

PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Fabio Marujo da Silva – COTEC

**Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa
(Coorientador ou Colaborador externo, se houver):**

Luis Miguel Domingues Mendes – COTEC/CBPF (Coorientador – Ramo 2:
Aquisição e Processamento de Sinais com Edge AI)

Nome do Supervisor e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista):

Fabio Marujo da Silva – COTEC

Título do Projeto:

Instrumentação Científica Avançada com Inteligência Artificial Embarcada:
Desenvolvimento de Fontes de Alta Tensão Inteligentes e de Sistemas de Aquisição e
Processamento de Sinais com Edge AI

Número de vagas: 2 (duas)

Vaga 1 – Ramo 1: Fontes de Alta Tensão (HV) Inteligentes — instrumentação
embarcada, sensoriamento, controle digital e IA/TinyML.

Vaga 2 – Ramo 2: Aquisição e Processamento de Sinais com Edge AI —
firmware de aquisição, FPGA/MCU, modelos de IA embarcada e bancadas
instrumentadas.

Palavras-chave:

Instrumentação Científica; Fontes de Alta Tensão; Aquisição de Dados; Inteligência Artificial Embarcada (Edge AI/TinyML); FPGA; Sistemas Embarcados; Eletrônica para Detectores de Partículas

Área de conhecimento:

Grande Área: Ciências Exatas e da Terra

Área: Física

Subárea: Instrumentação Científica / Física de Partículas e Campos

Grande Área Secundária: Engenharias

Área: Engenharia Elétrica

Subárea: Sistemas Eletrônicos / Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

- Conhecimento básico em programação (C/C++ e/ou Python).
- Noções de eletrônica analógica e digital.
- Familiaridade com microcontroladores e sistemas embarcados (Arduino, Raspberry Pi, ESP32 ou similares).
- Familiaridade com sistemas operacionais Linux.
- Interesse em aprendizado de máquina (Machine Learning) aplicado à instrumentação eletrônica e à física experimental.

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

- Estar regularmente matriculado em curso de graduação em Engenharia Eletrônica, Engenharia Elétrica, Engenharia de Computação, Física ou área afim.

- Disponibilidade para dedicação às atividades presenciais de iniciação científica no CBPF.

- Atender aos requisitos do edital PIBICT/CBPF vigente (CR acumulado superior a 6,0; currículo atualizado na Plataforma Lattes; não estar no último semestre do curso; não possuir vínculo empregatício).

Possibilidade de orientação remota:

() Sim

(X) Não

Rio de Janeiro, 08 de julho de 2026

PROJETO:

Introdução e Justificativa

Os sistemas experimentais do CBPF — em física de partículas e astropartículas, matéria condensada, física aplicada, nanociência, fotônica, energia e caracterização de materiais — dependem crescentemente de instrumentação eletrônica avançada, reconfigurável e capaz de operar com diagnóstico local. Esses sistemas requerem fontes de alta tensão (HV) estáveis e de baixo ruído, cadeias rápidas de aquisição de dados, controle digital, monitoramento contínuo e processamento embarcado de sinais. Atualmente, parte significativa dessa instrumentação é importada, pouco adaptável às necessidades específicas dos laboratórios e limitada em recursos de autodiagnóstico e otimização em tempo real.

Neste contexto, o Laboratório de Instrumentação em Tecnologia Eletrônica (LITELT/COTEC), em parceria com a COHEP (LDD/LCD), desenvolve — no âmbito do projeto institucional "Instrumentação Científica Avançada com Inteligência Artificial Embarcada para Fontes Inteligentes, Aquisição e Processamento de Sinais" (Programa de Capacitação Institucional PCI/CNPq) — uma nova geração de instrumentação científica baseada em eletrônica embarcada, FPGA/SoC, aquisição rápida de dados, controle digital e modelos de inteligência artificial executados diretamente na borda (Edge AI/TinyML). O projeto organiza-se em duas frentes tecnológicas sinérgicas: o Ramo 1, dedicado a fontes HV inteligentes de alta eficiência e baixo ruído, com controle adaptativo, monitoramento preditivo e proteção inteligente; e o Ramo 2, dedicado a sistemas eletrônicos de aquisição, condicionamento, processamento digital e controle de sinais com IA embarcada em FPGA/MCU, com aplicação em demonstradores institucionais como o sistema de aquisição para muografia com múons cósmicos e a bancada instrumentada para teste de células de combustível a hidrogênio.

Este projeto de iniciação científica visa inserir dois alunos de graduação (uma vaga por ramo) nas atividades de desenvolvimento, montagem, programação e validação dessa instrumentação, em contato direto com pesquisa de fronteira e com colaborações internacionais (CMS/CERN, Observatório Pierre Auger e SWGO). A atividade formará os alunos em instrumentação eletrônica, sistemas embarcados e

inteligência artificial aplicada, contribuindo diretamente para a capacitação institucional do CBPF e para a redução da dependência de instrumentação importada.

