

SISTEMA DRONE-CRAWLER PARA PREPARO AUTOMATIZADO DE SUPERFÍCIES: UM ESTUDO DE CASO NO PROGRAMA CONEXÕES PARA INOVAÇÃO

Daniel de Oliveira Andrade¹; Francisco Fonseca Reis²; Clayton Eduardo Rodrigues³

RESUMO

O presente artigo apresenta, de forma objetiva, o estudo de caso de uma prova de conceito do programa Conexões para Inovação 2022 – Módulo *Startups*, fruto do investimento financeiro e mentoria técnica da Petrobras, aliado ao apoio em negócios e gestão do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). O objetivo do programa é intensificar a presença da Petrobras no ecossistema de inovação brasileiro e mundial, oferecendo a oportunidade do desenvolvimento de soluções na área de Petróleo, Gás Natural e Energia, através de chamadas públicas, para empresas, startups, pesquisadores, universidades e Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT).

Figura 1 – Módulos do programa Conexões para Inovação.



Fonte: https://conexoes-inovacao.petrobras.com.br/s/programa-conexoes?language=pt_BR

A colaboração entre organizações, empresas, universidades, *startups*, comunidades e demais instituições é o pilar da inovação aberta, que busca acelerar o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. Ao integrar os conhecimentos, as instituições se fortalecem mutuamente. Tais desenvolvimentos estão conectados com as metas da abordagem ESG (Ambiental, Social e Governança). A inovação aberta não apenas estimula o desenvolvimento tecnológico, mas também contribui para a construção de uma sociedade mais colaborativa e sustentável. O apoio e mentoria da Petrobras e do SEBRAE criam esse cenário ideal para a inovação aberta.

¹ Aeron. daniel.andrade@aeron-eng.com.br

² Aeron. francisco@aeron-eng.com.br

³ Petrobras. crodrigues@petrobras.com.br

Por meio do programa Conexões para Inovação 2022 – Módulo *Startups*, a *startup* AERON, em parceria com a Petrobras e SEBRAE, desenvolveu uma solução tecnológica para o desafio 28 da categoria de *Deep Tech*, com o objetivo de desenvolver soluções para a tarefa de preparação de superfícies metálicas. A descrição e informações do desafio podem ser conferidos na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Trecho do edital Petrobras – SEBRAE 2022-1 do programa Conexões para Inovação.

CORROSÃO

DESAFIO 28 – DEEP TECH	
Descrição	Necessidade de tratamento de superfície de estruturas e equipamentos metálicos para realização de pequenos reparos de revestimento, em áreas acessíveis somente por meio de andaimes ou por cordas, visando a redução de custos de mão de obra e de exposição do homem ao trabalho em altura ou sobre o mar.
Área(s) Tecnológica(s)	Manipuladores robóticos Drones Ferramentas
Solução esperada	<p>Sistema de tratamento de superfície para pequenos reparos de revestimento de estruturas ou equipamentos metálicos, acoplado por meio de garras magnéticas à superfície onde será realizado o tratamento. Deve ser leve (peso total menor que 12kg), capaz de ser transportado por içamento ou integrado a uma aeronave remotamente pilotada (RPA) Classe 3 (peso máximo de decolagem menor que 25 kg). Ao ser levado ao destino, o sistema de tratamento de superfície deve ser capaz de se acoplar à superfície e realizar o tratamento de forma autônoma. Também deverá ser capaz de permitir o desacoplamento remoto para a sua retirada.</p> <p>Requisitos mínimos que devem ser considerados: Atender aos critérios de aceitação estabelecidos Norma Petrobras N-9. Podem ser utilizados métodos de preparação de superfície, combinados entre si ou não, tais como, mas não se limitando ao jateamento abrasivo, ao hidro-jateamento, ao tratamento químico, à escovação de cerdas rotativas do tipo Bristle Blaster, ao laser ou à indução magnética. O sistema deve ser operado remotamente sem fio. Durante a operação de preparação de superfície, o operador deve possuir contato visual com a superfície tratada, seja direto ou por meio de câmeras, para garantir a qualidade do serviço em execução.</p>
Impacto esperado	Aumento de produtividade em atividades de reparo; Redução de custos operacionais; Redução do HHER (Homem-hora exposto ao risco).

