



Relatório de Gestão do CPQD

Relativo ao Plano de Aplicação de Recursos

Exercício 2025

FUNTTEL

VOLUME 1

**SUMÁRIO EXECUTIVO DO RELATÓRIO DE GESTÃO
DE 2025**



Sumário Executivo

Edição: 1.0 Janeiro de 2026

Número de páginas: 36

© CPQD – Todos os direitos reservados

CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

R. Dr. Ricardo Benetton Martins, 1.000 – Parque II do Polo de Alta Tecnologia

CEP 13086-902 – Campinas – SP - Brasil

www.cpqd.com.br

Histórico de Edições

JANEIRO DE 2026

Edição 1.0, referente ao Sumário Executivo.

1. SUMÁRIO EXECUTIVO	5
1.1. INTRODUÇÃO.....	5
1.2. PROJETO PLATAFORMA 5G BR – PLAT 5GBR	7
1.3. PROJETO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE SEGURANÇA PARA REDES E APLICAÇÕES DE GOVERNO DIGITAL – TECSEG	9
1.4. PROJETO GESTÃO 4.0 DE TELECOM – GR 4.0	13
1.5. PROJETO AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA REDES FUTURAS – AERF.....	18
1.6. PROJETO SEGURANÇA, PRIVACIDADE, INCLUSÃO QUALIDADE NA TELEMEDICINA NO CONTEXTO DA WEB3.0 – 5GSAÚDE.....	22
1.7. PROJETO REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE, ACESSO E xHAUL – ROTA-x.....	26
1.8. PROJETO TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA CONFIANÇA NA INTERNET – TEDESCON	30
1.9. INDICADORES.....	32
1.9.1. INDICADORES CONSOLIDADOS DE TODOS OS PROJETOS	32
1.9.2. INDICADORES POR PROJETO	33

1. Sumário Executivo

1.1. Introdução

Este documento fornece subsídios técnicos para que o Conselho Gestor do Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações - Funttel promova a análise dos resultados alcançados em 2025, em razão da execução do Plano de Aplicação de Recursos – PAR da Fundação CPQD.

Cabe ao Conselho, órgão colegiado que desempenha papel estratégico em relação à política pública implementada por meio do Fundo, acompanhar a execução do PAR, conforme determina o inciso II do art. 3º da Lei nº 10.052, de 28 de novembro de 2000 – lei que instituiu o Funttel, e monitorar e avaliar os resultados da aplicação de recursos do Fundo.

Assim, a apresentação deste Relatório atende ao disposto no §4º do art. 6º da Lei nº 10.052, de 2000, e no art. 33 da Resolução nº 66, de 28 de outubro de 2010, do Conselho Gestor do Funttel. É por meio deste documento que a Fundação CPQD presta contas ao Conselho Gestor, apresentando os projetos em andamento ou concluídos no exercício, bem como as considerações a respeito das ações empreendidas e dos resultados obtidos com a aplicação de recursos do Fundo.

Dessa forma, o Relatório contém a execução físico-financeiro dos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico realizados durante o ano de 2025 pela Fundação CPQD com recursos do Funttel a ela alocados diretamente, conforme aprovados pelo Conselho Gestor do Funttel. É constituído por dois volumes:

- **VOLUME 1**, intitulado “**SUMÁRIO EXECUTIVO DE GESTÃO DE 2025**”, com apresentação das principais informações relacionadas à execução física de cada projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) durante o ano de 2025, bem como dos demonstrativos consolidados da execução financeira desses projetos.
- **VOLUME 2**, intitulado “**RELATÓRIO DE GESTÃO DE 2025**”, constituído de duas partes:
 - Uma, intitulada “**RELATÓRIO DA EXECUÇÃO FÍSICA DE 2025**”, com apresentação dos detalhamentos da execução física em 2025, por projeto P&D, entre outros, dos seus objetivos, das suas atividades e metas realizadas, dos seus resultados obtidos, dos seus Indicadores de Progresso; e
 - Outra parte, intitulada “**RELATÓRIO DA EXECUÇÃO FINANCEIRA DE 2025**”, com a apresentação dos detalhamentos da execução financeira mensal de 2025, por projeto de P&D, compreendendo as suas Fontes de recursos (saldo inicial, liberações financeiras recebidas e rendimentos de aplicações financeiras), bem como os seus Usos

(despesas de infraestrutura e suporte à atividade de P&D, despesas administrativas e demais despesas de custeio e de capital).

- O **VOLUME 1 – SUMÁRIO EXECUTIVO DE GESTÃO DE 2025** apresenta as informações referentes aos seguintes projetos:

1. PROJETO PLATAFORMA 5G BR - PLAT5G;
2. PROJETO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE SEGURANÇA PARA REDES E APLICAÇÕES DE GOVERNO DIGITAL - TECSEG;
3. PROJETO GESTÃO 4.0 DE TELECOM - GR 4.0;
4. PROJETO AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA REDES FUTURAS - AERF;
5. PROJETO SEGURANÇA, PRIVACIDADE, INCLUSÃO QUALIDADE NA TELEMEDICINA NO CONTEXTO DA WEB3.0 – 5GSAÚDE;
6. PROJETO REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE, ACESSO E *xHAUL* -ROTA-x;
7. PROJETO TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA CONFIANÇA NA INTERNET – TEDESCON.

1.2. PROJETO PLATAFORMA 5G BR – PLAT 5GBR

O contexto

O principal objetivo do projeto é o desenvolvimento de tecnologias componentes de uma rede 5G, segundo os paradigmas de arquitetura aberta, virtualização e desagregação. Tanto o processamento da banda base (*Baseband Unit - BBU*) da interface aérea 5G NR como o *core* de rede serão desenvolvidos. Uma prova de conceito voltada para o mercado de redes privadas e ISP's (*Internet Service Providers*) é um dos principais objetivos do projeto. Contempla também a gerência e o monitoramento de serviços e infraestrutura de suporte, especialmente na concepção de um produto minimamente viável (MVP), bem como, o uso de novas tecnologias como o de Inteligência Artificial no planejamento e na operação da rede (AIOps), na gerência e no monitoramento da qualidade de serviço de uma fatia da rede (*network slice*), e no gerenciamento e na ocupação oportunista de espectro radioelétrico (*Whitespaces*), e também o uso da tecnologia DLT (*Distributed Ledger Technology*) como ferramenta de suporte ao compartilhamento de infraestrutura por múltiplos provedores de serviço.

As Atividades

O projeto apresentou avanços em 2025 por meio das implementações realizadas na Meta 4. Foram feitas atividades relativas à prototipagem e validação da Rede de Acesso por Rádio (RAN). Os esforços foram concentrados na evolução e integração de frameworks 5G em diferentes arquiteturas, incluindo ARM e híbrida (ARM/Intel), além de avanços significativos com o SDR compacto XTRX.

Os principais destaques foram a evolução do srsRAN em ARM, testes Híbridos (split 2), integração de RU VVDN, Evolução XTRX (4G).

Para o *core* de rede, foram realizadas atividades de desenvolvimento como inclusão de novas funcionalidades, melhorias, correções de problemas de mal funcionamento e brechas de segurança, bem como a progressão do desenvolvimento de ferramentas de testes automatizados que permitiram a evolução em todas as frentes. Adicionalmente, seguiram-se mais discussões técnicas com diferentes interlocutores, novas integrações com radiobases e dispositivos comerciais em 4G e 5G, ampliação nas implantações em soluções de nuvem, e implementações de diferentes funcionalidades importantes para a operação de uma rede móvel.

Neste período, houve desenvolvimento nas áreas de 5G Open RAN aberto, 5G Open RAN com suporte a URLLC e SDR compacto XTRX com foco maior na visão da rede de acesso por rádio (RAN).

Houve também grande avanço no desenvolvimento do *core* de rede, destacando-se: suporte a *multicore* de rede; suporte a autenticação e autorização no portal de gerência; separação de portal de gerenciamento e *core* de rede; separação de *core* de rede e S/PGW-U & UPF de borda; sincronização de novos endereços IPs de UE; sincronização de múltiplas PLMNs 5G; sincronização de tráfegos, *slices* e

assinantes entre portal de gerenciamento e *core* de rede; introdução de métricas; introdução de comandos para configuração, operação e manutenção.

Foi mantida a prática de compartilhamento de setups entre os desenvolvedores do projeto que precisam desenvolver e testar diferentes soluções como RIC (RAN Intelligence Controller), evoluções do *core* de rede móvel, evoluções das soluções da rede de acesso, evoluções do orquestrador, implementação de funcionalidades como CAT-M e NB-IoT).

Os indicadores de P&D

Não houve a produção de indicadores em 2025. Todos os indicadores planejados para o projeto foram atingidos.

