandes dimensões e com geometrias complexas, bem como dificulta a recuperação do revestimento após este sofrer avarias. Por essa razão, é importante que sejam criadas abordagens mais econômicas e de execução simplificada para realizar a engenharia de superfície de matrizes de forjamento.

Neste contexto, a nChemi desenvolveu uma técnica comprovadamente eficaz para ferramentas de injeção e de trefilação. Este método emprega nanofilmes compostos de óxidos metálicos, os quais, quando aplicados, conferem um aumento de 90% na dureza da ferramenta, assim como um incremento de 50% no desempenho tribológico dos moldes de injeção, e 35% das fieiras. O baixo coeficiente de atrito inerente ao revestimento, também oferece uma funcionalidade adicional de desmoldante, facilitando a extração das peças conformadas. O procedimento de aplicação é simples e de baixo custo: a solução contendo os nano-óxidos é pulverizada por meio de uma pistola de pintura e, posteriormente, sintetizada utilizando um soprador térmico. Devido à simplicidade da operação, a aplicação do revestimento pode ser realizada no ‘chão de fábrica’, pela própria equipe da ferramentaria.

Tendo em vista as diferenças existentes entre as condições operacionais das ferramentas de conformação, faz-se imprescindível a condução de análises complementares com o propósito de avaliar a eficácia da implementação destes revestimentos em matrizes de forjamento. Caso os resultados obtidos não atendam aos critérios de desempenho esperados, é necessária a proposição e implementação de ações para melhorar a performance destes revestimentos, de modo a satisfazer os requisitos operacionais. É nesse cenário que se enquadra esta proposta de pesquisa, a qual visa investigar a eficácia dos revestimentos à base de nanopartículas de óxidos

metálicos no aprimoramento da resistência aos mecanismos de degradação das matrizes de forjamento, com o intuito de ampliar sua vida útil. Como resultado adicional da implementação dessa tecnologia, espera-se eliminar a etapa do ciclo de produção das ferramentas que envolve seu tratamento superficial, integrando essa operação à fase de fabricação da matriz, viabilizando sua execução 'in-loco' pela equipe da ferramentaria. Dessa forma, os custos e tempos de produção da ferramenta serão reduzidos.

Para alcançar o objetivo estabelecido, o projeto engloba uma avaliação comparativa do desempenho tribológico dos revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos em relação aos produzidos por meio da estratégia convencional (nitretação + PVD). Além disso, serão analisadas suas características microestruturais, propriedades mecânicas em nanoescala e propriedades térmicas. A partir dos resultados das caracterizações nanomecânicas e térmicas, serão propostos modelos constitutivos que poderão ser empregados para prever numericamente o comportamento dos revestimentos em condições operacionais distintas daquelas adotadas neste estudo. A prova de conceito será realizada por meio de validação funcional em ambiente operacional, utilizando ferramentas reais (atingindo um nível de maturidade TRL 7). Esse nível de maturidade posiciona-se próximo da aplicação e, caso apresente resultados satisfatórios, apresenta um grande potencial de integração ao setor produtivo das ferramentarias, contribuindo para o aumento da competitividade deste segmento, e para o fortalecimento de toda a cadeia produtiva de veículos automotores.

Para concretizar essa nova abordagem de engenharia de superfície aplicada a matrizes de forjamento, a equipe de trabalho é composta por profissionais com experiência na execução de projeto em colaboração com agências de fomento, bem como em iniciativas que envolvem parcerias público-privadas com empresas do setor. Todos os membros da equipe possuem expertise no processamento, caracterização e/ou avaliação do desempenho de materiais tratados superficialmente. Além disso, contamos com o apoio e a colaboração de empresas do setor, que atuam em diferentes posições na cadeia produtiva de veículos automotores.

3. Objetivos, metas e indicadores

O presente projeto tem por objetivo investigar o potencial de melhoria de desempenho e aumento da vida útil em matrizes de forjamento, mediante à sua cobertura com revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos.

Metas:

- ✓ Realizar a aquisição dos materiais permanentes e consumíveis necessários para a execução do projeto, bem como a contratação dos bolsistas;

- ✓ Produzir as soluções de nanopartículas de óxidos metálicos para a síntese dos revestimentos da linha Plenus sobre as ferramentas de forjamento;
- ✓ Estabelecer um protocolo para a aplicação dessas formulações por meio da sua deposição por técnicas de pulverização, utilizando uma pistola de pintura;
- ✓ Viabilizar um procedimento para a síntese dos revestimentos da linha Plenus sobre o substrato a partir da solução depositada, por meio da utilização de um soprador térmico;
- ✓ Conduzir a análise dos revestimentos da linha Plenus, avaliando suas propriedades mecânicas em nanoescala, bem como suas características microestruturais e térmicas;
- ✓ Submeter o aço AISI H13 ao tratamento termoquímico de nitretação (PI³) seguido pela aplicação de revestimento a base de CrN depositado via processo Arc-PVD.
- ✓ Avaliar comparativamente, em escala de laboratório, o desempenho tribológico do revestimento da linha Plenus em relação ao convencional (nitretação + PVD);
- ✓ Avaliar o efeito da combinação do revestimento da linha Plenus com a texturização superficial sobre o seu desempenho tribológico.
- ✓ Propor modelos computacionais para prever numericamente o comportamento do revestimento da linha Plenus operando em condições diferentes daquelas aqui adotadas;
- ✓ Realizar a avaliação do desempenho do revestimento da linha Plenus quando aplicado sobre as matrizes de forjamento, operando em ambiente real.

Indicadores:

- 1) Relatório contendo a prestação de contas das aquisições efetuadas (materiais permanentes e consumíveis) e do processo de contratação dos bolsistas;
- 2) Relatório contendo a descrição detalhada: i) das soluções de nanopartículas de óxidos metálicos produzidas, incluindo a proporção mais apropriada de seus constituintes, o procedimento de preparo e sua espessura ideal; ii) do procedimento de execução da deposição da solução e sua parametrização; e iii) do procedimento de síntese do revestimento a partir da solução depositada, e sua correspondente parametrização;
- 3) Relatório contendo a análise dos resultados da caracterização das propriedades mecânicas em nanoescala, juntamente com as caracterizações microestruturais e morfológicas dos revestimentos sintetizados, bem como de suas propriedades térmicas;
- 4) Relatório contendo a análise dos resultados dos ensaios de avaliação do desempenho tribológico em ensaios de laboratório, dos revestimentos da linha Plenus, com e sem texturas, o comparativo da sua performance em relação ao tratamento convencional, e a análise do seu desempenho operando em ambiente real;
- 5) Relatório contendo a descrição detalhada dos modelos computacionais concebidos, e dos testes realizados para avaliar a sua precisão.

4. Justificativa e relevância

A conformação de metais é um conjunto de processos de fabricação que transformam a forma simples de uma determinada matéria-prima em produtos com formatos complexos, por meio da aplicação de esforços mecânicos exercidos por ferramentas específicas. Entre os diversos processos de conformação de metais, a tecnologia de forjamento ocupa uma posição de destaque, pois permite a fabricação de peças com formas tridimensionais, tanto na forma final como na semifinal, com um mínimo de desperdício de material. Os produtos forjados são caracterizados pela sua alta resistência mecânica e pela homogeneidade em sua composição. Essa regularidade entre as características de componentes de um mesmo lote garante uma resposta reprodutível às operações subsequentes de fabricação, e um desempenho consistente durante a sua operação [1].

A importância do setor de forjamento se reflete nos seus indicadores econômicos. Neste sentido, o mercado global de produtos forjados foi avaliado em US\$ 83,4 bilhões em 2022 e projeta-se que alcance a cifra de US\$ 168 bilhões até 2032, crescendo a uma taxa anual de 7,2% durante o período mencionado [2]. Neste cenário, a China deverá atingir um tamanho de mercado projetado de US\$ 25,7 bilhões até o ano de 2030, perfazendo uma taxa de crescimento anual de 7,7% durante o período. Entre os demais países com grande representatividade no setor estão o Japão e o Canadá, com previsão de crescimento de 1,4% e 5,1%, respectivamente, durante o período. Na Europa, espera-se que a Alemanha cresça aproximadamente 2,4% [3].

Não foram encontrados dados atualizados sobre o panorama atual da indústria de forjados no Brasil, nem de projeções futuras. A situação do mercado reportada pelo Sindiforja em 2006 [4], indicava que naquela época o setor empregava cerca de 23.481 pessoas, produzindo um volume total de 574.858 toneladas de peças por ano, das quais aproximadamente 20% eram destinadas à exportação, com um faturamento anual na ordem de R\$ 3.190,92 milhões. Como resultado da crise econômica mundial iniciada em 2009 e da fragilização da economia brasileira devido a questões internas a partir de 2011, que culminaram em uma grave crise econômica interna em 2016, presume-se que o segmento tenha sofrido uma retração ao longo do período.

