



**CENTRO NACIONAL
DE PESQUISA EM
ENERGIA E MATERIAIS**

RELATÓRIO SEMESTRAL

PARTE 1



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Este relatório foi aprovado pelo Conselho de Administração
em Reunião Ordinária realizada em
27/08/2024

2021

RELATÓRIO SEMESTRAL

PARTE 1

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

Luciana Barbosa de Oliveira Santos
Ministra de Estado
Luis Manuel Rebelo Fernandes
Secretário Executivo

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Rogério Cezar de Cerqueira Leite (*Presidente*)
Reginaldo dos Santos (*Vice-Presidente*)
Antonio Rubens Britto de Castro
Elias Ramos de Souza
Jailson Bittencourt de Andrade
Luiz Antonio Pessan
Marcela Chami Gentil Flores
Marcia Cristina Bernardes Barbosa
Maurilio Biagi Filho
Paulo Eduardo Artaxo Netto
Raphael Padula
Selma Maria Bezerra Jeronimo
Silvia Stanisçuaski Guterres
Virgínia Sampaio Teixeira Ciminelli

*Esta é a composição do Conselho de Administração
responsável pela aprovação do Relatório Semestral 2024*

DIRETORES

Antonio José Roque da Silva
Diretor-Geral
Harry Westfahl Jr.
Diretor do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - LNLS
Maria Augusta Borges Cursino de Freitas Arruda
Diretora do Laboratório Nacional de Biociências - LNBio
Eduardo do Couto e Silva
Diretor do Laboratório Nacional de Biorrenováveis – LNBR
Rodrigo Barbosa Capaz
Diretor do Laboratório Nacional de Nanotecnologia – LNNano
Adalberto Fazzio
Diretor da Ilum Escola de Ciência
Renata de Vasconcellos Aquino
Diretora de Serviços Compartilhados
James Francisco Citadini
Diretor-Adjunto de Tecnologia
Sergio Rodrigo Marques
Diretor-Adjunto de Infraestrutura

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – CNPEM, pessoa jurídica de Direito Privado sem fins lucrativos, é a nova denominação da Associação Brasileira de Tecnologia de Luz Síncrotron, qualificada como Organização Social pelo Decreto n. 2.405, de 26 de novembro de 1997. O CNPEM atua no desenvolvimento de ciência, tecnologia e inovação por meio de seus quatro Laboratórios Nacionais: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Laboratório Nacional de Biociências (LNBio); Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) e Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano). O CNPEM também é sede da Ilum Escola de Ciência, que mantém o curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia. Todos os direitos reservados ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). Os textos contidos nesta publicação podem ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos desde que citada a fonte. O Relatório Semestral de 2024 é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão MCTI/CNPEM.

SUMÁRIO

1		O CNPEM p. 8
2		Programa de Usuários Externos p. 36
3		Programas Estratégicos de Pesquisa e Desenvolvimento p. 40
4		Programa de Tecnologias Habilitadoras p. 94
5		Projetos Estruturantes p. 102
6		Apoio à Geração de Inovação p. 158
7		Treinamento, Educação e Extensão p. 170
8		ANEXO I - Indicadores de Desempenho p. 180

Palavras do **DIRETOR-GERAL**

Dentre os diversos resultados do Centro neste semestre, é importante destacar o número recorde de beneficiários atendidos pelo CNPEM. No primeiro semestre de 2024, foram beneficiados 1.527 pesquisadores oriundos de centenas de instituições brasileiras e estrangeiras, que realizaram suas pesquisas nas instalações do CNPEM. Esse é o maior número de pesquisadores externos beneficiados em um primeiro semestre desde que essa estatística passou a ser mensurada regularmente, quando entrou para o Quadro de Indicadores e Metas em 2012. Em comparação ao mesmo período do ano passado, houve um aumento de 60% no número de beneficiários externos das instalações.

Esse resultado se deve à dedicação de todos os colaboradores engajados em disponibilizar infraestruturas de ponta para a comunidade científica brasileira e mundial e, em grande medida, ao início do atendimento regular de pesquisadores nas novas linhas de luz do Sirius. Do total de beneficiados neste semestre, cerca de 60% realizaram propostas no Sirius. O esforço do CNPEM para avançar na Fase 1 do Projeto e disponibilizar novas linhas de luz para a comunidade científica a cada ano, tem possibilitado um aumento expressivo no atendimento das demandas da comunidade científica para utilizar as técnicas de síncrotron. Dentre as 14 linhas previstas para Fase 1, 10 estão em operação e recebendo usuários por meio de chamadas regulares. Além disso, o grande número de usuários no primeiro semestre também representa o esforço do CNPEM em atender o maior número de propostas de pesquisa, uma vez que o Sirius irá realizar uma parada técnica no segundo semestre para instalação e atualização de diversos componentes do acelerador. Ao longo do semestre foram mantidos os esforços para a construção de novas linhas de luz, o que será viabilizado com a conclusão da Fase 1 e início da Fase 2 do Sirius, esta última um projeto do Novo PAC.

Para os demais projetos estruturantes, destacam-se os avanços do Projeto Orion, um complexo laboratorial que abrigará o primeiro laboratório de máxima contenção biológica (NB4) da América Latina. Durante os primeiros meses de 2024, foi finalizado o projeto conceitual, um passo essencial para projetar a espacialidade do laboratório, definindo o posicionamento e os espaços do escritório, dos ambientes laboratoriais - NB2, NB3 e NB4 - dos ambientes de microscopia, imageamento e das linhas de luz que serão integradas ao complexo. Outra etapa importante para infraestrutura do Orion foi o início da terraplanagem no terreno designado para abrigar o laboratório. Já o projeto da Plataforma de Biotecnologia Industrial avançou com a aquisição e comissionamento de equipamentos para a infraestrutura científica.

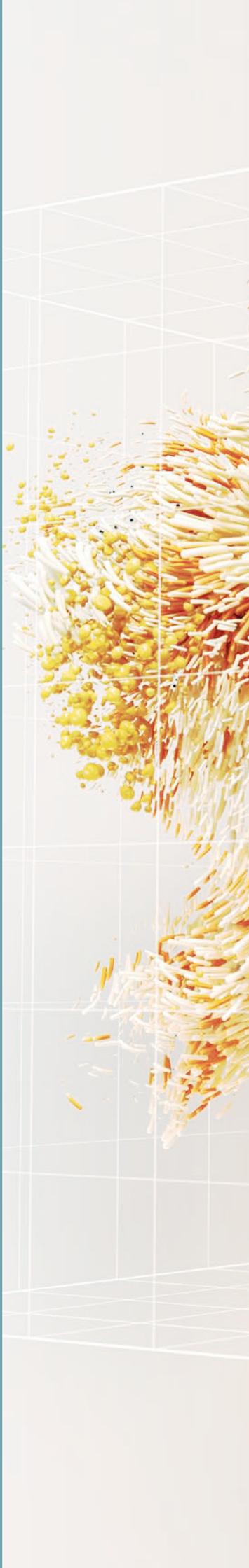
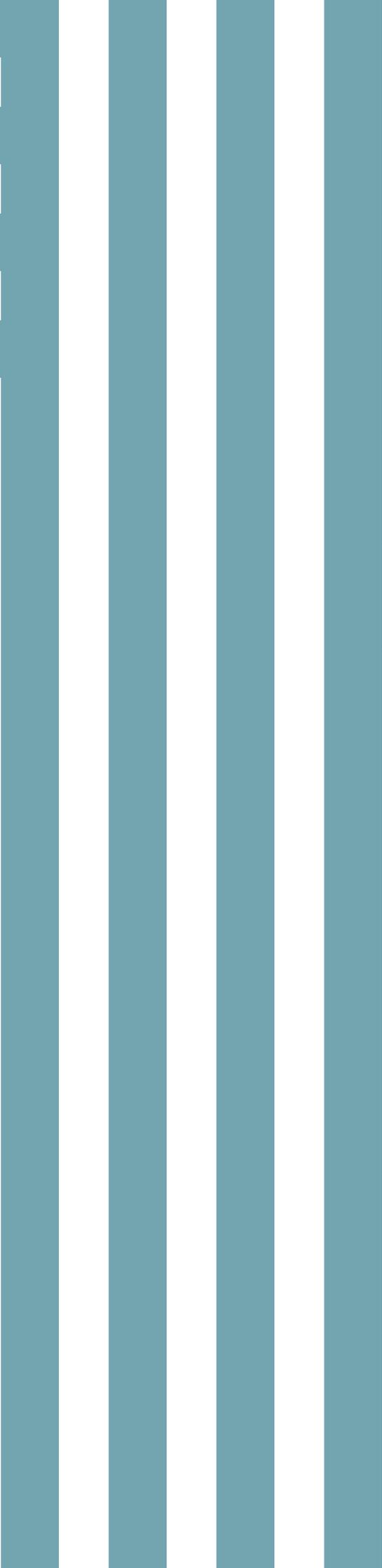
Essa infraestrutura de pesquisa será utilizada pela comunidade científica e industrial para descoberta, desenho e engenharia de enzimas e microrganismos com relevância industrial.

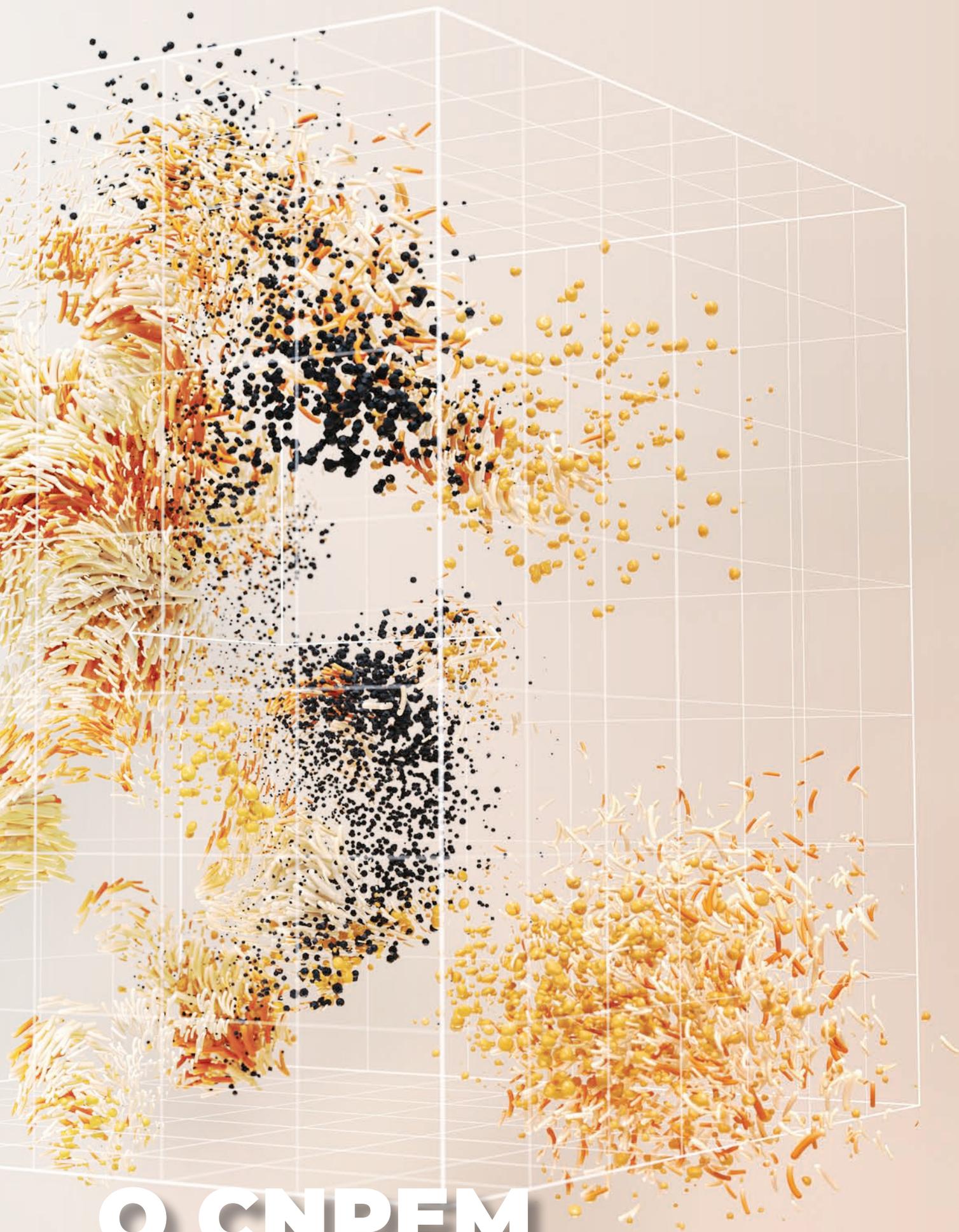
Durante o primeiro semestre do ano, o CNPEM atuou ativamente na finalização da obra do Centro de Vivência da Ilum, que será inaugurado em agosto, após a conclusão das vistorias finais. O Centro de Vivência irá disponibilizar um espaço inovador e multifuncional para conectar, ainda mais, os alunos da Ilum com a comunidade do CNPEM, além de fornecer ambientes voltados para o aprendizado e a colaboração. Destaca-se também o início da terceira turma da Ilum - Escola de Ciência, com um processo seletivo que se tornou um dos mais concorridos do Brasil na área de ciências, com 97 candidatos por vaga. Além disso, neste ano também foi celebrado um acordo bilateral entre a Ilum Escola de Ciência e a Universidade Federal do ABC (UFABC), que visa fortalecer a formação dos alunos da Ilum e a cooperação com outras instituições de ensino e pesquisa. Esse acordo prevê a possibilidade dos alunos graduados na Ilum continuarem seus estudos na UFABC em áreas como física, química, biologia e engenharia.

Com relação à pesquisa e desenvolvimento interno, o CNPEM manteve suas atividades orientadas pelos seus seis Programas Estratégicos – Saúde, Energias Renováveis, Materiais para Sustentabilidade, Biodiversidade, Tecnologias Quânticas e o Programa com Luz Síncrotron – e pelo Programa de Tecnologias Habilitadoras, que ampliam importantes competências para as atividades do Centro em seus quatro Eixos de Atuação.

Os principais avanços do semestre nos Programas de P&D internos e diversos outros resultados do semestre são apresentados neste relatório, que está dividido em duas partes. A Parte I sintetiza os principais resultados institucionais por eixos de atuação, os destaques de comunicação institucional e da gestão orçamentária e financeira do Centro, os avanços científicos e de infraestrutura dos Programas Estratégicos e dos Projetos Estruturantes do Centro. Além disso, são abordadas as atividades desenvolvidas para o apoio à geração de inovação e para o treinamento e capacitação de recursos humanos e, por fim, o anexo com o resultado semestral do quadro de indicadores e metas. Na Parte II, são apresentados os anexos relativos às fichas sumarizadas e evidências dos indicadores específicos de projetos estruturantes e programas de P&D, bem como a ata de aprovação desse material e as respostas às recomendações da Comissão de Acompanhamento e Avaliação do Contrato de Gestão.

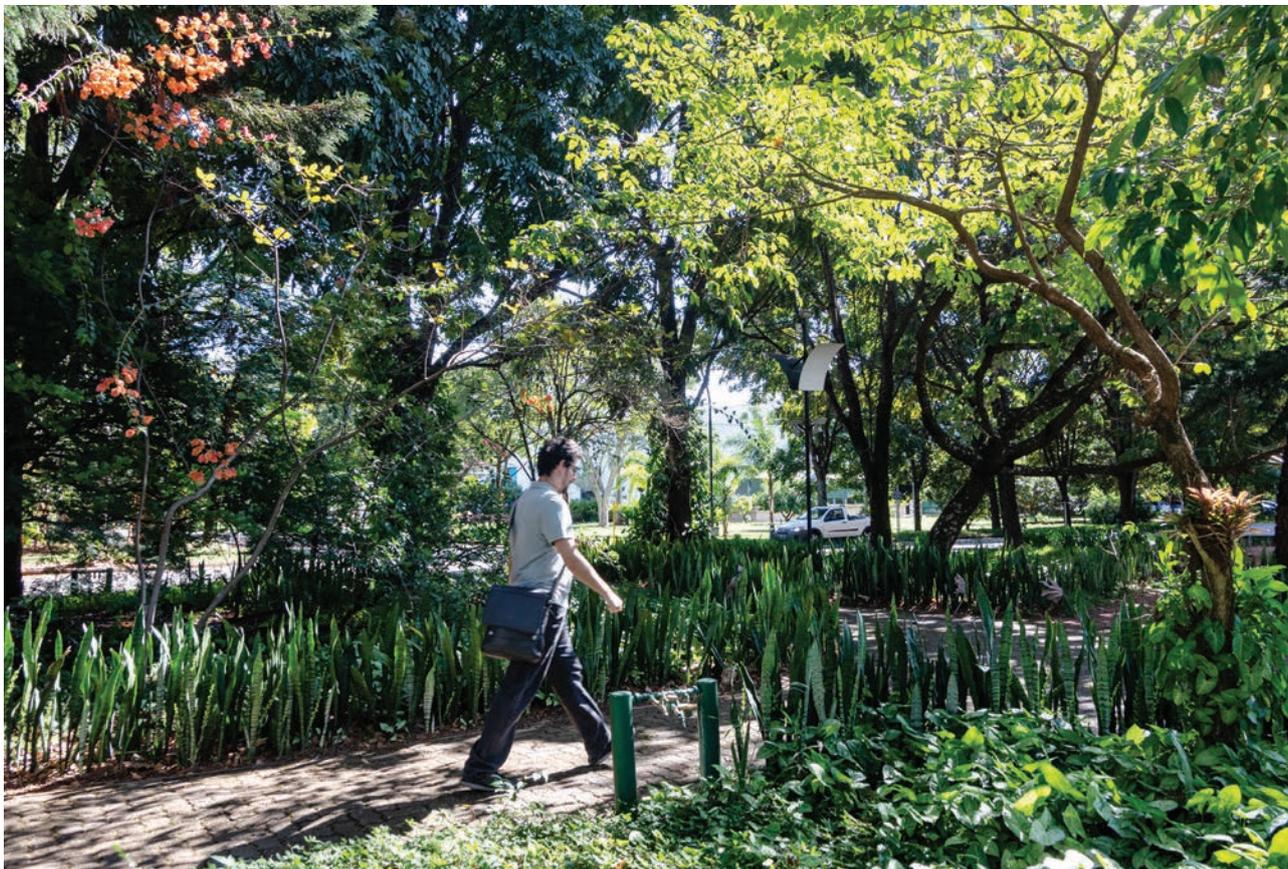
Antonio José Roque da Silva
Diretor-Geral





O CNPEM

Este capítulo apresenta uma síntese dos principais resultados do Centro no primeiro semestre de 2024. São divulgados os números mais relevantes associados às atividades-fim da organização, além de informações sobre recursos humanos, comunicação e gestão orçamentária e financeira.



O **Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)** é uma associação privada, sem fins lucrativos, qualificada como Organização Social pelo Poder Público Federal desde 1997 e supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

O CNPEM foi fundado com a missão de conduzir pesquisas multidisciplinares orientadas para setores estratégicos do País. Formado por quatro Laboratórios Nacionais e berço de um dos mais complexos projetos da ciência nacional – o Sirius, o CNPEM apresenta condições singulares para a ciência e tecnologia, presente em poucos polos científicos no mundo. A coexistência de equipes multidisciplinares altamente especializadas e de infraestruturas laboratoriais modernas e diversificadas situa o CNPEM em uma posição singular e estratégica, totalmente transversal nas suas áreas de atuação (saúde, energia, agricultura, meio ambiente, dentre outras). Enquanto *locus* de construção e operação de ferramentas e instalações únicas, destacam-se três importantes pilares institucionais que fundamentam sua missão:

(i) equipe de excelência formada ao longo de anos; (ii) instalações científicas modernas em um campus único; e (iii) modelo de gestão e cultura com foco em resultados. Essa diversidade e complementaridade favorece as interações e trocas de conhecimento, viabilizando a aceleração do desenvolvimento e da aplicação de tecnologias na fronteira do conhecimento.

Por meio de seus quatro Laboratórios Nacionais, Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Laboratório Nacional de Biociências (LNBio); Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNANO) e Ilum Escola de Ciência, o CNPEM desempenha um papel estratégico junto ao Estado como indutor e executor de políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação. O modelo de operação do CNPEM permite integrar esforços de P&D e estreitar as relações entre as esferas científica e empresarial, constituindo ambiente fértil para a busca e desenvolvimento de soluções para os setores de energia, agricultura, saúde, meio ambiente, químico, entre outros.

Programas Estratégicos e Projetos Estruturantes

O Relatório Semestral 2024 está estruturado de forma a refletir a organização das atividades executadas em cada um dos eixos de atuação. De forma geral, essa organização pode ser dividida em Programas Estratégicos e Projetos Estruturantes.

Os **Programas Estratégicos** descritos neste relatório contemplam atividades do Eixo 1, com o **Programa de Usuários Externos**, que visa o atendimento de usuários acadêmicos do Brasil e do exterior em instalações científicas de ponta, apoio na condução dos experimentos e no acesso ao Centro, especialmente daqueles usuários oriundos de localidades distantes. As atividades do Eixo 2 são descritas nos **Programas Estratégicos de P&D**, através da condução de pesquisa interna em temas estratégicos para o País. Atividades transversais a todos os eixos de atuação são empreendidas

no **Programa de Tecnologias Habilitadoras**, que está relacionado ao desenvolvimento de técnicas e métodos de pesquisa, tecnologias e instrumentação científica que servem de apoio para os quatro Eixos de atuação.

Os **Projetos Estruturantes**, por sua vez, estão relacionados à implantação de infraestruturas de pesquisa e criação de competências científicas que servirão de forma transversal aos quatro eixos de atuação do Centro. Estes projetos exigem um amplo esforço de P&D interna para a criação de soluções aos desafios relacionados à construção de infraestruturas de alta complexidade.

Além destes tópicos, o Relatório apresenta os resultados semestrais a respeito das atividades do Eixo 3 (Apoio à inovação) e Eixo 4 (Treinamento, Educação e Extensão).

EIXOS DE ATUAÇÃO A atuação do CNPEM pode ser desdobrada em quatro eixos:



MISSÃO

Integrar competências singulares em Laboratórios Nacionais para o desenvolvimento científico e tecnológico e o apoio à inovação em energia, materiais e biociências.

VISÃO

Ser reconhecido como um Centro Nacional de Pesquisas dotado de competências para criar conhecimento no estado da arte e desenvolver soluções criativas nas áreas de energia, materiais e biociências para os desafios da sociedade.