Os desafios

O projeto foi encerrado em 2025, consolidando avanços significativos no desenvolvimento de soluções de *core*, orquestração, acesso e Inteligência Artificial, que permitiram o exercício prático de soluções integradas 5G. Os conceitos do Open RAN e a implementação das interfaces abertas padronizadas demonstraram-se de fundamental importância para alavancar cenários de múltiplos fornecedores (*multi-vendor*) e promover a integração efetiva dos mesmos.

Os principais desafios do projeto ao longo de 2025 foram:

- Um dos desafios enfrentados no período foi a ausência de suporte da fabricante do SDR compacto XTRX, o que fez com que fosse necessário dedicar mais tempo para resolver problemas de calibração e configuração de RF. Diferente da USRP, que tem um suporte consolidado e comunidade associada, o SDR compacto XTRX era novo no mercado e, apesar de ser uma ferramenta promissora para a produtização da plataforma 5G, fazia-se necessário um suporte maior da fabricante. Tal desafio começou a ser tratado com a aquisição da plataforma XTRX pela Lime Microsystems, o que reestabeleceu o suporte à plataforma e possibilitou os avanços relatados.
- Outro desafio enfrentado foi a ausência de solução Open Source ou comercial para URLLC com suporte a mini-slot. O caso de uso de URLLC tem, como um de seus pilares, a baixa latência. Para atingir latências da ordem de 1ms na pilha de protocolos 5G, o 3GPP especifica uma funcionalidade avançada que particiona o "slot" de tempo da camada física, fazendo com que recursos de comunicação possam ser agendados para o usuário em escalas de tempo menores do que a duração do slot (1ms). Entretanto, apesar de o framework comercial adquirido relatar a funcionalidade no roadmap em modo OTA, esse suporte não foi implementado em tempo de execução do projeto, fazendo com que os testes tenham se limitado ao modo emulado da pilha.

1.3. PROJETO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE SEGURANÇA PARA REDES E APLICAÇÕES DE GOVERNO DIGITAL – TECSEG

O contexto

O projeto TECSEG foi concebido para atuar em duas frentes complementares: tecnológica e metodológica.

Na frente tecnológica, o projeto tem como objetivo o desenvolvimento de componentes de segurança voltados à mitigação de problemas crônicos relacionados à identidade digital de pessoas e coisas, bem como ao enfrentamento de vulnerabilidades de segurança associadas a dispositivos IoT no contexto brasileiro.

Na frente metodológica, o projeto visa ao desenvolvimento de metodologias de avaliação e investigação de segurança capazes de atender às demandas imediatas e de médio prazo, incluindo: a análise de vulnerabilidades de aplicações de governo digital; a avaliação de segurança de aplicações, dispositivos IoT e infraestruturas críticas; o desenvolvimento de metodologias para avaliação e investigação de redes 5G; e a definição de métodos para análise de aplicações baseadas em tecnologias de *Distributed Ledger* (DLT).

De forma integrada, ambas as frentes buscam responder às demandas atuais e futuras do processo de transformação digital no Brasil, com especial atenção às iniciativas de Governo Digital.

As atividades

O prazo total previsto para a execução do projeto TECSEG é de 51 meses e as atividades estão estruturadas em onze Metas Físicas (M1 a M11), conforme estabelecido no Plano de Trabalho aprovado. Cada meta contempla um conjunto de atividades técnicas e gerenciais necessárias para a consecução dos objetivos do projeto. A seguir estão descritas as metas que tiveram atividades em 2025.

Meta 1: Prospecção tecnológica para componentes e avaliação de segurança

Esta meta visa realizar o monitoramento, prospecção, investigação e experimentação de tecnologias tanto para componentes seguros quanto para metodologias de avaliação de segurança.

- Atividade 1.1: Monitoramento, prospecção, investigação e experimentação de tecnologias para componentes seguros.
- Atividade 1.2: Monitoramento, prospecção, investigação e experimentação de tecnologias de avaliação de segurança.

Meta 2: Desenvolvimento de componentes seguros para aplicações de governo digital, IoT e 5G

Esta meta visa desenvolver componentes seguros para aplicações de governo digital, para aplicações IoT e para aplicações em redes 5G.

- Atividade 2.3: Desenvolvimento de componentes seguros para aplicações em redes 5G.

Meta 5: Desenvolvimento de aplicações seguras para IoT e 5G

Esta meta visa desenvolver aplicações seguras para IoT e 5G, abrangendo a especificação de requisitos, o desenvolvimento das aplicações e testes em ambiente relevante para ambas as tecnologias.

- Atividade 5.4: Especificação dos requisitos para as aplicações 5G.
- Atividade 5.5: Desenvolvimento da aplicação 5G.
- Atividade 5.6: Teste em ambiente relevante.

Meta 7: Desenvolvimento de métodos para investigação digital

Esta meta visa desenvolver métodos para investigação digital, o que inclui o levantamento do estado da arte e o desenvolvimento da metodologia de investigação digital (como a Metodologia de Prontidão Forense Integrada - MPFI).

- Atividade 7.2: Desenvolvimento da metodologia de investigação digital.

Meta 8: Desenvolvimento de tecnologias de avaliação e investigação de segurança

Esta meta visa desenvolver protótipos de software de apoio para a aplicação das metodologias de avaliação (FIASM) e investigação (MPFI), com foco em análise de vulnerabilidade para aplicativos de governo digital, IoT e infraestrutura crítica.

- Atividade 8.4: Implementação - Protótipo de investigação digital.

Meta 9: Aplicação dos métodos e tecnologias desenvolvidas

Esta meta visa aplicar os métodos e tecnologias desenvolvidas em ambientes reais e controlados para validar sua adequação e efetividade, o que envolve a definição dos ambientes e a aplicação dos métodos de avaliação e investigação.

- Atividade 9.3: Aplicação do método de investigação.

Meta 10: Divulgação de resultados

Esta meta visa disseminar os resultados e conhecimentos obtidos, tanto em tecnologias de componentes seguros quanto em tecnologias de avaliação e investigação de segurança, por meio de publicações, eventos e interações com parceiros.

- Atividade 10.1: Disseminação de resultados e conhecimento de tecnologias de componentes seguros.
- Atividade 10.2: Disseminação de resultados e conhecimento tecnologias de avaliação de segurança.

Meta 11: Gestão e acompanhamento de projeto

Esta meta visa gerenciar e acompanhar o projeto, o que inclui o planejamento inicial e o acompanhamento periódico do progresso, recursos e comunicação entre as partes interessadas.

- Atividade 11.2: Acompanhamento do projeto.

Na etapa mais recente de execução, correspondente ao período de janeiro a dezembro de 2025, o projeto TECSEG apresentou avanços significativos, com foco na conclusão das atividades e na disseminação dos resultados alcançados. Os principais destaques desse período incluem:

- **Conclusão das Atividades:** as atividades finais previstas no projeto foram integralmente concluídas.
- **Produção Intelectual:** foram submetidas quatro solicitações de registro de patentes e realizados dois registros de software.
- **Disseminação e Capacitação:** foram publicadas oito produções técnicas e científicas em cinco eventos de relevância para o setor, além da participação da equipe em 50 eventos de capacitação, tanto na condição de participantes quanto de organizadores ou palestrantes.

Os indicadores de P&D

- **Relatório:** A1.1 - Relatório anual de monitoramento tecnológico, investigação, prospecção e experimentação de componentes seguros DOT-15498.RT.01-AA;
- **Relatório:** A1.2 - Avaliação e investigação de segurança DOT-15497.RT.02-D;
- **Relatório:** A2.3 - Relatório de requisitos, arquitetura dos componentes e documentação de integração para aplicações em redes 5G - DOT-15498.RT.11-A;
- **Relatório:** A5.4 - Relatório de requisitos e fluxos das aplicações. Especificação dos requisitos para as aplicações 5G DOT-15498.RT.15-A;
- **Relatório:** A5.5 - Desenvolvimento da aplicação 5G DOT-15498.RT.17-A;
- **Relatório:** A5.6 - Teste em ambiente relevante da aplicação 5G DOT-15498.RT.18-A;
- **Relatório:** A7.2 - Desenvolvimento da metodologia de investigação DOT-15497.RT.11-B_final;
- **Relatório:** A8.4 - Implementação do protótipo de investigação DOT-15497.RT.12-A;
- **Relatório:** A9.3 - Aplicação do método de investigação DOT-15497.RT.13-A;
- **Relatório:** A10.1 - Disseminação de Resultados e Conhecimentos em Tecnologia DOT-15498.RT.05;
- **Relatório:** A10.2 - Disseminação de resultado e conhecimentos em avaliação e investigação de segurança DOT-15497.RT.03-D;
- **Relatório:** Rel_Acompanhamento_Tecnico_FINAL_TECSEG_M11_A11.2_nov25;
- **Artigo:** STRATEGIC INFORMATION SECURITY MANAGEMENT BASED ON RISK: AN INTEGRATED APPROACH USING THE RISK ANALYSIS

No contexto da interoperabilidade de blockchain (Meta 10), o desenvolvimento de uma Prova de Conceito para integração do Aries Cloud Agent (ACA-py) com a rede Besu, utilizando contratos inteligentes e *anoncreds*, representou um desafio técnico relevante.