Os números apresentados evidenciam a hegemonia da China no mercado de forjamento. De fato, a região Ásia-Pacífico deverá manter a posição de liderança durante o período considerado, impulsionada pelo seu amplo crescimento econômico que tem fomentado o desenvolvimento do setor industrial no local. Além disso, os governos da Índia, China, Vietnã e Indonésia implementaram diversas diretrizes favoráveis para promover o crescimento de suas indústrias. Nesse sentido, para se posicionar entre as maiores economias produtoras nesse segmento, o Brasil precisa realizar investimentos no setor, visando o desenvolvimento de

tecnologias nacionais para equiparar o nível de avanço tecnológico da indústria brasileira ao padrão de excelência observado na indústria das grandes economias industrializadas.

O mercado de peças forjadas no Brasil e globalmente é impulsionado principalmente pelo crescimento das indústrias que fazem parte da cadeia de suprimentos do setor de veículos automotores. Esse setor representa o principal consumidor de produtos forjados, absorvendo mais de 57% de todas as peças fabricadas [5]. Carros, caminhões e máquinas agrícolas podem conter mais de 250 componentes fabricados por meio do forjamento. A indústria de veículos automotores exibe crescimento contínuo devido principalmente a necessidade de deslocamento em grandes centros urbanos. Por exemplo, em janeiro de 2023, o volume total de vendas de veículos em todo o mundo foi de 1.065.937 unidades, aumentando para 1.384.676 unidades em março de 2023, um incremento de quase 30% no período. Devido à alta relação resistência-peso e confiabilidade estrutural, as peças forjadas também são amplamente utilizadas nas indústrias de energia, aeronáutica, naval e ferroviária [6]. Portanto, o previsto crescimento da atividade industrial em todos esses setores, irá impulsionar o crescimento do setor da atividade de forjamento e também melhorar as perspectivas do mercado de produção de ferramental.

No entanto, é previsto que as limitações do processo possam dificultar o crescimento do mercado de forjamento nos próximos anos, devido às novas exigências impostas pela 4ª Revolução Industrial. Para se ajustar aos novos paradigmas da Indústria 4.0, o processo de forjamento terá que se tornar mais energeticamente eficiente, ambientalmente amigável e menos oneroso [7]. Nesse panorama, a colaboração entre as empresas do setor, seus fornecedores e clientes, o setor acadêmico e o governo desempenharão um papel importante para que a indústria de forjamento brasileira evolua e alcance uma posição de destaque no cenário internacional.

Tendo em consideração o elevado custo das matrizes de forjamento e o impacto deste sobre o custo final do produto forjado, qualquer ação para desonerar a operação passa pelo aumento da vida útil das ferramentas e pela redução do consumo de energia durante a operação. Além disso, uma forma de tornar o processo de forjamento mais ecologicamente sustentável é eliminar o uso de desmoldantes à base de lubrificantes, e a adoção de processos com menor consumo energético para a produção do ferramental¹. Para atender a essas três necessidades, podem ser implementadas soluções de engenharia de superfície, por meio da aplicação de revestimentos com baixo coeficiente de atrito, depositados por técnicas de baixo custo, resultando em melhorias no desempenho das ferramentas em relação aos seus modos de falha.

¹ Neste contexto, é importante salientar que os processos convencionais de engenharia de superfície utilizam gases ionizados para efetuar o tratamento superficial das ferramentas. Sob essas condições, uma considerável quantidade de energia é consumida na execução do processo de nitretação e na evaporação e deposição de revestimentos por meio da técnica de PVD.

Para solucionar o problema mencionado, neste projeto, propomos a avaliação e validação de uma nova tecnologia para o tratamento superficial de matrizes de forjamento. Essa tecnologia disruptiva, fundamentada na nanotecnologia de origem 100% nacional, combina a simplicidade do seu processo de deposição, o baixo custo de aplicação e o excelente desempenho tribológico já comprovado em diversos ‘cases’ industriais realizados (vide descrição ao final da seção 4).

A validação desta tecnologia e sua ulterior incorporação ao setor de forjamento terão impacto em toda a cadeia produtiva de veículos automotores, resultando em maior eficiência das ferramentas e redução dos custos de produção dos forjados. Além disso, promoverá a conquista e estabelecimento de um segmento de mercado para os revestimentos da linha Plenus, desenvolvidos pela nChemi Engenharia de Materiais Ltda. Esta *startup* já demonstrou o potencial de suas soluções de engenharia de superfície, recebendo prêmios em programas de inovação aberta, incluindo o *Paint the Future* da AkzoNobel e o *Mining Lab* da Votorantim Metais, além de ser reconhecida pelo SEBRAE como a startup do futuro.

Pelas razões expostas, a execução deste projeto é respaldada e reforçada, justificando o investimento de capital por meio do programa Rota2030. O caráter inovador deste projeto é confirmado pela proposição de uma solução inovadora de engenharia de superfície para atender à demanda do setor brasileiro da indústria de forjamento, apresentando potencial de expansão para o mercado mundial. Além disso, sua execução fomentará a geração de soluções para garantia da produção de peças forjadas de alta qualidade, alto desempenho e baixo custo, que se alinha perfeitamente ao escopo do programa Rota2030 e do portfólio de serviços das empresas parceiras da proposta.

Por fim, esta pesquisa se justifica sob o ponto de vista econômico, considerando a necessidade contínua de redução de custos de manutenção e perdas de lucro decorrentes de danos em matrizes de forjamento. Do ponto de vista ambiental, este projeto é justificado, pois visa promover a adoção de práticas industriais sustentáveis, substituindo operações tradicionais de engenharia de superfície de alto consumo energético por técnicas modernas de baixo consumo.

5. Introdução e estado da arte

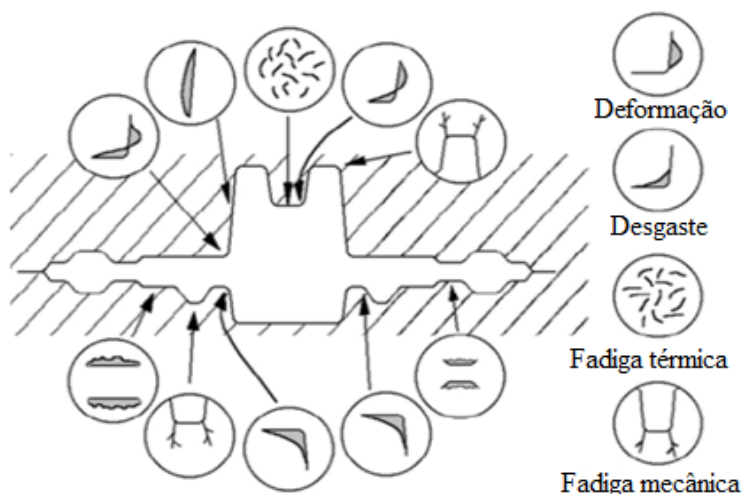
Os custos relacionados às ferramentas de forjamento podem representar até 50% do custo de produção de uma peça forjada [8]. Devido ao alto valor das matrizes e prensas, a tecnologia de forjamento em matriz fechada é limitada economicamente à produção de grandes lotes de peças. Entretanto, para a produção econômica de componentes forjados nessas condições, os custos associados à manutenção ou substituição das ferramentas danificadas

tornam-se um aspecto crucial [1]. Nesse contexto, as causas fundamentais de falha durante a operação das matrizes de forjamento incluem: carga mecânica ciclicamente variável, variação cíclica de temperatura, desgaste e deformação plástica [9].

Durante o processo de conformação a quente, que representa a circunstância de maior severidade operacional das matrizes, o material a ser forjado é aquecido a uma temperatura que corresponde a cerca de 50% a 75% de seu ponto de fusão, a fim de reduzir seu limite de escoamento. Mesmo nessas condições, a carga aplicada pelo ferramental para promover o escoamento da peça é significativa. Essa combinação de carga e temperatura cíclicas tende a causar danos na matriz por meio do mecanismo de fadiga termomecânica, além de resultar em deformação plástica nas regiões expostas a temperaturas e cargas mais elevadas. Além disso, durante o aquecimento, forma-se uma camada de óxido (carepa) na superfície da peça, o que provoca desgaste intenso na matriz durante o processo de conformação da peça.

Esses quatro principais modos de falha estão ilustrados na Figura 1. Esses mecanismos geralmente ocorrem simultaneamente e concentram-se na superfície e sub-superfície da ferramenta, demandando uma abordagem para otimização local das propriedades [1]. Em relação à influência de cada modo de falha na taxa de degradação da ferramenta, um estudo que envolveu a avaliação de mais de 120 matrizes de forjamento com formas distintas, demonstrou que 70% de todas as falhas estão relacionadas ao desgaste abrasivo, enquanto outras 25% são atribuídas à fadiga mecânica, 3% à fadiga térmica e 2% à deformação plástica [6].