O CNPEM em números



TOTAL CNPEM

54.568

horas de uso das instalações

46%

dedicadas a propostas de pesquisas externas

602

propostas de pesquisas externas realizadas,

beneficiando

1.527

pesquisadores externos

LINHAS DE LUZ DO SIRIUS

18.175

horas de uso das linhas de luz

61%

dedicadas a propostas de pesquisas externas

217

propostas de pesquisas externas realizadas,

beneficiando

870

pesquisadores de

145

instituições

63%

instituições nacionais

37%

estrangeiras

DEMAIS INSTALAÇÕES

36.393

horas de uso das instalações

39%

dedicadas a propostas de pesquisas externas

385

propostas de pesquisas externas realizadas,

beneficiando

792

pesquisadores de

72

instituições

94%

instituições nacionais

6%

estrangeiras

102
publicações de pesquisadores externos

4,4
Mediana do Fator de Impacto

133
publicações de pesquisadores internos

4,6
Mediana do Fator de Impacto

40%
em coautoria internacional

45%
classificadas no primeiro quartil

315
pesquisadores colaboradores

Pós-Doutorado	75
Doutorado	103
Mestrado	46
PCI	8
IC	53
Outras Modalidades *	40

*Outras modalidades: pesquisador visitante, bolsista técnico, bolsista Fundep e estagiário Serapilheira

174
estagiários contratados

Nível Superior	150
Nível Técnico	24

30
projetos vigentes em parceria com empresas

Fármacos e medicamentos	6
Petróleo e gás	9
Energias renováveis	6
Química verde	3
Materiais avançados	2
Métodos e dispositivos para a área da saúde	1
Instrumentação avançada	2
Agricultura e agropecuária	1

3 novos projetos em parceria com empresas contratado no ano

2.085 visitantes vieram ao CNPEM no primeiro semestre de 2023

6
Eventos de Capacitação

3
Eventos Científicos

6
Outros eventos

163
participantes externos

159
participantes externos

307
participantes externos

Recursos humanos

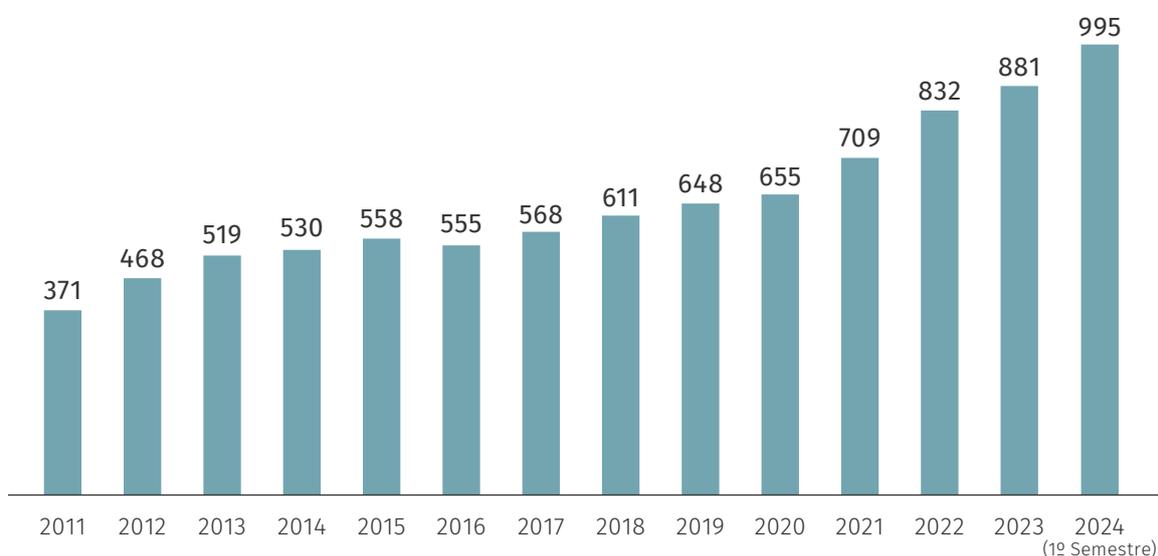


No primeiro semestre de 2024, o CNPEM contou com um quadro de 995 funcionários em regime CLT ativos em 30/06/2024, distribuídos entre os quatro Laboratórios Nacionais, Diretoria Adjunta de Tecnologia (DAT), Ilum Escola de Ciência, Diretoria de Serviços Compartilhados (DSC) e Diretoria Geral (DG). Esse número representa um crescimento de cerca de 9,34% do quadro de funcionários em relação a dezembro de 2023, justificado pelos esforços voltados para a execução de projetos científicos e tecnológicos, distribuídos nos Programas do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), projeto Sirius e outros projetos em colaboração com empresas privadas. O quadro de funcionários esteve distribuído entre as unidades do CNPEM na seguinte proporção: 28% no LNLS; 13% no LNBio; 11% no LNBR; 8% no LNNano; 15% na DAT; 2% na Ilum; 16% na DSC; 7% na DG. Esse pessoal dedicou-se à realização das atividades finalísticas dos Laboratórios Nacionais, DAT e Ilum nos quatro eixos de atuação do CNPEM, bem como às atividades que dão apoio à gestão estratégica, operacional e administrativa do campus. Considerando apenas os Laboratórios Nacionais e a Diretoria Adjunta de Tecnologia, 745 funcionários estiveram dedicados às atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico, o que representa 96,6% do pessoal; os 3,4% restantes são constituídos por 6 diretores e por 19 funcionários dedicados a atividades de apoio administrativo à

gestão dos Laboratórios e da DAT em junho de 2024.

A Diretoria de Serviços Compartilhados foi estruturada em 4 divisões: Processos Administrativos (DPA); Recursos Humanos (DRH); Manutenção e Utilidades (DMU) e Tecnologia da Informação (DTI), com o objetivo de promover maior especialização e eficiência nos serviços prestados ao campus. A DPA ficou constituída por 59 funcionários responsáveis pelas aquisições de materiais e serviços nacionais e importados, assessoria de contratos, gestão de convênios e projetos e gestão de recursos financeiros e biblioteca; a DRH, constituída por 41 funcionários, compreende os processos de administração de pessoal, medicina do trabalho, recrutamento e seleção, treinamento, e desenvolvimento humano e organizacional; a DMU, com 25 funcionários, responde pela pelas atividades de suporte à operação e manutenção da infraestrutura do campus; e a DTI, com 27 funcionários, responde pelos sistemas de informação, infraestrutura de redes e cibersegurança e pelo suporte em TI oferecido ao campus do CNPEM. Nas assessorias da Diretoria Geral, 53 funcionários dedicaram-se as atividades de comunicação institucional, planejamento e avaliação, apoio à inovação, auditoria interna, assessoria jurídica, de governança e compliance, assessoria institucional e proteção radiológica. As atividades da Ilum Escola de Ciência foram conduzidas por 23 colaboradores ativos no final de junho de 2024.

Evolução do Quadro de Funcionários CLT 2011 a 2024 (1º semestre)





Comunicação e Articulação Institucional



Luz sobre Orion

O primeiro semestre de 2024 marcou a conclusão e publicação de diferentes peças de comunicação voltadas às primeiras apresentações do Projeto Orion à sociedade. O site do CNPEM recebeu uma página dedicada ao Projeto. O conteúdo bilingue introduz o Orion, assim como explora suas particularidades, importância estratégica e esclarece as principais dúvidas sobre o Projeto.



Um primeiro impresso sobre o Orion também foi concluído neste período. A mesma encadernação reúne textos em português e inglês e apresenta diferentes frentes do Projeto. São destacadas a sua importância para a soberania nacional, a concepção de um projeto pautado no diálogo com diferentes atores e a disponibilização de instalações versáteis para diferentes tipos de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, são apresentadas competências científicas previstas nesta infraestrutura e medidas de biossegurança comuns a este tipo de empreendimento. A primeira tiragem deste impresso compreendeu 2000 unidades, destinadas a contatos envolvidos com o Orion e para a distribuição no evento de lançamento de sua pedra fundamental.

Os avanços do projeto Orion, como aqueles relacionados ao início das obras civis, o treinamento de recursos humanos e as visitas de especialistas na área de virologia, biossegurança e saúde, foram acompanhados e registrados neste período. Textos e vídeos sobre essas ações foram publicados no website do CNPEM, assim como nas redes sociais do CNPEM. Ressalta-se, neste contexto, a ação de comunicação interna que reuniu colaboradores de todo CNPEM em registro fotográfico que marcou o início das escavações no terreno do Orion.



Lançamento da Pedra Fundamental do Projeto Orion

No dia 4 de julho, o Presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, esteve no CNPEM para lançar a pedra fundamental do Projeto Orion e celebrar a continuidade do Projeto Sirius, com o financiamento de sua segunda fase, que inclui mais 10 estações de pesquisa. Embora a agenda tenha se concretizado no início do segundo semestre, as tratativas para a ocasião se concentraram no período deste relatório.



Ao lado de Luciana Santos, ministra da Ciência, Tecnologia e Inovação, da Nísia Trindade, ministra da Saúde, de Márcio França, ministro do Empreendedorismo, da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte, e de Aloizio Mercadante, presidente do BNDES, o Presidente Lula cumpriu uma agenda de mais de quatro horas no CNPEM. A programação incluiu almoço restrito à comitiva do Governo Federal e aos Conselheiros e Diretores do CNPEM, apresentação dos destaques da atuação do CNPEM em diferentes frentes por colaboradores do Centro, visita às instalações do Sirius e ao terreno do Orion, e a solenidade de descerramento da Pedra Fundamental do Projeto Orion, acompanhada por cerca de 800 pessoas, dentre convidados e colaboradores do CNPEM. Na ocasião, também foi lançado um vídeo sobre o Projeto.



Acese o QR Code para ver vídeo sobre o Projeto Orion



Em seus discursos, as autoridades que estiveram no evento destacaram à imprensa como o CNPEM e seus projetos atestam a capacidade do País estar na vanguarda da ciência e do desenvolvimento tecnológico, além de enfatizar o papel estratégico do Orion para o desenvolvimento da pesquisa, saúde e soberania nacional.



Estreitar e ampliar laços

A base de assinantes de informativos do CNPEM é constantemente revisada e atualizada. De modo geral, hoje o mailing list do CNPEM é alimentado por meio das seguintes fontes: inscritos em eventos e websites institucionais; base de relacionamento institucional das Diretorias; contatos de visitas;

usuários inscritos via SAU Online; e candidatos de processos de recrutamento de recursos humanos interessados. Ao final do primeiro semestre, a base de assinantes do CNPEM chegou a reunir pouco mais de 68 mil contatos de diferentes perfis, destinatários dos boletins e newsletter CNPEM.

Newsletter e Boletim CNPEM

O CNPEM instituiu, em 2023, duas novas ferramentas de comunicação: a *Newsletter* CNPEM e o Boletim CNPEM. Entre janeiro e junho de 2024 o Centro enviou 2 edições da *Newsletter* e 13 edições do Boletim. O objetivo da *Newsletter* é consolidar os principais destaques do Centro em um comunicado digital destinado a toda base de assinantes do CNPEM, composta por mais de 68 mil contatos. Desde o início, a taxa média de abertura dos e-mails *Newsletter* CNPEM é de 26%.

O Boletim, por sua vez, é um informativo eletrônico, disparado por e-mail com frequência semanal (intervalo que pode ser ampliado

a depender da agenda das Unidades), para divulgar destaques e oportunidades factuais, como eventos com inscrições abertas, resultados de pesquisa, chamadas de instalações abertas e outros temas. Os boletins têm como público-alvo a comunidade acadêmica e demais perfis aderentes às atividades-fim do CNPEM. Desde o início, a taxa média de abertura dos e-mails Boletim CNPEM é de 29%.

Esses comunicados são essenciais à promoção das atividades realizadas pela instituição e permite estreitar laços com diferentes perfis de público, valorizando as atividades do CNPEM.



Centro de Visitantes

Aproximar o fazer científico da sociedade é uma pauta de extrema importância para o CNPEM. A popularização da ciência passa pela disponibilização democrática de espaços que estimulem a curiosidade científica e aproximem a população de temas presentes no dia a dia, “do laboratório para a vida”.

Inspirado em exemplos nacionais e internacionais de sucesso e motivado pelo crescente interesse público pela atuação do CNPEM, a instituição vem desenvolvendo o projeto de um “Centro de Visitantes” que busca não só apresentar o CNPEM à sociedade, como instigar o pensamento crítico a respeito de pautas que delineiam o futuro. Entre elas, novas formas de energia, biocombustíveis, mudanças climáticas, conservação da biodiversidade, prevenção de novas epidemias e promoção da saúde.

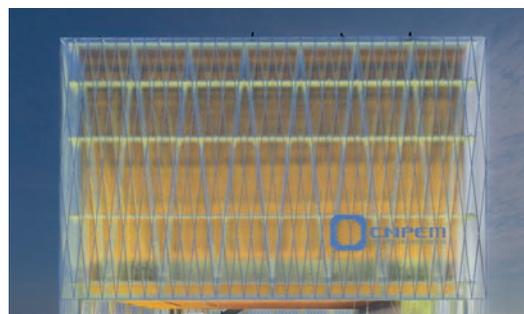
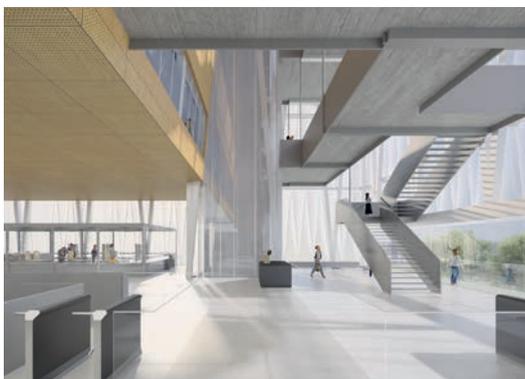
O projeto almeja ainda despertar o encantamento no público, envolver a sociedade com o CNPEM, despertar o senso de orgulho pela ciência e tecnologia produzida no país e apoiar a formação continuada de professores.

No primeiro semestre de 2024, o CNPEM deu início ao projeto arquitetônico do Centro de Visitantes. Sete empresas/consórcios se

qualificaram para realizar o projeto, dentre as quais venceu um consórcio composto pelas empresas Estúdio 41 e Neo Engenharia.

Iniciado em março, o projeto arquitetônico está sendo planejado com base nos estudos e diretrizes desenvolvidos durante a etapa conceitual, realizada no ano passado com apoio da agência de design alemã Atelier Brückner. O contrato em execução inclui estudo preliminar, anteprojeto, projeto legal, projeto básico de arquitetura e projetos complementares de engenharia, além de orçamentação de obras para a futura implantação das edificações.

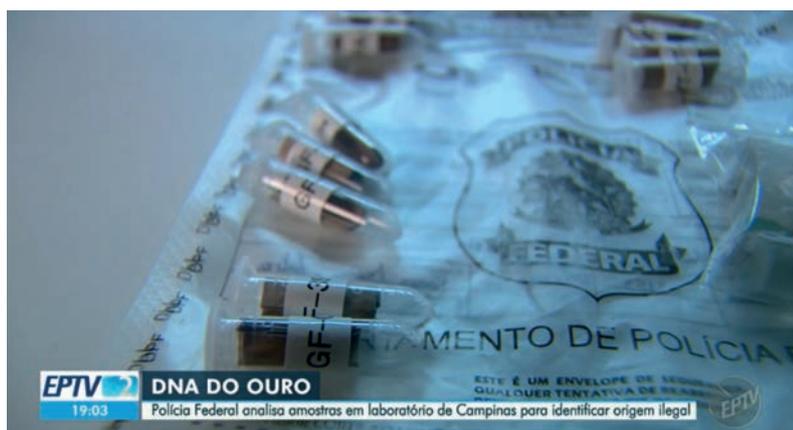
Com área estimada em 5.000 m², o Centro de Visitantes do CNPEM deverá incluir galerias de exposição permanente, espaços internos e externos dedicados ao público infantil, infraestrutura para exposições temporárias de parceiros do Brasil e do exterior, auditório para 200 pessoas, cinema 360o para 50 pessoas, além de um centro de aprendizagem planejado para receber grupos de estudantes e professores, dotado de bancadas laboratoriais e outros equipamentos para experimentação.



Visitas

Neste primeiro semestre iniciou-se o processo de reestruturação do Programa de Visitas do CNPEM, com o objetivo de ampliar o número de visitantes atendidos e aperfeiçoar tanto a didática quanto a logística envolvida nessas atividades. Uma empresa especializada foi contratada para, juntamente à equipe de Comunicação, trabalhar no diagnóstico de gargalos e oportunidades do programa e propor estratégias de melhoria qualitativa para o Programa de Visitas.

Destaques de imprensa



DNA do Ouro: Sirius brilha no Jornal Nacional ao realizar análise científica solicitada pela polícia Federal

Dia 30 de março, em matéria de destaque no Jornal Nacional, exibido pela Rede Globo, Investigação realizada nas Linhas Carnaúba e Mogno analisou 57 amostras de ouro de todo o Brasil, incluindo áreas ilícitas.

O projeto Ouro Alvo possui a intenção de rastrear e combater extração ilegal de metais em terras indígenas e unidades de conservação. A Polícia Federal recorreu à capacidade do Sirius de identificar e quantificar elementos particulares a localizações e características geográficas de materiais, para enriquecer um banco de dados que possa futuramente auxiliar na rápida identificação da origem até mesmo de joias apreendidas

A matéria foi exibida pela EPTV em 13 de março e repercutida também pelo G1 em 30 de março.

Superlaboratório é usado para identificar origem e legalidade de amostras de ouro (EPTV)

Entenda tecnologia usada pela PF para identificar se ouro foi extraído ilegalmente de reservas indígenas (G1 e Jornal Nacional)



Brasil é 1º país das Américas com status de 'Estado Membro' do CERN

Após anúncio no site do Governo Federal, a adesão do Brasil ao CERN foi publicada no G1. O País é o primeiro das Américas a tornar-se "Estado Membro Associado" da Organização Europeia de Pesquisa Nuclear. O CNPq, que já possui parceria formal com o Centro desde 2020, teve papel fundamental na associação, e todo o conhecimento, desenvolvimento científico, tecnológico e industrial proveniente da construção e condução do Sirius serão frutíferos na participação do Brasil em tomadas de decisão, concorrências em licitações e cooperações científicas do consórcio.

Brasil é 1º país das Américas com status de 'Estado Membro' do CERN, que abriga maior colisor de partículas do mundo; entenda

Brasil finaliza processo de adesão ao CERN, maior centro científico do mundo



Ministra de Ciência e Tecnologia visita CNPEM em Campinas

Ministra da Ciência, Tecnologia e Inovação visita o CNPEM

Visita da Ministra de Ciência, Tecnologia e Inovação, Luciana Santos, ao CNPEM no dia 14 de junho foi matéria no site do Governo Federal, EPTV Campinas e G1. O principal tema da visita foi o novo laboratório de biossegurança máxima Orion, crucial para a autonomia tecnológica do Brasil contra futuras pandemias. A ministra enfatizou a importância estratégica do investimento em pesquisa e inovação para fortalecer a resposta nacional a crises de saúde. Foram também discutidas políticas para impulsionar o desenvolvimento científico e a capacidade de produção de vacinas e medicamentos no País. Santos reforçou o compromisso do governo em apoiar iniciativas que promovam a soberania tecnológica e a segurança sanitária nacional.

Ministra de Ciência e Tecnologia visita CNPEM em Campinas

Ministra do MCTI visita obras do laboratório de biossegurança máxima Orion

Laboratório de R\$ 1 bilhão dará 'autonomia tecnológica' para país combater futuras pandemias, diz ministra centro científico do mundo



Centro que abriga Sirius e Einstein se unem para avanços nos estudos de novos vírus e doenças genéticas

Acordo prevê intercâmbio e uso de infraestrutura, e deve impactar na formação e reserça de cientistas, inclusive visando o Orion, laboratório de R\$ 1 bilão em construção em Campinas (SP) que será único no mundo.

Por Fernando Evans, G1 Campinas e Região
Publicado em 02/03/2024 às 10h30



Parcerias visando a retenção de talentos no Brasil

Notícia publicada dia 4 de março pelo G1 anuncia a colaboração científica firmada entre o CNPEM e a Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein. Os focos serão em vírus emergentes, doenças genéticas e engenharia de tecidos. O acordo inclui intercâmbio de pesquisadores, uso compartilhado de equipamentos e infraestrutura, além de iniciativas para retenção de talentos no país. A parceria envolve o Sirius e o Orion. Desenvolvida ao longo de um ano, a colaboração foi anunciada oficialmente na terça-feira dia 5 de março de 2024.

Centro que abriga Sirius e Einstein se unem para avanços nos estudos de novos vírus e doenças genéticas



Pesquisa revela potencial dos biomateriais para fármacos

Comunidade extrativista torna-se co-depositária da patente

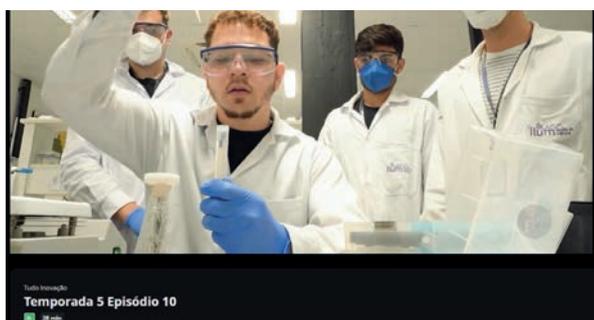
Por Andrea Yáñez - Da Schneider
Publicado em 05/06/2024 às 10h30



Pesquisa revela potencial dos biomas para fármacos

A potência do encontro do conhecimento tradicional associado aos biomas brasileiros é tema da matéria Pesquisa revela potencial dos biomas para fármacos, publicada no caderno de Meio Ambiente do Valor Econômico de cinco de junho. O projeto Descoberta de Fármacos do CNPEM, que conta com uma biblioteca com cerca de 10 mil amostras químicas da biodiversidade coletadas a partir de cerca de mil plantas, bactérias e fungos ao longo da última década, já demonstrou que os biomas brasileiros possuem um grande potencial. A biodiversidade do país oferece uma vasta fonte de compostos bioativos com propriedades medicinais. Além disso, pela primeira vez, as comunidades locais foram co-depositárias de uma patente, destacando a importância do co-desenvolvimento para a exploração sustentável desses recursos.

Pesquisa revela potencial dos biomas para fármacos



Temporada 5 Episódio 10

Episódio 10 da quinta temporada da série Tudo Inovação, produzida pela EPTV, apresenta a Ilum, destacando o diferencial da escola e depoimentos de alunos, professores e da direção da escola, comentando seus projetos, vivências e estímulos ao empreendedorismo.

Tudo Inovação EPTV – Ilum Escola de Ciência



'Ciência Aberta': centro que abriga o Sirius terá dia exclusivo para receber escolas e grupos de alunos; saiba como se inscrever

Dia 9 de maio, o G1 inaugurou a divulgação da nova edição do Ciência Aberta 2024, destacando o novo formato do evento, que será em dois dias, oferecendo atividades para todas as idades. O dia 9 de agosto será dedicado a escolas e o dia 10 ao público geral. A matéria também destacou o público de dezesseis mil pessoas e as oitenta e cinco atrações oferecidas em 2023.



G1 - Superlaboratório Sirius será usado para analisar pela 1ª vez rochas do pré-sal em 'condições reais'

Com a capacidade singular de analisar amostras simulando condições extremas de temperatura e pressão, a Linha de Luz Mogno, do Sirius, é destaque em matéria do G1. Rochas do pré-sal serão analisadas em condições análogas às de reservatórios de petróleo a sete quilômetros de profundidade em um projeto de quatro anos. Este acordo conta com parcerias nacionais e internacionais, e poderá oferecer informações importantes como fluxos de óleo entre as porosidades das rochas sob condições nunca estudadas.



Época Negócios: Como a corrida dos biocombustíveis pode ajudar o setor de transportes na descarbonização

No dia 18 de março, uma notícia publicada pela Época Negócios deu destaque à ascensão do setor de biocombustíveis no Brasil, enfatizando diversas iniciativas lideradas por empresas na produção de biodiesel e etanol de segunda geração (E2G). A reportagem também noticiou uma enzima desenvolvida no CNPEM, a descarboxilase OleTPRN. A enzima pode revolucionar a produção de bioquerosene de aviação. Essa enzima, derivada da bactéria *Rothia nasimurium*, facilita a desoxigenação dos combustíveis, oferecendo uma alternativa sustentável aos catalisadores tradicionais baseados em metais, o que pode reduzir significativamente as emissões de carbono do setor aéreo.



Revista FAPESP

No início de 2024, a edição 335 da Revista FAPESP destacou duas pesquisas do CNPEM, abordando os avanços no desenvolvimento da técnica de impressão 3D de tecidos humanos, e o uso do Sirius na observação e entendimento das propriedades da perovskita para o desenvolvimento de fontes de energia fotovoltaicas. O CNPEM está envolvido em pesquisas com "organ on a chip" e impressão 3D para criar modelos de tecidos humanos, como pele, intestino e fígado, usados para testar a toxicidade e eficácia de cosméticos e medicamentos. Esses avanços ajudam a substituir testes em animais e permitem simulações precisas de funções corporais. A perovskita é altamente eficiente em conversão de energia e baixo custo de produção. Por essa razão, instituições do mundo todo, incluindo o CNPEM investigam o material e seu potencial, muitos contando com o Sirius para estudar a estrutura e as propriedades eletrônicas de seus componentes, permitindo a otimização de performance em sua utilização em células solares.

Avança a técnica de impressão 3D de tecidos humanos

Brasil está na corrida pelas células que vão revolucionar a energia solar



Brasil se prepara para produzir combustível sustentável de aviação

Publicado em março, a edição 337 da Revista FAPESP apresenta matéria detalhada sobre os esforços nacionais para produção e uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) para reduzir as emissões de CO₂ do setor aéreo. O CNPEM é um dos principais atores da iniciativa, liderando projetos como o BioValue, que desenvolve biocombustíveis avançados com colaboração internacional. Diversas empresas brasileiras, como a Petrobras e a Acelen, já anunciaram planos de produção de SAF. A legislação em discussão também visa fomentar essa indústria no país.