Por fim, a conclusão das atividades A8.4 (Protótipo de Investigação Digital) e A9.3 (Aplicação do Método de Investigação) somente foi possível no período em função do replanejamento do projeto.

1.4. PROJETO GESTÃO 4.0 DE TELECOM – GR 4.0

O contexto

As atividades de operação, administração e planejamento se tornaram um desafio ainda maior para as operadoras de telecomunicações devido ao crescente aumento da complexidade das redes de telecomunicação e seus serviços associados. Adicionalmente, a capilaridade da rede de telecomunicações tem aumentado de maneira significativa, beneficiando também localidades remotas. Porém, diferentemente das grandes e médias cidades, por vezes há carência de equipes técnicas especialistas.

Portanto, se faz necessário o uso de tecnologias emergentes para:

- Permitir a operação coordenada e assistida entre as equipes de escritório e de campo, fortemente baseada em dados técnicos e algoritmos de tratamento, de tal forma que os recursos técnicos e humanos presentes em campo possam executar as atividades de manutenção complexas ainda que não tenham a qualificação técnica especializada;
- Aumentar a produtividade, garantir a adoção de padrões, aumentar a integração das informações, otimizar o tempo e conhecimento dos especialistas técnicos;
- Criar uma base de dados de conhecimento contendo dados coletados de equipamentos (falha, desempenho e configuração), imagens (drones, câmeras, satélite) e IoT (Internet das Coisas) que permita que as estratégias adotadas para recuperação ou melhora dos serviços prestados sejam consideradas tanto de forma automática quanto de forma supervisionada;
- Adicionar o elemento futuro na manutenção, passando a responder o que irá acontecer, apoiando o técnico de manutenção na tomada de decisões futuras quanto aos planos de manutenção;
- Permitir uma análise preditiva baseada em inteligência artificial para melhora na qualidade de serviços.
- Estes recursos tecnológicos permitem o desenvolvimento de um sistema de software que atenda a demanda crescente por ferramentas que reúnam características de interação remota entre técnico de campo e de escritório, com decisões baseadas em *Machine Learning* de dados coletados e da base de conhecimento.
- A concepção desta plataforma e suas aplicações têm os seguintes direcionadores estratégicos:

- Combinar tecnologias existentes para que seja possível manutenção e divulgação do conhecimento nos processos de gestão de redes;
- Desenvolvimento de componentes que possam fazer parte da plataforma de Gestão 4.0 e facilitar a implantação dessa plataforma;
- Estreitar a distância entre o ambiente dentro do escritório e o ambiente em campo;
- Agilizar a velocidade do compartilhamento do conhecimento.

Todas essas ações visam aumentar a resiliência das redes e com isso possibilitar o avanço das novas aplicações, permitindo utilizar as novas redes em ambientes críticos, como por exemplo em intervenções remotas e a utilização de equipamentos autônomos na manutenção.

O cenário atual, com o aumento da presença das redes para suportar serviços de banda larga, tecnologia 5G e IoT, aponta para uma crescente demanda em tecnologias baseadas em:

- **Inteligência artificial:** Os provedores de telecomunicações buscam soluções baseadas em IA para processar e analisar grandes quantidades de dados disponibilizados pelos equipamentos conectados. A partir de dados coletados e de dados históricos a identificação da causa raiz (*root cause*) ou a predição de uma falha podem ser realizadas. Neste cenário, predições confirmadas realimentam a base de dados;
- **Assistência virtual e técnicas imersivas:** As novas redes incorporam recursos tecnológicos para recuperação automática dos serviços, embora se entenda que em casos não triviais será necessário o acompanhamento de um especialista técnico. Para que possa suportar técnico de campo é necessário dotar este especialista de todas as informações necessárias para o diagnóstico da situação, atuação e verificação da solução executada;
- **Base de conhecimento:** Sem a construção de uma base de conhecimento bem estruturada e continuamente atualizada, é humanamente impossível atender às demandas por recuperação ou melhoria de serviços nos prazos (SLA) requeridos.

A plataforma proposta deve se fundamentar sobre estes três pilares tecnológicos.

As atividades

O prazo total previsto para a execução do projeto Gestão 4.0 de Telecom - GR 4.0 é de 55 meses e as atividades estão estruturadas em sete Metas Físicas (M1 a M7), conforme estabelecido no Plano de Trabalho aprovado.

Cada meta contempla um conjunto de atividades técnicas e gerenciais necessárias para a consecução dos objetivos do projeto. A seguir estão descritas as metas que tiveram atividades em 2025.

Meta 2: Base de conhecimento

Esta meta está estruturada em atividades integradas que buscam a avaliação e definição de técnicas, o detalhamento de requisitos para a gestão e operação de uma base de conhecimento, o planejamento e especificação de testes para gestão dos dados da base a ser estruturada, a implementação da base propriamente dita e a execução dos testes de validação.

- A2.4 - Construção dos componentes para suportar a base de conhecimento – Implementação
- A2.5 - Construção dos componentes para suportar a base de conhecimento - Execução de testes

Meta 3: Integração a um Ambiente de Desenvolvimento e Experimentação de Inteligência Artificial

Esta meta está estruturada em atividades que visam, de maneira geral, materializar a introdução de uma plataforma de inteligência artificial que venha a ser integrada à solução.

Os relatórios referentes às atividades executadas em 2025 foram apresentados em suas versões preliminares. A versão final dos respectivos relatórios será apresentada na conclusão das atividades, previstas para 2026.

- A3.2 - Levantamento de possíveis casos de uso da Plataforma que demandem a geração e experimentação de modelos de IA
- A3.3 - Desenvolvimento e experimentação de modelos de IA
- A3.4 - Definição de APIs de integração com os modelos gerados

Meta 6: Disseminação e Divulgação

Esta meta considera esforços para a disseminação e divulgação de informações do projeto para a comunidade e está estruturada em 02 (duas) atividades.

- A6.2 - Disseminação de conhecimento

M7 - Gestão e acompanhamento de projeto

Esta meta está estruturada visando atender às boas práticas de acompanhamento técnico de projetos de P&D e encapsula tanto tarefas de planejamento dos trabalhos a serem realizados (nas metas, suas atividades, ciclos longos e ciclos rápidos) bem como definição e acompanhamento dos indicadores do projeto.

- A7.2 - Acompanhamento do projeto

Na etapa mais recente de execução, correspondente ao período de janeiro a dezembro de 2025, Gestão 4.0 de Telecom - GR 4.0 apresentou avanços significativos, com foco na conclusão das atividades e na disseminação dos resultados alcançados. Os principais destaques desse período incluem:

- **Conclusão das atividades:** as atividades finais previstas no projeto foram integralmente concluídas.
- **Produção tecnológica:** foram realizados quinze registros de Propriedade Intelectual.
- **Disseminação e Capacitação:**
 - Foram realizados estudos e disseminação de conhecimentos com a equipe interna por meio de workshops semanais, acompanhamento de fóruns e comunidades de desenvolvimento em tecnologias relacionadas ao projeto e treinamentos por meio de vídeos disponibilizados pelas comunidades de desenvolvimento.
 - Foram publicadas nove produções técnicas e científicas em eventos de relevância para o setor, além da participação da equipe em eventos de

capacitação, tanto na condição de participantes quanto de organizadores e palestrantes.