Figura 1. Modos de falha recorrentes em uma matriz de forjamento



Fonte: Ref. [10]

A busca pela redução dos custos de fabricação dos produtos forjados, juntamente com a garantia de sua qualidade e confiabilidade, representa uma das principais demandas das empresas ligadas a indústria de forjamento [11]. Uma estratégia para alcançar esse objetivo

consiste em aumentar a vida útil das ferramentas, mitigando seus modos de falha. Nesse contexto, uma abordagem eficaz envolve a modificação das propriedades da camada superficial da matriz por meio da aplicação de tratamentos superficiais e a deposição de revestimentos que lhe conferem propriedades específicas [12]. Essa modificação na estrutura da camada superficial da ferramenta combina duas funções essenciais: proporcionar ao material características operacionais adequadas e criar uma barreira que limite o impacto dos mecanismos de degradação [1]. Essa abordagem é justificada, uma vez que, como mencionado anteriormente, todos os modos de degradação da matriz ocorrem precisamente em sua superfície e sub-superfície.

Atualmente, a estratégia mais eficaz para aumentar a vida útil dessas ferramentas envolve a combinação de tratamentos termoquímicos, especificamente a nitretação, com a aplicação de revestimentos cerâmicos avançados por meio da técnica de deposição por PVD [1]. A aplicação do tratamento de nitretação antes da deposição do revestimento cerâmico por PVD representa uma abordagem bem-sucedida que resulta em um efeito sinérgico para filmes finos de alta dureza, conforme documentado na literatura [14-15]. A nitretação prévia promove um aumento na aderência entre o revestimento e o substrato, aprimorando suas propriedades mecânicas e desempenho tribológico. Além disso, a nitretação aumenta a resistência mecânica, à corrosão e ao desgaste do substrato [16], fornecendo resistência adicional mesmo após a remoção do revestimento. Devido à interação entre a camada nitretada e o revestimento PVD, a superfície "engenheirada" da ferramenta exhibe propriedades que seriam inatingíveis se esses elementos fossem aplicados de forma independente.

Não obstante ao comprovado aumento da vida útil das matrizes de forjamento diante dos seus modos de falha, a aplicação combinada do tratamento de nitretação e de filmes finos cerâmicos por PVD pode não ser apropriada do ponto de vista financeiro, devido aos custos envolvidos na execução dessas operações. Ambos os métodos requerem etapas específicas de preparação e aplicação, além de demandarem equipamentos e consumíveis especializados, o que pode resultar em custos elevados de processamento. Além disso, a manutenção e o reparo da camada superficial arquitetada por meio dessa combinação de operações também podem ser complexos e dispendiosos. Somando a isso, essa abordagem enfrenta dificuldades no tocante ao processamento de matrizes grandes e com geometrias complexas, gerando variações de espessura na camada nitretada e no revestimento em regiões de sombreamento. Além disso, a realização do tratamento superficial, frequentemente, requer a contratação de serviços terceirizados e o transporte das matrizes, o que incrementa o custo de produção da ferramenta. Devido a todos esses fatores, em determinadas situações, a relação custo-benefício pode não justificar a adoção desse processo.

Neste contexto, surge a necessidade imediata de desenvolver e validar novas formulações de revestimentos, assim como estratégias inovadoras para a sua aplicação, que sejam economicamente mais atrativas e de execução simplificada, possibilitando sua utilização no local de fabricação e/ou uso das matrizes de forjamento. Nesse sentido, variantes de tratamentos superficiais que envolvam a geração "in-situ" representam uma alternativa promissora. Nesse contexto, o conceito de revestimento e a estratégia para sua deposição e síntese desenvolvidos pela empresa de base tecnológica nChemi Engenharia de Materiais Ltda [17] demonstraram ser altamente eficazes na melhoria do desempenho operacional e no aumento da vida útil de ferramentas de produção sujeitas a condições operacionais diversas.

Denominado 'Plenus Duty', o revestimento sintetizado a partir de nanopartículas de óxidos metálicos apresenta propriedades notáveis, como um aumento de até 90% na dureza da superfície de moldes de injeção, e de 50% em seu desempenho tribológico. Além disso, seu baixo coeficiente de atrito confere um efeito desmoldante semi-permanente, resistente a milhares de ciclos de moldagem, facilitando a extração da peça injetada e reduzindo o tempo do ciclo de produção. Esta classe de revestimento também teve seu desempenho avaliado em outros tribosistemas: i) em guilhotinas de corte de papel, demonstrando um acréscimo de 60% na vida útil do gume de corte; ii) em fieiras para trefilação de metais, com aumento de 35% na vida útil da ferramenta; iii) em moinhos para produção de farinha de ossos, evidenciando um aumento de 200% na vida útil das telas de moagem; e iv) em palhetas de turbinas para regeneração de areia de fundição, onde foi verificado um aumento de vida útil de 100%.

Devido à sua espessura ultrabaixa ($\sim 0,05 \mu\text{m}$), a aplicação do Plenus Duty resulta em modificações mínimas nas tolerâncias do ferramental revestido. O seu método de aplicação é simples e pode ser utilizado em ferramentas de qualquer geometria e tamanho, permitindo que a sua aplicação seja realizada no chão de fábrica, pela própria equipe da ferramentaria ou forjaria, sem a necessidade de deslocamento das ferramentas. Sua aplicação não exige qualquer preparação prévia da superfície da ferramenta, além da sua limpeza [18].

Por conta dessas características, e pela excelente performance já demonstrada nos casos avaliados, pode-se afirmar que o Plenus Duty possui um grande potencial para atender às demandas da cadeia de ferramental brasileira voltada ao setor de forjamento, reduzindo os custos de produção das matrizes, prolongando sua vida útil e contribuindo para a adoção de práticas industriais mais sustentáveis.

6. Metodologia

Na Figura 2 é apresentado um fluxograma que ilustra as etapas que compõem o procedimento de execução deste projeto. Conforme pode ser observado, a pesquisa está

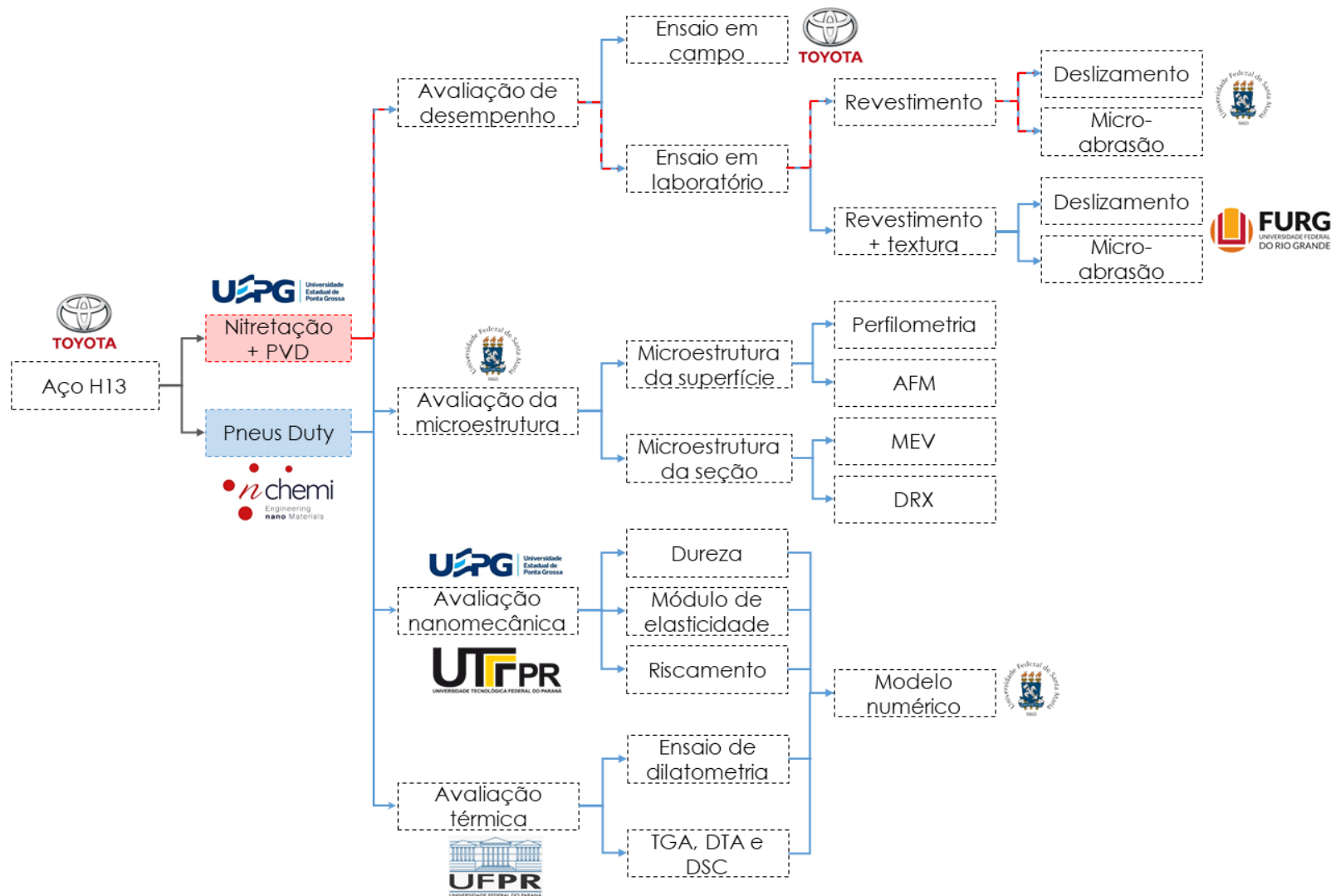
dividida nas etapas de avaliação de desempenho, avaliação da microestrutura, avaliação nanomecânica e avaliação térmica do revestimento Plenus Duty quando aplicado sobre o substrato de aço ferramenta AISI H13.