Fonte: Adaptado de Sebrae e Petrobras (2021).

A solução proposta pela Aeron compreende um robô do tipo *Crawler* de baixo peso (abaixo de 14 kg), capaz de transportar e operar ferramentas de preparação de superfícies de forma remota. Para complementar a operação do *Crawler*, foi desenvolvida uma aeronave remotamente pilotada (drone) Classe 3, com peso máximo de decolagem de até 25 kg, capaz de transportar o robô para locais de difícil acesso. Já para locais onde não há a necessidade ou há a proibição da operação do drone, adaptou-se uma minigrua para o transporte do *Crawler*. Por fim, também foi desenvolvido um sistema de inferência de rugosidade por rede neural das superfícies preparadas, para que futuramente, as inspeções de superfícies possam ser feitas de forma remota e autônoma.

Figura 3 – Protótipos do *Crawler*, drone, sistema de inferência de rugosidade por redes neurais por redes neurais e minigrua.



Fonte: Autoria própria.

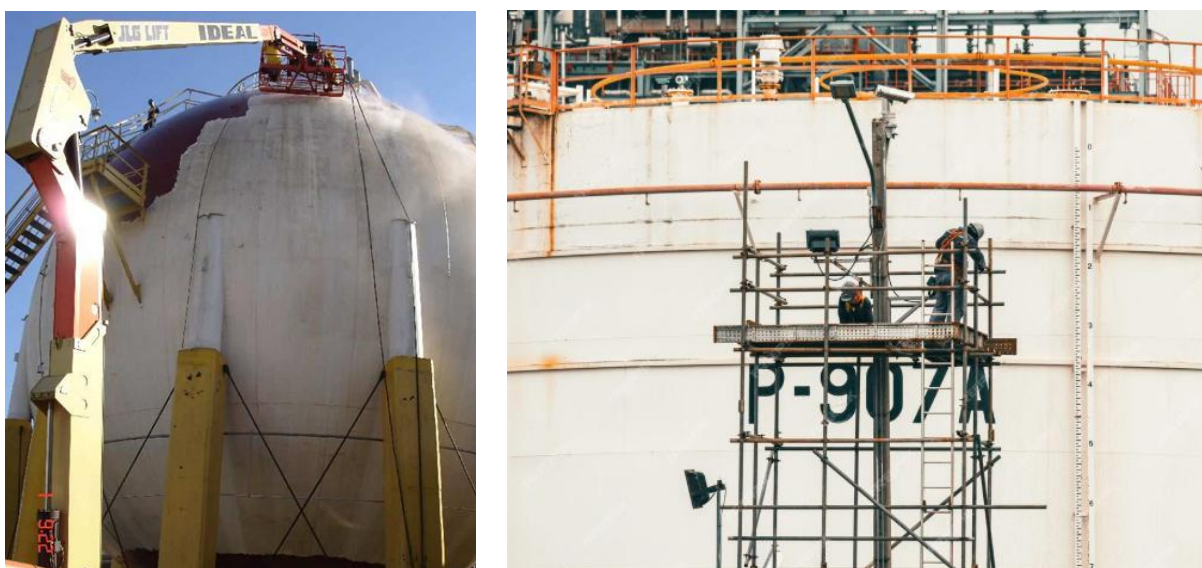
PALAVRAS-CHAVE: *Crawler*, drone, preparação de superfícies, rugosidade, Conexões para Inovação.

NOME DO ATOR	PAPEL NO ECOSISTEMA
Petrobras	Corporação
Aeron Engenharia	Startup
SEBRAE	Entidade gestora

1. SITUAÇÃO PROBLEMA DE OPEN INNOVATION

A atividade de preparação de superfícies é majoritariamente realizada por técnicas manuais, mecânicas ou por jateamento, o que exige a exposição de operadores ao risco de acidentes, especialmente quando executada em altura. No trabalho em altura, ainda há o agravante da necessidade da montagem de andaimes ou balancins ou uso de plataformas hidráulicas, que aumentam o tempo de exposição ao risco e reduzem a produtividade. Ademais, os fatores ambientais, como ventos fortes, chuva e baixa luminosidade, podem interromper a execução das tarefas e prejudicar ainda mais a produtividade

Figura 4 – Trabalho em altura em estruturas de óleo e gás.