Os indicadores de P&D

- **Relatório:** A2.4 - Protótipo funcional (DOT-16824-RT-20-AA)
 - Anexo I - Relatório sobre Ontologia (ONTOGPT) (DOT-16824-RT-20-AA – Anexo I)
 - Anexo II - Relatório sobre Ontologia (ONTOP) (DOT-16824-RT-20-AA – Anexo II)
- **Relatório:** A2.5 - Relatório de testes (DOT-16824-RT-21-AA)
- **Relatório:** A3.2 - Relatório técnico com a definição de requisitos dos casos de uso (DOT-16824-RT-16-AA - Versão preliminar)
- **Relatório:** A3.3 - Relatórios técnicos com descrição de modelos e técnicas utilizadas para cada caso de uso (DOT-16824-RT-17-AA - Versão preliminar)
- **Relatório:** A3.4 - Relatório APIs desenvolvidas (DOT-16824-RT-18-AA - Versão preliminar)
- **Relatório:** A7.2 - 6º e 7º Relatórios de acompanhamento Técnico de Projetos - GR 4.0
- **Palestra** “Design systems sob teste: como garantir qualidade e consistência” - QA Solidário (<https://www.qasolidario.com.br/>), maio/2025
- **Palestra** “WebAR na Prática: Desenvolvendo Experiências Imersivas para a Web” - DEVTEC – Tubarão – SC, maio/2025
- **Palestra** “Quati Pills: UX, Dados e IA” – CPQD - Campinas – SP, abril/2025
- Design systems sob teste: como garantir qualidade e consistência, 16/05/2025, Palestra QA Solidário 2025
- **Artigo:** “Framework RAAR: Uma Abordagem Prática para Sinergia e Eficiência no Desenvolvimento de Software” - apresentação no evento Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática (CBSOFT), setembro/2025.
- **Palestra:** Atomic Design como Arquitetura de Componentes: Lições para um código sustentável, 06/12/2025, Palestra “Festival DevPira 2025”
- **Palestra:** O que ninguém te conta sobre Design Systems, 29/11/2025, Palestra “DevFest Campinas 2025”
- **Palestra:** WebAR na Prática: Desenvolvendo Experiências Imersivas para a Web, 20/09/2025, Palestra “Frontend Connect 2025 - GDG Americana”
- **Palestra:** Quati Pills: UX, Dados e IA, 15/04/2025, Organização e Palestrante 200 Pólis de Tecnologia de Campinas
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Components Library v2.12.2”. Foi depositado em Janeiro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025000232-7.
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Icons Library v1.0.0”. Foi depositado em Janeiro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025000231-9.

- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Icons Library v2.0.0”. Foi depositado em Janeiro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025000230-0.
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Icons Library v2.0.7”. Foi depositado em Janeiro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025000229-7.
- **Registro de Software:** “CPQD Monitor GeoView 2D/3D”. Foi depositado em Fevereiro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025000613-6.
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Components Library v2.14.6”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003649-3.
- **Registro de Software:** “Componente Backend de Acompanhamento de Tickets de Usuário Técnico de Campo por Técnico de Escritório do CPQD Monitor GR4.0”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003650-7.
- **Registro de Software:** “Componente Frontend de Rastreamento em Tempo Real de Usuário Técnico de Campo em Interface Geográfica 3D do CPQD Monitor GR4.0”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003671-0.
- **Registro de Software:** “Componente Frontend de Acionamento de Usuário Técnico de Campo por Técnico de Escritório em Interface Geográfica 3D do CPQD Monitor GR4.0”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003672-8.
- **Registro de Software:** “Componente Frontend de Acompanhamento de Tickets de Usuário Técnico de Campo por Técnico de Escritório em Interface Geográfica 3D do CPQD Monitor GR4.0”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003673-6.
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Tokens Library v3.5.2”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003674-4.
- **Registro de Software:** “CPQD Quati UI Icons Library v2.0.12”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003675-2.

- **Registro de Software:** “CPQD Quati Command-Line Interface v1.2.3”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003205-6.
- **Registro de Software:** “Componente Frontend de Roteirização Geográfica 2D no CPQD Monitor GR4.0”. Foi depositado em Julho/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025003206-4.
- **Registro de Software:** “GR4.0 Mobile App”. Foi depositado em Setembro/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de patente caracterizado pelo título acima. Processo número BR 512025004110-1.

Os desafios

Em 2025 o projeto Gestão 4.0 de Telecom - GR 4.0 enfrentou desafios não técnicos, com destaque para a aprovação do aditamento de prazo, estendendo a vigência até 08/07/2026, bem como a autorização para uso dos rendimentos das aplicações financeiras.

Entre os desafios técnicos e de mercado, destaca-se a tendência para uso da IA Generativa junto ao assistente virtual. Neste contexto, verificou-se a complexidade para compartilhamento de dados das empresas de Telecom de forma a conectar a IA a fontes de dados externas, para que ela responda com base em informações atualizadas e privadas, permitindo o treinamento do modelo em um conjunto de dados específico para especializar seu tom ou conhecimento técnico (Meta 3) e para a realização de um Piloto (Meta 5).

Devido à prorrogação da vigência do convênio do projeto alterando a data de conclusão para 08/07/2026, as atividades estão previstas para realização em 2026.

1.5. PROJETO AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA REDES FUTURAS – AERF

O contexto

O projeto Ações Estratégicas para Redes Futuras – AERF, iniciado em dezembro de 2022, tem como objeto pesquisas tecnológicas e estudos exploratórios em paradigmas convergentes de redes de comunicações e aplicações avançadas, abordando desafios tecnológicos e soluções de potencial grande impacto que deverão amadurecer gradativamente em horizonte de médio e longo prazos. Complementando os tradicionais desafios das redes ópticas e das redes móveis, relacionados ao aumento da capacidade e do alcance dos enlaces de comunicação, o projeto se propõe a avançar o estado da arte em tecnologias relacionadas aos serviços de rede caracterizados por alta precisão e confiabilidade, modelos descentralizados de redes, aplicações que combinam

realidade imersiva, inteligência artificial, mobilidade e computação de borda, bem como programabilidade, elasticidade, escalabilidade e automação das redes.

As atividades

Dentro do escopo previsto para o projeto e, especialmente considerando a alta complexidade dos tópicos a serem explorados, o presente projeto conta com três diferentes frentes de execução, contando com equipes e infraestrutura específica para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas em Conectividade, Blockchain e Inteligência Artificial.

Adicionalmente, o projeto foi originalmente planejado em cronograma que intercala metas de estudo e revisão bibliográfica, com etapas de experimentação em ambiente laboratorial para desenvolvimento e validação das soluções tecnológicas priorizadas com base nos insumos provenientes do atual estado da técnica.

Dado o contexto acima, em específico para a frente de **Conectividade**, inicialmente foi conduzida uma avaliação prospectiva de NOMA (*Non-Orthogonal Multiple Access*) porém, após análise dos resultados, decidiu-se encerrar o ciclo prospectivo de NOMA e redirecionar o esforço para alternativas com maior potencial de demonstração e impacto aplicado no período. A partir dessa reavaliação, a análise indicou NTN (*Non-Terrestrial Networks*) como mais promissor para o horizonte de M5. Em paralelo, foi concluído o relatório técnico “Utilização de distribuição quântica de chaves criptográficas por satélite”, consolidando o amadurecimento do tema no âmbito da frente de conectividade. O estudo de distribuição quântica de chaves por satélite foi estruturado e consolidado a partir de três eixos: fundamentação física e de engenharia, arquitetura de enlace e implicações operacionais.

Já na frente de **Blockchain**, houve avanços na integração das APIs do *Core-to-Network* (████) ao *marketplace* descentralizado (████). Na parte de desenvolvimento, consolidou-se a integração entre o *Core-to-Network* (████) do CPQD e o *marketplace* descentralizado █████. Essa plataforma, construída sobre o █████, representa ativos de rede █████ por meio de tokenização, permitindo que sejam geridos e contratados de forma automatizada via contratos inteligentes. Além disso, foram realizadas atualizações nas rotas de integração do █████, de modo a viabilizar configurações dinâmicas de rede. Essa evolução prepara a plataforma para o provisionamento de redes privadas 5G/6G sob demanda, em modelos B2B e B2C. Os contratos inteligentes foram aplicados para representar e negociar recursos de rede e espectro. Foram desenvolvidos modelos que exploram a tokenização híbrida, adequada à diversidade de requisitos técnicos e regulatórios do setor.

Por sua vez, na frente de **Inteligência Artificial**, a equipe realizou a conclusão de mais uma etapa de revisão bibliográfica e análise sistêmica do atual estado da arte (Atividade M5-A5.3), tendo, nessa oportunidade, foco no levantamento de informações acerca da utilizando de manutenção de contêineres. Foram pesquisadas técnicas e trabalhos que consideram controle inteligente para

garantir: *scheduling* de contêineres, balanceamento de carga, monitoramento de desempenho, recuperação e tolerância a falhas, e terminamos com as aplicações práticas em redes 5G e Open RAN. Este levantamento auxiliou no levantamento de informações utilizadas nas atividades durante o período, especialmente no documento de visão (*survey*) que está sendo desenvolvido em parceria com a [REDACTED] sobre [REDACTED]. Ainda como resultado da parceria, foi desenvolvido um algoritmo aplicando otimização heurísticas envolvendo a mobilidade de usuários, levando em consideração aspectos tradicionalmente negligenciados, como o tempo para baixar uma camada, o caminho por onde ela será baixada e a largura de banda para cada fluxo de *download*. Além disso, foram desenvolvidos dois algoritmos de aprendizado por reforço multiagente e multiobjetivo, considerando o compartilhamento de informações entre os agentes e utilizando heurísticas para melhorar a qualidade das soluções encontradas pelos agentes. Por fim, o projeto planeja concluir as atividades de aprendizado profundo, utilizando algoritmos como o [REDACTED], além de algoritmos de aprendizado profundo tradicionais aplicando escalarização de recompensas. Estas implementações de aprendizado profundo abrirão portas para soluções mais complexas de otimização. Os avanços obtidos por essa etapa serão apresentados junto com a Atividade M6-A6.1.