A avaliação da microestrutura dos revestimentos será conduzida por meio da análise de sua superfície e seção transversal. A caracterização da morfologia da superfície do revestimento será realizada utilizando as técnicas de perfilometria e microscopia de força atômica (AFM). Este procedimento tem como finalidade identificar a textura e a rugosidade do revestimento depositado. A caracterização da microestrutura da seção transversal do revestimento será realizada por meio das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX). Essa avaliação visa identificar os compostos que se formam na região de interface entre o revestimento e o substrato, bem como as características microestruturais do próprio revestimento. As caracterizações pelas técnicas AFM, MEV e DRX serão executadas utilizando equipamentos disponíveis na UFSM. A caracterização por meio da técnica de perfilometria será conduzida com um equipamento que será adquirido com os recursos provenientes da Fundep por meio do programa Rota2030, que será alocado à UFSM. Destaca-se que tais avaliações são de responsabilidade do professor Cristiano José Scheuer.

A avaliação nanomecânica dos revestimentos será realizada por meio da caracterização da sua dureza, módulo de elasticidade e resistência ao riscamento. Esta análise tem como objetivo determinar diversas propriedades mecânicas do revestimento e qualitativamente avaliar sua aderência ao substrato. Estes ensaios serão orientados pelo professor Gelson Biscaia de Souza, utilizando a infraestrutura disponível na UEPG, com o apoio do professor Carlos Maurício Lepiensi da UTFPR, um dos maiores especialistas brasileiros neste assunto.

A avaliação térmica dos revestimentos será realizada por meio das técnicas de dilatométrica, análise termogravimétrica (TGA), análise térmica diferencial (DTA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). O ensaio de calorimetria tem por objetivo avaliar como o conjunto 'revestimento-substrato' se comporta em termos de deformação elástica/plástica à medida que é submetido a temperaturas da ordem daquelas de operação das matrizes de forjamento a quente. A análise TGA tem por finalidade avaliar a variação de massa do revestimento, enquanto as análises DTA e DSC buscam identificar possíveis transições de fase do revestimento quando submetido a estas temperaturas. Essas caracterizações serão realizadas na UFPR, sob orientação dos professores Ana Sofia Clímaco Monteiro D'Oliveira e Leandro João da Silva. É relevante destacar que o Professor Leandro possui mais de dez anos de experiência no projeto e fabricação de matrizes, enquanto a Professora Ana Sofia é uma autoridade na área de metalurgia física.

Figura 2. Fluxograma do procedimento experimental previsto para a realização desta pesquisa.

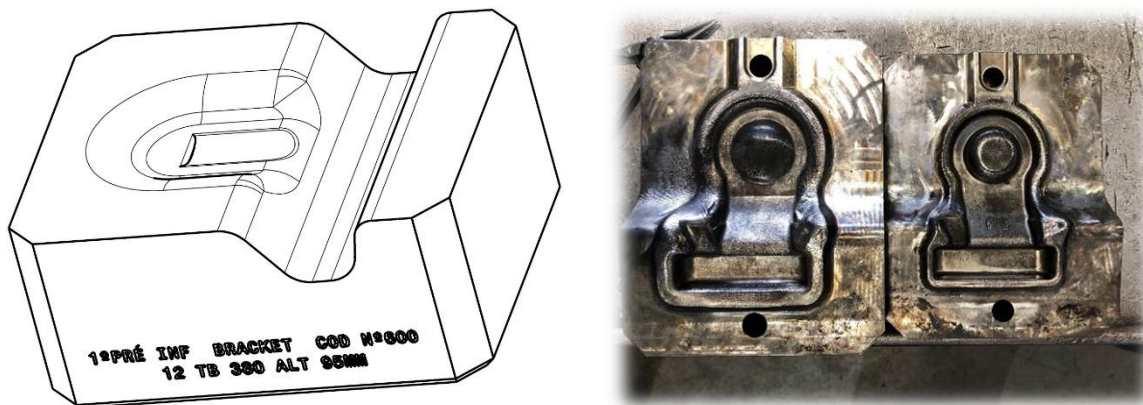


Fonte: Autores.

Utilizando as informações obtidas por meio das avaliações nanomecânica e térmica, serão desenvolvidos modelos computacionais que podem ser usados para prever numericamente o comportamento dos revestimentos em condições operacionais diferentes das adotadas neste estudo. A criação dos modelos computacionais será realizada empregando as funcionalidades do software Abaqus. Esta fase do trabalho será conduzida pela UFSM e supervisionada pelo professor Tiago dos Santos.

A avaliação de desempenho compreende a realização de ensaios em laboratório e em escala real. O ensaio em escala real será conduzido pela Toyota, avaliando o desempenho em termos de desgaste e a funcionalidade adicional de desmoldante do revestimento Plenus Duty. Este ensaio será realizado em condições de forjamento a quente de componentes da suspensão da Toyota Hilux. A Figura 4 apresenta um esquema em CAD 3D e uma fotografia real da matriz que servirá como demonstrador neste projeto

Figura 3. Fluxograma do procedimento experimental previsto para a realização desta pesquisa.



Fonte: Autores.

O ensaio tribológico em laboratório será conduzido com o propósito de avaliar diferentes tribossistemas. Para tanto, serão realizados ensaios de desgaste por deslizamento e desgaste por micro-abrasão. A análise de micro-abrasão será realizada utilizando um tribômetro de micro-abrasão existente na UFSM, com os testes sendo realizados a temperatura ambiente. O ensaio de deslizamento será conduzido em alta temperatura, empregando um tribômetro de configuração esfera sobre placa, que será adquirido com os recursos provenientes da Fundep por meio do programa Rota2030. Este equipamento ficará alocado na UFSM.

Visando avaliar o efeito da modificação das condições de contato, serão avaliados nos ensaios tribológicos de laboratório o comportamento do revestimento Plenus Duty, bem como

a sua combinação com texturas superficiais, com o intuito de avaliar o efeito da modificação das condições de contato sobre o desempenho ao desgaste e atrito. Nestes casos, a avaliação tribológica exclusiva do revestimento será de responsabilidade do professor Cristiano José Scheuer, enquanto a avaliação tribológica do revestimento combinado com as texturas superficiais será realizada pela professora Henara Lillian Costa Murray da FURG. É relevante destacar que a professora Henara é uma experiente tribologista e uma referência mundial na área de texturização superficial para aplicações tribológicas. Embora esta última caracterização ficará a cargo da professora Henara, as mesmas serão realizadas na UFSM utilizando os equipamentos adquiridos com recursos do edital.

Conforme é possível observar na Figura 2, os ensaios tribológicos em escala de laboratório também serão realizados em amostras de aço ferramenta AISI H13 submetidas à operação convencional de engenharia de superfície. Neste caso, essas amostras serão nitretadas e, posteriormente, será depositado um filme fino à base de CrN via PVD, o qual, de acordo com a referência [13], é o que apresenta o melhor desempenho sob as condições operacionais do processo de forjamento. Essa abordagem tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho tribológico dos revestimentos da linha Plenus em relação aos convencionalmente utilizados. A realização dos tratamentos de nitretação e deposição do revestimento de CrN via PVD ficará a cargo da UEPG, sob a supervisão do professor Gelson.

As trilhas de desgaste formadas nos ensaios de deslizamento e microabrasão serão caracterizadas em termos de topografia e morfologia. Para a caracterização do perfil bidimensional e tridimensional das trilhas, com o objetivo de avaliar comparativamente suas dimensões, será adotada a técnica de perfilometria sem contato. A caracterização da morfologia da trilha, com o intuito de identificar os principais mecanismos de desgaste atuantes, será realizada utilizando MEV e análise de espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX).

A deposição dos revestimentos da linha Plenus, tanto no demonstrador quanto nas diversas amostras que serão utilizadas para as caracterizações previamente descritas, será realizada pela nChemi. A composição inicial da solução contendo as nanopartículas de óxidos metálicos será baseada na mesma formulação do revestimento Plenus Duty. Caso esta formulação não apresente um desempenho satisfatório, novas composições, proporções e métodos para sua aplicação e síntese serão testados, buscando igualar o seu desempenho em relação à rota de engenharia de superfície adotada atualmente.

Utilizando um compressor e uma pistola de pulverização, as soluções formuladas serão atomizadas diretamente na superfície das amostras de aço ferramenta AISI H13. Logo em seguida, estas amostras serão expostas a um fluxo de ar quente utilizando um soprador térmico,

concluindo, assim, o processo de secagem da solução e sua síntese na superfície das amostras. Esses procedimentos estão ilustrados por fotografias na Figura 4, considerando a aplicação em um molde para injeção de polímeros.

Figura 4. Fotografia mostrando os procedimentos de (a) aplicação da solução e (b) síntese do revestimento sobre um molde de injeção.