Objetivos

Objetivo Geral: Introduzir os alunos no desenvolvimento e na validação de instrumentação científica avançada com inteligência artificial embarcada, contribuindo para o desenvolvimento das fontes HV inteligentes (Ramo 1) e da plataforma de aquisição e processamento de sinais com Edge AI (Ramo 2) do LITELT/CBPF.

Objetivos Específicos — Vaga 1 (Ramo 1: Fontes HV Inteligentes)

- Estudar topologias de conversores de potência para alta tensão (Cockcroft-Walton, flyback) e técnicas de controle digital de fontes HV.
- Montar e testar a instrumentação embarcada de sensoriamento (tensão, corrente, temperatura e ruído) baseada em Raspberry Pi, conversores ADC (ADS1115) e DAC (MCP4725).
- Desenvolver rotinas de monitoramento, telemetria e proteção em Python/C++.
- Participar da aquisição de datasets de operação da fonte HV para treinamento de modelos de IA (detecção de anomalias e manutenção preditiva).
- Apoiar a caracterização dos protótipos em laboratório (eficiência, ripple, ruído, estabilidade e resposta dinâmica).

Objetivos Específicos — Vaga 2 (Ramo 2: Aquisição e Processamento com Edge AI)

- Estudar a arquitetura de cadeias de aquisição de dados (condicionamento analógico, ADC, FPGA/SoC e microcontroladores).
- Desenvolver e testar firmware de aquisição, buffering, sincronização e telemetria em plataformas embarcadas.

- Treinar, quantizar e embarcar modelos simples de aprendizado de máquina (TinyML/hls4ml) para discriminação de pulsos, classificação de eventos e detecção de anomalias.

- Apoiar a montagem e a instrumentação das bancadas demonstradoras (hodoscópio de múons/muografia e bancada de teste de células de combustível).

- Validar a cadeia de aquisição com sinais de detectores e múons cósmicos em laboratório.

Objetivos comuns às duas vagas: produzir relatórios técnicos e apresentações no âmbito do Programa PIBICT/CBPF e participar de reuniões e seminários do grupo.

Metodologia

- Estudo Técnico: revisão bibliográfica e de documentação técnica sobre fontes HV, eletrônica de aquisição, sistemas embarcados e Edge AI/TinyML.

- Treinamento: uso das bancadas do LITELT e dos laboratórios LDD/LCD (osciloscópios, fontes, multímetros de precisão), plataformas embarcadas (Raspberry Pi, microcontroladores, FPGA) e ambiente Linux.

- Implementação: programação em Python/C++; desenvolvimento de firmware de aquisição e controle; treinamento e quantização de modelos de IA embarcada (TensorFlow Lite/hls4ml).

- Testes: caracterização de protótipos com critérios quantitativos e validação experimental com detectores, fotossensores e múons cósmicos.

- Documentação: relatórios PIBIC, versionamento de código (Git), apresentações em seminários e na Jornada de Iniciação Científica do CBPF.

Cronograma (Set/2026 – Ago/2027)

Período	Atividade
Set – Out/2026	Estudo técnico e treinamento nas bancadas do LITELT/LDD/LCD; revisão bibliográfica (ambas as vagas)
Nov – Dez/2026	Vaga 1: montagem do sensoriamento embarcado da fonte HV. Vaga 2: desenvolvimento do firmware de aquisição e telemetria
Jan – Mar/2027	Vaga 1: aquisição de datasets e rotinas de monitoramento/proteção. Vaga 2: treinamento e quantização de modelos TinyML
Abr – Mai/2027	Vaga 1: integração da IA embarcada ao controle da fonte HV. Vaga 2: embarque dos modelos em FPGA/MCU e testes da cadeia de aquisição
Jun – Jul/2027	Validação experimental em laboratório: caracterização da fonte HV e testes com detectores e múons cósmicos (demonstradores)
Ago/2027	Redação do relatório final PIBIC e apresentação no seminário do CBPF

Resultados Esperados

- Formação prática dos alunos em instrumentação eletrônica, eletrônica de potência, sistemas embarcados, FPGA e inteligência artificial aplicada (Edge AI/TinyML).
- Contribuição direta ao desenvolvimento dos protótipos institucionais: fonte HV inteligente de alta eficiência e baixo ruído (Ramo 1) e plataforma modular de aquisição e processamento com IA embarcada (Ramo 2).
- Participação na validação de demonstradores institucionais, incluindo o sistema de aquisição para muografia com múons cósmicos e a bancada instrumentada para teste de células de combustível a hidrogênio.

- Produção de relatórios técnicos, apresentações e participação em reuniões do grupo, com possibilidade de coautoria em publicações científicas e em registros de software/firmware.

- Inserção dos alunos em um ecossistema de pesquisa de fronteira e inovação, com contato com colaborações internacionais (CMS/CERN, Pierre Auger, SWGO) e com o Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) do CBPF.