Os indicadores de P&D

- **Relatório:** "Relatório Técnico em Conectividade para Redes de Comunicações Futuras". (DOT-18917-RT-05.1-AA-AERF-Survey_Conectividade.pdf)
- **Relatório:** "Levantamento bibliográfico, seleção e análise de artigos" (DOT-18917-RT-05.2-AA-AERF-GEDECES_COMPESBLOCK_RELATORIO_MF1.pdf)
- **Relatório:** "Modelagem da Módulo de Compartilhamento de Frequência" (DOT-18917-RT-05.2-AA-AERF-GEDECES_COMPESBLOCK_RELATORIO_MF2.pdf)
- **Relatório:** "Roadmap de Tendências em Blockchain" (DOT-18917-RT-05.2-AA-AERF-Roadmap_Blockchain.pdf)
- **Relatório:** "Terceira edição de pesquisa em novos paradigmas de descentralização, programabilidade, automação e gerência de redes" (DOT-18917-RT-05.2-AA-AERF-Survey_Blockchain.pdf)
- **Relatório:** "Roadmap de Tendências em Inteligência Artificial" (DOT-18917-RT-05.3-AA-AERF-Roadmap_IA.pdf)
- **Relatório:** "Survey Tecnológico de Tendências em Inteligência Artificial" (DOT-18917-RT-05.3-AA-AERF-Survey_IA.pdf)
- **Relatório:** "5º Relatório Técnico de Acompanhamento de Projetos" (DOT-18917-RT-07.2-AA-AERF-5o_Relatorio_Acompanhamento_Tecnico)
- **Artigo:** "Uma Arquitetura Baseada em Blockchain para Comunicação entre Sistemas de Acesso ao Espectro" (DOT-18917-RT-05.2-AA-AERF-Artigo_Tecnico.pdf)

- **Artigo:** "Order, Unite, and Conquer: A Group Formulation for Multi-Armed Bandits in Microservice Provisioning" (DOT-18917-RT-05.3-AA-AERF-Artigo_Tecnico.pdf)
- **Registro de Software:** Simulador PD-NOMA-MIMO. Processo BR 51 2025 005112 3 registrado em 21/10/2025;
- **Registro de Software:** Algoritmo de Aprendizado por Reforço para sistema Multiobjetivo usando Heurísticas. Processo BR 51 2025 005182 4 registrado em 21/10/2025;
- **Registro de Software:** Ambiente de simulação baseado no simulador EdgeSimPy. Processo BR 51 2025 005184 0 registrado em 21/10/2025;
- **Registro de Software:** Front-End para um Marketplace Descentralizado para Telecomunicações. Processo BR 51 2025 006623 6 registrado em 16/12/2025;
- **Registro de Software:** Módulos para Avaliação de Desempenho do Marketplace para Telecomunicações. Processo BR 51 2025 006625 2 registrado em 16/12/2025;
- **Patente:** [REDACTED]. Processo BR 10 2025 025223 6 registrado em 17/11/2025.

Os desafios

Entre os desafios técnicos do AERF estão planejados experimentos de NTN (*Non-Terrestrial Network*) voltados à avaliação de recursos NTN em ambiente emulado, integrando dispositivos reais e, posteriormente, serviços de aplicação em arranjos over-the-air controlados. Esses experimentos foram elaborados para isolar fenômenos de interesse, como temporização e sinalização [REDACTED] bem como permitir avaliar seus impactos na qualidade de serviço de aplicações IoT. Paralelamente, busca-se a produção de artefatos reutilizáveis, incluindo perfis de emulação e scripts de configuração.

Adicionalmente, o projeto tem o desafio de acompanhar proativamente e antecipar as mudanças disruptivas que estão ocorrendo no panorama tecnológico global das redes de comunicações, com objetivos de estimular o processo de inovação, preservar a capacitação das equipes, o crescimento da base tecnológica e de propriedade intelectual e a construção de um *roadmap* tecnológico de médio e longo prazos. Dessa maneira, objetiva-se: contribuir na orientação de políticas públicas e na possível definição de um *roadmap* tecnológico para telecomunicações no país, monitorar e contribuir para a evolução das redes de telecomunicações e dos serviços associados no intuito de melhorar a qualidade, a segurança, o uso e a fruição dos mesmos serviços; aproveitar as oportunidades geradas pelas transições e pelo processo de convergência tecnológica para estimular o desenvolvimento e a competitividade da tecnologia nacional no setor de telecomunicações; e incentivar o desenvolvimento de soluções tecnológicas de telecomunicações e promover a inserção de pesquisadores brasileiros em cadeias internacionais de pesquisa, inovação e desenvolvimento e em fóruns internacionais de discussão sobre padrões tecnológicos.

1.6. PROJETO SEGURANÇA, PRIVACIDADE, INCLUSÃO QUALIDADE NA TELEMEDICINA NO CONTEXTO DA WEB3.0 – 5GSAÚDE

O contexto

O Projeto 5GSAÚDE tem como objetivo o desenvolvimento de um conjunto integrado de aplicações digitais voltadas ao setor de saúde, fundamentadas no uso combinado de tecnologias habilitadoras avançadas, a saber: Blockchain, Identidade Digital Descentralizada (IDD), Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e redes 5G.

A iniciativa busca viabilizar o armazenamento, o gerenciamento e o compartilhamento seguro, descentralizado e confiável de dados sensíveis de pacientes, assegurando a privacidade, a integridade e a rastreabilidade das informações, em conformidade com os princípios e requisitos estabelecidos pela Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

No âmbito do projeto, estão previstos o desenvolvimento e a integração das seguintes aplicações:

- Prontuário eletrônico de pacientes;
- Emissão de certificados de vacinação no formato de credenciais verificáveis;
- Emissão de receitas digitais para utilização em farmácias físicas e virtuais;
- Monitoramento remoto de pacientes;
- Atendimento online.

A validação das soluções desenvolvidas será realizada por meio de testes piloto em ambientes relevantes, contemplando a avaliação de desempenho tecnológico, usabilidade, segurança da informação e geração de valor para usuários finais e instituições de saúde.

As atividades

O prazo total previsto para a execução do projeto 5GSAÚDE é de 42 meses e as atividades estão estruturadas em oito Metas Físicas (M1 a M8), conforme estabelecido no Plano de Trabalho aprovado. Cada meta contempla um conjunto de atividades técnicas e gerenciais necessárias para a consecução dos objetivos do projeto, conforme descrito a seguir.

Meta M1 – Prospecção tecnológica, regulatória, padronização e estabelecimento de parcerias

Esta meta tem como objetivo realizar o levantamento e a análise do estado da arte tecnológico, do arcabouço regulatório aplicável e dos padrões relevantes, bem como estruturar parcerias estratégicas para a execução do projeto. As atividades previstas são:

- A.1.2 Prospecção tecnológica, regulatória e de padronização – Fase 2;
- A.1.3 Prospecção tecnológica, regulatória e de padronização – Fase 3;

- A.1.4 Desenvolvimento de parcerias, incluindo a formalização de Acordos de Cooperação Tecnológica com os parceiros identificados e a definição de seus respectivos planos de trabalho.

Meta M2 – Implantação e operação de redes blockchain e 5G

Esta meta contempla a infraestrutura tecnológica necessária para suportar as soluções do projeto, abrangendo:

- A.2.2 Operação e manutenção das redes blockchain Hyperledger Indy e Fabric;
- A.2.3 Implantação de rede privada 5G indoor;
- A.2.4 Operação e manutenção da rede privada 5G indoor.

Meta M3 – Desenvolvimento de componentes tecnológicos

Esta meta é dedicada ao desenvolvimento dos componentes tecnológicos fundamentais para as aplicações do projeto, incluindo:

- A.3.2 Desenvolvimento das interfaces de programação de aplicações (APIs);
- A.3.3 Desenvolvimento do Prontuário Eletrônico do Paciente;

Meta M4 – Desenvolvimento das aplicações

Esta meta abrange o desenvolvimento das aplicações finais voltadas ao usuário, contemplando:

- A.4.3 Desenvolvimento da aplicação para emissão e uso de receitas médicas digitais;
- A.4.4 Desenvolvimento de aplicações de monitoramento remoto de pacientes baseadas em IoT.