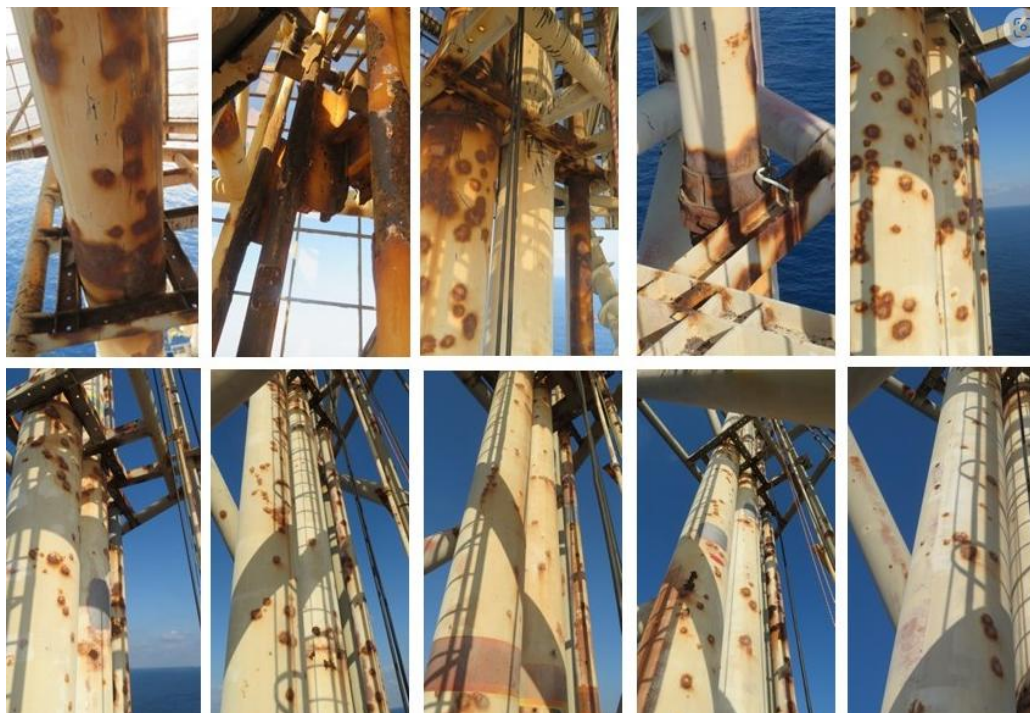
Fonte: <https://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/Manuten%C3%A7%C3%A3o-de-tanques-de-armazenamento1.pdf> e https://br.freepik.com/fotos-premium/trabalhadores-da-construcao-que-instalam-andaimes-tanques-de-armazenamento-refinarias-e-instalacoes-de-petroleo-e-colunas-de-torre-da-industria-petroquimica_156708048.htm.

De acordo com os dados do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho – SmartLab (2025), estima-se que o Brasil registrou mais de 742 mil acidentes de trabalho em 2024. Os acidentes, além das perdas não-materiais, geram um custo expressivo para as empresas e para o governo. Apenas em 2024, foram gastos cerca de 547 bilhões de reais com indenizações relacionadas aos acidentes e se perdeu mais de 24 milhões de dias de trabalho. A atividade de Manutenção e Reparação de Tanques, Reservatórios Metálicos de Caldeiras, Exceto para Veículos (CNAE 33.11-2), relacionada ao desafio 28 do programa Conexões para Inovação, registrou mais de 860 afastamentos causados por acidentes entre 2012 e 2024. As principais causas de afastamentos são: fraturas (53%), osteomusculares e tecido conjuntivo (15,5%), traumatismos (7,78%) e luxações (4,4%).