Agência FAPESP: Estudo brasileiro está entre os mais relevantes do periódico Nature Structural and Molecular Biology

No dia 5 de junho, a Agência FAPESP noticiou um estudo brasileiro conduzido pelo CNPEM e pela USP, destacado como um dos mais importantes pela revista Nature Structural and Molecular Biology. A pesquisa revelou um novo mecanismo de bloqueio da mitofagia (degradação seletiva das mitocôndrias por autofagia), por filamentos que alongam as mitocôndrias e impedem que sejam “cortadas”, comportamento que nunca havia sido descrito. Além disso, para confirmar a existência dos filamentos, a pesquisa utilizou, de forma inédita no Brasil, técnicas de fronteira como a criomicroscopia eletrônica para a caracterização de proteínas.

www.nature.com/articles/s41594-024-01248-z



Correio Popular: Pesquisa com uso do Sirius gera esperança de tratamento para doenças fatais em mamíferos

O CNPEM foi tema no jornal Correio Popular impresso e web do dia 5 de março. Pesquisa feita em parceria entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Centro Alemão de Doenças Neurodegenerativas (DZNE) utilizou a linha de luz Cateretê do Sirius para investigar doenças priônicas (causadas por proteínas), como a encefalopatia espongiforme bovina (doença da vaca louca) e sua variante humana, a doença de Creutzfeldt-Jakob. As descobertas, publicadas no periódico Science Advances, empregaram técnicas biofísicas avançadas, incluindo espectroscopia de raios X de correlação de fótons, demonstrando a transição das proteínas prion do estado líquido ao sólido. Esse conhecimento pode auxiliar o desenvolvimento de fármacos que se beneficiem do estado líquido e viabilizem tratamentos para os distúrbios encefálicos degenerativos fatais que afetam mamíferos.



Comissão Brasil-Alemanha avalia cooperações bilaterais em Ciência, Tecnologia e Inovação

No dia 18 de junho, o site do Governo Federal publicou o encontro da Comissão Brasil-Alemanha revisou cooperações em Ciência, Tecnologia e Inovação, destacando projetos como a parceria entre o CNPEM e Instituto Roberto Koch na construção do laboratório de máxima biossegurança, conectado ao Sirius. Os países enfatizaram a importância dessas iniciativas para avanços científicos e tecnológicos bilaterais, promovendo inovação e desenvolvimento sustentável.

Gestão Orçamentária e Financeira do Contrato de Gestão



No primeiro semestre de 2024 não foram celebrados novos Termos Aditivos ao Contrato de Gestão entre o CNPEM e o MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Neste semestre, destaca-se o recebimento do recurso de R\$ 9,8 milhões destinado à operação da ILUM – Escola de Ciência, contratado no final de 2023 via o 43º Termo Aditivo com a interveniência do Ministério da Educação (MEC). Este repasse encerra as transferências dos valores empenhados ao CNPEM em 2023.

Execução Orçamentária do Contrato de Gestão CNPEM (Ação Orçamentária 212H PO.003)

A reprogramação do saldo financeiro apurado em dezembro de 2023, no total de R\$ 132 milhões, viabilizou a execução orçamentária da operação do CNPEM via a Ação Orçamentária 212H no primeiro semestre de 2024. A execução totalizou R\$156,8 milhões, dos quais R\$ 64,5 milhões foram realizados e R\$ 92,3 milhões estão comprometidos até o final deste ano.

**Tabela 1 - Orçamento 2024: valores executados
por natureza de despesa, exceto projetos (em R\$)**

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	41.514.836	50.840.823	92.355.659
Custeio	19.808.133	23.356.632	43.164.766
<i>Destaque: Energia Elétrica</i>	<i>3.054.820</i>	<i>3.384.970</i>	<i>6.439.791</i>
Investimento	3.137.769	18.128.616	21.266.384
Total	64.460.738	92.326.071	156.786.809

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Posição Financeira do Contrato de Gestão CNPEM

O fluxo financeiro do primeiro semestre de 2024 é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 2 - CNPEM: Fluxo financeiro semestral do Contrato de Gestão em 2024, exceto projetos (Em R\$)

Saldo Inicial	132.240.049
Entradas de Recursos	4.362.267
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	4.319.910
Outras Entradas	42.357
Saída de Recursos	70.488.139
Saldo Financeiro em 30/06/2024	66.114.177

A composição do saldo financeiro do Contrato de Gestão, no montante de R\$ 66 milhões, é dada pela Reserva Operacional do Centro (52%) e Reserva Técnica do Conselho de Administração (44%). Esta última é destinada a passivos contingentes do Contrato de Gestão, enquanto a Reserva Operacional visa honrar compromissos assumidos e ainda não pagos. Os 4% restantes da composição representam a Reserva para Contingências, uma segregação necessária devido à exigência do Conselho Fiscal da Instituição, que foi estabelecida para garantir cobertura a passivos judiciais trabalhistas do CNPEM em curso.

Tabela 3 - Detalhamento do saldo financeiro do Contrato de Gestão em 2024, exceto projetos (em R\$)

Saldo Financeiro em 30/06/2024	66.114.177
Reserva Técnica do Conselho de Adm.	29.354.229
Reserva financeira para Contingências	2.628.075
Reserva Operacional CNPEM	34.131.873

Projeto Sirius (Ação Orçamentária 13CL)

O Projeto Sirius é destaque no novo Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) do governo federal. Para o ano de 2024 é esperado uma contratação de R\$ 226,3 milhões via recursos do FNDCT e Administração Direta. Os Termos Aditivos ao Contrato de Gestão referentes a estes valores estão em tramitação no MCTI até a elaboração deste relatório.

A execução orçamentária do projeto somou R\$ 179 milhões neste primeiro semestre, 59% deste valor são compromissos firmados com fornecedores e projeção de custo de pessoal dedicado ao projeto até dezembro deste ano.

Tabela 4 - Projeto Sirius - Orçamento 2024: valores executados por natureza de despesa (em R\$)

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	28.163.438	30.408.087	58.571.525
Custeio	24.180.635	25.420.950	49.601.585
<i>Destaque: Energia Elétrica</i>	10.268.245	12.001.258	22.269.503
Investimento	21.550.003	50.251.356	71.801.359
Total	73.894.076	106.080.393	179.974.469

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Tal execução foi possibilitada pela reprogramação de saldo de 2023, no montante de R\$ 359 milhões.

Tabela 5 - Projeto Sirius: Fluxo financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)

Saldo Inicial	358.965.576
Entradas de Recursos	13.518.325
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	13.514.312
Outras Entradas	4.013
Saída de Recursos	71.553.755
Saldo Financeiro em 30/06/2024	300.930.146

Os destaques da execução do Projeto Sirius no primeiro semestre de 2024 foram as entregas de parte da infraestrutura das linhas Jatobá, Sape e Ema, com a fabricação e instalação das cabanas de proteção radiológica.

Projeto Orion (Ação Orçamentária 15XQ / 1630)

O Projeto Orion, um novo complexo laboratorial para pesquisa em patógenos e que abrigará o primeiro laboratório de máxima segurança biológica de nível 4 da América Latina, passou a integrar o Novo Plano de Aceleração do Crescimento, com repasses de recursos pela Ação 1630. Estão sendo negociados junto ao MCTI o repasse de R\$ 300 milhões para o ano de 2024, com recursos do FNDCT, porém este valor não foi empenhado até a elaboração deste relatório.

A execução Orçamentária do Projeto Orion em 2024, no montante de R\$ 72,8 milhões, foi viabilizada pela reprogramação do saldo financeiro de dezembro de 2023, de R\$ 238 milhões, montante que corresponde aos empenhos de anos passados das Ações 212H e 15XQ.

As tabelas a seguir detalham, respectivamente, os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do Projeto.

**Tabela 6 - Projeto Orion - Orçamento 2024:
valores executados por natureza de despesa (em R\$)**

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	8.194.860	9.827.761	18.022.621
Custeio	2.206.133	2.244.779	4.450.912
Investimento	14.509.668	35.833.709	50.343.377
Total	24.910.661	47.906.249	72.816.910

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Os destaques da execução do projeto neste primeiro semestre do ano foram as aquisições para o laboratório de patógenos, infraestrutura pré-existente do Laboratório Nacional de Biociências utilizados nas pesquisas preliminares, como também o início do desenvolvimento do FrontEnd das linhas do Sirius que fazem parte da infraestrutura do laboratório de alta contenção biológica (SIBIPIRUNA, TIMBÓ e HIBISCO). Além das aquisições para as infraestruturas já existentes, foram contratados o Projeto básico, executivo, arquitetônico e legal, somando os dispêndios de obras em R\$ 24,6 milhões.

**Tabela 7 - Projeto Orion: Fluxo financeiro
do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)**

Saldo Inicial	237.629.639
Entradas de Recursos	9.559.219
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	9.558.018
Outras Entradas	1.201
Saída de Recursos	27.177.917
Saldo Financeiro em 30/06/2024	220.010.941

Projeto SisNano (Ação Orçamentária 14XT)

O Projeto SisNano de expansão das áreas de nanotecnologia do CNPEM executou R\$ 1,5 milhões no primeiro semestre, possibilitada pela reprogramação do saldo financeiro de 2023, no valor de R\$ 1,4 milhões. Para esta Ação foram destinados R\$ 699 mil no plano orçamentário do MCTI via Administração Direta, este Termo Aditivo está em tramitação junto ao MCTI até a publicação deste relatório.

Os dados orçamentários e financeiros são discriminados abaixo.

Tabela 8 - Projeto SisNano - Orçamento 2024: valores executados por natureza de despesa (em R\$)

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Custeio	377.781	331.431	709.212
Investimento	665.657	115.115	780.772
Total	1.043.438	446.546	1.489.984

*O valor comprometido refere-se a pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas no ano vigente, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Tabela 9 - Projeto SisNano: Fluxo Financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)

Saldo Inicial	1.411.753
Entradas de Recursos	66.973
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	16.630
Outras Entradas	50.343
Saída de Recursos	1.067.391
Saldo Financeiro em 30/06/2024	411.335

Os destaques da execução da Ação 14XT neste semestre são a atualização da infraestrutura científica, com a aquisição de equipamentos e adequação predial, além do custeio para manutenção preventiva e corretiva dos microscópios. Tais despesas são essenciais para manter a operação dentro das especificações técnicas e com ótima performance, evitando assim longos períodos sem operação das instalações.

ILUM Escola de Ciência (Ação Orçamentária 212H - MEC)

Para 2024, a dotação atual dos recursos da Ação 212H, com interveniência do Ministério da Educação (MEC) para a ILUM Escola de Ciência, está no patamar de R\$ 10 milhões. Este Termo Aditivo para 2024 está em tramitação até a publicação deste relatório e é importante ressaltar que permanece no mesmo patamar das contratações dos anos anteriores, mesmo com a expansão dos alunos matriculados a partir do início da terceira turma.

No primeiro semestre de 2024, a ILUM Escola de Ciência recebeu o repasse financeiro dos valores empenhados no final de 2023, no montante de R\$ 9,8 mi. A reprogramação do saldo financeiro, de R\$ 12,7 milhões, e o recebimento dos recursos de 2023 possibilitaram a execução orçamentária para manutenção das atividades da Escola, como as demandas do corpo estudantil, com aproximadamente 120 alunos em curso, o quadro de colaboradores e manter e operar a infraestrutura da Escola.

As tabelas a seguir detalham, respectivamente, os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do Projeto.

**Tabela 10 - ILUM - Orçamento 2024:
valores executados por natureza de despesa (em R\$)**

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	2.706.618	2.929.261	5.635.879
Custeio	3.050.337	2.944.286	5.994.623
<i>Destaque: Apoio aos Estudantes</i>	<i>1.453.018</i>	<i>1.269.212</i>	<i>2.722.230</i>
Investimento	784.017	247.357	1.031.374
Total	6.540.972	6.120.904	12.661.876

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

**Tabela 11 - ILUM: Fluxo Financeiro
do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)**

Saldo Inicial	12.727.342
Entradas de Recursos	10.484.686
Contrato de Gestão 2024	-
Restos a Pagar 2023	9.757.736
Rendimentos Financeiros	726.950
Outras Entradas	-
Saída de Recursos	6.405.430
Saldo Financeiro em 30/06/2024	16.806.598

O destaque da execução deste semestre é a parte de investimento aplicado para a finalização do projeto do Centro de Vivência para os alunos no Campus do CNPEM, com a implementação do audiovisual e finalização da infraestrutura civil. As demais despesas desse projeto foram centralizadas em fonte específica, que será demonstrada a seguir.

Centro de Vivência (Ação Orçamentária 212H)

O recurso específico para o projeto do Centro de Vivência, que será voltado para atender os estudantes da ILUM no Campus principal do CNPEM, foi assinado em 2021, por meio do 37º TA, no montante de 8 milhões, e repassados ao Centro em meados de 2022.

As despesas para a execução do projeto em 2024 foram financiadas pelo saldo financeiro reprogramados de 2023, no valor de R\$ 5 milhões, e pelo aporte da ação de operação do CNPEM. Essa complementação foi necessária pois o valor da obra foi superior ao valor contratado pelo 37º Termo Aditivo.

Tabela 12 - Projeto CVillum - Orçamento 2024: valores executados por natureza de despesa (em R\$)

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Custeio	10.084	-	10.084
Investimento	5.114.318	(1.487.040)	3.627.278
Total	5.124.402	(1.487.040)	3.637.362

*O valor comprometido refere-se a pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas no ano vigente, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

O valor que será aportado da ação de operação do CNPEM é demonstrado no comprometido de investimento, a transferência está programada para meados do segundo semestre, em consonância a conclusão da obra.

Tabela 13 - CVillum: Fluxo Financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)

Saldo Inicial	4.985.031
Entradas de Recursos	120.384
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	120.384
Outras Entradas	-
Saída de Recursos	4.365.550
Saldo Financeiro em 30/06/2024	739.865

Centro de Visitantes (Ação Orçamentária 212H)

O projeto do Centro de Visitantes visa a disseminação e promoção da ciência, além de incentivar a educação em níveis local, regional e nacional, com base nas pesquisas realizadas pelo CNPEM. O projeto inclui o desenvolvimento dos planos conceitual e executivo para o Centro de Visitantes do CNPEM. Financiado pelo 37º Termo Aditivo, o projeto recebeu R\$ 15 milhões, contratados em 2021 e disponibilizados financeiramente ao Centro em 2022.

A execução orçamentária do projeto neste primeiro semestre, no montante de R\$ 2,2 milhões, foi viabilizada pela reprogramação do saldo financeiro de 2023, no valor de R\$ 13,5 milhões. Dos destaques desta execução, vale ressaltar a manutenção da equipe dedicada ao projeto e a contratação do projeto básico com a empresa Estudio 41 Arquitetura LTDA, com o fornecimento do projeto arquitetônico, engenharia civil, e coordenação da obra, que deve ter seu início da execução no próximo semestre.

As tabelas a seguir detalham, respectivamente, os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do Projeto:

Tabela 14 - Projeto Centro de Visitantes - Orçamento 2024: valores executados por natureza de despesa (em R\$)

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	179.208	175.950	355.158
Custeio	9.619	286.689	296.308
Investimento	-	1.500.000	1.500.000
Total	188.827	1.962.639	2.151.466

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Tabela 15 - Projeto Centro de Visitantes: Fluxo financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)

Saldo Inicial	13.464.489
Entradas de Recursos	560.212
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	560.212
Outras Entradas	-
Saída de Recursos	224.642
Saldo Financeiro em 30/06/2024	13.800.059

Plataforma de Biotecnologia Industrial (Ação Orçamentária 212H)

A Plataforma de Biotecnologia Industrial (PlatBiotec) é um projeto estruturante do CNPEM, que fornece infraestrutura de pesquisa para a descoberta, design, engenharia de enzimas e microrganismos, além do desenvolvimento de processos com níveis de maturidade tecnológica (TRL) de 3 a 5. O projeto recebeu recursos através do 37º Termo Aditivo, assinado em 2021, com um repasse financeiro de R\$ 35 milhões em 2022, e do 40º Termo Aditivo, assinado em 2022, com um repasse de R\$ 30 milhões em 2023, totalizando R\$ 60 milhões.

A execução deste projeto neste primeiro semestre de 2024 foi viabilizada pela reprogramação do saldo financeiro de 2023, no valor de R\$ 31,5 milhões. Os destaques desta execução, que somou R\$ 6,3 milhões, foram as contratações de serviços técnicos científicos e insumos laboratoriais para os laboratórios que participam da implantação da plataforma de biotecnologia industrial, além da aquisição de equipamentos para a infraestrutura científica, como o gerenciador de colunas para possibilitar a cromatografia bidimensional em um sistema quaternário de solventes.

As tabelas a seguir detalham, respectivamente, os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do Projeto.

**Tabela 16 - Projeto PlatBlotec - Orçamento 2024:
valores executados por natureza de despesa (em R\$)**

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	1.801.318	1.934.720	3.736.038
Custeio	443.101	1.065.765	1.508.866
Investimento	611.054	413.763	1.024.817
Total	2.855.473	3.414.248	6.269.721

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

**Tabela 17 - Projeto PlatBiotec:
Fluxo financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)**

Saldo Inicial	32.548.366
Entradas de Recursos	1.339.922
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	1.339.922
Outras Entradas	-
Saída de Recursos	2.371.512
Saldo Financeiro em 30/06/2024	31.516.776

Centro de Tecnologias para Saúde - CT Saúde (Ação Orçamentária 212H)

O projeto do Centro de Tecnologias para Saúde, que visa à construção e implementação de uma infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento para atender às demandas do sistema de saúde do país, foi contratado via a Ação 212H, com recursos oriundos do FNDCT, estabelecidos no 37º Termo Aditivo assinado em 2021.

A execução do projeto no primeiro semestre de 2024 foi viabilizada pela reprogramação dos saldos financeiros de 2023, no montante de R\$ 38,9 milhões, visando concluir as últimas etapas e compromissos estabelecidos para a atualização da infraestrutura para saúde do CNPEM. A construção do edifício destinado a abrigar a infraestrutura laboratorial de engenharia de tecidos e biofármacos foi finalizada neste semestre.

Os destaques da execução de R\$ 31 milhões neste semestre foram as contratações para instalação e entrega da infraestrutura de gases, programadas para este ano, e a manutenção da equipe técnica dedicada ao projeto. Ademais, as atividades concentram-se na aquisição e manutenção de equipamentos laboratoriais indispensáveis para o pleno funcionamento dos laboratórios. As tabelas a seguir detalham, respectivamente, os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do projeto.

**Tabela 18 - Projeto CT Saúde - Orçamento 2024:
valores executados por natureza de despesa (em R\$)**

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	8.155.578	9.443.612	17.599.190
Custeio	1.242.791	213.367	1.456.158
Investimento	5.413.316	6.501.116	11.914.432
Total	14.811.685	16.158.095	30.969.780

*O valor comprometido refere-se à projeção das despesas com salários, encargos e benefícios, além dos pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

**Tabela 19 - Projeto CT Saúde: Fluxo financeiro
do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)**

Saldo Inicial	38.878.022
Entradas de Recursos	1.061.264
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	1.050.098
Outras Entradas	11.166
Saída de Recursos	13.993.970
Saldo Financeiro em 30/06/2024	25.945.316

Plataformas de Combate a Vírus Emergentes – PCVE (Ação Orçamentária 21CO)

O Projeto PCVE - Plataforma de Combate a Vírus Emergentes, financiado pela Ação 21CO do Programa de Trabalho Enfrentamento da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional Decorrente do Coronavírus, continuou a avançar em 2024 com base na reprogramação do saldo financeiro de 2023, no valor de R\$ 1,2 milhão. Esta Ação, sendo de ordem específica e extraordinária, não prevê novos empenhos.

A execução orçamentária do primeiro semestre de 2024 foi suportada pelo saldo remanescente de 2023 e pelas novas entradas de recursos, incluindo a transferência financeira entre o projeto CT Saúde e o PCVE para cobrir parte das despesas com a obra de implementação das plataformas científicas de Nível de Biossegurança 3 (NB3). Os valores negativos na execução orçamentária refletem estes ajustes financeiros na fonte de recurso, que está sendo encaminhada para seu encerramento.

Os principais destaques deste semestre incluem a conclusão da obra de implantação das plataformas de farmacologia e virologia, além da aquisição de equipamentos e insumos laboratoriais. Em particular, destacam-se os equipamentos utilizados para purificação, análise e caracterização de biomoléculas, utilizados em laboratórios de pesquisa e diagnóstico.

As tabelas a seguir detalham os valores executados por natureza de despesa e o fluxo financeiro específico do projeto.

Tabela 20 - Projeto PCVE - Orçamento 2024: valores executados por natureza de despesa (em R\$)

Natureza da Despesa	Realizado	Comprometido*	Executado
Pessoal	(2.617)	-	(2.617)
Custeio	204.210	153.796	358.006
Investimento	(2.268.454)	2.030.718	(237.736)
Total	(2.066.861)	2.184.514	117.653

*O valor comprometido refere-se a pedidos de compras, contratos e demais despesas aprovadas no ano vigente, ou seja, compromissos firmados e ainda não liquidados.

Tabela 21 - Projeto PCVE: Fluxo Financeiro do Contrato de Gestão em 2024 (em R\$)

Saldo Inicial	1.231.457
Entradas de Recursos	3.125.332
Contrato de Gestão 2024	-
Rendimentos Financeiros	28.928
Outras Entradas	3.096.403
Saída de Recursos	1.572.959
Saldo Financeiro em 30/06/2024	2.783.830





PROGRAMA DE USUÁRIOS EXTERNOS

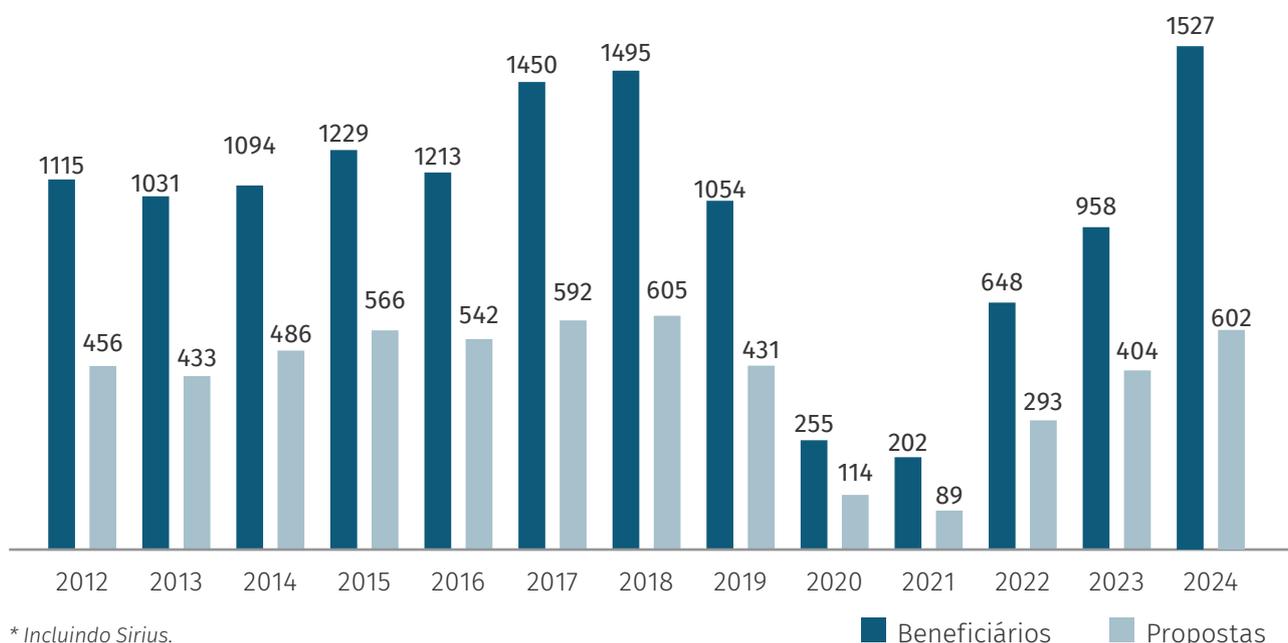
Neste capítulo são apresentados os resultados relacionados ao atendimento de usuários externos nas instalações abertas do CNPEM, correspondentes às atividades do Eixo 1, que contribuíram para a produção de resultados técnico-científicos de alta qualidade.