Fonte: ref. [18]

A espessura dos revestimentos será medida utilizando um equipamento Calotest. Esse equipamento será adotado devido à dificuldade de preparação de amostras para a realização desta medição empregando técnicas de microscopia. Este equipamento também será adquirido com recursos do programa Rota2030 e ficará alocado na UFSM.

Para a formação das texturas superficiais com o revestimento Plenus, antes de sua deposição, serão brasadas sobre as amostras grades usadas em Microscopia Eletrônica de Transmissão (consultar referência [19]). Dessa forma, o revestimento será depositado apenas nas regiões dos orifícios destas grades. Serão adotadas várias configurações de grades com o propósito de avaliar o efeito de diferentes tipos de texturas superficiais sobre o desempenho tribológico.

Destaca-se que os três equipamentos a serem adquiridos com recursos do programa Rota2030 são essenciais para a execução deste projeto, conforme descrito anteriormente. Além disso, é importante ressaltar que o Grupo de Tecnologia Mecânica e de Materiais (GMat) da UFSM desenvolve várias colaborações com empresas do segmento metalmeccânico da região central, norte e noroeste do estado do Rio Grande do Sul, com foco na otimização dos seus processos produtivos através do aumento da vida útil das ferramentas de fabricação utilizadas. Esses projetos são conduzidos no âmbito do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PGMec) da UFSM, e abrangem a capacitação dos engenheiros dessas empresas a nível de mestrado. Nesse contexto, a aquisição desses equipamentos contribuirá para a melhoria da qualidade dos trabalhos acadêmicos realizados, da formação destes profissionais, e dos serviços prestados às empresas na forma de extensão.

Por fim, esclarecemos que esses equipamentos serão registrados junto ao centro multiusuário da UFSM, ficando à disposição de toda a comunidade desta e das demais universidades, bem como das empresas interessadas em sua utilização. Os recursos adicionais solicitados servirão para aprimorar a infraestrutura das outras universidades envolvidas nesta proposta, e financiar bolsas para a formação de alunos em diversos níveis. Acreditamos que os recursos provenientes desta chamada são mais eficazmente alocados quando direcionados para instituições de natureza pública e para o aprimoramento da formação de seus alunos.

7. Resultados previstos

A partir da realização deste projeto de pesquisa, busca-se contribuir para o aumento da competitividade da indústria de forjados e, conseqüentemente, da cadeia produtiva de veículos automotores como um todo, através da ampliação da eficiência nas operações de conformação. Os resultados desta pesquisa serão úteis para a seleção, concepção e produção de revestimentos que possibilitem a diminuição dos custos de manutenção e lucros cessantes, devido ao aumento da resistência aos modos de falha e, conseqüentemente, ao aumento da vida útil das ferramentas. Além disso, esses resultados promoverão a adoção de práticas industriais sustentáveis, substituindo as operações tradicionais de engenharia de superfície de alto consumo energético por técnicas modernas de baixo consumo. A validação dessa categoria de revestimento também pode resultar na substituição dos desmoldantes à base de lubrificantes utilizados em operações de forjamento, contribuindo duplamente para a sustentabilidade industrial.

Um resultado de extrema importância no contexto acadêmico será a geração de produção científica, amplamente disseminada por meio da apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais relevantes para o setor, bem como a submissão de artigos em periódicos científicos especializados e reconhecidos pela comunidade acadêmica. Esse tipo de divulgação tem como objetivo principal alcançar visibilidade internacional.

Para atingir de maneira eficaz o público-alvo, os resultados alcançados no projeto também serão disseminados por meio de publicações em revistas industriais, participação em salões e eventos de inovação, promovendo a interação com profissionais e especialistas do setor. Simultaneamente, serão oferecidos treinamentos "in company" para empresas interessadas, e exposição em feiras e eventos industriais. Essa estratégia de divulgação tem como objetivo principal alcançar visibilidade em âmbito nacional.

Além disso, a proposição de novas abordagens para o processamento de revestimentos, bem como novas concepções e composições, pode levar à obtenção de patentes de inovação ou de modelo de utilidade. Esse resultado é de grande relevância sob a perspectiva da inovação tecnológica. Da mesma forma, a validação da configuração de revestimento proposto e a

comprovação de seu potencial de aplicação em ferramentas de forjamento também resultarão no estabelecimento de um novo segmento de mercado para a classe de revestimentos Plenus Duty.

Ademais, uma contribuição significativa do projeto proposto é a capacitação de recursos humanos altamente qualificados em níveis de graduação e pós-graduação para atuarem de forma profissional nos tópicos relacionados. Estes indivíduos serão preparados para trabalhar no desenvolvimento de tecnologias avançadas, a fim de suprir a demanda do setor de ferramental de conformação por profissionais capacitados em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Durante a vigência do projeto, os estudantes terão a oportunidade de participar de eventos, fortalecendo suas redes de contatos e acesso a informações técnicas especializadas.

A imediata transferência e incorporação da tecnologia no setor produtivo são asseguradas pela colaboração nesta proposta de empresas que operam em diversas posições na cadeia de produção de veículos automotores. A validação funcional da arquitetura dos revestimentos propostos será realizada através de testes em escala de laboratório e em ambiente operacional, empregando ferramentas reais, alcançando assim um nível de maturidade TRL 7. Este grau de maturidade situa-se próximo à aplicação prática e, se apresentar resultados satisfatórios, possui grande potencial para ser adotado pelo setor produtivo da cadeia. A disseminação dos procedimentos desenvolvidos, com o objetivo de facilitar a transferência da tecnologia validada para empresas, tanto deste setor quanto de outros, será efetivada mediante a exploração de propriedade intelectual, por meio da interlocução da Pró-reitoria de Inovação e Empreendedorismo (PROINOVA) da UFSM.

Com base no que foi exposto, torna-se evidente o caráter inovador desta proposta no que concerne ao desenvolvimento de soluções disruptivas para a cadeia produtiva da indústria de veículos automotores, atendendo às demandas do mercado brasileiro e demonstrando potencial de expansão para o mercado global. Além disso, sua execução impulsionará a criação de soluções avançadas para a fabricação de peças forjadas de alta qualidade, desempenho superior e custos reduzidos, alinhando-se plenamente com os objetivos do programa Rota2030 e com o portfólio de serviços/produtos das empresas colaboradoras do projeto.

8. Cronograma de atividades

Na Tabela 1 é apresentado um cronograma para os 20 meses de duração do projeto. Esse cronograma foi elaborado com base nas atividades previamente descritas na seção 6, bem como nos objetivos, metas e indicadores definidos na seção 3. Destaca-se que serão produzidos relatórios parciais a cada quadrimestre, totalizando cinco relatórios parciais que irão integrar o relatório final. Essa abordagem visa promover um melhor acompanhamento do progresso do projeto tanto pelos pesquisadores envolvidos quanto pelas empresas colaboradoras.

Tabela 1. Cronograma de execução do trabalho proposto.

Responsável	Etapa	Atividades previstas	Quadrimestre	1°				2°				3°				4°				5°			
			Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
UFSM, UFPR, UEPG, FURG e UTPR	1	Realizar a aquisição dos materiais permanentes e consumíveis necessário a realização da pesquisa, e a contratação dos bolsistas.																					
nChemi	2	Produzir as soluções de nanopartículas de óxidos metálicos, desenvolver protocolos para a sua deposição e síntese.																					
UFSM	3	Realizar a avaliação da microestrutura da superfície e seção transversal dos revestimentos da linha Plenus.																					
UEPG e UTFPR	4	Realizar a avaliação das propriedades mecânicas em nanoescala dos revestimentos da linha Plenus.																					
UFPR	5	Realizar a avaliação das propriedades térmicas dos revestimentos da linha Plenus.																					
UEPG	6	Submeter o aço ferramenta AISI H13 ao tratamento de nitretação seguida pela deposição do revestimento via PVD.																					
UFSM	7	Avaliar comparativamente em laboratório o desempenho tribológico do revestimento da linha Plenus com o convencional.																					
FURG	8	Avaliar em laboratório o desempenho tribológico do revestimento da linha Plenus combinado com a texturização.																					
UFSM	9	Propor e avaliar modelos computacionais para prever o comportamento do revestimento da linha Plenus operando sob condições diversas.																					
Toyota	10	Avaliar em escala real o desempenho tribológico do revestimento da linha Plenus.																					
UFSM, UFPR, UEPG, FURG e UTPR	11	Redigir relatórios, artigos, patentes e/ou modelos de utilidade, participação em eventos.																					

Fonte: O Autor.

9. Valor estimado do orçamento a ser aportado pela FUNDEP

O valor global para a execução deste projeto é de R\$ 4.769.726,47, dos quais R\$ 3.943.748,75 referem-se ao aporte da FUNDEP e R\$ 825.977,72 às contrapartidas levantadas junto às ICTs e empresas participantes do projeto. A descrição detalhada desses valores está contida nas tabelas seguintes, que apresentam o orçamento geral (Tabela 2), com detalhamento das despesas em bolsas (Tabela 3), passagens (Tabela 4), diárias (Tabela 5), serviços de terceiros (Tabela 6), materiais de consumo (Tabela 7), materiais permanentes (Tabela 8) e obras (Tabela 9), fornecendo valores, justificativas e finalidades. Também são abordadas as contrapartidas (Tabela 10) associadas ao projeto e o cronograma de desembolso (Tabela 11), garantindo uma visão completa da estrutura organizacional, técnica e financeira do projeto.