A possibilidade de falha humana também precisa ser considerada na execução dos serviços de preparação de superfícies. Mesmo com uma mão de obra qualificada, há o risco da ocorrência de falhas que comprometam a qualidade do serviço realizado. Tais falhas vão gerar retrabalho e potencial chance de danos as estruturas metálicas. A implementação da automação, através de robotização, é uma opção adequada para padronizar os processos e reduzir interferências humanas, além da eliminação da horas-homem exposta ao risco.

Grande parte das estruturas metálicas da Petrobras, *on-shore* e *off-shore*, são de grandes dimensões, como tanques cilíndricos e esféricos para armazenamento de produtos e subprodutos da extração de petróleo. Torres de queima de gases residuais, os *flares*, podem passar de 80 metros de altura. Essas estruturas, classificadas como trabalho em altura, estão sujeitas a processos de corrosão e realizar uma preparação da superfície de forma adequada, para posterior pintura, é fundamental para a manter a operação adequada desses ativos metálicos.

Figura 5 - Presença de corrosão na estrutura de um flare.



Fonte: Autoria própria.

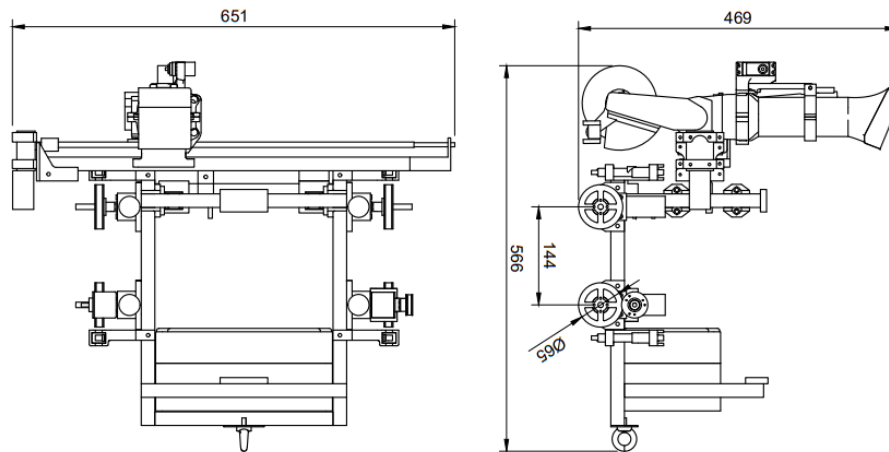
É ressaltada, a importância do desenvolvimento de soluções inventivas na área de preparação de superfícies de estruturas do setor de óleo e gás através da inovação aberta. A iniciativa da Petrobras, com o apoio do SEBRAE, resultou na chamada pública do Desafio 28 do programa Conexões para Inovação 2022 – Módulo *Startups*, com a seleção da empresa Aeron.

2. INTERVENÇÃO

A redução da HHER, redução dos custos operacionais e aumento da produtividade são alcançados através desenvolvimento de 4 soluções que podem trabalhar de forma conjunta: 1 robô do tipo *Crawler* capaz de transportar ferramentas de preparação de superfícies, 1 drone classe 3 (peso máximo de decolagem de 25 kg) capaz de transportar o *Crawler*, 1 minigrúa capaz de transportar o robô em locais de até 8 metros de altura e 1 sistema de inferência de rugosidade por rede neural através de imagens.

O *Crawler* se destaca pelos seguintes diferenciais: baixo peso (abaixo de 14 kg); tamanho compacto (dimensões máximas menores que um cubo de 700 mm de lado); alimentação a bateria e envio e recepção de dados por rádio frequência (elimina o uso de cabos externos presos ao solo); capacidade de transportar uma pluralidade de ferramentas na parte frontal, como a Bristle Blaster® e esmerilhadeiras; e possibilidade de transportar outros equipamentos de até 2,5 kg que não fazem parte do escopo inicial do Desafio 28, como aparelhos de inspeção.