No primeiro semestre de 2024 foram atendidas 602 propostas de pesquisa externas que beneficiaram 1527 pesquisadores, totalizando mais de 54 mil horas de uso dos equipamentos. Estas propostas foram atendidas em 18 instalações abertas e 10 linhas de luz do Sirius. Em comparação aos resultados do primeiro semestre de 2023, neste ano houve um aumento de 50% no número de propostas de pesquisas atendidas, que beneficiaram um número 60% maior de pesquisadores do Brasil e do exterior. **Esse resultado representa o maior número de beneficiários atendidos pelo CNPEM em um primeiro semestre**, considerando toda a série histórica de dados (iniciada em 2012), superando o recorde de beneficiários atendidos no primeiro semestre de 2018, ano em que a antiga fonte de luz síncrotron UVX estava em operação. Em relação ao número de propostas, neste semestre foram atendidas somente três propostas a menos que em 2018. Esses resultados significativos se explicam, principalmente, em função do avanço do Projeto Sirius, que agora é uma fonte de luz síncrotron com 10 linhas de luz abertas, recebendo propostas de usuários em chamadas regulares. Apesar do recorde de pesquisadores beneficiados no primeiro semestre, vale ressaltar que o Sirius passará por uma parada no segundo semestre para a instalação de componentes do acelerador, portanto a expectativa é de que menos propostas sejam atendidas na segunda metade do ano.

No primeiro semestre de 2024, 18 instalações do CNPEM estiveram abertas para o recebimento de propostas de usuários externos para desenvolvimento de atividades do Eixo 1: Espectrometria e Calorimetria (LEC); Espectrometria de Massas (MAS); Cristalização de Macromoléculas (ROBOLAB); Ressonância Magnética Nuclear (RMN); Biofísica de Macromoléculas (BFM); Sequenciamento de Alto Desempenho (SEQ); Desenvolvimento e Escalonamento de Processos (DEB); Metabolômica (MET); Espectroscopia e Espalhamento (EE); Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM); Criomicroscopia Eletrônica (CME); Microscopia Eletrônica de Varredura e Duplo Feixe (SEM-FIB); Microscopia de Força Atômica (AFM); Microfabricação e Microfluídica (LMF); Nanofabricação (NFB); Nanotoxicologia (NANOTOX); Fotoeletroquímica (FEQ); Laboratório de Crescimento *in situ* (LCIS). Além destas instalações, 10 linhas de luz receberam usuários externos no semestre, são elas: CARNAÚBA (Nanoscopia de Raios X); CATERETÊ (Espalhamento Coerente de Raios X); CEDRO (Dicroísmo Circular); EMA (Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas); IMBUIA (Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho); IPÊ (Espalhamento Inelástico ressonante de raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons); MANACÁ (Micro e Nanocristalografia Macromolecular); MOGNO (Micro e Nanotomografia de Raios X); PAINEIRA (Difração de Raios X em Policristais); SAPÊ (Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo).

Figura 2 - Evolução do número de propostas e beneficiários externos nos 1º semestres de 2012 a 2024*

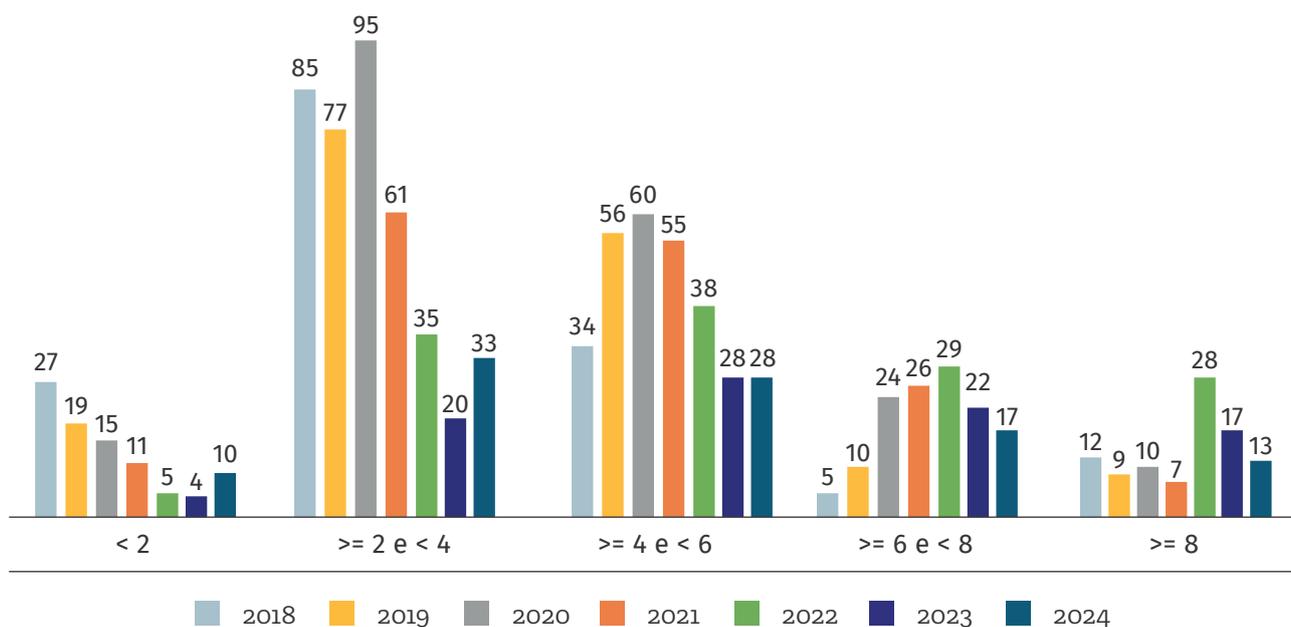


Produção Científica

No primeiro semestre de 2024, foram publicados 102 artigos resultados das pesquisas dos usuários externos das instalações do CNPEM, indexados na base da Web of Science. Em todos esses artigos há menção ao uso das instalações do CNPEM. Neste semestre, o número de publicações de usuários externos ainda está abaixo dos anos anteriores a 2022, nos quais o efeito da redução de atendimento de propostas em função da pandemia e do descomissionamento do UVX não havia sido

observado. Entretanto, no primeiro semestre de 2024 houve um pequeno aumento em comparação ao primeiro semestre de 2023, o que pode indicar uma recuperação das publicações de usuários externos dado o aumento de propostas atendidas no período mais recente. Do ponto de vista do Fator de Impacto (FI) dos periódicos nos quais as publicações foram realizadas no semestre, verifica-se que 30 (30%) delas estiveram em periódicos com FI acima de 6.

Figura 3 - Publicações de usuários externos por faixa de FI (1º semestres 2018-2024)







PROGRAMAS ESTRATÉGICOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo estão descritas as atividades relacionadas à execução de Programas Estratégicos e de fronteira, de caráter multidisciplinar, que refletem as atividades do Eixo 2 de atuação do CNPEM, com o envolvimento de pesquisadores internos em investigações para a execução de programas de pesquisa básica, aplicada e de desenvolvimento experimental.



Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Saúde

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em saúde conduz pesquisas que estimulam o domínio, produção e incorporação de tecnologias essenciais para a sustentabilidade e segurança do sistema de saúde.

Subprograma Descoberta e validação de alvos e marcadores terapêuticos

O subprograma "Descoberta e validação de alvos e marcadores terapêuticos" tem como objetivo compreender os mecanismos de diversas doenças, visando identificar e testar potenciais alvos moleculares para o desenvolvimento de novas terapias. Abrangendo estudos sobre as bases moleculares, celulares e fisiológicas de doenças cardiovasculares, neurodegenerativas, do neurodesenvolvimento, câncer, viroses, doenças bacterianas e parasitárias, esse subprograma atua em estreita sinergia com os demais laboratórios do CNPEM, aproveitando suas diversas competências, como linhas de luz e microscópios para análise de macromoléculas, células e organismos, além do desenvolvimento e avaliação de nanomateriais com aplicações biológicas.

A seguir, são delineadas as linhas de pesquisa e seus projetos associados, destacando os principais resultados obtidos no decorrer deste primeiro semestre de 2024.

Imunopatogênese de doenças arbovirais, doenças bacterianas e parasitárias

Em relação às doenças virais, foi publicado um artigo de revisão no periódico *Expert Opinion on Therapeutic Targets*¹. Nesta publicação, foram revisados e discutidos os principais gargalos e limitações para a descoberta de tratamentos contra a infecção por Mayaro vírus (MAYV), que causa uma doença emergente manifestada como uma enfermidade febril aguda. Apesar da doença ser autolimitada, a dor nas articulações pode persistir por meses e não há tratamento específico disponível, o que, em última análise, resulta em perdas socioeconômicas para as populações em risco.

A revisão abordou os candidatos para o tratamento da infecção e da doença, incluindo compostos antivirais com alvo em mecanismos virais ou do hospedeiro, e vias envolvidas no desenvolvimento e na patogenicidade da doença. Foram também avaliadas as tecnologias de triagem de compostos e os modelos experimentais de infecção utilizados nesses estudos, indicando as vantagens e limitações das tecnologias disponíveis e das estratégias terapêuticas pretendidas.

Embora vários compostos tenham sido sugeridos como candidatos a tratamento contra a infecção, notavelmente aqueles com atividade antiviral, a maioria dos compostos foi avaliada

apenas *in vitro*. Raramente, os compostos progredem para estudos *in vivo* ou pré-clínicos, e tal dificuldade pode estar associada a modelos experimentais limitados. A biologia do MAYV é amplamente inferida de alfavírus relacionados e refletida por poucos estudos focados em proteínas-alvo ou mecanismos de ação para o MAYV. Estratégias terapêuticas que visam respostas inflamatórias patogênicas mostraram potencial contra a doença induzida pelo MAYV *in vivo*, o que pode reduzir sequelas a longo prazo.

No contexto das doenças parasitárias causadas por protozoários, os projetos mais avançados são referentes à doença de Chagas, causada pelo *Trypanosoma cruzi*. Com o apoio da FAPESP, foi estabelecido um *pipeline* para investigação de novos alvos terapêuticos associados ao metabolismo deste parasita. Este *pipeline* inclui a determinação de estruturas cristalográficas de proteínas consideradas potenciais alvos terapêuticos e a identificação de candidatos a fármacos através da triagem de coleções de moléculas químicas fornecidas por indústrias farmacêuticas multinacionais e por colaboradores acadêmicos no Brasil, Estados Unidos, Índia e África do Sul. Este *pipeline* já identificou novos candidatos a fármacos contra as enzimas G6PDH e Enzima Mállica. As

1. Marques, R. E., Shimizu, J. F., Nogueira, M. L., & Vasilakis, N. (2024). Current challenges in the discovery of treatments against Mayaro fever. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 28(5), 345-356. <https://doi.org/10.1080/14728222.2024.2351504>

moléculas mais promissoras estão atualmente sendo avaliadas em estudos pré-clínicos com modelos animais da doença de Chagas. Estes estudos estão sendo financiados pela FINEP e conduzidos em parceria com a Universidade da Califórnia nos Estados Unidos. Um terceiro alvo molecular, a enzima treonina desidrogenase (TDH), foi recentemente caracterizado por este *pipeline*. Esta enzima desempenha um papel essencial para bioenergética mitocondrial do parasita e teve sua estrutura tridimensional revelada por experimentos de difração de raios X realizados na linha de luz Manacá, no Sirius. Candidatos a fármacos, inibidores da TDH foram identificados através da triagem de uma coleção de moléculas fornecidas pela farmacêutica multinacional GlaxoSmithKline. Estudos de metabolômica realizados no LNBio confirmaram o mecanismo de ação destas moléculas. Estes resultados foram compilados em um manuscrito científico recém submetido a publicação. O grupo de química orgânica do LNBio trabalha

agora no estabelecimento de uma rota de síntese para estas moléculas, de forma que elas possam também seguir para a etapa de estudos pré-clínicos.

Referente ao projeto voltado para o desenvolvimento de novos agentes antimicrobianos, apoiado pela FAPESP, destacam-se a caracterização bioquímica e a realização de triagens em larga escala com aminoacil-tRNA sintetases de bactérias Gram-negativas resistentes a antibióticos (Figura 4). Essas triagens permitiram a caracterização de enzimas essenciais para a síntese de proteínas nesses patógenos, que são considerados alvos não-convencionais, mas promissores para o desenvolvimento de novos antibióticos. O grupo também avançou na validação de candidatos a hits quanto à sua ação inibitória contra as enzimas-alvo. Esses esforços abrem perspectivas para o desenvolvimento de novos agentes antibacterianos que inibam a síntese de proteínas em bactérias resistentes a fármacos.

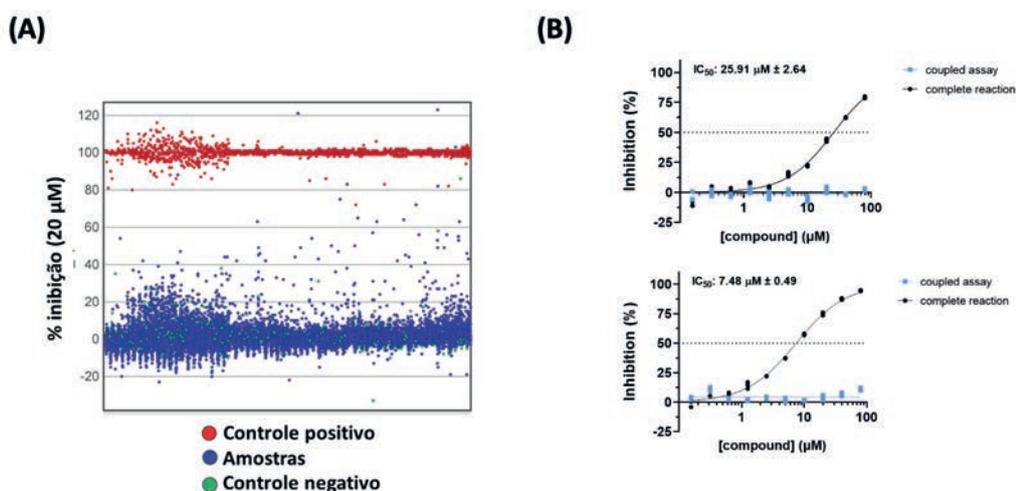


Figura 4. Resultados obtidos com aminoacil-tRNA sintetases de bactérias Gram-negativas. (a) Campanhas de HTS realizada contra biblioteca de pequenas moléculas com alta diversidade química, contendo 20 mil amostras. (b) Exemplos de candidatos a hits que tiveram atividade confirmada em ensaios dose-dependente.

Câncer oral – Descoberta de alvos e biomarcadores

A linha de pesquisa sobre Proteômica aplicada ao Câncer Oral - descoberta de alvos e biomarcadores tem como objetivo indicar potenciais biomarcadores e alvos terapêuticos para câncer oral por meio do uso de análise de proteômica baseada em espectrometria de massas. Neste primeiro semestre de 2024, destaca-se um estudo recentemente publicado que desenvolveu uma estratégia não clássica para a busca de potenciais marcadores de diagnóstico e prognóstico para câncer oral por meio da análise de mudanças conformacionais do proteoma da saliva².

A proteólise limitada combinada com espectrometria de massas foi utilizada para explorar alterações estruturais, comparando-se o proteoma da saliva de pacientes controles saudáveis e pacientes com câncer oral, com e sem metástase em linfonodos. Trinta e seis proteínas com rearranjos estruturais potenciais foram associadas a características clínico-patológicas dos pacientes, destacando-se peptídeos N-glicosilados que contribuem para essas mudanças estruturais. Essa abordagem poderá guiar a descoberta de potenciais marcadores resultantes de alterações conformacionais, além da abundância das proteínas em diferentes microambientes. (Figura 5).

2. Granato, D. C., Carnielli, C. M., Trino, L. D., Busso-Lopes, A. F., Câmara, G. A., Normando, A. G. C., ... & Paes Leme, A. F. (2024). Mapping Conformational Changes in the Saliva Proteome Potentially Associated with Oral Cancer Aggressiveness. *Journal of Proteome Research*, 23 (6), 2148-2159. DOI: 10.1021/acs.jproteome.4c00093

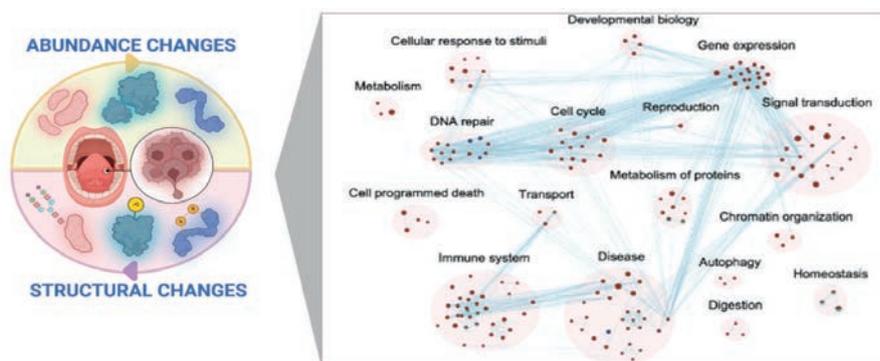


Figura 5. Análise funcional do proteoma da saliva indicando enriquecimento de proteínas diferenciais em abundância, em mudança conformacional ou combinadas.

Câncer e microambiente - descoberta e validação de alvos e terapias

A estrutura quinária das enzimas, representando o nível mais intrincado de organização proteica, destaca as interações dinâmicas das enzimas dentro do ambiente celular. Essas interações, que incluem autoassociação e ligação não covalente com vários componentes celulares, influenciam profundamente a funcionalidade, estabilidade e mecanismos regulatórios das enzimas. Uma linha de pesquisa postula que, sob condições de privação de nutrientes, várias enzimas humanas podem engajar-se em estruturação quinária através de autoassociação.

Técnicas como microscopia óptica de fluorescência, criomicroscopia eletrônica e criotomografia eletrônica foram empregadas para demonstrar como a glutaminase forma longos filamentos helicoidais dentro das mitocôndrias de células privadas de glutamina. Essa

estruturação não só influencia a morfologia mitocondrial, mas também determina o destino das mitocôndrias.

Da mesma forma, a cistationina beta-sintase (CBS), uma enzima crucial para a produção de glutatona, cisteína e sulfeto de hidrogênio, forma oligômeros de alta ordem em condições de privação de metionina, resultados publicados no começo do ano na *Nature Communications*³. Essas observações sugerem que as enzimas podem se auto-organizar dentro das células em resposta à disponibilidade de nutrientes, desempenhando um papel crítico na adaptação e reestruturação celular.

Esses achados estão começando a revelar como a auto-organização enzimática é um aspecto vital da resposta celular a estresses ambientais.

Desenvolvimento de estratégias para imunoterapias e antivirais

O grupo explora mecanismos para potencializar a resposta imunológica de forma específica, visando a eliminação de células tumorais. Para isso, são desenvolvidos vetores virais, vacinas imunomodulatórias, aptâmeros quiméricos, nanopartículas imunomodulatórias, proteínas quiméricas e anticorpos. Neste semestre, destacam-se os avanços no desenvolvimento de nanopartículas imunomodulatórias derivadas de capsídeos virais, denominadas VLPs. Demonstrou-se que essas partículas podem veicular proteínas citotóxicas diretamente às células tumorais, o que, além de reduzir o tumor, também fortalece a resposta imune. Este trabalho resultou em um pedido de patente provisório intitulado “*Composition comprising virus like particles (vlp), a kit and method for antitumoral therapy*”.

Atualmente, investiga-se se essas VLPs atuam em modelos de metástase tumoral, o que apresenta grande significado e relevância clínica para

a terapia oncológica. Outro projeto de destaque consiste no desenvolvimento de uma abordagem que combina a inibição de células T regulatórias e a coestimulação linfocitária. A inibição de células T regulatórias é obtida por meio de aptâmeros quiméricos dirigidos ao silenciamento do fator de transcrição FoxP3, que induz o fenótipo imunossupressor. Neste ano, desenvolveu-se um modelo para estudo da inibição de FoxP3 em cultura de células primárias humanas.

A coestimulação de células T é efetuada por meio de vacinas antitumorais, que consistem em células tumorais geneticamente modificadas para a expressão de imunomoduladores. Neste primeiro semestre, novas linhagens celulares tumorais, derivadas de células de câncer de mama triplo negativo, foram estabelecidas e caracterizadas, possibilitando a criação de vacinas antitumorais. Atualmente, estão sendo estabelecidas novas linhagens celulares contendo os imunomoduladores 4-1BBL, OX40L e GM-CSF, a partir de transdução lentiviral.

3. McCorvie, T. J., Adamoski, D., Machado, R.A.C. et al. (2024). Architecture and regulation of filamentous human cystathionine beta-synthase. *Nature Communications*, 15(1), 2931. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46864-x>

Doenças neurodegenerativas e do neurodesenvolvimento: UBE2A em doenças neurológicas

No âmbito do projeto "Investigação de mecanismos celulares e moleculares associados à deficiência da enzima conjugadora de ubiquitina UBE2A", que estuda mutações da UBE2A associadas à síndrome de Deficiência Intelectual (DI) ligada ao X do tipo Nascimento (DILXN), houve avanços significativos no primeiro semestre de 2024. As análises de enriquecimento de vias dos dados obtidos no transcrito do cérebro de animais UBE2A WT e Q93E identificaram processos biológicos alterados associados ao aprendizado e comportamento locomotor, morfogênese de dendritos, axonogênese e gliogênese, regulação e organização de sinapses, e transporte e exocitose de vesículas sinápticas. Esses resultados estão de acordo com as alterações previamente observadas no modelo murino UBE2A Q93E.

Também houve progressos nos estudos estruturais e funcionais da interação entre UBE2A e UCH-L1, uma deubiquitinase crucial para a manutenção de ubiquitinas livres em neurônios. Ensaios de ubiquitinação *in vitro* confirmaram que UCH-L1 é alvo de ubiquitinação de UBE2A e que o mutante Q93E possui menor capacidade de modificar UCH-L1. Experimentos de Proximity Ligation Assay em neurônios hipocampais primários do modelo murino UBE2A WT e Q93E demonstraram que ambas as proteínas interagem no corpo celular e ao longo das projeções neurais.

Com o objetivo de realizar um estudo estrutural de UBE2A G23R, outra mutação encontrada em pacientes com DILXN, o grupo trabalhou no refinamento das condições de cristalização desse mutante e obteve conjuntos de dados relevantes que variaram entre 1,20 e 2,56 angstroms. Os dados de cristalografia de raio X, juntamente com os resultados prévios de RMN, trazem novos insights sobre a importância da arginina 23 para a capacidade da UBE2A de reconhecer substratos.

Adicionalmente, houve um avanço significativo na caracterização estrutural *in situ* das vesículas sinápticas de neurônios primários hipocampais cultivados a partir do modelo murino UBE2A WT e Q93E por meio de tomografia eletrônica criogênica (cryo-ET). Estabeleceu-se o cultivo de neurônios em grades de ouro (Figura 6A) e o processo de resfriamento das amostras em temperatura criogênica (Figura 6B). Com a espessura adequada da região de sinapse para imageamento (Figura 6C), foi possível realizar a coleta de dados de cryo-ET no microscópio Titan Krios do LNNano/CNPEM, onde a amostra foi sequencialmente inclinada e imageada em diferentes ângulos, permitindo a observação da ultraestrutura da região de sinapse, incluindo vesículas sinápticas (Figura 6D e E). Novas coletas de dados permitirão a caracterização das diferenças estruturais na região da sinapse decorrentes da mutação Q93E, associada à DILXN, na proteína UBE2A.