Meta M5 – Integração com sistemas de parceiros

Esta meta visa garantir a interoperabilidade das soluções desenvolvidas com sistemas externos relevantes, incluindo:

- A.5.2 Integração com sistema público de saúde 1.

Em sua etapa atual de execução, o projeto 5GSAÚDE apresentou avanços significativos na consolidação de parcerias estratégicas, na validação de infraestrutura 5G para aplicações em saúde e no desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à gestão segura e interoperável de informações clínicas, com ênfase no Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP).

Destaca-se a formalização de Acordos de Cooperação Técnica (ACTs) [REDACTED] [REDACTED] fortalecendo a base de parcerias institucionais e acadêmicas do projeto e viabilizando tanto, o desenvolvimento tecnológico, quanto, estudos avançados em acessibilidade e inovação em saúde digital.

A implantação e operação da rede privada 5G indoor demonstraram elevada eficiência para aplicações de telemedicina, com a realização de 552 exames

remotos, atingindo 99% de sucesso operacional e alto grau de satisfação dos pacientes (NPS de 9,99), reforçando o papel do 5G como infraestrutura habilitadora para serviços críticos de saúde.

No eixo de desenvolvimento tecnológico, avançou de forma relevante o Prontuário Eletrônico do Paciente, com a implementação de protótipos funcionais, definição de escopo de uso em ambiente real e integração com componentes de Identidade Digital Descentralizada (IDD) e Credenciais Verificáveis (VCs). A solução foi concebida para garantir autenticidade, integridade, interoperabilidade e conformidade com a LGPD, apoiando-se em arquitetura de microsserviços e registro auditável em blockchain.

As atividades de prospecção tecnológica e padronização asseguraram o alinhamento do projeto com o estado da arte em saúde digital, em consonância com padrões internacionais. Paralelamente, foram iniciados estudos voltados à acessibilidade e inclusão, em parceria com [REDACTED], com destaque para pesquisas em Interfaces Cérebro-Computador (ICC) aplicadas à ampliação do acesso de Pessoas com Deficiência (PCDs) aos serviços de saúde.

Do ponto de vista de gestão, foram realizados ajustes no projeto com replanejamentos técnico-financeiros, incluindo remanejamento de itens, reenquadramento de perfis e extensão da vigência do convênio em 12 meses, em decorrência de desafios não técnicos relacionados à formalização de parcerias institucionais e ao fluxo de liberação de recursos.

Como impacto adicional, houve a demonstração de soluções na feira HOSPITALAR 2025 e o início dos trâmites para registro de software de módulos críticos, incluindo componentes de autenticação, gestão de credenciais, serviços de integração blockchain e plataforma web para simulação e gestão de prontuários.

Os indicadores de P&D

- **Relatório** “A1.2 - Prospecção tecnológica, regulatória e padronização - Fase 2” (DOT-21633.RT.11-AA)
- **Relatório** “A1.3 - Estudo sobre Fundamentos de Interfaces cérebro-computador” (DOT-21633.RT.31-AA)
- **Relatório** “A1.4 - Desenvolvimento de parcerias” (DOT-21633.RT.02-AC)
- **Relatório** “A2.2 - Relatório técnico descrevendo os eventos relacionados com a operação das redes blockchain Hyperledger Fabric, Indy e Besu” (DOT-21633.RT.13-AA)
- **Relatório** “A2.3 - Implantação de rede privada 5G indoor” (DOT-21633.RT.17-AA)
- **Relatório** “A2.4 - Operação da rede privada 5G indoor” (DOT-21633.RT.30-AA)
- **Relatório** “A3.2 - Desenvolvimento das APIs” (DOT-21633.RT.18-AA)
- **Relatório** A3.3 - Desenvolvimento do Prontuário Eletrônico de Saúde do Paciente” (DOT-21633.RT.09-AB)

- **Relatório** “A4.3 - Desenvolvimento de aplicação de emissão e uso de receitas digitais (DOT-21633.RT.15-AA)
- **Relatório** “A4.4 - Desenvolvimento de aplicações de monitoramento remoto de pacientes com IoT” (DOT-21633.RT.24-AA)
- **Relatório** “A5.2 - Integração com sistema público de saúde 1” (DOT-21633.RT.25-AA)
- **Registro de software** “Módulo de Autenticação e Autorização Baseado em Tokens JWT e Identidade Descentralizada - Auth-Manager”. Processo: BR 51 2025 006667 8 depositado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 12/12/2025.
- **Registro de software** “Módulo de Registro e Revogação de Credenciais de Identidade Digital Descentralizada - Revocation-Registry”. Processo: BR 51 2025 006670 8 depositado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 12/12/2025.
- **Registro de software** “Serviço de Integração Blockchain para Registros Médicos e Identidade Descentralizada em Ambiente 5G - 5G-Saude-Services”. Processo: BR 51 2025 006671 6 depositado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 12/12/2025.
- **Registro de software** “Plataforma Web de Simulação e Gestão de Prontuário Digital Descentralizado com Identidade 5G - 5G-Saude”. Processo: BR 51 2025 006672 4 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 12/12/2025.
- **Registro de software** “Provedor de Identidade OIDC e SAML para Identidade Digital Descentralizada - authenticator”. Processo: BR 51 2025 006628 7 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 16/12/2025.
- **Registro de software** “Adaptador genérico de API de agentes de IDD - agent-manager”. Processo: BR 51 2025 006629 5 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 16/12/2025.
- **Registro de software** “Gerenciador de cadastro de definição de credenciais - credentials”. Processo: BR 51 2025 006630 9 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 16/12/2025.
- **Registro de software** “Middleware de Integração e Abstração de APIs para Agente Aries Cloud Agent Python Versão 0.12”. Processo: BR 51 2025 006661 9 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 23/12/2025.
- **Registro de software** “Middleware de Integração e Abstração de APIs para Agente Aries Cloud Agent Python Versão 1.2.4”. Processo: BR 51 2025 006662 7 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 23/12/2025.
- **Registro de software** “Microserviço de Orquestração de Autenticação Baseada em Prova de Identidade Descentralizada - backend-verifier”. Processo: BR 51 2025 006664 3 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 23/12/2025.
- **Registro de software** “Serviço de Processamento de Webhooks para Validação de Provas de Identidade Descentralizada - webhook-proof”.

Processo: BR 51 2025 006665 1 registrado pelo CPQD no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 23/12/2025.

Os desafios

No período de execução, o Projeto 5GSAÚDE enfrentou desafios predominantemente não técnicos, relacionados à formalização de parcerias institucionais, às negociações sobre Propriedade Intelectual e à complexidade dos processos para viabilização de pilotos no sistema público de saúde. Adicionalmente, ocorreram interrupções temporárias no fluxo de liberação de recursos, afetando o ritmo das atividades e as ações de capacitação.

Como medida de mitigação, foi realizado o replanejamento do projeto, com extensão da vigência do convênio em 12 meses, além da adoção de ajustes estruturantes, como ajustes na equipe, conversão da rubrica capital para custeio e utilização de rendimentos de aplicações financeiras, assegurando a obtenção dos resultados previstos para o projeto.

Algumas atividades técnicas não avançaram conforme o planejado, como o Mediador Mobile para transações off-line (A3.4), e outras foram reprogramadas, a exemplo da Aplicação de Atendimento Online (A4.2), postergada para 2026 em função de acordos estratégicos com parceiros.

Adicionalmente, a integração com o sistema público de saúde e a realização de testes piloto não puderam ser iniciadas no período, em razão da formalização de parcerias e a indisponibilidade dos parceiros envolvidos. Esses fatores impactaram o cronograma, sem comprometer a relevância técnica e os objetivos estratégicos do projeto.

1.7. PROJETO REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE, ACESSO E *xHAUL* – ROTA-x

O contexto

O projeto “ROTA-x: Redes Ópticas de Transporte, Acesso e xHaul” visa explorar novas soluções tecnológicas para viabilizar o desenvolvimento de redes ópticas capazes de atender aos requisitos da indústria e da sociedade em termos de capacidade de transmissão, custo de instalação e operação e consumo energético. Para tanto, estão previstas etapas de pesquisa e revisão bibliográfica do estado da arte, simulação em ambiente computacional, desenvolvimento de dispositivos eletro-ópticos, desenvolvimento de aplicações para redes ópticas definidas por software e, por fim, validação experimental em ambiente laboratorial. Tais etapas têm especial foco na busca de soluções inovadoras e competitivas para redes ópticas de transporte, as quais objetivam conexões de alta capacidade e longo alcance, e redes ópticas de acesso, as quais objetivam conexões até o usuário final, podendo também ser aplicadas para a interconexão dos elementos que compõem a infraestrutura para redes móveis de quinta (5G) ou, futuramente, sexta geração (6G). Em ambos os casos, espera-se que as soluções

desenvolvidas impulsionem significativos ganhos de competitividade para a indústria nacional no setor, além de permitir a formação de mão de obra qualificada e garantir a soberania nacional no setor de telecomunicações. Em última instância, os ganhos aferidos deverão ser traduzidos na disponibilização de soluções de conectividade mais acessíveis, estáveis, velozes e baratas para a indústria, comércio, setor de serviços e população em geral, sendo uma importante ferramenta para garantir o constante desenvolvimento tecnológico em um contexto de sociedades e economias crescentemente integradas e dinâmicas.