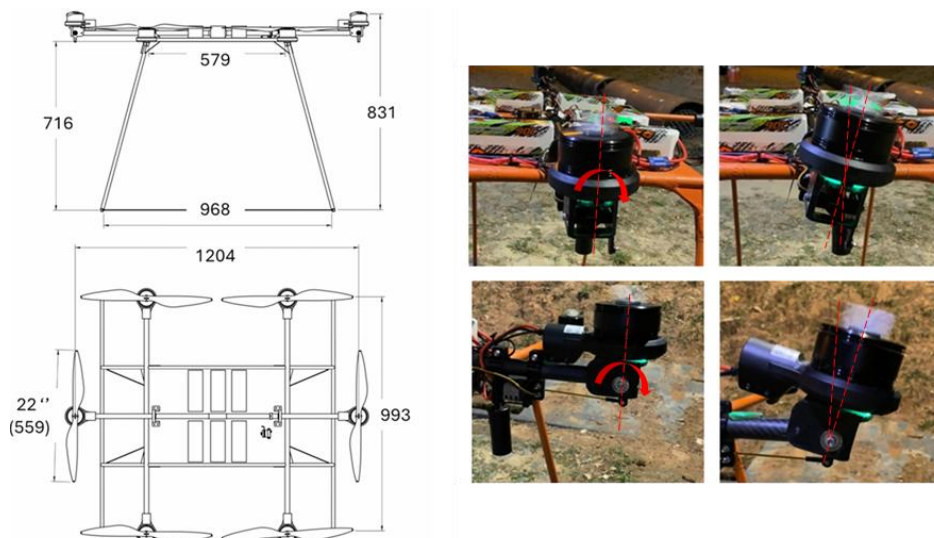
Figura 6 - Dimensões gerais do *Crawler*.



Fonte: Autoria própria

O drone desenvolvido se destaca pelos seguintes diferenciais: baixo peso estrutural (cerca de 13,5 kg); carga paga elevada (cerca de 11,4 kg); capacidade de transportar grandes volumes na parte inferior de sua estrutura (cubo de 700 mm de lado); e sistema de vetorização de 2 motores para melhorar a capacidade de operar em ventos de até 20 nós e possibilitar uma movimentação mais suave.

Figura 7 – Dimensões gerais do drone e sistema de vetorização em 2 eixos.



Fonte: Autoria própria

Em comparação ao drone DJI Agras T10, referência na categoria classe 3, o drone desenvolvido possui uma carga paga 39% maior, além do diferencial de poder transportar grandes volumes e possuir um sistema de vetorização de motores. Tais características abrem um leque de diversas possibilidades para explorar o uso do drone em outras áreas, como pintura, com as devidas modificações.

Em locais com altura menor que 8 metros, a minigrua pode substituir o drone para posicionar o robô na área desejada. A flexibilidade de operação do *Crawler*, além do relativo baixo custo de fabricação e desenvolvimento, reforçam os benefícios da solução proposta. Para um uso futuro, é pretendido projetar e utilizar uma minigrua automatizada por motores e controlada a distância para não expor operadores ao risco durante seu uso.

Figura 8 – Minigrua para transporte do *Crawler*.



Fonte: Autoria própria

O sistema de inferência de rugosidade por redes neurais, através de imagens, é uma solução inovadora e não há produtos disponíveis no mercado que realizem essa função. A rede neural desenvolvida processa as imagens captadas pelo microscópio adaptado dentro de um microcomputador, retornando o provável valor de rugosidade. Apesar dos resultados promissores na prova de conceito, é necessário reduzir as incertezas da inferência de rugosidade com o aumento do banco de imagens utilizado para o treino da rede neural e substituição da câmera microscópica por um modelo com foco automático.

Figura 9 – Sistema de inferência de rugosidade por redes neurais por redes neurais.



Fonte: Autoria própria

3. RESULTADOS

Testes realizados na Refinaria Gabriel Passos (REGAP), em tanques cilíndricos e esféricos desativados, demonstraram a capacidade do robô *Crawler* de se deslocar em superfícies ferromagnéticas e executar a preparação de superfícies com a ferramenta Bristle Blaster® de forma remota em locais classificados como trabalho em altura, atingindo um nível maturidade tecnológica [4] TRL 6. Apesar da prova de conceito ter sido realizada em ambiente relevante, não foi possível replicar todos os cenários de um ambiente 100% operacional.