Tabela 3. Detalhamento das bolsas

Bolsas		Programa: ROTA 2030- FUNDEP Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos Chamada: 01/2023					
Título: Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento							
Coordenador: Cristiano José Scheuer							
Proponente: Universidade Federal de Santa Maria							
4.1 Elemento de Despesa: Bolsas							
4.1.1 Bolsas de formação - Técnico, Graduação, Mestrado e Doutorado							
Nº	Modalidade da bolsa (1)	Recebedor	Valor (R\$) (2)	ICT Recebedora (3)	Período (em meses)(4)	Dedicação semanal (em horas)	Valor (R\$)
1	Graduando(BG)	a ser definido	805	UFSM	20	20	16.100,00
2	Mestrado (BM)	a ser definido	2415	UFSM	20	40	48.300,00
TOTAL							64.400,00
4.1.2 Bolsas de Pós-Doutorado e de Incentivo à Inovação							
Nº	Modalidade da bolsa (1)	Recebedor	Valor (R\$) (2)	ICT Recebedora (3)	Período (em meses)(4)	Dedicação semanal (em horas)	Valor (R\$)
1	Pós-doutorado 2 (BPD2)	a ser definido	8510	UFSM	20		170.200,00
2	Pós-doutorado 2 (BPD2)	a ser definido	8510	UFSM	20	40	170.200,00
3	Pós-doutorado 2 (BPD2)	a ser definido	8510	UEPG	20	40	170.200,00
4	Pós-doutorado 2 (BPD2)	a ser definido	8510	UFPR	20	40	170.200,00
5	Pós-doutorado 2 (BPD2)	a ser definido	8510	FURG	20	40	170.200,00
6	Coord. geral(COG)	Cristiano José Scheuer	7130	UFSM	20	10	142.600,00
7	Bolsista de incentivo à inovação Nível Técnico	a ser definido	600	UFSM	16	5	9.600,00
TOTAL							1.003.200,00
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							1.067.600,00

Tabela 4. Detalhamento das passagens aéreas e terrestres

Passagens aéreas e terrestres		Programa: ROTA 2030- FUNDEP Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos Chamada: 01/2023					
Título: Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento							
Coordenador: Cristiano José Scheuer							
Proponente: Universidade Federal de Santa Maria							
6. Elemento de Despesa: Passagens Aéreas e Terrestres							
Nº	Descrição do item (1)	Finalidade/Justificativa (2)	ICT Recebedora (3)	Valor unitário - Trecho completo (ida e volta)	Quant. dias da viagem	Quant. Pessoas	Valor (R\$)
1	Passagens aéreas (Santa Maria - São Paulo): ida e volta	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	3.000,00	5,00	1	R\$ 3.000,00
2	Passagens aéreas (Santa Maria - São Paulo): ida e volta	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	3.000,00	5,00	1	R\$ 3.000,00
3	Passagens aéreas (Santa Maria - São Paulo): ida e volta	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	3.000,00	5,00	1	R\$ 3.000,00
4	Passagens aéreas (Santa Maria - São Paulo): ida e volta	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	3.000,00	5,00	1	R\$ 3.000,00
5							R\$ -
6							R\$ -
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							12.000,00

Tabela 5. Detalhamento das diárias.

Diárias		Programa: ROTA 2030- FUNDEP Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos Chamada: 01/2023
Título:	Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento	
Coordenador:	Cristiano José Scheuer	
Proponente:	Universidade Federal de Santa Maria	

7. Elemento de Despesa: Diárias

Nº	Tipo	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Receptora (2)	Valor unitário	Quant. Dias	Quant. Pessoas	Valor (R\$)
1	Diárias Nacionais	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	R\$ 400,00	5	1	R\$ 2.000,00
2	Diárias Nacionais	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	R\$ 400,00	5	1	R\$ 2.000,00
3	Diárias Nacionais	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	R\$ 400,00	5	1	R\$ 2.000,00
4	Diárias Nacionais	Participação em eventos técnicos relacionados a proposta	UFSM	R\$ 400,00	5	1	R\$ 2.000,00
5				R\$ -			R\$ -
6				R\$ -			R\$ -
7				R\$ -			R\$ -
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA							8.000,00

Tabela 6. Detalhamento de serviço de terceiros.

Serviços de terceiros		Programa: ROTA 2030- FUNDEP Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos Chamada: 01/2023				
Título:	Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento					
Coordenador:	Cristiano José Scheuer					
Proponente:	Universidade Federal de Santa Maria					
9. Elemento de Despesa: Serviços de Terceiros						
9.1 Serviços de Terceiros Pessoa Jurídica						
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Receptora (2)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)
1	Serviços de solda e usinagem em geral	Confecção dispositivos para	UEPG	20.000,00	1	20.000,00
2	Despesas de instalação, treinamento e	Operacionalizar os equipamentos	UFSM	36.000,00	1	36.000,00
3	Despesas acessórias de importação	Importação dos equipamentos	UFSM	300.000,00	1	300.000,00
4	Manutenção/calibração de	Manutenção de equipamentos de	UFSM	30.000,00	1	30.000,00
5	Manutenção/calibração de	Manutenção de equipamentos de	UEPG	30.000,00	1	30.000,00
6	Manutenção/calibração de	Manutenção de equipamentos de	UFPR	30.000,00	1	30.000,00
7	Manutenção/calibração de	Manutenção de equipamentos de	FURG	30.000,00	1	30.000,00
Total						476.000,00

Tabela 7. Detalhamento dos materiais de consumo

Material de consumo		Programa: ROTA 2030- FUNDEP						
		Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos						
		Chamada: 01/2023						
Título:		Desenvolvimento e avaliação de revestimentos a base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento						
Coordenador:		Cristiano José Scheuer						
Proponente:		Universidade Federal de Santa Maria						
8. Elemento de Despesa: Material de Consumo								
8.1 Material de consumo nacional								
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Receptora (2)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)		
1	Kit de consumíveis para realização da avaliação térmica dos revestimentos	Realização dos ensaios TGA, DTA e DSC	UFPR	30.000,00	1	30.000,00		
2	Kit de consumíveis para preparação de amostras	Realização de ensaios mecânicos e metalúrgicos	UFSM	30.000,00	1	30.000,00		
3	Kit de consumíveis para preparação de amostras	Realização de ensaios mecânicos e metalúrgicos	UEPG	30.000,00	1	30.000,00		
4	Kit de consumíveis para preparação de amostras	Realização de ensaios mecânicos e metalúrgicos	UFPR	30.000,00	1	30.000,00		
5	Kit de consumíveis para preparação de amostras	Realização de ensaios mecânicos e metalúrgicos	FURG	30.000,00	1	30.000,00		
6	Kit de consumíveis para caracterização tribológica dos revestimentos	Realização de ensaios tribológicos	UFSM	30.000,00	1	30.000,00		
7	Kit de grades usadas em Microscopia Eletrônica de Transmissão	Produção das texturas superficiais nas amostras	FURG	10.000,00	1	10.000,00		
8	Kit de consumíveis para tratamentos de nitretação por plasma	Realização dos tratamentos de nitretação por implantação iônica por imersão em plasma	UEPG	30.000,00	1	30.000,00		
9	Kit de consumíveis a deposição de revestimentos via PVD	Realização da operação de deposição dos filmes finos via sistema magnetron sputtering	UFSM	30.000,00	1	30.000,00		
Total Nacional						250.000,00		
8.2 Material de consumo importado								
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Receptora (2)	Valor unitário em moeda estrangeira	Quant.	Moeda	Câmbio	Valor (R\$)
1	Pontas de diamante para nanoindentador	Realização da análise de	UEPG	900,00	1	Dólar americano	4,98	4.482,00
2	Pontas esférica de diamante para	Realização da análise de	UEPG	1.070,00	1	Dólar americano	4,98	5.328,60
3	Pontas cônica de diamante para	Realização da análise de	UEPG	800,00	1	Dólar americano	4,98	3.984,00
Total Importado								13.794,60
VALOR TOTAL DOS ELEMENTOS DE DESPESA				263.794,60				