As atividades

O projeto foi estruturado prevendo execução em 36 meses, contando, para tanto, com atividades de estudo bibliográfico, simulação computacional, prototipação de dispositivos e validação em bancada laboratorial de sistemas ópticos de comunicação em cenários estratégicos de aplicação. Dentre tais cenários, vislumbra-se o desenvolvimento de soluções inovadoras para redes ópticas de transporte, as quais são responsáveis pela interligação de tráfego de longa distância e alta capacidade, e para redes ópticas de acesso, as quais permitem levar conectividade de qualidade até o usuário final. Em específico, alguns tópicos de especial interesse que devem ser explorados ao longo do projeto incluem a otimização de topologias sistêmicas de transmissão de tais redes, o aperfeiçoamento de algoritmos de processamento digital de sinais para a geração e recepção dos canais ópticos, o desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos para a transmissão de sinais ópticos e o uso de aplicações de redes definidas por software para o controle e a monitoração de tais sistemas.

Visando atender a tais objetivos, o projeto tem atividades de pesquisa e desenvolvimento agrupadas em seis grandes metas de execução: a Meta M1 prevê a realização de atividades de pesquisa e revisão do estado da arte e tendências de mercado para redes ópticas de transporte, acesso e definidas por software; a Meta M2 prevê a realização de atividades de análise em ambiente computacional para redes ópticas de transporte, acesso e definidas por software; a Meta M3 prevê a realização de atividades de validação preliminar em laboratório para redes ópticas de transporte, acesso e definidas por software; a Meta M4 prevê a realização de atividades de desenvolvimento de dispositivos ópticos; a Meta M5 prevê a realização de atividades de validação experimental (incluindo provas de conceito) para redes ópticas de transporte, acesso e definidas por software; e, por fim, a Meta M6 prevê o acompanhamento e gestão transversal das demais metas de execução do projeto.

Em sua etapa atual de execução, o projeto teve como destaque a continuidade das atividades de simulação computacional (Meta M2), agora suportadas por resultados experimentais preliminares (Meta M3), de modo a aumentar a assertividade e precisão dos resultados obtidos até então. Em consonância com as etapas anteriores do projeto e com base dos insumos bibliográficos e mercadológicos previamente levantados (Meta M1), o projeto segue explorando o desenvolvimento de subsistemas de amplificação em banda estendida para redes ópticas de transporte, atualmente empregando redes neurais artificiais treinadas

com base em dados experimentais associadas a algoritmos de otimização multiobjetivo para o projeto de tais elementos visando o aumento da capacidade agregada de transmissão de tais sistemas. Já na frente de execução com foco em redes ópticas de acesso, deu-se continuidade ao desenvolvimento da cadeia de processamento digital de sinais, na qual passou-se a adotar uma arquitetura supervisionada visando reduzir a complexidade e o tempo de convergência dos algoritmos de maior consumo computacional, visando, dessa forma, atender aos requisitos de taxa de transmissão, consumo energético e custo de uma nova geração de redes ópticas passivas. Por fim, na frente que explora a convergência entre redes ópticas e redes móveis, um novo arranjo laboratorial foi implementado, agora com foco no uso de interfaces e gerências abertas para o desenvolvimento de aplicações que permitam a priorização de tráfego em tais sistemas, visando, dessa forma, aprimorar a qualidade de conexão no *xHaul* de redes móveis.

Os indicadores de P&D

- **Relatório:** “3º Relatório Técnico de Acompanhamento de Projetos”. CPQD Projeto FUNTTEL/FINEP ROTA-x.
- **Artigo:** “Evaluating the impact of EDFA response modeling in the optical network QoT estimation”. SILVA, A. A. B. et al. Elsevier Optical Fiber Technology.
- **Artigo:** “A User-friendly Interface for Virtualization and Management of Optical Access Networks”. MINETO, C. et al. XLIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT 2025).
- **Artigo:** “Optimization Method for Unrepeated Optical System Employing Probabilistic Shaping”. MACIEL, J. A. S. et al. XLIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT 2025).
- **Artigo:** “Connectivity Solutions for Next-Generation Convergent Optical Networks”. RIVEROS, L. G. M. et al. XLIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT 2025).
- **Artigo:** “Performance Evaluation of Optical Short-Reach Links Without BPS Algorithm Employing Narrow-Linewidth Lasers”. MACIEL, J. A. S. et al. SBFoton International Optics and Photonics Conference (IOPC 2025).
- **Artigo:** “Modeling of L-band Erbium-Doped Fiber Amplifiers Using Artificial Neural Networks”. RIVEROS, L. G. M. et al. 21st SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2025).
- **Artigo:** “Optimizing L-Band EDFA Pumping Schemes via RNN and Water Cycle Algorithm”. NOGUEIRA, M. P. et al. 21st SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2025).
- **Artigo:** “Electro-Optical Front-End and DSP Requirements for High-Capacity and Extended-Reach CPON”. ROSA, E. S. et al. 21st SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2025).
- **Artigo:** “Experimental Analysis of a L-Band High-Concentration EDFA Performance Under Forward and Bidirectional Pumping”. DA SILVA, M. J. et al. SBFoton International Optics and Photonics Conference (IOPC 2025).

(INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de software caracterizado pelo título acima. Processo número BR 51 2025 003895 0.

- **Registro de Software:** “Comunicação e controle de gerador de tráfego”. Foi depositado em 08/10/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de software caracterizado pelo título acima. Processo número BR 51 2025 005004 6.
- **Registro de Software:** “Conversor de arquivo SOR para CSV e análise dos dados obtidos pelo OTDR”. Foi depositado em 07/10/2025, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em nome do CPQD o pedido de registro de software caracterizado pelo título acima. Processo número BR 51 2025 004997 8.

Os desafios

O projeto, em sua essência, visa o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras para redes ópticas no atual estado da arte em diferentes cenários de aplicação, trazendo desafios técnicos significativos e demandando a sua execução por equipe técnica multidisciplinar e altamente qualificada no assunto. Dentre os principais desafios encontrados pela equipe no presente período de execução, destaca-se a complexidade de projeto para dispositivos, subsistemas e sistemas ópticos de transporte em banda estendida e de acesso empregando recepção coerente, em ambos os casos demandando o refinamento da modelagem computacional empregada para sua otimização em ambiente computacional, sempre que possível empregando dados experimentais para sua validação. Adicionalmente, na frente de redes ópticas definidas por software, foram encontradas limitações na implementação de ferramentas para controle e gerenciamento dos módulos ópticos até então disponíveis em laboratório, demandando a aquisição de novas unidades com gerência aberta e aderente aos desenvolvimentos objetivados no projeto. Destaca-se ainda, de modo geral, que as etapas de desenvolvimento e validação demandam o uso de infraestrutura computacional e laboratorial especializadas, especialmente considerando a necessidade de atuação na atual fronteira tecnológica. De modo complementar, as tecnologias exploradas deverão ser aderentes aos requisitos do mercado, podendo, dessa forma, serem transferidas para a indústria nacional e serem um ativo de fomento para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas em conectividade que de fato impactem a população, a economia e a ciência nacionais.

1.8. PROJETO TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA CONFIANÇA NA INTERNET – TEDESCON

O contexto

O projeto “TeDesCon: Tecnologias Descentralizadas para Confiança na Internet” insere-se no contexto da evolução da internet para a Web3, marcada pela descentralização, maior controle do usuário sobre seus dados e aumento da

confiança digital. Seu objetivo é avaliar os benefícios da Web3 e desenvolver uma solução de Identidade Digital Descentralizada (IDD) aplicada aos setores de telecomunicações e de governo digital visando enfrentar problemas críticos como fraudes de identidade, chamadas robóticas (robocalls) e a perda de confiança em comunicações e serviços digitais públicos. O projeto está estruturado em etapas que incluem pesquisa tecnológica, análise regulatória e acompanhamento de iniciativas internacionais de padronização. Em seguida, será concebida e desenvolvida uma solução descentralizada de acesso a serviços de interesse público que integrará componentes como credenciais verificáveis, DLTs, carteiras digitais e padrões abertos de identidade. O desenvolvimento será acompanhado de testes e validações que envolverão vários atores-chave de governo digital e do setor de telecomunicações. Como ganhos esperados da solução de autenticação descentralizada e verificável destacam-se não somente a redução de fraudes via telefone e chamadas indesejadas, mas a simplificação do acesso a serviços personalizados e ubíquos, tanto na interação do cidadão com o governo eletrônico, quanto no acesso simplificados do cliente das operadoras de telecomunicação às diversas modalidades de serviço. Para o governo, a solução contribui para a restauração da confiança dos cidadãos em serviços digitais. Para as operadoras de telecomunicações, ela abre novas oportunidades de negócio e protagonismo como emissores e verificadores de credenciais.