Figura 10 – Teste de preparação com o *Crawler* no tanque esférico desativado da REGAP.



Fonte: Autoria própria

A minigrua também foi utilizada e operada durante os testes realizados na REGAP. Os testes indicaram necessidade do aumento de robustez, através de automatização para realizar o controle a distância, para extinguir a exposição do operador ao risco durante a operação. A utilização de contrapesos e controle manual não é satisfatório em um ambiente operacional. Por esses motivos, considerou a maturidade como TRL 6.

Figura 11 – Testes da minigrua no tanque esférico e cilíndrico.



Fonte: Autoria própria

Ensaio em um aeródromo seguro e controlado, atestaram a robustez da estrutura e da eletrônica embarcada do drone. Pelo fato de não ter sido possível realizar um voo completo, sua maturidade ficou limitada a TRL 5. A utilização dos mecanismos de pivotamento dos 2 motores centrais adiciona uma complexidade e necessidade de realização de mais testes até a simulação de um ambiente 100% operacional. Pela baixa maturidade, a operação conjunta do drone com o *Crawler* ainda não foi realizada.

Figura 12 – Construção, ensaios e teste de voo do drone.



Fonte: Autoria própria.

O sistema de inferência de rugosidade por redes neurais se demonstrou promissor, alcançando TRL 5. Os testes foram realizados em um ambiente relevante, porém com uma iluminação controlada. As fotos do microscópio são sensíveis a iluminação e a variação da intensidade de reflexão da luz criam incertezas na inferência. A prova de conceito foi suficiente para testar a inovação, porém é necessário o uso de câmeras de melhor qualidade para elevar a maturidade da solução.

Figura 13 – Sistema de inferência de rugosidade por redes neurais no Crawler e em ambiente controlado.



Fonte: Autoria própria.

O êxito dessa parceria de inovação aberta entre Aeron, Petrobras e SEBRAE culminou em um pedido de depósito de patente no INPI, intitulado *Sistema Drone-Crawler para Preparo Automatizado de Superfícies*. Além do pedido, as soluções desenvolvidas nesse projeto foram selecionadas para serem aprimoradas dentro do programa Conexões para Inovação – Módulo Cooperações Tecnológicas, com o objetivo de elevar o TRL do *Crawler*, drone, minigrua e sistema de inferência de rugosidade por redes neurais por redes neurais para o nível 8, com a expectativa de viabilizar a utilização desses produtos nos ativos metálicos *off-shore* e *on-shore* da Petrobras a partir de 2027.

4. CONTRIBUIÇÕES

A solução apresentada, desenvolvida no programa Conexões para Inovação 2022 – Módulo *Startups*, foi orientada, de forma objetiva, por 3 impactos esperados: redução da horas-homem exposta ao risco (HHER), melhoria da produtividade e redução de custos operacionais. Esses impactos dialogam com iniciativas que buscam orientar a melhoria de qualidade de vida global, como a abordagem ESG [5] e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU [6]. As seguintes contribuições são destacadas:

- a) Redução da HHER: potencial melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores envolvidos na atividade de preparação de superfícies metálicas, além da redução de gastos da previdência do governo brasileiro com indenizações de acidentes e aposentadorias por invalidez, permitindo realocar os custos para outros setores sociais importantes, como educação e saúde. A redução da HHER é o impacto mais importante, pois está de acordo com o campo social do ESG e os objetivos 3 e 8 do ODS;
- b) Melhoria de produtividade: permite aumentar a geração de riquezas por recursos empenhados na atividade, com possibilidade de reduzir custos finais repassados aos consumidores e aumentar a participação da indústria no PIB, como proposto pelo objetivo 8 e 9 do ODS;
- c) Redução dos custos operacionais: o aumento de eficiência, e conseqüentemente a redução dos recursos necessários na tarefa de preparação de superfícies, através da automação e não necessidade da montagem de balancins ou andaimes ou uso de plataforma hidráulica, está alinhada com o objetivo 9 do ODS.