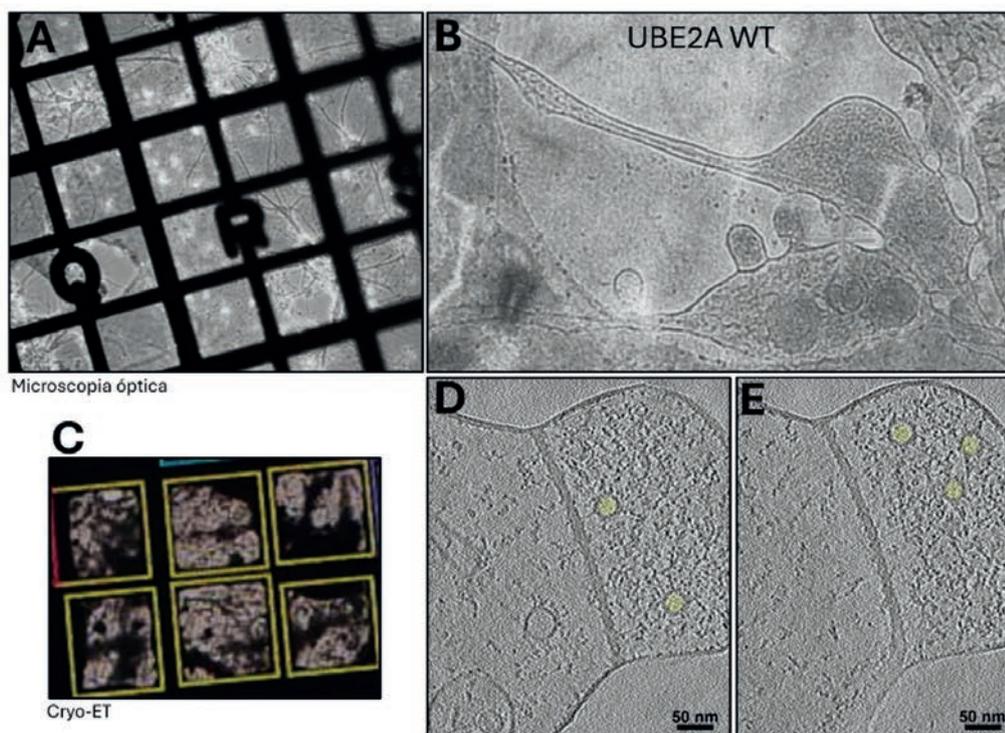


Figura 6. Tomografia eletrônica criogênica de neurônios primários hipocampais. A – Imagem de microscopia óptica evidenciando neurônios primários hipocampais cultivados em grade de ouro a partir de modelo murino UBE2A WT. Micrografia eletrônica obtidas em magnificações de 81x (B) e 1700x (C). D e E – Fatias de tomograma de uma região de sinapse reconstruído usando o software Etomo (IMOD; Mastronarde and Held, 2017) a partir de uma tilt series de -60° a +60° em magnificação de 14000x (pixel size: 9,1Å). Vesículas sinápticas estão coloridas em amarelo.

Busca de alvos moleculares relacionados a transtorno do neurodesenvolvimento

Na temática das doenças neurodegenerativas e transtornos do neurodesenvolvimento, têm sido dedicados esforços para buscar moléculas capazes de modular seletivamente alvos moleculares ou processos relacionados a estas condições. Nessa área temática, que conta com apoio do Ministério da Saúde no âmbito do Programa Nacional de Apoio à Atenção da Saúde da Pessoa com Deficiência (PRONAS-PCD), destaca-se a execução de triagem automatizada em larga escala contra uma biblioteca de 20 mil amostras, empregando ensaios fenotípicos baseados em imagem combinado com tecnologias de triagem automatizada de alto-desempenho (HTS/HCS), para prospectar

por moléculas que interferem com a formação dos grânulos de stress aberrantes.

Ainda neste projeto, foi estabelecido um ensaio baseado em tecnologia de anisotropia relacionada a formação de cadeias de poliubiquitina, que permitirá a busca por moduladores de enzimas relacionadas ao processo de ubiquitinação usando bibliotecas de pequenas moléculas por meio de triagens do tipo HTS. A evolução destes projetos com a identificação de sondas químicas validadas poderá abrir perspectivas para o desenvolvimento de novos tratamentos para doenças neurodegenerativas ou do neurodesenvolvimento.

Doenças Cardiovasculares: Mecanismos de sinalização em insuficiência cardíaca

O projeto "Mecanismos de sinalização em insuficiência cardíaca" visa elucidar os mecanismos de ação envolvidos nas doenças cardiovasculares e identificar potenciais alvos terapêuticos que promovam um papel cardioprotetor e/ou regenerativo no coração adulto. O coração adulto de mamíferos possui uma capacidade limitada de regeneração após lesões, como o infarto do miocárdio, resultando em insuficiência cardíaca. Assim, estimular a regeneração dos cardiomiócitos é uma abordagem promissora para novas terapias regenerativas do coração.

Anteriormente, foi demonstrado que a mitose em cardiomiócitos é limitada devido à densa composição miofibrilar, um desafio não presente em outras células não estriadas. Nos cardiomiócitos adultos, os sarcômeros ocupam mais de 60% do citoplasma e ancoram-se à membrana plasmática para induzir a deformação da célula durante a contração. A desmontagem dos sarcômeros e sua marginalização durante a mitose é uma característica importante e interessante da regeneração cardíaca. No entanto, os mecanismos que regulam essa desmontagem ainda não são compreendidos.

Em colaboração com a University of Texas Southwestern Medical Center (EUA), o grupo reportou a adducina como um regulador importante da desmontagem do sarcômero durante

a mitose dos cardiomiócitos de mamíferos. A adducina é uma proteína citoplasmática localizada nas junções espectrina-actina, que se liga à calmodulina e é substrato para a proteína quinase C (PKC) e a quinase associada a Rho. As α/γ -adducinas são expressas seletivamente em cardiomiócitos mitóticos neonatais e seus níveis diminuem significativamente após o período neonatal.

A superexpressão específica em cultura de cardiomiócitos de várias isoformas de splicing e fosfo-isoformas de α -adducina na fosforilação Thr445/Thr480 demonstrou ser um potente indutor da desmontagem do sarcômero em cardiomiócitos neonatais. A superexpressão concomitante desta variante de α -adducina juntamente com γ -adducina resultou na estabilização do complexo de adducina e na desmontagem persistente do sarcômero em camundongos adultos, mediada pela interação com α -actinina.

Esses resultados destacam um importante mecanismo para coordenar alterações morfológicas do citoesqueleto durante a mitose dos cardiomiócitos, contribuindo para o desenvolvimento de novas terapias alvo que favoreçam a proliferação de miócitos e, conseqüentemente, a regeneração cardíaca. O trabalho descrevendo esses achados foi publicado na revista *Circulation*⁴.

4. XIAO, Feng et al. (2024). Adducin regulates sarcomere disassembly during cardiomyocyte mitosis. *Circulation*. DOI: 10.1161/CIRCULATION-NAHA.122.059102.

Biologia Computacional: Predição estrutural de macromoléculas e desenvolvimento de algoritmos em Biologia Computacional

No primeiro semestre de 2024, o grupo implementou e avaliou o uso de métodos de design de proteínas baseados em estrutura 3D e inteligência artificial para o planejamento de receptores de células T (TCR). Entre os achados desse trabalho, destacam-se a capacidade dos métodos ProteinMPNN e ESM-IF em gerar sequências de TCRs, similares a sequências nativas conhecidas, e capazes de

se ligar a peptídeos antigênicos alvos. Esse trabalho tem aplicabilidade estratégica no planejamento racional de TCR como abordagem imunoterapêutica⁵.

Ainda no contexto de TCRs, o grupo colaborou na predição da estrutura 3D de diferentes TCRs em complexo com um peptídeo antigênico oriundo da proteína NRAS que está envolvido com melanomas⁶ (Figura 7).

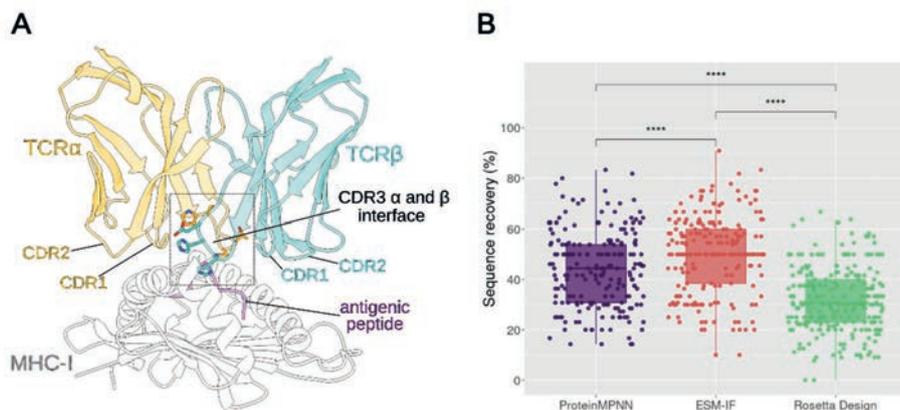


Figura 7. Análise da capacidade de métodos baseados em estrutura 3D em gerar sequências de TCR para se ligarem a determinado antígeno. (A) estrutura 3D representativa de um complexo entre TCR e peptídeo antigênico apresentado pela molécula de MHC. (B) Percentual de recuperação da sequência de aminoácidos dos TCRs nativos pelos métodos de design testados. Maior percentual de recuperação indica maior capacidade dos métodos em gerar sequências similares aos naturais.

Ainda no primeiro semestre de 2024, o grupo colaborou com o grupo do Dr. Brian Pierce (Universidade de Maryland - EUA) no desenvolvimento de um webserver para planejamento racional de substituições de prolina em estruturas de proteínas (<https://proscan.ibbr.umd.edu/>).

Através dessa ferramenta, pesquisadores podem identificar posições na proteína que, quando substituídas por prolina, podem estabilizar sua estrutura, possuindo aplicabilidade no desenvolvimento de vacinas. O trabalho encontra-se publicado na revista *Nucleic Acid Research*⁷.

Subprograma Fármacos e Biofármacos

O subprograma almeja estabelecer novas competências científicas e tecnológicas para gerar linhagens produtoras de proteínas recombinantes e manufaturar lotes piloto de insumos farmacologicamente ativos destinados a ensaios clínicos. Seu objetivo final é contribuir para o desenvolvimento nacional de medicamentos inovadores e biossimilares, visando beneficiar o sistema público de saúde. Por sua vez, a plataforma de descoberta de fármacos tem a missão de fornecer fármacos candidatos a partir da biodiversidade brasileira, visando alavancar a inovação farmacêutica no Brasil, utilizando infraestrutura de pesquisa e ciência de ponta. Abaixo elencamos os principais achados científicos deste subprograma, neste primeiro semestre de 2024:

Desenvolvimento de linhagem celular biossimilar do nivolumabe

A equipe de pesquisa deu continuidade ao projeto intitulado “Desenvolvimento de uma linhagem celular produtora de um anticorpo monoclonal anti-PD1, biossimilar do nivolumabe, utilizado para imunoterapia de câncer”, com recursos da linha de fomento do Programa Nacional de Apoio à Atenção Oncológica (PRONON) do Ministério da Saúde. Este

projeto tem como objetivo desenvolver linhagens celulares para a produção de um anticorpo biossimilar ao Nivolumab, um bloqueador do checkpoint imunológico PD1 utilizado na terapia oncológica. Os anticorpos monoclonais têm revolucionado as terapias oncológicas, proporcionando tratamento a pacientes refratários a outras abordagens clínicas.

5. Ribeiro-Filho, H. V., et al. (2024). Exploring the Potential of Structure-Based Deep Learning Approaches for T cell Receptor Design. *bioRxiv*, 2024.04.19.590222. <https://doi.org/10.1101/2024.04.19.590222>

6. Wu, D., et al. (2024). Structural characterization and AlphaFold modeling of human T cell receptor recognition of NRAS cancer neoantigens. *bioRxiv*, 2024.05.21.595215. <https://doi.org/10.1101/2024.05.21.595215>

7. Felbinger, N., Ribeiro-Filho, H. V., & Pierce, B. G. (2024). Proscan: a structure-based proline design web server. *Nucleic Acids Research*, 52, W280-286. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaf408>

A produção de anticorpos é realizada em cultura de células, a partir de um banco mestre que é expandido em biorreator. A linhagem celular produtora de anticorpo é, portanto, um insumo fundamental para a produção de anticorpos, e o domínio da tecnologia para geração de linhagens é uma questão estratégica para contribuir no avanço da produção nacional de medicamentos biológicos. Este projeto visa gerar uma linhagem celular produtora de um anticorpo bioessimilável ao Nivolumab, cuja patente expira em 2026. Essa linhagem poderá ser transferida para parceiros que a utilizarão como insumo intermediário na produção de anticorpos para uso clínico, tornando esse tipo de medicação acessível ao Sistema Único de Saúde do Brasil.

Neste ano, foram desenvolvidos protocolos para três novos equipamentos que acelerarão o desenvolvimento do projeto: o Clonepix,

o Labchip e o Biacore. Esses equipamentos foram instalados em uma nova área predial do LNBio, recém-inaugurada, que contém uma sala de cultura e uma sala analítica integrada. O Clonepix foi utilizado para triagem de milhares de novos candidatos a clones produtores de anticorpos, que estão em fase de estudo. O Labchip, já operante, permite realizar experimentos de eletroforese capilar para avaliar tamanhos moleculares de proteínas, caracterizando os anticorpos produzidos pelos clones celulares. O Biacore, também instalado, teve seus protocolos padronizados para medir a concentração de anticorpos no sobrenadante, possibilitando triagem em placas de 96 poços, bem como a medida da afinidade do anticorpo pelo alvo. Esses novos equipamentos contribuirão para a obtenção de clones celulares com maior produtividade.

Descoberta e desenvolvimento de fármacos

As atividades do grupo de Descoberta de Fármacos visam alavancar a inovação farmacêutica no Brasil, unindo os dois principais diferenciais competitivos do país: sua rica biodiversidade e infraestrutura de pesquisa e ciência de ponta. Para isso, foi estabelecida uma plataforma que permite a execução de iniciativas de descoberta de forma fluida e eficaz.

Como uma das decorrências dos desenvolvimentos de métodos para a plataforma, foi realizada a publicação do artigo "NP3 MS Workflow: An Open-Source Software System to Empower Natural Product-Based Drug Discovery Using Untargeted Metabolomics". O NP3 MS workflow é um software de código aberto para processamento integrado de dados de metabolômica não direcionada, personalizado para processos-chave nas etapas de descoberta de fármacos a partir de produtos naturais. O artigo foi publicado na prestigiada revista *Analytical Chemistry*⁸ da *American Chemical Society*, sendo

selecionado como uma das capas da revista⁹.

No período, também foram expandidas as atividades e colaborações no âmbito da biblioteca de produtos naturais brasileira, como parcerias na área de fungos (Projeto Temático Fapesp em colaboração com a Unesp Rio Claro), bactérias do solo amazônico (parceria UFPA/BiotecAmazonia), UFPE (Cadeias Produtivas Bioeconomia Licuri MCTI/Finep) e outras colaborações com instituições de pesquisa do Norte ao Sul do Brasil e alguns países da América Latina.

Concomitantemente, o grupo realiza a implementação de Boas Práticas de Laboratório no CNPEM e processos envolvidos na biblioteca de produtos naturais. Além disso, estão sendo executados seis projetos de descoberta de fármacos em colaboração com a indústria farmacêutica nacional, cofinanciados pela Embrapii e BNDES. Mais informações estão disponíveis na sessão Eixo 3.

8. Bazzano, C. F., et al. (2024). NP3 MS Workflow: An Open-Source Software System to Empower Natural Product-Based Drug Discovery Using Untargeted Metabolomics. *Analytical Chemistry*, 96(19), 7460-7469. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.3c05829>

9. Mais informações estão disponíveis no link: <https://cnpem.br/pesquisa-brasileira-desenvolve-software-para-descoberta-de-novos-medicamentos-a-partir-de-produtos-naturais/>

ADME/DMPK na Descoberta e desenvolvimento de Fármacos: integração essencial de ensaios *in vitro*, *in vivo* e tecnologia LC-MS/MS

A sensibilidade para detecção e quantificação de um analito é altamente dependente do preparo da amostra. Para ampliar a capacidade de preparo de amostras e complementar a infraestrutura financiada, foi aprovado pela FINEP (01.19.0187.00 – Referência 0371/18 - Infraestrutura Avançada para Pesquisas em Biotecnologia, Biomedicina e Nanofabricação) o remanejamento de recursos para a aquisição de novos equipamentos e consumíveis gerais e específicos. A ampliação da gama de compostos analisados trouxe benefícios substanciais para projetos em andamento nas áreas de química medicinal, terapias gênicas, metabolismo do câncer, doença de Chagas e validação de modelos como *organs-on-a-chip*.

Nesse contexto farmacocinético, métodos bioanalíticos para a quantificação dos compostos BPA e BPS foram validados, utilizando HPLC-UV e UPLC-MS/MS. Esses métodos permitiram que a absorção e a metabolização dos compostos fossem avaliadas, culminando na publicação

dos resultados no periódico *Toxicology in Vitro*¹⁰, em um trabalho conjunto com o grupo de Engenharia de Tecidos.

Seguindo essa linha de investigação farmacocinética, as propriedades do composto CNP544, que tem potencial terapêutico para doenças do neurodesenvolvimento, também foram caracterizadas. Em estudos *in vitro*, foi demonstrado que o composto possui alta solubilidade, estabilidade e lipofilicidade, indicando sua capacidade de atravessar barreiras biológicas. Foi revelado por testes de permeabilidade que há uma alta taxa de absorção intestinal. A elevada ligação a proteínas plasmáticas prolonga sua meia-vida. Além disso, o composto apresentou alta estabilidade metabólica. Esses achados foram confirmados por estudos farmacocinéticos *in vivo* em camundongos, que mostraram rápida absorção, distribuição tecidual e eliminação adequada. Esses resultados destacam o potencial do composto CNP544 como candidato a fármaco.

Subprograma Engenharia de Tecidos

O subprograma é destinado ao uso da engenharia de tecidos para construção de culturas celulares tridimensionais (3D) e de tecidos por bioimpressão 3D, com aplicações terapêuticas e para o desenvolvimento de ensaios robustos e miméticos a ensaios *in vivo*, porém sem uso de experimentação animal. Vislumbra como principal entrega modelos de pele e modelos de curativo para aplicação em medicina regenerativa cardíaca, além de modelos celulares tridimensionais e de tecidos.

Desenvolvimento de curativos dermatológicos utilizando tecidos biofabricados

Neste semestre, houve avanços significativos no desenvolvimento de curativos biológicos. Em relação ao desenvolvimento dos curativos, foram realizados testes com novas matrizes para reduzir a contração promovida pelo colágeno, com o objetivo de aumentar o tamanho dos curativos do tipo enxerto de pele. Foram testadas substâncias como genipina, fibrina, polietilenoglicol, entre outras, na composição da derme. Paralelamente, iniciou-se o desenvolvimento de modelos de pele com insumos "animal free", utilizando materiais humanos, e procedeu-se com as caracterizações de rotina

do material. Com isso, foram finalizados protocolos de ampla caracterização dos equivalentes de pele.

O desenvolvimento do modelo de pele em três camadas, contendo epiderme, derme e hipoderme, utilizando bioimpressão, foi concluído (Figura 8). Este modelo foi profundamente caracterizado, e os resultados indicam que a hipoderme é de grande importância para a modulação da diferenciação e manutenção de características fisiológicas. Esses resultados estão sendo submetidos à revista *Communications Biology*.

10. Ganzerla, M. D., et al. (2024). Unveiling the intricacies of BPA and BPS: comprehensive insights into its toxic effects using a cutting-edge micro-physiological system. *Toxicology in Vitro*, 98, 105849. DOI: 10.1016/j.tiv.2024.105849

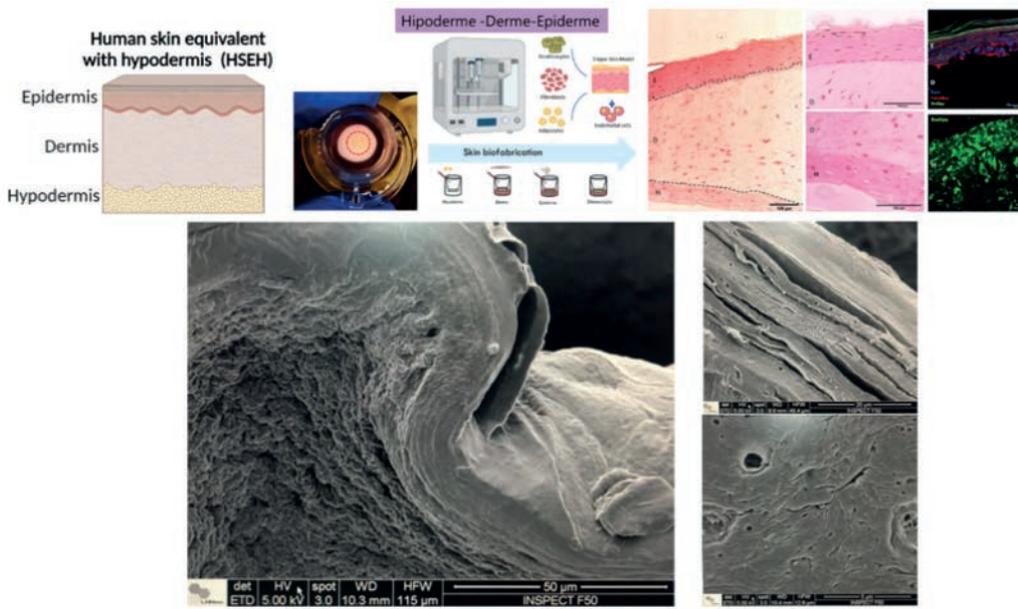


Figura 8. Produção de modelo de pele *in vitro* tri-camada bioimpressa. Foto do modelo na placa de cultivo e histologias evidenciando as camadas da pele: hipoderme, derme e epiderme. Protocolo de biofabricação; Histologia e microscopia de fluorescência evidenciando as camadas da pele; Microscopia eletrônica de varredura (MEV) evidenciando as microestruturas das 3 camadas, da epiderme e dos poros na superfície da pele.

Além disso, foi realizado um teste piloto de cicatrização de pele em camundongos utilizando o modelo de pele como enxerto para feridas. Os resultados demonstraram que os animais que receberam o curativo de pele

apresentaram uma cicatrização acelerada em 50% em relação ao grupo controle. Amostras dos animais foram coletadas para a realização de experimentos de proteômica, histologia e análise de expressão gênica.

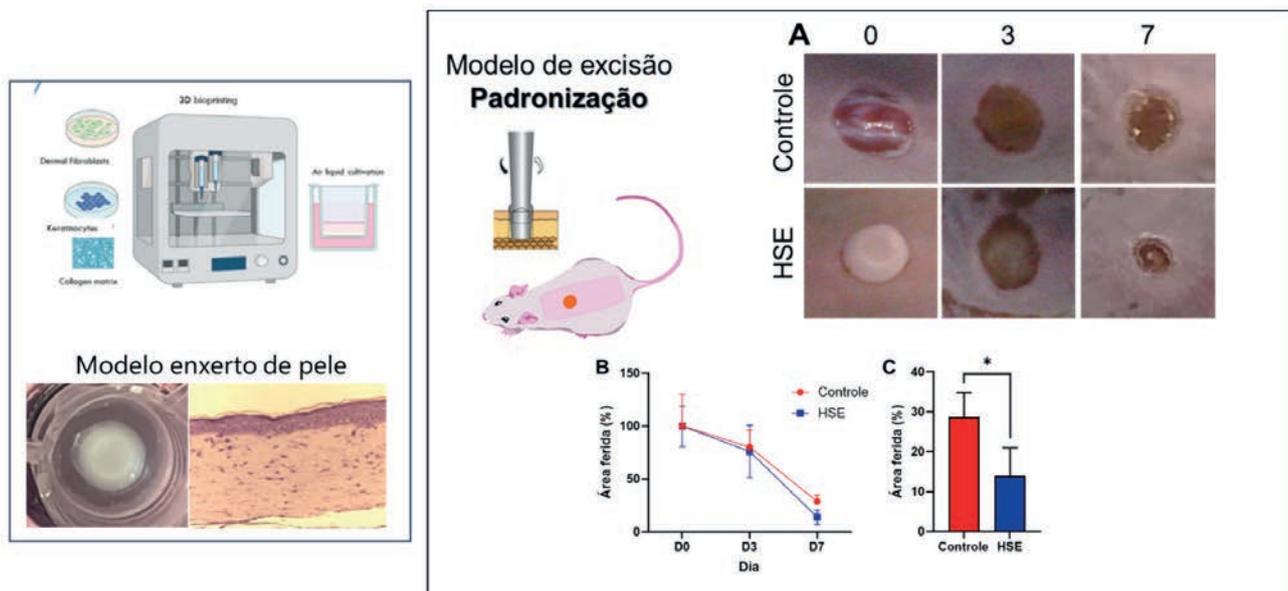


Figura 9. Esquema da produção do curativo no modelo de enxerto de pele, resultados da utilização dos curativos para cicatrização de feridas em camundongos.