Tabela 8. Detalhamento dos materiais permanentes

Título:		Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos						
Coordenador:		Cristiano José Scheuer						
Proponente:		Universidade Federal de Santa Maria						
10. Elemento de Despesa: Material permanente								
10.1 Material permanente nacional								
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Recebedora (2)	Valor unitário	Quant.	Valor (R\$)		
1	Computador para modelagem e simulação	Computador dedicado para realização das simulações numéricas necessárias à criação dos modelos computacionais	UFSM	30.000,00	1	30.000,00		
2	Acessórios de vácuo (flanges, janelas para câmara de vácuo, braçadeiras, anel de vedação, redutores de dutos, oring de cobre, pasta selante tipo torr seal, óleo de bomba de vácuo)	Realizar os ajustes, conexões e manutenções necessárias para a execução do Projeto, em especial na montagem da nova câmara de plasma.	UEPG	20.000,00	1	20.000,00		
3	Válvula manifold para redução de pressão de gases especiais	Reposição de válvulas do sistema de controle de gases, que opera com ambos o sistema de implantação iônica e plasma e nitretador por plasma DC.	UEPG	3.600,00	2	7.200,00		
Total Nacional						57.200,00		
10.2 Material permanente importado								
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Recebedora (2)	Valor unitário em moeda estrangeira	Quant.	Moeda	Câmbio	Valor (R\$)
1	Controlador de fluxo de massa multigás 50 sccm máximo.	Reposição do controlador de fluxo de massa do sistema de controle de gases, que opera com ambos o sistema de implantação iônica e plasma e nitretador por plasma DC.	UEPG	2.350,00	1	Dólar americano	4,98	11.703,00
2	Passador elétrico para 30 kV 30 A preparado para vácuo.	Reposição do passador elétrico do sistema de implantação iônica e plasma e nitretador, que foi danificado.	UEPG	405,00	1	Dólar americano	4,98	2.016,90
3	Perfilômetro 3D	Realizar a caracterização da textura e a rugosidade do revestimento depositado, e as características em 2D e 3D das trilhas de desgaste	UFSM	138.805,00	1	Dólar americano	4,98	691.248,90
4	Calotest	Realizar a medição da espessura dos revestimentos (calowear + microscópio estereo)	UFSM	25.880,00	1	Franco suíço	5,62	145.445,60
5	Tribômetro	Realizar os ensaios tribológicos a alta temperatura	UFSM	115.697,00	1	Franco suíço	5,62	650.217,14
6								0,00
7								0,00
8								0,00
9								0,00
10								0,00
Total Importado								1.500.631,54
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA						1.557.831,54		

Tabela 9. Detalhamento dos recursos para obras

Obras		Programa: ROTA 2030- FUNDEP		
		Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos		
		Chamada: 01/2023		
		Desenvolvimento e avaliação de revestimentos a base de nanopartículas		
		Título: de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento		
		Coordenador: Cristiano José Scheuer		
		Proponente: Universidade Federal de Santa Maria		
11. Elemento de Despesa: Obras				
Nº	Descrição do item	Finalidade/Justificativa (1)	ICT Receptora (2)	Valor (R\$)
1	Adequação de infraestrutura laboratorial	Adaptação de ambiente laboratorial para instalação dos equipamentos	UFSM	R\$ 200.000,00
2				
3				
4				
5				
VALOR TOTAL DO ELEMENTO DE DESPESA				200.000,00

Tabela 10. Contrapartidas das empresas e universidades.

Título: Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos metálicos para melhoria do desempenho de matrizes de forjamento Coordenador: Cristiano José Scheuer Proponente: Universidade Federal de Santa Maria												
2.1 Contrapartidas das EMPRESAS												
Nº	Descrição do item	Aplicação no projeto	Valor unitário	Quant.	Unidade	Tipo (6)	Rubrica	Recurso (5)	Valor (R\$)	% de custos Administrativos	Valor dos custos Administrativos (permitido apenas para)	Valor Total (R\$)
1	Custos com recursos humanos	Apoio técnico e administrativo na participação de discussões, análises e planejamento das atividades equivalente a horas de engenharia.	125,41	96		Econômica		Toyota	12.039,36		0,00	12.039,36
2	Custos com recursos humanos	Considerando a remuneração média de um engenheiro mecânico por hora de trabalho segundo o CREA (R\$ 70,00/h)** , e tendo em vista a dedicação de três horas semanais para a supervisão da realização das tarefas de responsabilidade da empresa parceira.	70,00	260,7		Econômica		nChemi	18.249,00		0,00	18.249,00
3	Custos com recursos humanos	Apoio técnico e administrativo na participação de discussões, análises e planejamento das atividades equivalente a horas de engenharia.	125,41	96		Econômica		Bruning	12.039,36		0,00	12.039,36
4	Custos relacionados aos ensaios	Custos relacionados à realização dos ensaios de atrito na configuração Strip Drawing Friction Test. O valor de R\$ 351,00 /hora é um valor médio entre o custo de um ensaio de tração (R\$182,00) e um ensaio em FEG (R\$550,00). O total de horas estimado corresponde a 10% do total de horas do projeto.	351,00	150		Econômica		Bruning	52.650,00		0,00	52.650,00
5	Custos relacionados ao ferramental	Custos relacionados ao ferramental que será disponibilizado para ser modificado e deverá retornar à Toyota para serem utilizados nos processos em caráter de teste e análises de desempenho. Produção de 6 peças para testes.	8.100,00	6		Econômica		Toyota	48.600,00		0,00	48.600,00
6	Custos relacionados à aplicação dos revestimentos	Custos relacionados à produção das soluções de nanopartículas de óxidos metálicos, e da realização da deposição sobre as matrizes que serão testadas pela Toyota	10.000,00	6		Econômica		nChemi	60.000,00		0,00	60.000,00
7	Custos relacionados à aplicação dos revestimentos	Custos relacionados à produção das soluções de nanopartículas de óxidos metálicos, e da sua aplicação sobre as amostras à serem caracterizadas pelos ensaios de avaliação de desempenho em laboratório, avaliação microestrutural, avaliação nanomecânica e avaliação térmica.	10.000,00	1		Econômica		nChemi	10.000,00		0,00	10.000,00
8	Custos relacionados à realização de demonstrações da operação de aplicação dos revestimentos junto aos demais parceiros da proposta	Custos relacionados à produção das soluções de nanopartículas de óxidos metálicos, e da realização de demonstrações das operações de deposição e síntese junto aos demais parceiros da proposta: Stara, Metalmatrix, Metalúrgica Schwarz, Bruning Tecnometal, Inova Indústria de Matrizes, Indústria de Moldes e Matrizes e Stalk Moldes e Matrizes.	5.000,00	7		Econômica		nChemi	35.000,00		0,00	35.000,00
Total									*****		0,00	248.577,72
2.2 Contrapartidas das ICTs												
Nº	Descrição do item	Aplicação no projeto	Valor unitário	Quant.	Unidade	Tipo (6)	Rubrica	Recurso (5)	Valor (R\$)	% de custos Administrativos	Valor dos custos Administrativos (permitido apenas para)	Valor Total (R\$)
1	Hora pesquisador	Professor Pesquisador associado	70,00	860	horas	Econômica		UFSM	60.200,00		0,00	60.200,00
2	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		UFSM	32.200,00		0,00	32.200,00
3	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		UFSM	32.200,00		0,00	32.200,00
4	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		UFPR	32.200,00		0,00	32.200,00
5	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		UFPR	32.200,00		0,00	32.200,00
6	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		UEPG	32.200,00		0,00	32.200,00
7	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	460	horas	Econômica		FURG	32.200,00		0,00	32.200,00
8	Hora pesquisador	Professor Pesquisador	70,00	200	horas	Econômica		UTFPR	14.000,00		0,00	14.000,00
9	Horas de tratamentos realizados utilizando a infraestrutura da UEPG	Realização dos tratamentos de nitretação. O valor de R\$ 1000,00 /hora é um valor médio do custo de realização de um tratamentos superficial	1.000,00	60	horas	Econômica		UEPG	60.000,00		0,00	60.000,00
10	Horas de tratamentos realizados utilizando a infraestrutura da UEPG	Realização dos ensaios de caracterização mecânica em nanoescala. O valor de R\$ 351,00 /hora é um valor médio entre o custo de um ensaio de tração (R\$182,00) e um ensaio em FEG (R\$550,00). O total de horas estimado corresponde a 10% do total de horas do projeto.	350,00	200	horas	Econômica		UEPG	70.000,00		0,00	70.000,00
11	Horas de tratamentos realizados utilizando a infraestrutura da UFPR	Realização dos ensaios de caracterização térmica. O valor de R\$ 351,00 /hora é um valor médio entre o custo de um ensaio de tração (R\$182,00) e um ensaio em FEG (R\$550,00). O total de horas estimado corresponde a 10% do total de horas do projeto.	350,00	200	horas	Econômica		UFPR	70.000,00		0,00	70.000,00
12	Horas de tratamentos realizados utilizando a infraestrutura da UFSM	Realização dos ensaios de avaliação da microestrutura. O valor de R\$ 351,00 /hora é um valor médio entre o custo de um ensaio de tração (R\$182,00) e um ensaio em FEG (R\$550,00). O total de horas estimado corresponde a 10% do total de horas do projeto.	350,00	200	horas	Econômica		UFSM	70.000,00		0,00	70.000,00
13	Horas de tratamentos realizados utilizando a infraestrutura da UFSM	Realização das deposições de revestimentos PVD. O valor de R\$ 1000,00 /hora é um valor médio do custo de realização de um tratamentos superficial	1.000,00	40	horas	Econômica		UFSM	40.000,00		0,00	40.000,00
Total									*****		0,00	577.400,00
VALOR TOTAL DDE CONTRAPARTIDAS *****												

Tabela 11. Cronograma de desembolso.