Há de se listar outros impactos além dos 3 citados no edital (Figura 2), porém inerentes a inovação aberta, resultantes do desenvolvimento da solução do Desafio 28 do programa Conexões para Inovação – Módulo *Startups*:

- a) Fortalecimento da capacidade técnica e de gestão dos envolvidos, Petrobras, SEBRAE e Aerocom, ao longo do programa *Conexões para a Inovação – Módulo Startups*, através de reuniões, visitas técnicas, elaboração de relatórios técnicos e realização de testes e provas de conceito. Um dos principais papéis da inovação aberta, de fortalecer o conhecimento de todos envolvidos, foi cumprido;
- b) Aceleração do desenvolvimento de protótipos e ideias, agregando os conhecimentos de todos os envolvidos. O programa previa um prazo de 1 ano, com possibilidade

de aditivo de prazo de 3 meses, para o desenvolvimento de uma solução de alta complexidade com pouca referência no estado da arte e da técnica. Ao fim do projeto, foi possível entregar protótipos com bom nível de maturidade tecnológica e com grande possibilidade de aprimoramento em projetos futuros;

- c) Publicação da patente *Sistema Drone-Crawler para Preparo Automatizado de Superfícies* no INPI, que contribui para o cenário de inovação brasileiro e mundial. A Petrobrás continua a se destacar como uma das principais publicadoras de propriedade intelectual no INPI, alimentando a inovação e desenvolvimento do país e dos demais envolvidos, como empresas, instituições e universidades.

AGRADECIMENTOS

O programa Conexões para Inovação é o resultado da contribuição de diversas pessoas físicas e jurídicas, que ao longo dos anos, fortaleceram o programa e possibilitaram sua continuidade e sucesso. Aos envolvidos no desenvolvimento da solução do Desafio 28 do programa Conexões para Inovação 2022 – Módulo *Startups*, é registrado os seguintes agradecimentos:

Ao governo brasileiro e a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que através de diversas políticas, criam um cenário ideal para que grandes empresas invistam recursos para o fomento da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação no país.

Ao SEBRAE, pela consultoria de gestão e visão empreendedora. O apoio as pequenas e microempresas brasileiras é um serviço essencial e foi de grande valia durante a execução de todo o projeto.

À Petrobras, pela confiança e apoio técnico e financeiro. A criação e manutenção do programa Conexões para Inovação permitiu o desenvolvimento das soluções apresentadas. O depósito da patente só foi possível com o apoio do setor de propriedade intelectual.

Por fim, as demais pessoas físicas envolvidas diretamente e indiretamente no desenvolvimento realizado e aos funcionários e pesquisadores da Petrobras, Aeron e SEBRAE que possibilitaram o sucesso desse projeto através da união de ideias, conhecimentos e esforços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.)**. Conexões para Inovação: programa de inovação aberta da Petrobras. 2025. Disponível em: https://conexoes-inovacao.petrobras.com.br/conexoesinovacao/s/?language=pt_BR. Acesso em: 14 jul. 2025.
2. **SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas); PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.)**. *Editais Petrobras-Sebrae 2021: Chamada Pública de Projetos de Inovação*. Rio de Janeiro: Sebrae, 2021. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/2021-07-23_Editais_Petrobras-Sebrae_2021_vFinal.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.
3. **OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO – SMARTLAB**. Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho: promoção do meio ambiente de trabalho seguro, saudável e decente. 2025. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acesso em: 28 jul. 2025.
4. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR ISO 16290:2015 – Sistemas espaciais – Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. Rio de Janeiro, 16 set. 2015. 15 p. ISBN 978-85-07-05775-8.
5. **PACTO GLOBAL – REDE BRASIL**. ESG – Environmental, Social e Governance: entenda o significado e como inserir esses princípios nas empresas. Rede Brasil do Pacto Global, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/esg/>. Acesso em: 29 jul. 2025.
6. **NAÇÕES UNIDAS – BRASIL**. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. ONU Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jul. 2025.