Desenvolvimento de curativos cardíacos utilizando tecidos biofabricados

No que tange ao desenvolvimento de curativos cardíacos, o grupo avançou significativamente no desenvolvimento de biomateriais para a produção de biotintas para impressão desses curativos. Foram realizados ensaios de degradação, printabilidade, reologia, compressão e microscopia eletrônica de varredura dos biomateriais polimerizados. Além disso,

células-tronco mesenquimais foram adicionadas aos biomateriais para a realização de testes de viabilidade, funções celulares, necrose e apoptose. Os resultados indicam que foi possível desenvolver uma formulação de biomateriais que compõe uma biotinta contendo células mesenquimais que permanecem viáveis e proliferam por mais de 30 dias.

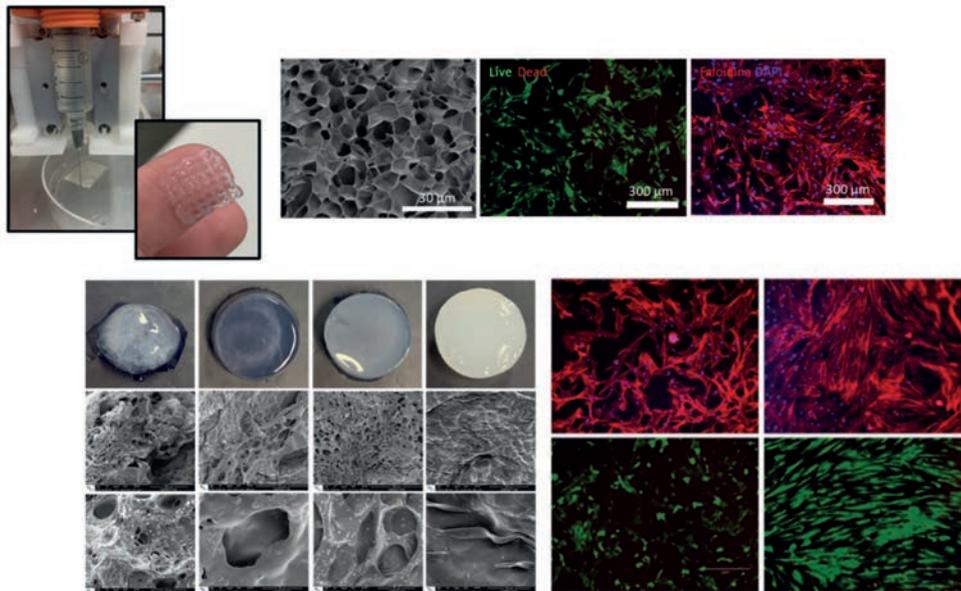


Figura 10. Padronização de biotintas e biomateriais para a biofabricação de curativos, apresentando exemplos de biomateriais formulados e sua caracterização após serem misturados a células. É possível observar a estruturação de uma matriz porosa na qual as células podem ser inseridas e permanecem vivas (marcação com faloidina e *live and dead*).

Utilizando a recém-adquirida bioimpressora Cellink BioX6, esta formulação foi impressa na forma de curativos cardíacos. Os curativos mantiveram-se vivos por 30 dias, período no qual foram

coletadas amostras para análises mais detalhadas. A viabilidade celular foi avaliada por ensaio de viabilidade e a microestrutura dos curativos foi analisada por microscopia eletrônica.

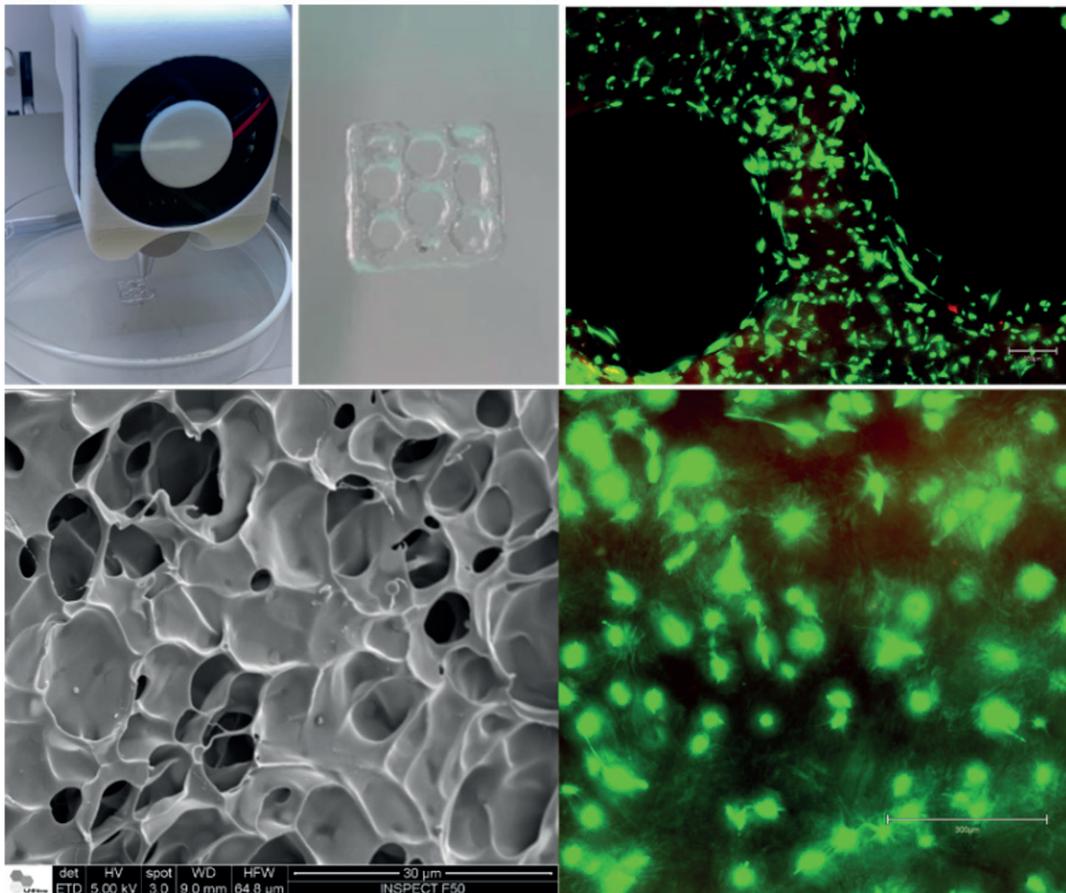


Figura 11. Bioimpressão de biotintas composta por biomateriais e células mesenquimais para a biofabricação de curativos cardíacos, apresentando viabilidade e proliferação alta após 30 dias de cultivo.

Desenvolvimento de modelos de culturas 3D para screening de fármacos

Neste semestre, o laboratório utilizou cultivos 3D para estabelecer sistemas microfisiológicos destinados a testes de toxicidade de substâncias e ao desenvolvimento de modelos de doenças. Um dos principais avanços foi a utilização de um sistema microfisiológico recentemente desenvolvido, contendo esferóides de fígado, pele e barreira intestinal, para análises de toxicidade. Este sistema foi empregado para testar e comparar os efeitos de toxicidade sistêmica, disrupção endócrina e potencial carcinogênico das substâncias bisfenol A (BPA) e bisfenol S

(BPS), a última sendo utilizada como um substituto menos tóxico do BPA.

Os ensaios foram projetados para simular tanto a absorção oral quanto tópica de BPA e BPS. Os resultados indicaram que o BPS, embora em menor escala que o BPA, também possui potencial carcinogênico e de toxicidade, principalmente quando absorvido topicamente. Esses achados sugerem que a substituição do BPA por BPS em materiais plásticos é de grande valor. Este trabalho foi recentemente publicado na revista *Toxicology in Vitro*¹¹.

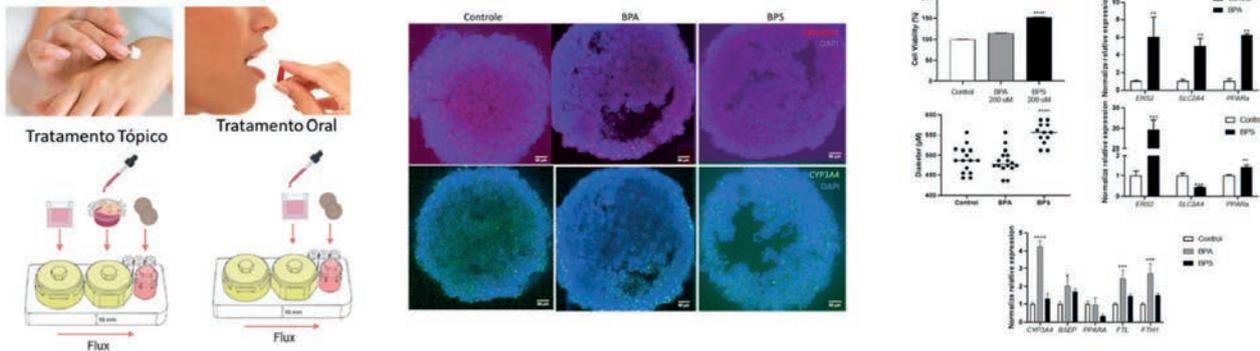


Figura 12. Estudo feito com a avaliação de esferóides de fígado à absorção oral e tópica de BPA e BPS, indica que BPS também possui potencial de toxicidade, porém em menor escala que BPA.

Neste semestre, o desenvolvimento de barreiras intestinais bioimpressas foi concluído. Essas barreiras foram avaliadas quanto às suas respostas ao tratamento com doses tóxicas e subtóxicas de ibuprofeno. Os resultados demonstraram que

foi possível obter dois modelos de barreira que apresentaram respostas fisiológicas consistentes com o esperado para o tecido intestinal (Figura 13). Esses dados estão sendo compilados em um artigo que será submetido em breve.

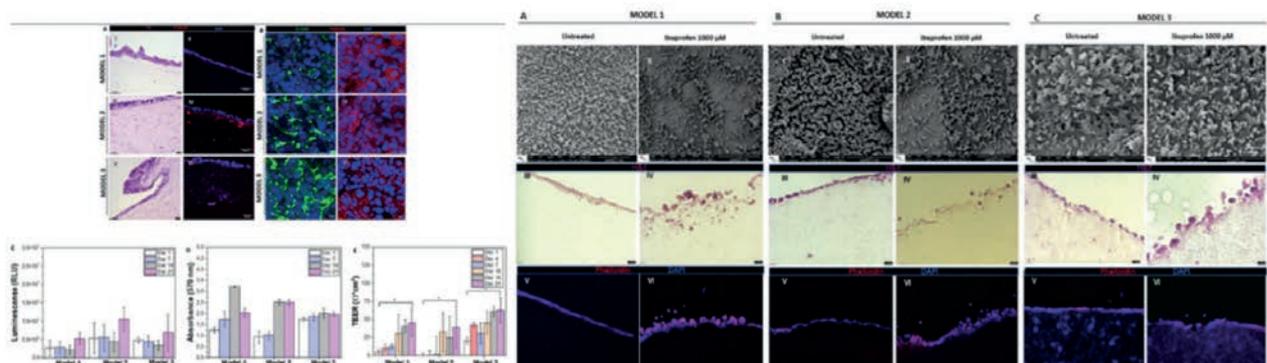


Figura 13. Resultados obtidos através da caracterização e tratamento dos modelos de barreira intestinal bioimpressos.

11. Ganzerla, M. D., et al. (2024). Unveiling the intricacies of BPA and BPS: comprehensive insights into its toxic effects using a cutting-edge microphysiological system. *Toxicology in Vitro*, 98, 105849. DOI: 10.1016/j.tiv.2024.105849

No período atual, também conduzimos os últimos estudos de infecção de esferóides de fígado com o vírus da febre amarela, visando avaliar as vias metabólicas alteradas pelo vírus no fígado. Os resultados obtidos por meio da caracterização proteômica revelam modificações

significativas em vias inflamatórias e processos fisiológicos hepáticos (Figura 14). Essas descobertas fornecem insights metabólicos detalhados sobre os danos causados pelo vírus no fígado. Atualmente, o manuscrito está em fase de preparação para publicação.

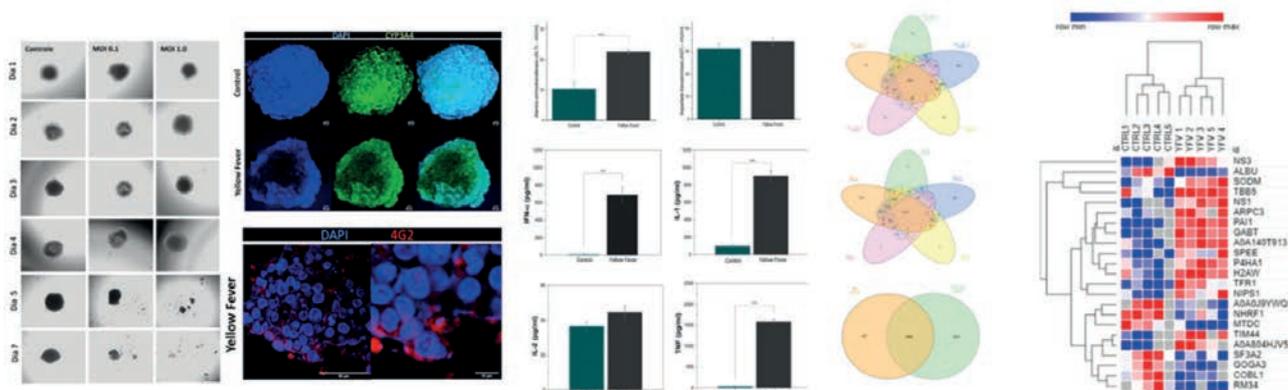


Figura 14. Resultados obtidos após a infecção de esferóides de fígado com vírus de febre amarela. É possível observar diversos danos provocados pelos vírus nos esferóides, os quais vão desde alterações metabólicas à modulação diferencial de vias.

Também foram concluídos os estudos de modulação da obesidade e resistência à insulina em tecido adiposo branco. Organoides de tecido adiposo foram desenvolvidos e modulados para induzir inflamação. Os resultados obtidos demonstraram

um fenótipo de obesidade e resistência à insulina, os quais foram validados por meio de comparações com tecido adiposo de camundongos obesos usando análise proteômica (Figura 15). Este trabalho foi publicado na revista *Plos One*¹².

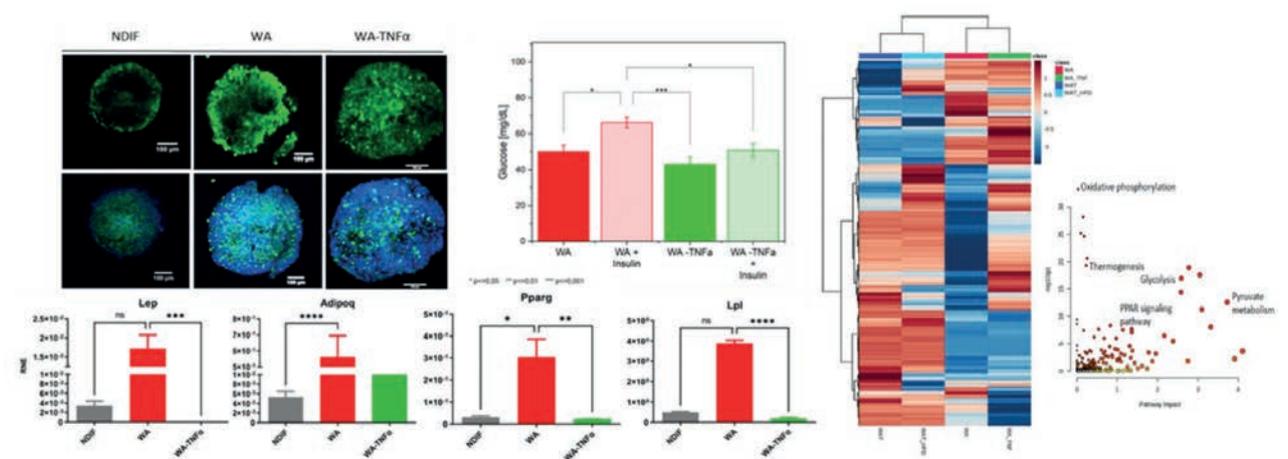


Figura 15. Resultados obtidos com o desenvolvimento de um modelo de obesidade e resistência à insulina desenvolvido através da biofabricação de adiposferas e indução de inflamação. Os resultados foram validados pela comparação com o tecido adiposo de camundongos obesos.

12. Avelino TM, Provencio MGA, Peroni LA, Domingues RR, Torres FR, et al. (2024) Improving obesity research: Unveiling metabolic pathways through a 3D *In vitro* model of adipocytes using 3T3-L1 cells. PLOS ONE 19(5): e0303612. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303612>

Terapia Gênica e Celular: Desenvolvimento de plataforma de terapia gênica e celular

O subprograma de Terapia gênica e Celular do CNPEM visa o estabelecimento de terapias avançadas baseadas em métodos modernos de edição gênica, como CRISPR/Cas9, para o tratamento de doenças genéticas humanas ainda sem cura, ou para as quais os tratamentos tradicionais são pouco eficazes e/ou apresentam diversos efeitos colaterais associados.

Durante o primeiro semestre de 2024, o grupo de pesquisa continuou o projeto em terapia gênica com o objetivo de corrigir a mutação causativa da Mucopolissacaridose Tipo I Grave, também conhecida como Síndrome de Hurler (MPS I-H), por meio do transplante autólogo de células-tronco hematopoéticas.

Para tanto, foram estabelecidos modelos de MPS I-H em células e camundongos, que serão fundamentais para o desenvolvimento do protocolo de terapia gênica. A confirmação do modelo celular de MPS I-H foi realizada por meio de sequenciamento de DNA e ensaio de atividade enzimática. Os resultados obtidos com

os clones produzidos demonstraram ausência de atividade enzimática, corroborando com os padrões observados nos pacientes. Além disso, foram iniciados os trabalhos de padronização das medidas de quantificação dos substratos acumulados na doença, os glicosaminoglicanos, utilizando amostras das linhagens celulares e murinas de MPS I-H. Este processo é realizado por meio de microespectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (μ -FTIR) na linha IMBUIA do Sirius.

Paralelamente, o grupo concentrou esforços na otimização do protocolo de terapia gênica, utilizando a tecnologia avançada *CRISPR Prime Editing*. Foram testadas 36 variações do RNA guia de *Prime Editing* (pegRNA) em linhagens de células humanas, gerando resultados bastante promissores em termos de eficácia de edição gênica. Outras modificações estão sendo avaliadas para alcançar taxas de edição compatíveis com uma eficiente correção da mutação após o transplante autólogo.

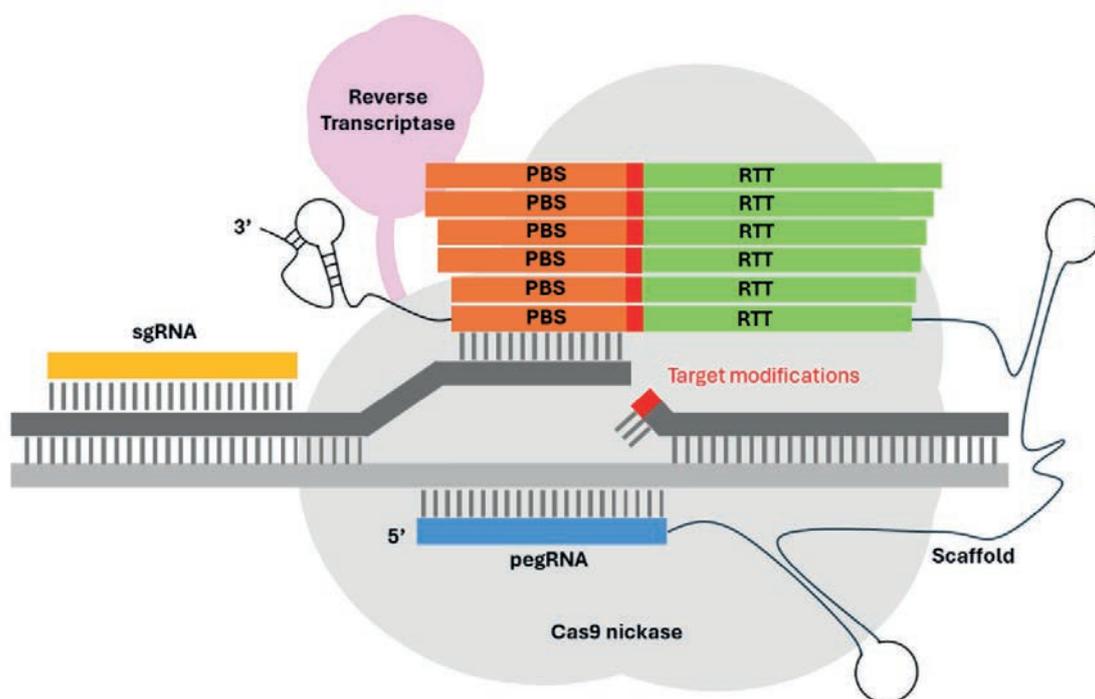


Figura 16. Esquema representativo da tecnologia de edição gênica CRISPR Prime Editing. Este sistema é composto pela enzima Prime Editor (PE) e um RNA guia denominado pegRNA. O PE consiste em uma proteína Cas9 nickase fusionada a um domínio de Transcriptase Reversa. O pegRNA é formado por uma sequência de 20 bases (spacer), complementar à sequência alvo, uma sequência scaffold (tracrRNA), uma extremidade 3' estendida que contém o sítio de ligação do primer (PBS) e a sequência modelo da transcriptase reversa com a região a ser editada (RTT). O PE, juntamente ao pegRNA, possuem a capacidade de reconhecer o local de edição, clivar uma única fita de DNA e codificar a nova sequência conforme o RTT, com alta especificidade, e menores taxas de inserções/ deleções e off-targets no genoma, comparado à tecnologia clássica CRISPR/Cas9.

Subprograma em Diagnóstico

Os avanços obtidos no Subprograma em Diagnóstico ao longo do ano de 2024 se alinham à missão do Programa de P&D em Saúde do CNPEM em desenvolver dispositivos capazes de gerar análises clínicas rápidas e acuradas fora do laboratório (*point-of-care, POC*). Tais plataformas devem ser portáteis, simples e rápidas, além de gerar sensibilidade e especificidade altas (acurácia clínica) e possuir compatibilidade de produção em larga escala de forma a possibilitar o seu uso em massa pela população. As análises POC permitem a descentralização e a simplificação de toda a cadeia de diagnósticos clínicos, reduzindo tempos e custos e beneficiando o poder público em sua tarefa de desenhar ações estratégicas para a saúde. O progresso do subprograma no primeiro semestre deste ano segue apresentado abaixo.

Chips ultradensos para diagnósticos multiplexados a partir de uma única resposta

Visando obter sensores eletroquímicos escalonáveis, reproduzíveis, de resolução elevada e de baixo custo, foi desenvolvida uma estratégia de fabricação baseada em técnicas tradicionais (fotolitografia e deposição de filmes finos) e engenharia de filmes finos verticais. Essa estratégia permitiu a fabricação de sensores ultradensos (diversos por lâmina de substrato; por exemplo, 60 a 870 sensores em uma lâmina de 75 × 35 mm) com um baixo número de linhas condutoras e pads de contato elétrico. Os eletrodos consistiram em nanofilmes verticais dispostos na forma de uma malha 3D e cada sensor baseou-se somente em dois eletrodos de Au, os eletrodos de trabalho (WE) e quase-referência (QRE) os quais foram separados por uma camada dielétrica de SU-8 (espessura: 4 µm). A alta densidade de integração combinada com o baixo número de linhas condutoras diminuem o custo final de cada sensor e possibilitam a integração de diversos sensores em um dispositivo compacto, contribuindo para a miniaturização da plataforma e uso da microfluídica.