Cronograma de desembolso	Programa: ROTA 2030- FUNDEP
	Eixo 3: Projetos de pesquisa e desenvolvimento disruptivos
	Chamada: 01/2023
Título: Desenvolvimento e avaliação de revestimentos à base de nanopartículas de óxidos met	
Coordenador: Cristiano José Scheuer	
Proponente: Universidade Federal de Santa Maria	

Cronograma de Desembolso do recurso Fundep dividido por Gestoras

FAURGS

	Parcela 01	Parcela 02	Total
1 Custeio	R\$ 707.807,58	R\$ 707.807,58	R\$ 1.415.615,16
1.1 Pessoal	R\$ 292.420,00	R\$ 292.420,00	R\$ 584.840,00
1.1.1 Bolsas	R\$ 292.420,00	R\$ 292.420,00	R\$ 584.840,00
1.1.2 CLT	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2 Viagens	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 20.000,00
1.2.1 Passagens	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 12.000,00
1.2.2 Diárias	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.3 Material de consumo	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00	R\$ 130.000,00
1.4 Serviços de Terceiros	R\$ 198.000,00	R\$ 198.000,00	R\$ 396.000,00
1.5 Custos Administrativos	R\$ 142.387,58	R\$ 142.387,58	R\$ 284.775,16
2 Capital	R\$ 858.455,82	R\$ 858.455,82	R\$ 1.716.911,64
2.1 Material permanente	R\$ 758.455,82	R\$ 758.455,82	R\$ 1.516.911,64
2.2 Obras	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 200.000,00
Total	R\$ 1.566.263,40	R\$ 1.566.263,40	R\$ 3.132.526,80

FAUEPG

	Parcela 01	Parcela 02	Total
1 Custeio	R\$ 163.743,03	R\$ 163.743,03	R\$ 327.486,05
1.1 Pessoal	R\$ 85.100,00	R\$ 85.100,00	R\$ 170.200,00
1.1.1 Bolsas	R\$ 85.100,00	R\$ 85.100,00	R\$ 170.200,00
1.1.2 CLT	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2 Viagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.1 Passagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.2 Diárias	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.3 Material de consumo	R\$ 36.897,30	R\$ 36.897,30	R\$ 73.794,60
1.4 Serviços de Terceiros	R\$ 25.000,00	R\$ 25.000,00	R\$ 50.000,00
1.5 Custos Administrativos	R\$ 16.745,73	R\$ 16.745,73	R\$ 33.491,45
2 Capital	R\$ 20.459,95	R\$ 20.459,95	R\$ 40.919,90
2.1 Material permanente	R\$ 20.459,95	R\$ 20.459,95	R\$ 40.919,90
2.2 Obras	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total	R\$ 184.202,98	R\$ 184.202,98	R\$ 368.405,95

FUNPAR

		Parcela 01	Parcela 02	Total
1	Custeio	R\$ 143.110,00	R\$ 143.110,00	R\$ 286.220,00
1.1	Pessoal	R\$ 85.100,00	R\$ 85.100,00	R\$ 170.200,00
1.1.1	Bolsas	R\$ 85.100,00	R\$ 85.100,00	R\$ 170.200,00
1.1.2	CLT	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2	Viagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.1	Passagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.2	Diárias	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.3	Material de consumo	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 60.000,00
1.4	Serviços de Terceiros	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 30.000,00
1.5	Custos Administrativos	R\$ 13.010,00	R\$ 13.010,00	R\$ 26.020,00
2	Capital	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.1	Material permanente	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.2	Obras	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total		R\$ 143.110,00	R\$ 143.110,00	R\$ 286.220,00

Cronograma de Desembolso do recurso Fundep dividido por Gestoras

0

		Parcela 01	Parcela 02	Total
1	Custeio	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1	Pessoal	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1.1	Bolsas	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1.2	CLT	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2	Viagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.1	Passagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.2	Diárias	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.3	Material de consumo	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.4	Serviços de Terceiros	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.5	Custos Administrativos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2	Capital	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.1	Material permanente	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.2	Obras	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00

0

		Parcela 01	Parcela 02	Total
1	Custeio	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1	Pessoal	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1.1	Bolsas	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1.2	CLT	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2	Viagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.1	Passagens	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.2	Diárias	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.3	Material de consumo	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.4	Serviços de Terceiros	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.5	Custos Administrativos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2	Capital	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.1	Material permanente	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.2	Obras	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00

Referência Bibliográficas

- [1] J. Smolik. Hard Protective Layers on Forging Dies—Development and Applications, *Coatings* 11 (2021) 376. Doi: <https://doi.org/10.3390/coatings11040376>.
- [2] Metal Forging Market: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032. Disponível online em: <https://www.alliedmarketresearch.com/metal-forging-market-A74841#:~:text=The%20global%20metal%20forging%20market,shaping%20metal%20by%20compressive%20force> (acessado em 01 de setembro de 2023).
- [3] Global Forging Industry. Disponível online em: https://www.reportlinker.com/p05899531/Global-Forging-Industry.html?utm_source=GNW (acessado em 01 de setembro de 2023).
- [4] Sindiforja. Panorama da indústria de forjados. Disponível online em: <https://sindiforja.org.br/o-sindiforja/panorama-da-industria/> (acessado em 01 de setembro de 2023).
- [5] Euoforge Homepage. Disponível online em: www.euroforge.org (acessado em 06 de julho de 2023).
- [6] J. Jeswiet, M. Geiger, U. Engel, M. Kleiner, M. Schikorra, J. Duflou, R. Neugebauer, P. Bariani, S. Bruschi, Metal forming progress since 2000. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1 (2008) 2-17. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2008.06.005>.
- [7] Forging Industry Association. Vision of the Future. Disponível online em: <https://www.forging.org/producers-and-suppliers/technology/vision-of-the-future>. (acessado em 01 de setembro de 2023).
- [8] O. Brucelle, G. Bernhart. Methodology for service life increase of hot forging tools. *Journal of Materials Processing Technology* 87 (1999) 237-246. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00357-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00357-4).
- [9] S. Chander, V. Chawla. Failure of Hot Forging Dies –An Updated Perspective. *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 1147-1157. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.131>.
- [10] K. Lange, L. Cser, M. Geiger, J.A.G. Kals. Tool Life and Tool Quality in Bulk Metal Forming. *CIRP Annals* 41 (1992) 667-675. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63253-3](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63253-3).
- [11] K.J. Barnett. Research initiatives for the forging industry. *Journal of Materials Processing Technology* 98 (2000) 162-164. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00193-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00193-4).
- [12] Y. Sun, T. Bell. Combined plasma nitriding and PVD treatments. *Transactions of the Institute of Metal Finishing* 70 (1992) 38. Doi: <https://doi.org/10.1080/00202967.1992.11870939>.

- [13] M. Hawryluk, Z. Gronostajsk, P. Widomski, M. Kaszuba, J. Ziembra, J. Smolik. Influence of the application of a PN+Cr/CrN hybrid layer on the improvement of the lifetime of hot forging tools. *Journal of Materials Processing Technology* 258 (2018) 226-238. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.03.029>.
- [14] Y.-Y. Chang, S. Amrutwar. Effect of plasma nitriding pretreatment on the mechanical properties of AlCrSiN-coated tool steels. *Materials* 12 (2019) 795. Doi: 10.3390/ma12050795.
- [15] Z. Gronostajski, M. Kaszuba, P. Widomski, J. Smolik, J. Ziembra, M. Hawryluk. Analysis of wear mechanisms of hot forging tools protected with hybrid layers performed by nitriding and PVD coatings deposition. *Wear* 420–421 (2019) 269-280. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.003>.
- [16] I.G. Dyakov, S.V. Burov, P.N. Belkin, E.V. Rozanov, S.A. Zhukov, Increasing wear and corrosion resistance of tool steel by anodic plasma electrolytic nitriding, *Surface and Coatings Technolog.* 362 (2019) 124-131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.107>.
- [17] nChemi Engenharia de Materiais Ltda. Disponível online em: <https://www.nchemi.com/> (acessado em 07 de julho de 2023).
- [18] Plástico Industrial. Material cerâmico dá origem a desmoldante semipermanente para peças injetadas. Disponível online em: <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/3008-Material-ceramico-da-origem-a-desmoldante-semipermanente-para-pecas-injetadas.html> (acessado em 07 de julho de 2023).
- [19] TED PELLA, INC. TEM Grids Overview. Disponível online em: https://www.tedpella.com/grids_html/grids.aspx (acessado em 02 de setembro de 2023). fcoat.2017.02.045.

NUP: 23081.145559/2024-96

Prioridade: Normal

Memorando de comunicação entre unidades administrativas

010 - Organização e Funcionamento

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
20	6 - CÓPIA DO PROJETO DE PESQUISA.pdf (1,33 MiB, abre em nova janela)	061343.pdf

Assinaturas

16/12/2024 23:20:36

CRISTIANO JOSE SCHEUER (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))
07.35.00.00.0.0 - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEM



Código Verificador: 5078078

Código CRC: 90e30135

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