As atividades

O projeto foi estruturado prevendo a execução em 36 meses e teve início em novembro de 2025, contando, para tanto, com atividades agrupadas em seis grandes metas de execução que são: Meta M1 prevê a realização de atividades de pesquisa sobre tecnologias, arquiteturas emergentes, iniciativas internacionais, regulação e padronização; Meta M2 prevê a concepção de solução descentralizada de acesso a serviços de interesse público e desenvolvimento e a integração de seus principais componentes tecnológicos; Meta M3 prevê o desenvolvimento e a validação das aplicações descentralizadas de interesse público em serviços de governo digital; Meta M4 prevê o desenvolvimento e a validação das aplicações descentralizadas de interesse público em serviços voltados a clientes do setor de telecomunicações; Meta M5 prevê o desenvolvimento de parcerias; e, por fim, a Meta M6 prevê o planejamento, acompanhamento e gestão transversal das demais metas de execução do projeto.

Em sua etapa atual de execução, o projeto teve como destaque a Reunião de Kickoff, a reestruturação da equipe executora e o início das atividades de prospecção tecnológica e de novas arquiteturas (Meta M1).

Os indicadores de P&D

O projeto iniciou em novembro de 2025 e não houve a geração de indicadores no período.

Os desafios

Os principais desafios do Projeto TeDesCon concentram-se na elevada complexidade técnica das soluções Web3 e de Identidade Digital Descentralizada e na garantia da interoperabilidade entre diferentes padrões, plataformas e ecossistemas (W3C, OpenID, ITL, eIDAS). Também a escalabilidade das soluções, especialmente em ambientes de telecomunicações e serviços públicos de grande volume, é um ponto crítico e as questões regulatórias e de conformidade com a LGPD exigem cuidadosa governança de dados e privacidade.

1.9. Indicadores

Nos Capítulos correspondentes aos projetos individuais, são relacionados indicadores de progresso obtidos durante o exercício de 2025. As tabelas a seguir apresentam um resumo quantitativo destes indicadores.

1.9.1. Indicadores consolidados de todos os projetos

Código	Indicador	Quantidade planejada 2025	Quantidade realizada 2025
PTC	<p>Produção técnico-científica Produções técnico científicas na forma de Anais de eventos nacionais e internacionais, Artigos em periódicos nacionais e internacionais, livros com ISBN, capítulos de livros com ISBN, Dissertações de mestrado e Teses de doutorado.</p> <p>Artigos científicos e papers publicados em veículos de divulgação classificados, pelo sistema Qualis da Capes, com qualidade correspondente a A1, A2, B1 e B2 ou equivalentes</p>	27	74
DP	<p>Desenvolvimento de pessoas Somatória da média mensal de pesquisadores alocados em cada projeto ou atividade apoiada pelo Funttel, em todas as instituições, no ano de referência</p>	102	38
PI	<p>Propriedade Intelectual Quantidade de pedidos de registro de propriedade intelectual - Patentes, Registros de Software, Modelos de Utilidade, Desenhos Industriais, Segredos Industriais, Marcas, Topografias de Circuitos Integrados e Licenças Free Open Source Software - resultantes dos projetos ou atividades apoiadas pelo Funttel</p>	15	47

ProdTecC	Produtos e Tecnologias comercializáveis		
	Quantidade de tecnologias transferíveis e ou produtos prontos para comercialização ou industrialização resultantes de projetos ou atividades apoiadas pelo Funttel	0	0

1.9.2. Indicadores por projeto

Geração de Conhecimento				
Produção Técnico – Científica – PTC				
Produções técnico científicas na forma de Anais de eventos nacionais e internacionais, Artigos em periódicos nacionais e internacionais, livros com ISBN, capítulos de livros com ISBN, Dissertações de mestrado e Teses de doutorado Artigos científicos e papers publicados em veículos de divulgação classificados, pelo sistema Qualis da Capes, com qualidade correspondente a A1, A2, B1 e B2 ou equivalentes				
Projetos	Planejado	Realizado	Desvio	Justificativa (se desvio menor que zero)
1 - Plat 5G	0	3	3	Relatorios gerados devido prorrogação do prazo do projeto.
2 - TECSEG	8	8	0	Os artigos ainda serão publicados no livro da springer nature e ficarão disponíveis até agosto de 2026
3 - GR 4.0	0	19	19	Houve maior dedicação da equipe na produção de resultados significativos e maior número de produções técnico científicas passíveis e publicações.
4 - Redes Futuras	2	10	8	Na frente de Blockchain, houveram aceitação e apresentação de artigos maior do que estimados anteriormente.
5 - 5GSAUDE	11	11	0	
6 - ROTA-x	6	16	10	Dedicação da equipe resultaram em uma quantidade maior de produções técnico-científicas que estimadas previamente. Além disso, processos iniciados em períodos anteriores culminaram em sua conclusão neste ano.
7 - TEDESCON	0	7	7	Relatórios técnicos gerados conforme previsto na Meta1
TOTAL	27	74	47	

Geração de Conhecimento				
Desenvolvimento de Pessoas – DP				
(Contribuição do Funttel para o desenvolvimento de pessoas e equipes através da atuação em projetos de P&D)				
Somatória da média mensal de pesquisadores alocados em cada projeto ou atividade apoiada pelo Funttel, em todas as instituições, no ano de referência				
Projetos	Planejado	Realizado	Desvio	Justificativa (se desvio menor que zero)
1 - Plat 5G	13,50	0,90	-12,60	Com o fechamento do projeto houve alta previsão de alocação da equipe que se mostrou não necessária.
2 - TECSEG	34,00	6,84	-27,16	Alocação realizada conforme demanda das tarefas, sendo menor que o planejado.
3 - GR 4.0	4,30	4,40	0,10	
4 - Redes Futuras	15,00	6,07	-8,93	Alocação realizada conforme demanda das tarefas, sendo menor que o planejado.
5 - 5GSAUDE	24,00	12,11	-11,89	Alocação realizada conforme demanda das tarefas, sendo menor que o planejado.
6 - ROTA-x	9,00	6,26	-2,74	Alocação realizada conforme demanda das tarefas, sendo menor que o planejado.
7 - TEDESCON	2,00	1,50	-0,50	Alocação realizada conforme demanda das tarefas, sendo menor que o planejado.
Total	101,80	38,07	-63,73	

Inovação Tecnológica				
Propriedade Intelectual – PI				
Quantidade de pedidos de registro de propriedade intelectual - Patentes, Registros de Software, Modelos de Utilidade, Desenhos Industriais, Segredos Industriais, Marcas, Topografias de Circuitos Integrados e Licenças Free Open Source Software - resultantes dos projetos ou atividades apoiadas pelo Funttel				
Projetos	Planejado	Realizado	Desvio	Justificativa (se desvio menor que zero)
1 - Plat 5G	0	0	0	
2 - TECSEG	6	6	0	
3 - GR 4.0	0	15	15	O projeto teve seu período de execução estendido e a equipe teve maior foco e dedicação produção de resultados para registro de software e propriedade intelectual.
4 - Redes Futuras	0	6	6	N/A
5 - 5GSAUDE	0	11	11	Foi priorizada a realização dos registros de software pela equipe do projeto, do que foi produzido nos períodos atuais e anteriores
6 - ROTA-x	9	9	0	
7 - TEDESCON	0	0	0	
Total	15	47	32	

Inovação Tecnológica				
Produtos e Tecnologias Comercializáveis – ProdTecC				
(Contribuição do Funttel para a produção de tecnologias transferíveis para a indústria e de itens prontos para comercialização ou industrialização)				
Quantidade de tecnologias transferíveis e ou produtos prontos para comercialização ou industrialização resultantes de projetos ou atividades apoiadas pelo Funttel				
Projetos	Planejado	Realizado	Desvio	Justificativa (se desvio menor que zero)
1 - Plat 5G	0	0	0	
2 - TECSEG	0	0	0	
3 - GR 4.0	0	0	0	
4 - Redes Futuras	0	0	0	
5 - 5GSAUDE	0	0	0	
6 - ROTA-x	0	0	0	
7 - TEDESCON	0	0	0	
Total	0	0	0	