Explorando a configuração única dos sensores verticais (abreviados como MEC, do inglês *meshed vertical electrochemical chips*), foi desenvolvido um método inédito que leva à detecção simultânea de 2 biomarcadores e/ou amostras a partir de um único sinal eletroquímico e uma mesma sonda redox

([Fe(CN)₆]^{3-/4-}) utilizando biossensores *label-free*. Esse método simplifica e barateia diagnósticos de múltiplos alvos (multiplexados) por possibilitar o uso de potenciostatos portáteis de um único canal. Vale destacar que esse tipo de teste eleva a capacidade de análise (*throughput*) de um número elevado de amostras e pode contribuir para aumentar a acurácia (baixo número de falsos positivos e negativos). Especificamente, os eventos de reconhecimento do analito sobre regiões espacialmente separadas de um mesmo WE puderam ser monitoradas ao longo de um único voltamograma mediante a análise de [Fe(CN)₆]^{3-/4-} em relação a 2 QREs, Au (0 V) e Ag/AgCl (+0,2 V). Tal isolamento espacial evita interferências entre as sondas redox e interferências nas etapas de funcionalização e biorreconhecimento. Como prova de conceito, imunossensores modificados com peptídeos foram construídos visando a detecção duplex de anticorpos da COVID-19, dobrando assim o *throughput*. Uma acurácia de 100% foi obtida para dezenas de amostras de soro humano.

Os resultados desse trabalho foram publicados em artigo na revista *Advanced Healthcare Materials*¹³ e um pedido de patente foi depositado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)¹⁴. Vale destacar também que o artigo acima foi destacado em capa (*Frontispiece*), como mostra a Figura 17.

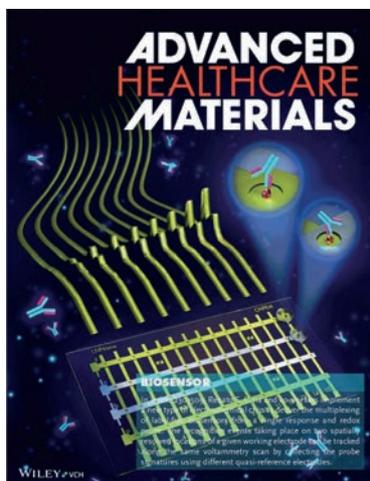


Figura 17 - Capa referente ao artigo publicado na revista *Advanced Healthcare Materials*, que apresenta dados relativos ao desenvolvimento de chips ultradensos para diagnósticos multiplexados a partir de uma única resposta.

13. Costa, J. N. Y. et al. (2024). Single-Response Duplexing of Electrochemical Label-Free Biosensor from the Same Tag. *Advanced Healthcare Materials* 13, 2303509.

14. "Dispositivo Eletroquímico, Processo de Produção de Dispositivo Eletroquímico e Método de Detecção Eletroquímica de Compostos" (número do processo: BR102023013929 9; depositada em 12/07/2023)

Microeletrodos nanoestruturados sobre chip ultradenso para aumento da sensibilidade de análises eletroquímicas limitadas por difusão

Microeletrodos nanoestruturados (NMEs, do inglês *nanostructured microelectrodes*) são uma alternativa para a obtenção de bioanálises ultrasensíveis em amostras biológicas. No entanto, embora valiosos para diferentes aplicações, os NMEs nanoporosos não são capazes de elevar a sensibilidade de análises limitadas por difusão, comuns em sistemas eletroquímicos. Essa limitação se dá em função do aumento do comprimento de Debye dentro dos nanoporos, o que reduz a sua acessibilidade pelos compostos eletroativos pela diminuição do seu fluxo de difusão. Para contornar esse problema, NMEs de Au sem nanoporos foram eletrodepositados nos chips ultradensos sobre eletrodos de recesso de Au com uma área de detecção de 45 μm , conforme definida por SU-8. Esses NMEs apresentaram uma estrutura única, consistindo em (i) microagulhas nanoestruturadas sobre a superfície de recesso de Au interconectadas com (ii) microestruturas também nanoestruturadas em forma de coroa em volta da borda do SU-8. Os NMEs obtidos geraram análises reprodutíveis, ao passo que um algoritmo de machine learning (ML) permitiu a previsão dos sinais analíticos dos

sensores a partir dos dados de eletrodeposição dos NMEs.

Em função da área superficial elevada e da estrutura acessível dos NMEs (devido à ausência de nanoporos), sensores com essas estruturas proporcionaram um aumento de 5,5 vezes da sensibilidade para o par $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/4-$ em relação às análises com WEs nativos. Adicionalmente, os NMEs apresentaram propriedade antibioincrustrante quando incubados em plasma humano não diluído. Como prova de conceito, chips eletroquímicos com os NMEs foram aplicados para análise rápida (22 min) e simples da bactéria *Staphylococcus aureus* a partir do monitoramento da oxidação do íon $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, que atuou como um mediador redox da taxa de respiração celular bacteriana após redução da espécie $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$. Os sensores também exibiram uma ampla faixa dinâmica, abrangendo 5 ordens de magnitude, e um limite de detecção de 0,2 CFU mL^{-1} . Os resultados obtidos neste trabalho foram publicados recentemente na revista *ACS Applied Materials & Interfaces*¹⁵. Esse artigo também será destaque em capa na publicação do seu volume, como mostra a Figura 18.

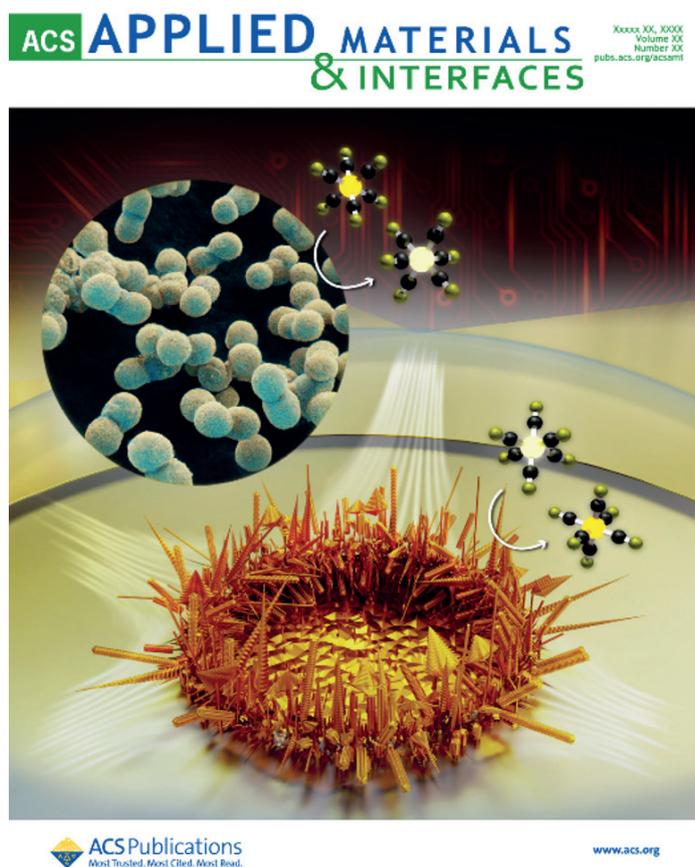


Figura 18 - Capa a ser publicada referente ao artigo no periódico ACS Applied Materials & Interfaces (DOI: 10.1021/acsami.4c01159) com dados relativos ao desenvolvimento de chips eletroquímicos ultradensos com arrays de microeletrodos nanoestruturados.

15. Pimentel, G. J. C. et al. (2024). Ultradense Electrochemical Chips with Arrays of Nanostructured Microelectrodes to Enable Sensitive Diffusion-Limited Bioassays. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. doi:10.1021/acsami.4c01159.

Dispositivos elétricos de rGO modificados com DNA para o diagnóstico de marcadores de estresse

O óxido de grafeno reduzido (rGO) é um material condutor bidimensional que apresenta condução ambipolar quando utilizado em transistores de filmes finos, possibilitando sua aplicação em dispositivos ao explorar correntes de elétrons e de lacunas. Particularmente, a utilização desse material em transistores eletrolíticos (EGTs) possibilita o desenvolvimento de biossensores multiparamétricos altamente sensíveis e de baixa tensão (<1 V) ao funcionalizar os seus grupos oxigenados com biorreceptores seletivos. Devido ao crescente reconhecimento global das doenças que afetam humanos e animais, estão sendo desenvolvidos biossensores funcionalizados com DNA de fita simples (ssDNA) usado como sonda de captura (DNAcp) para detectar o biomarcador de estresse miR-34a. Os eletrodos interdigitados de fonte e dreno foram revestidos com uma solução de poli(cloreto de dialildimetilamônio) para deposição de óxido de grafeno (GO), utilizando métodos térmicos e eletroquímicos para sua redução. A redução térmica foi realizada em ultra-alto vácuo (10–10 mbar) a 350 °C por 10 min, enquanto a redução eletroquímica foi conduzida por meio da técnica de voltametria cíclica. Dois métodos foram considerados para a imobilização

de ssDNA: (i) éster N-hidroxisuccinimida do ácido 1-pirenobutírico (PBASE); (ii) e cloridrato de 1-etil-3-(3-dimetilaminopropil)carbodiimida (EDC)/N-hidroxisuccinimida (NHS). Ambos utilizaram a etanolamina como agente bloqueador. As curvas de transferência foram obtidas por meio do registro da corrente fonte-dreno em função da variação da tensão gate-fonte de +0,5 a -0,5 V, com uma tensão fonte-dreno constante de 0,2 V. ssDNA com uma sequência similar ao complemento do biomarcador à sequência de DNAcp foi utilizado em diferentes tempos de incubação e concentrações. As curvas analíticas foram obtidas de 0,01 a 500 fmol L⁻¹ em solução tampão fosfato (10 mmol L⁻¹, pH 7,4). Os resultados preliminares mostraram que o rGO reduzido termicamente e funcionalizado com PBASE apresentou os melhores resultados para o intervalo linear de 0,01 a 500 fmol L⁻¹, com R² = 0,996 e sensibilidade em nível de attomolar (limite de detecção = 9,0 amol L⁻¹). A Figura 19A apresenta as curvas de transferência da corrente fonte-dreno em função da variação da tensão gate-fonte, enquanto a Figura 19B ilustra a curva analítica para o intervalo de 0,01 a 500 fmol L⁻¹ de concentração da espécie de interesse.

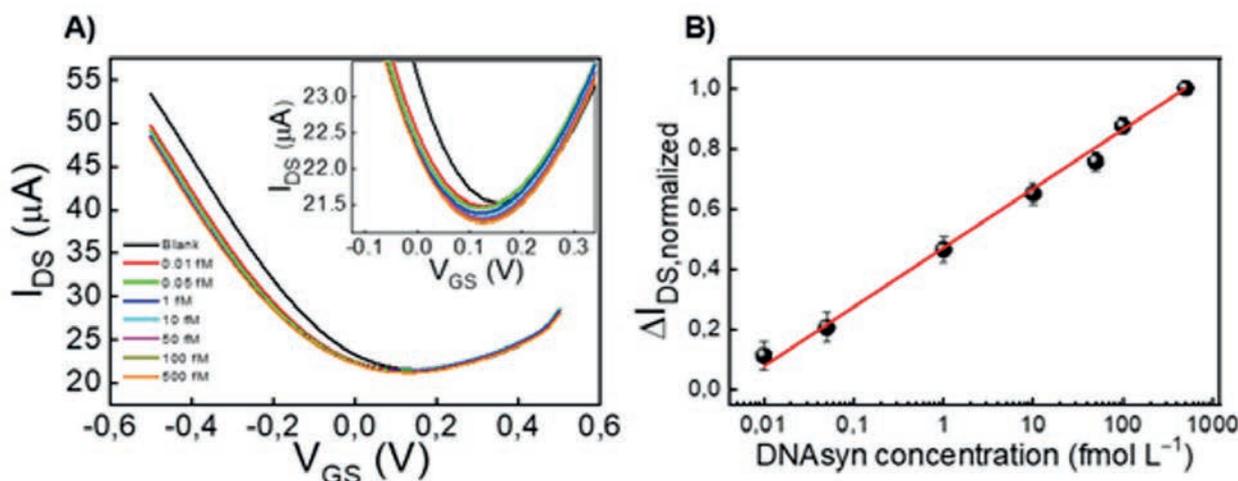


Figura 19 - (A) Curva de transferência do dispositivo para uma variação de tensão gate-fonte de +0,5 a -0,5 V, com VDS de 200 mV, para concentrações de 0,01 a 500 fmol L⁻¹. (B) Curva analítica para concentrações de 0,01 a 500 fmol L⁻¹.

Novos estudos estão sendo realizados com a deposição de duas amostras diferentes de óxido de grafeno nos EGTs. Atualmente, estão sendo avaliados os tempos de incubação do ssDNA complementar ao biomarcador em relação à sequência de DNAcp. Este estudo busca determinar o tempo ótimo para a

hibridização entre o ssDNA complementar e o DNAcp. Posteriormente, serão obtidas as curvas de transferência e analíticas com os mesmos intervalos e concentrações utilizados anteriormente a fim de comparar o desempenho dos diferentes rGO na detecção do miR-34a.

Dispositivos eletroquímicos nanoestruturados à base de papel pirolisado

Dispositivos eletroquímicos baseados em papel são muito promissores para análises de alta sensibilidade, verdes, baixo custo, acessíveis, miniaturizadas, fáceis de usar e descentralizadas para aplicações na área da saúde. Eletrodos de carbono porosos têm sido amplamente utilizados e a funcionalização química desempenha um papel fundamental no ajuste da sensibilidade e seletividade dos eletrodos. No entanto, controlar diferentes propriedades interfaciais dos eletrodos usando uma única rota de funcionalização ainda é um desafio. Em trabalho recentemente publicado¹⁶, buscou-se ajustar a molhabilidade, a composição química e a área eletroativa de dispositivos à base de papel carbono, tratando termicamente a polidopamina (PDA) em diferentes temperaturas. Os filmes de PDA foram depositados em eletrodos de papel pirolisado (PP) e tratados termicamente na faixa de 300-1000 °C. Após a deposição do PDA, a superfície é rica em nitrogênio e oxigênio, é superhidrofílica e possui alta área eletroativa. À medida que a temperatura

aumenta, a superfície torna-se hidrofóbica e a área eletroativa diminui. As modificações de superfície foram acompanhadas por Raman, microscopia fotoeletrônica de raios X, microscopia confocal de varredura a laser, ângulo de contato, microscopia eletrônica de varredura, medidas elétricas, microscopia eletrônica de transmissão e experimentos eletroquímicos. Além disso, a composição química das espécies de nitrogênio pode ser ajustada na superfície. Como prova de conceito, foram empregadas superfícies tratadas com PDA para ancorar íons $[\text{AuCl}_4]^-$. Após a redução eletroquímica, foi observada a possibilidade de controlar o tamanho das nanopartículas na superfície. A rota abre um novo caminho para adicionar versatilidade às interfaces eletroquímicas no campo de biossensores eletroquímicos baseados em papel. O artigo publicado foi capa da edição de abril (Figura 20) e o trabalho fez parte de uma edição especial dedicada a pesquisadores de destaque em início de carreira (2023, *Rising Star in Measurement Science*).



Figura 20 - Capa publicada na edição de abril da revista ACS Au Measurement Science. A ilustração destaca a inspiração no material adesivo liberado pelos mexilhões, a polidopamina, que foi empregada para funcionalizar eletrodos de carbono porosos. A química da superfície da polidopamina foi ajustada por pirólise, permitindo observar diversas características de interesse. Por exemplo, o tamanho e a concentração das nanopartículas de ouro preparadas por redução eletroquímica podem ser ajustados na superfície.

16. Rocha, J. F. et al. (2024). Tuning the Chemical and Electrochemical Properties of Paper-Based Carbon Electrodes by Pyrolysis of Polydopamine. ACS Meas. Sci. Au 4, 188–200.

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Energias Renováveis

Este programa tem como objetivo viabilizar uma trajetória de diversificação e descarbonização dos sistemas energéticos, com base em nossos diferenciais como país. O CNPEM atua no desenvolvimento da biotecnologia até escala de planta piloto para biocombustíveis sustentáveis e de baixo carbono. Ao longo das últimas décadas, o Brasil se consolidou como protagonista global na produção de biocombustíveis líquidos, como bioetanol e biodiesel.

Dentre as opções tecnológicas para aumento da produção de biocombustíveis que vêm sendo desenvolvidas no país, destaca-se o etanol celulósico, também conhecido como etanol de segunda geração, uma tecnologia promissora que utiliza resíduos agroindustriais como matéria-prima, minimizando o impacto ambiental. No entanto, desafios tecnológicos ainda precisam ser superados, principalmente nas etapas de pré-tratamento, sacarificação e fermentação de pentoses. Para tanto, o CNPEM atua no desenvolvimento de um coquetel enzimático competitivo comercialmente para a sacarificação da biomassa, além de cepas microbianas capazes de metabolizar integralmente seus açúcares fermentáveis. Os próximos desafios tecnológicos incluem o desenvolvimento de rotas de produção de biocombustíveis para transporte aéreo, marítimo e rodoviário para veículos pesados. Além disso, o hidrogênio surge como um insumo crucial nessa cadeia, além de ter aplicações na produção de intermediários químicos.

A estratégia do CNPEM em Energias Renováveis abrange duas principais iniciativas: (i) Biocombustíveis Líquidos - o desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis, desde a escala de bancada até o escalonamento de processo, com avaliações de sustentabilidade; (ii) Hidrogênio - desenvolvimento de tecnologias para produção e uso de hidrogênio de baixo carbono, incluindo o hidrogênio “verde” (obtido por meio da eletrólise da água).

Subprograma em Hidrogênio de Baixo Carbono

Este subprograma visa o desenvolvimento de materiais avançados que possam atuar na geração e estocagem de energia, incluindo síntese de catalisadores avançados, processos de fabricação sofisticados e técnicas de caracterização que permitam prever o desempenho e o tempo de vida destes materiais em operação. O subprograma também visa o desenvolvimento e a avaliação de rotas tecnológicas que integrem a produção e o uso industrial de hidrogênio de baixo carbono. Cabe destacar o hidrogênio produzido por eletrólise da água (H₂O) empregando eletricidade renovável, chamado de hidrogênio verde.

Perspectivas e desafios na produção e uso de hidrogênio verde no Brasil

O hidrogênio desponta como uma solução para a descarbonização dos sistemas energéticos. Isso se deve à sua versatilidade de aplicação e à possibilidade de produção por rotas ambientalmente amigáveis. A versatilidade do hidrogênio está presente em suas aplicações como matéria-prima em diversos setores industriais e como combustível para veículos leves e de transporte. A produção do hidrogênio por meio de rotas que utilizam energia proveniente de fontes renováveis, como biomassa, energia eólica e solar, aponta o Brasil como grande produtor de hidrogênio de baixo carbono e tem atraído atenção e investimentos em diversos países do mundo. O “hidrogênio verde” é um hidrogênio de baixo carbono obtido por meio da eletrólise da água que é decomposta em seus componentes básicos, hidrogênio e oxigênio, utilizando eletricidade provinda de fontes renováveis. O CNPEM atua no desenvolvimento de

tecnologias para produção e uso de hidrogênio de baixo carbono, incluindo o hidrogênio verde. Este semestre destaca-se o trabalho sobre a intensidade de carbono de hidrogênio verde produzido nas condições brasileiras.

A intensidade de carbono do ciclo de vida da produção do hidrogênio tem sido avaliada com objetivo de verificar suas credenciais ambientais. A produção de hidrogênio conectada à rede elétrica é o estudo de caso mais relevante, visto que a conexão à rede tende a apresentar reduções de custos na produção de hidrogênio. No entanto, a produção conectada à rede interage com toda a complexidade do sistema elétrico. A Figura 21 apresenta os elementos do sistema de produção de hidrogênio com escopo do berço ao portão. As fronteiras do sistema incluem a geração de energia, a interação com a rede elétrica que conecta a geração e o consumo da energia e a produção

de hidrogênio em um eletrolisador alcalino. Os requisitos para assegurar a baixa intensidade de carbono desse tipo de sistema têm sido expressos em termos de (1) adicionalidade da fonte de energia; (2) entregabilidade (*deliverability*) da energia por meio da rede elétrica; e (3) casamento temporal entre a geração e o

consumo da energia elétrica. O contexto brasileiro é singular tendo em vista as características do sistema elétrico quanto a sua escala geográfica, proporção de fontes renováveis e existência de reservatórios hidrelétricos com significativo armazenamento de energia e flexibilidade de despacho.

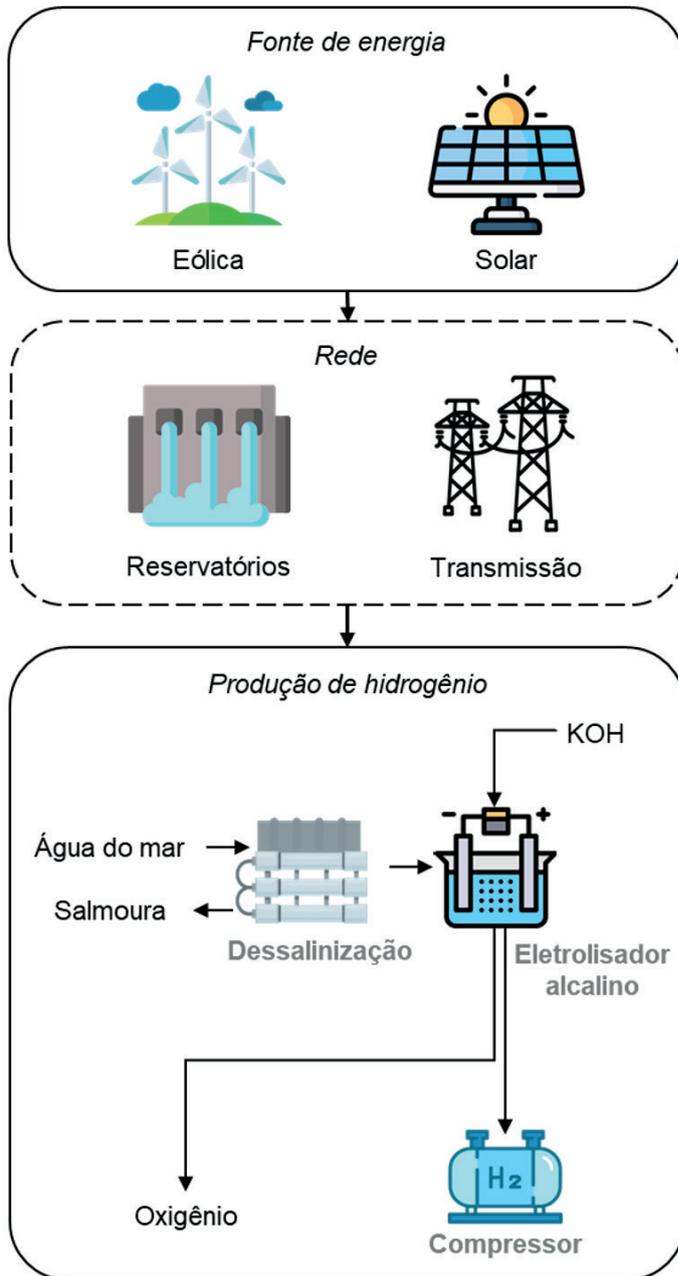


Figura 21. Elementos de um sistema de produção de hidrogênio verde conectado à rede elétrica.

Os cálculos de intensidade de carbono do hidrogênio verde produzido nas condições brasileiras foram realizados baseados em mapas de potencial solar e eólico, inventários de sistemas de geração e transmissão de energia e eletrolisadores alcalinos e simulações horárias de impactos na rede elétrica. As intensidades de carbono calculadas ficam entre 1–3 kgCO₂eq/kgH₂. Essas intensidades

são compatíveis com hidrogênio de baixo carbono, visto que são substancialmente inferiores ao impacto do hidrogênio produzido a partir da reforma do gás natural de origem fóssil, chamado de hidrogênio cinza (11,4 kgCO₂ eq/kgH₂). Esses estudos são de grande importância para assegurar a integridade ambiental e a eficiência econômica da produção de hidrogênio verde de baixo carbono no Brasil.

Desenvolvimento de fotoeletrolisadores: a busca por novas tecnologias sustentáveis

O CNPEM tem dedicado esforços nos últimos anos para o desenvolvimento de componentes com intuito de viabilizar a criação da próxima geração de eletrolisadores: os fotoeletrolisadores. Esta nova tecnologia, popularmente conhecida como fotossíntese artificial, consiste em quebrar a molécula de água apenas na presença de luz solar e materiais abundantes, gerando o gás hidrogênio de alta pureza e livre de carbono, tendo como subproduto o gás oxigênio. Os esforços se resumem no desenvolvimento de uma tecnologia 100% brasileira, em que os componentes e rotas de fabricação deste dispositivo sejam de domínio nacional. Os principais desafios científicos neste desenvolvimento é encontrar materiais que preenchem uma extensa e complexa lista de requisitos, tais como: (i) aptidão de absorver luz na região do visível (luz solar); (ii) estabilidade em ambiente de operação (água do mar, eletrólito básico, entre outras); (iii) capacidade de separar e transportar carga entre as interfaces até sua injeção na interface com o líquido; (iv) capacidade de utilizar as cargas para promover a quebra da molécula da água (reação redox); e (v) a abundância na natureza o que tornará seu desenvolvimento competitivo.

Nesse sentido, o CNPEM tem trabalhado para solucionar os problemas mencionados, procurando nos principais candidatos a este tipo de aplicação. Os materiais adotados para a aplicação, como os eletrodos (cátodo e ânodo), são a base de óxidos de metais de transição, mais especificamente óxidos de ferro e cobre. Após identificação dos problemas que apresentam estes materiais, focou-se no desenvolvimento de uma nova rota química de fabricação de

materiais óxidos na forma de filmes finos, a fim de permitir a manipulação dessas deficiências por meio da incorporação seletiva de aditivos ou dopantes na estrutura da matriz (ferro e cobre). Esta rota foi chamada de solução precursora polimérica (PPS) e submetida para patente¹⁷. A partir de melhorias realizadas e com os resultados de eficiência dos materiais alcançando os principais recordes da literatura, o pedido de patente original foi revisado e enviado para proteção internacional¹⁸. Os nanomateriais obtidos como resultado desta nova metodologia tiveram dois impactos importantes na área de fotoeletrolise. O primeiro impacto possibilitou a manipulação experimental da mobilidade do elétron induzindo ao aumento na condutividade do material e, quando combinado a um segundo dopante responsável por facilitar esse mesmo elétron a viajar entre os cristais de óxido de ferro (redução da barreira de energia entre os cristais), foi observado um aumento significativo na produção de H₂. O domínio deste método possibilitou compreender e controlar as limitações inerentes dos materiais, induzindo a melhora em sua eficiência. Utilizando as instalações do CNPEM, também foi possível mostrar a localização de cada elemento dopante, revelando o potencial da rota de fabricação, além de comprovar a eficácia que esta seletividade proporciona. Os avanços foram publicados em vários periódicos internacionais, com destaque para o artigo publicado no *Journal of Materials Chemistry A*¹⁹, em que o trabalho foi destaque na capa do periódico (Figura 22), e apresentou o novo recorde de conversão de luz solar em H₂ e demonstrou como foram superadas essas limitações.



Figura 22 - A imagem de capa apresenta a produção limpa de H₂ via conversão de luz solar nesta molécula quando adicionado os fotoeletrodos em desenvolvimento na água do mar, por exemplo. Este novo método permite manipular de forma seletiva limitações do óxido de ferro principal candidato para aplicação como fotoeletrodo em dispositivos fotoeletroquímicos (imagem ao lado). Os avanços científicos alcançados utilizando óxido de ferro e dopantes também abundantes e de baixa toxicidade traz novo ímpeto para o desenvolvimento desta tecnologia de produção de H₂ via conversão de luz solar e água nessa molécula.

17. Número INPI BR 1020230053726, em 23/03/2023.

18. Registrada com número PCT/BR2024/050111.

19. Verissimo, N. C. et al. (2024). Dual modification on hematite to minimize small polaron effects and charge recombination for sustainable solar water splitting. *J. Mater. Chem. A* 12, 6280–6293.

O segundo destaque alcançado na área de fotoeletrolise foi o progresso obtido com novos nanomateriais associados à inovação. Este avanço possibilitou o início do estudo para o aumento da área ativa (Figura 23), além da construção de protótipos para avaliar a eficiência dos sistemas em um ambiente que simula as condições reais de aplicação.

A incorporação seletiva de dopantes na rede da hematita permitiu a fabricação de materiais com reduzida perda ôhmica devido aos contatos e interfaces resistivas. Assim, durante o primeiro semestre de 2024, foram

realizados inúmeros testes em eletrodos com dimensões variadas e construir protótipos para iniciar os estudos de compreensão dos desafios de engenharia que estão por vir no desenvolvimento desta tecnologia. Os principais avanços foram publicados no *International Journal of Hydrogen Energy*²⁰. Como conclusão parcial, os estudos indicaram que a melhor solução para a construção do primeiro protótipo de fotoeletrolizador em escala de laboratório é na versão de módulo com 10 eletrodos, cada um com uma área ativa entre 1 e 5 cm².

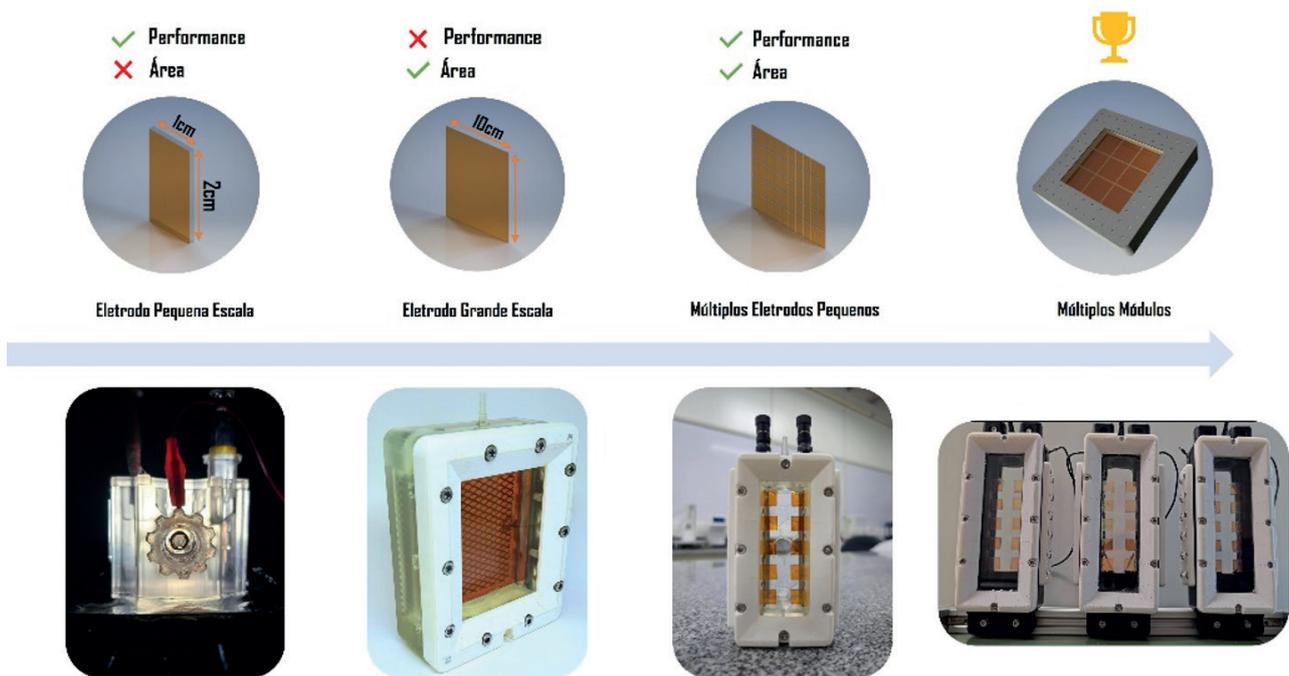


Figura 23 - As figuras ilustram a evolução de área ativa dos eletrodos, revelando que a construção de módulos com vários eletrodos com pequenas dimensões limitadas a 5 cm² proporcional o melhor desempenho na conversão de luz em H₂ via fotoeletrolise da água. (Imagem acima). Concomitante com a evolução dos eletrodos em desempenho e área ativa, os protótipos foram também desenvolvidos para auxiliar no monitoramento e quantificação dos gases gerados. A figura ilustra (direita para esquerda) o protótipo de um único eletrodo com área de 1 cm² até o módulo com vários fotoreatores contendo 10 eletrodos cada.

No próximo semestre, os estudos serão focados no desenvolvimento e monitoramento dos parâmetros físico-químicos desses módulos, além de aprimorar a eficiência para a nova escala de desenvolvimento com múltiplos eletrodos acoplados. Do ponto de vista científico, ainda existem desafios complexos, como a melhoria

da superfície dos semicondutores para aumentar a eficiência na quebra da molécula de água, a compreensão do papel dos dopantes na estrutura eletrônica dos óxidos de ferro e cobre, e o aumento da espessura dos materiais para ampliar a absorção da luz solar, aproveitando melhor todo o espectro.

20. Rodríguez-Gutiérrez, I. et al. (2024). Overcoming scale-up challenges for nanostructured photoelectrodes via one-step interface engineering. *International Journal of Hydrogen Energy* 58, 1138–1148.

Subprograma de Biocombustíveis Líquidos

Atualmente, o setor de transporte é um dos maiores contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, os biocombustíveis avançados surgem como a principal alternativa para reduzir essas emissões, com expectativa de aumento na demanda no Brasil. No caso do etanol como biocombustível, espera-se que a demanda cresça em cerca de 50% na próxima década, impulsionada por leis de incentivo como o RenovaBio. O Brasil continuará se destacando como um dos maiores produtores mundiais. Além disso, a partir de 2027, prevê-se um aumento significativo na demanda por bioquerosene de aviação, impulsionado por um acordo entre vários países no setor da aviação civil (CORSIA). No entanto, ainda existem desafios de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para viabilizar essas tecnologias no país. A expansão das áreas destinadas à produção de biocombustíveis deve ser realizada de maneira sustentável, a fim de evitar competição com a produção de alimentos e mitigar os impactos da mudança de uso da terra. Dentro desse contexto, estratégias sustentáveis podem se beneficiar da integração de cadeias produtivas.

O CNPEM destaca neste semestre as seguintes frentes: (i) exploração das sinergias entre as cadeias produtivas sucroenergética e agropecuária, avaliando seus aspectos logísticos e de sustentabilidade; (ii) obtenção de microrganismos industriais que consomem o açúcar xilose para a produção de biocombustíveis líquidos avançados; e (iii) avaliação técnico-econômica e ambiental da produção de óleos microbianos a partir da cana-de-açúcar e sua conversão em combustíveis de aviação sustentáveis (SAF).

Melhoria do uso da terra devido à integração da produção de etanol e pecuária

Neste semestre, destaca-se a finalização do projeto temático FAPESP²¹ "Avaliação da Integração Cana-pecuária: Modelagem e Otimização". A expansão da produção de biocombustíveis com base em culturas de alimentos e seus impactos no uso da terra originaram o debate "alimentos versus biocombustíveis". Ao mesmo tempo em que a pecuária é a atividade humana com maior território ocupado no planeta, com pastagens e áreas agrícolas dedicadas à produção de alimentos para gado, a pecuária nacional apresenta baixa produtividade média devido ao manejo extensivo, ao baixo uso de insumos e à baixa tecnificação. Neste contexto, a integração da produção de etanol com a pecuária pode melhorar o uso de terra, pois sistemas mais intensivos conseguem manter ou mesmo aumentar a produção de alimentos enquanto reduzem o uso da terra. É possível, portanto, expandir a área destinada à produção de biocombustíveis sem deslocar o cultivo de alimentos ou a pecuária, que, por sua vez, poderia avançar em áreas de vegetação natural. O projeto temático foi realizado em colaboração com 16 instituições parceiras²², integrando universidades nacionais e internacionais, instituições de ciência e tecnologia e empresas. O estudo, iniciado em 2019 e finalizado em 2024, explorou as sinergias entre as cadeias produtivas sucroenergética e agropecuária, avaliando seus aspectos logísticos e de sustentabilidade.

A pesquisa alcançou progressos significativos na obtenção de dados experimentais para a construção dos metamodelos representativos das diversas etapas que compõem os cenários de integração cana-de-açúcar, outras matérias-primas agrícolas e pecuária, buscando a sua otimização. Apesar dos desafios substanciais impostos

pela pandemia, que afetaram primordialmente as atividades laboratoriais, os diversos grupos de pesquisa envolvidos no projeto conseguiram direcionar seus esforços para o aprofundamento e a análise detalhada dos processos a seguir enumerados: (1) pré-tratamento dos resíduos lignocelulósicos da cana-de-açúcar; (2) aproveitamento da vinhaça para produção de proteína e co-digestão com dejetos bovinos para produção de biogás; (3) estudos do metabolismo de diversos ingredientes de rações a serem introduzidos nos sistemas integrados; (4) estudos da otimização econômica e ambiental de diversas rações para bovinos confinados; (5) estudos dos sistemas produtivos de cana-de-açúcar, milho, eucalipto e outras culturas agrícolas, construindo os metamodelos empregados nos sistemas integrados; (6) construção dos metamodelos representativos das biorrefinarias e dos sistemas de pastagem e confinamento representativos da cadeia da pecuária; (7) utilização dos resultados obtidos pelos diversos grupos de pesquisa do projeto para construção dos metamodelos para as avaliações técnica e da sustentabilidade econômica, ambiental e social dos sistemas básicos e integrados; (8) estabelecimento das rotinas de otimização dos cenários básicos e de integração cana-de-açúcar e pecuária.

Os resultados obtidos demonstram avanços significativos na modelagem e otimização dos sistemas integrados, com ênfase na sustentabilidade e eficiência logística. A construção de metamodelos para as etapas de produção e a análise detalhada dos processos envolvidos fornecem uma base sólida para futuras iniciativas de integração agropecuária, contribuindo para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental.

21. Temático FAPESP: 2017/11523-5. Avaliação da Integração Cana-pecuária: Modelagem e Otimização.

22. Participam também as seguintes instituições brasileiras: EMBRAPA (CNPMA, CNPTIA, CNPSE, CNPGC e CPAP), Unicamp (NIPE, FEQ, FCA, IE e FEAGRI) e USP (EESC e CEPEA). Instituições internacionais: Michigan State University, Texas A&M University e University of Edinburgh.

Microrganismos industriais que consomem o açúcar xilose para etanol de segunda geração

Um gargalo tecnológico para a produção de biocombustíveis líquidos avançados é a obtenção de microrganismos industriais que consumam o açúcar xilose (pentose), abundante após o processo de hidrólise da biomassa. São poucos os microrganismos consomem naturalmente o açúcar xilose. O LNBR/CNPEM desenvolveu uma linhagem promissora para este fim, a C5.V3 LNBR, que possui um total de oito modificações genéticas (uma deleção e sete inserções gênicas), incluindo a integração do gene codificando uma enzima xilose isomerase e sua evolução adaptativa em laboratório visando o consumo de xilose. Todas essas modificações foram realizadas na cepa laboratorial base CEN.PK 113-7D. Durante o cultivo em xilose, a linhagem C5.V3 LNBR foi capaz de converter xilose em etanol com alto rendimento (80% do máximo teórico), e foi capaz de metabolizar todo o açúcar fornecido em 24h

durante uma co-fermentação com glicose e xilose, demonstrando grande potencial para co-utilização destes dois açúcares. Contudo, a C5.V3 LNBR apresentou baixa performance fermentativa quando cultivada em hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar preparado utilizando o coquetel enzimático do LNBR. Para superar este desafio, a linhagem C5.V3_Ind LNBR foi desenvolvida utilizando a cepa industrial SA-1 e realizando as mesmas modificações genéticas e estratégia evolutiva aplicadas para C5.V3 LNBR. Os resultados deste semestre mostram que, quando cultivada em hidrolisado puro, a linhagem C5.V3_Ind LNBR apresenta capacidade fermentativa superior a C5.V3 LNBR, conseguindo consumir quase todo o açúcar presente no hidrolisado em cerca de 72 h de cultivo, além de produzir etanol com rendimento de 0,44 g etanol/g açúcares totais, o que equivale a 86% do teórico máximo.

Rota alternativa a partir de óleo microbiano para combustível de aviação sustentável

Uma estratégia crucial para a neutralidade de emissões de gases de efeito estufa na aviação civil é a substituição do querosene fóssil por combustíveis de aviação sustentáveis (SAF), derivados de fontes renováveis ou resíduos, alinhados a critérios de sustentabilidade e viabilidade técnica. Embora várias rotas de produção de SAF tenham sido certificadas, os volumes atualmente disponíveis estão aquém do necessário, predominantemente concentrados na rota Ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA). Esta rota, que transforma óleos vegetais e gorduras animais em combustíveis, enfrenta limitações de custo, disponibilidade e impacto ambiental das matérias-primas. Assim, encontrar matérias-primas alternativas

aos óleos vegetais para uma rota consolidada representa uma oportunidade para atender a necessidade de diversificação e aumento de escala da produção de SAF. Dentre essas, destacam-se os óleos microbianos, que são lipídios obtidos por fermentação a partir de diversas fontes de carbono e de composição semelhante aos óleos vegetais. Neste estudo, avaliou-se a produção de óleos microbianos a partir da cana-de-açúcar e a sua conversão em SAF via rota HEFA (Figura 24), chamada de rota MO-HEFA. O escopo do estudo compreende as avaliações técnico-econômica e ambiental desse processo, quantificando os impactos do ciclo de vida do combustível, desde a produção da matéria-prima ao uso do combustível.

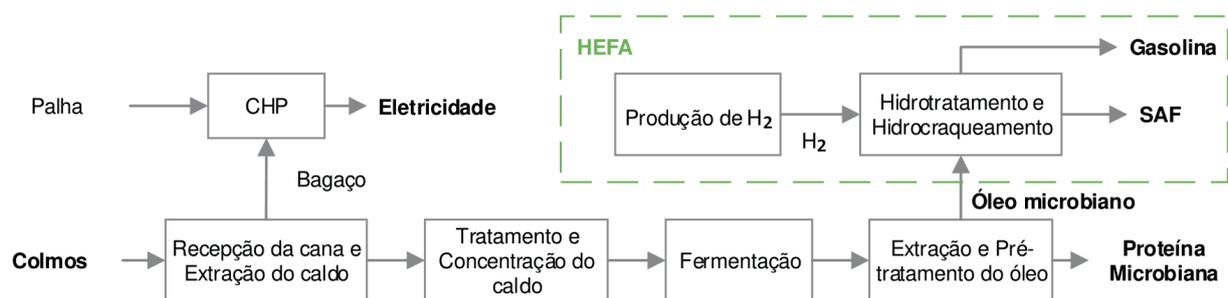


Figura 24. Diagrama de blocos da rota MO-HEFA.

A partir de dados de desempenho de bioprocessos e do processo HEFA disponíveis na literatura, foram realizados os balanços de massa e energia. A partir destes, foram estimados o preço mínimo de venda do SAF e a pegada de carbono da rota MO-HEFA (Figura 25).

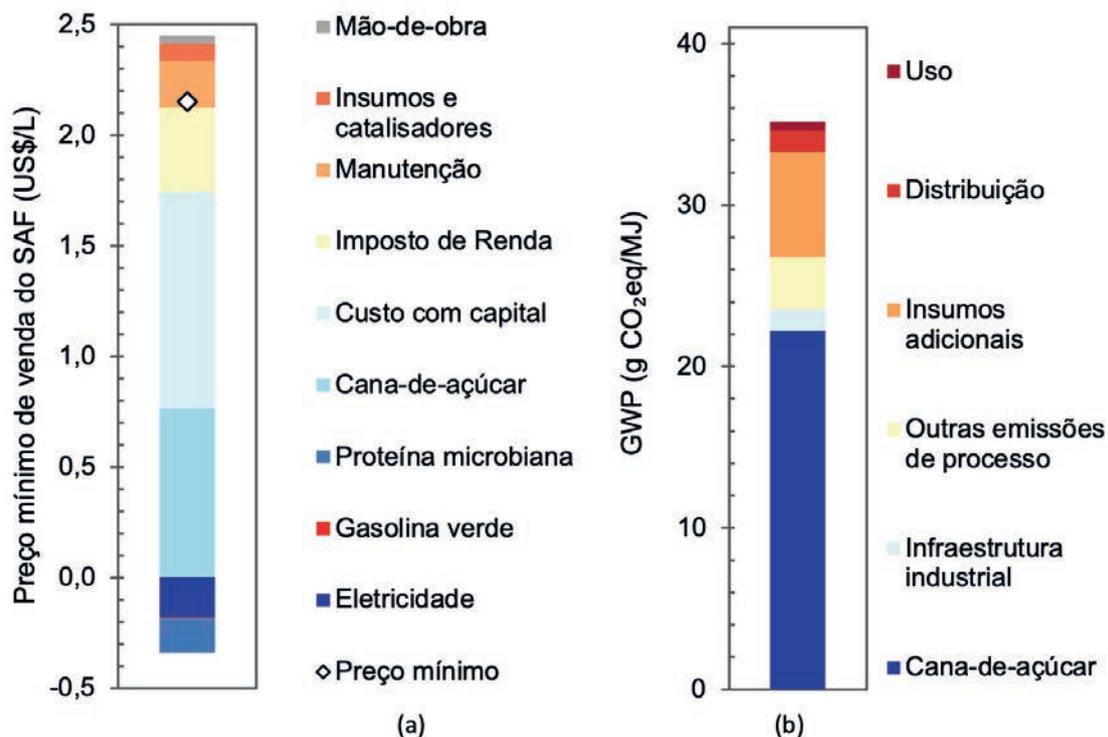


Figura 25. Desempenho da rota MO-HEFA: a) Preço mínimo de venda do SAF (US\$/L); b) Pegada de carbono (g CO₂ eq/MJ).

Os resultados indicam que a rota MO-HEFA pode ser viável em termos técnicos e ambientais, com uma pegada de carbono de 35,3 g CO₂ eq/MJ. O preço mínimo de venda do SAF foi calculado em 2,15 US\$/L, valor compatível com os custos esperados do SAF (três a quatro vezes o QAV fóssil) e com resultados da literatura para outras rotas de produção, com custos estimados entre 0,75 e 6,36 US\$/L. No entanto, a rota proposta apresenta um preço mínimo de venda superior à rota HEFA com óleos vegetais (1,10 US\$/L) em razão do alto custo da fermentação. Essa etapa corresponde a 40% do custo com capital, devido ao longo tempo de fermentação (134 h) e à necessidade de aeração, o que exige fermentadores de maior complexidade e

em maior número. Em vista disso, análises de sensibilidade foram realizadas para identificar quais parâmetros da fermentação possuem maior impacto no desempenho do processo e guiar desenvolvimentos biotecnológicos. Além disso, a valorização das células desengorduradas como coproduto (proteína microbiana) mostrou-se um fator importante para melhorar o desempenho econômico do processo. Apesar dos desafios econômicos, essa abordagem pode representar uma alternativa promissora, pois oferece uma redução superior a 50% nas emissões de gases de efeito estufa, integrando fontes de matérias-primas mais abundantes e compatíveis com tecnologias já estabelecidas, o que pode acelerar sua adoção.

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Biodiversidade

O planeta enfrenta uma crise ambiental sem precedentes, caracterizada pela emergência climática, perda de biodiversidade e poluição. As consequências desta crise ambiental tripla²³ são graves e impactam diretamente os ecossistemas e a qualidade de vida na Terra. A Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) adverte que cerca de um milhão de espécies animais e vegetais estão ameaçadas de extinção. As mortes causadas por catástrofes relacionadas ao clima quintuplicaram em 50 anos, com mais de 20 milhões de pessoas deslocadas anualmente devido às alterações climáticas. A poluição atmosférica tornou-se a maior causa de doenças e morte no mundo, levando à morte prematura de mais de sete milhões de pessoas todos os anos. Nove em cada dez pessoas respiram ar com níveis de poluentes que excedem as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS). O Brasil, como país em desenvolvimento, é também vulnerável a essas mudanças globais, que podem trazer impactos negativos na população, na economia e nos biomas brasileiros.

Nesse contexto, o CNPEM assume um papel protagonista na busca por soluções para os desafios ambientais contemporâneos. Reconhecendo as interconexões entre a crise climática, a perda de biodiversidade e a poluição, o CNPEM dá um salto qualitativo para promover o desenvolvimento de soluções e tecnologias que permitam um uso mais eficiente dos recursos naturais, construindo um futuro mais verde para o planeta. A estratégia do CNPEM em Biodiversidade abrange duas principais iniciativas: (i) Patrimônio Genético e (ii) Cadeias Produtivas Sustentáveis. As competências desenvolvidas ao longo da existência do Laboratório Nacional de Biorrenováveis nas áreas de biologia sintética e biologia molecular estrutural concentram-se em esforços para desvendar o patrimônio genético da microbiota de herbívoros, explorando o potencial biotecnológico de microrganismos e enzimas presentes em seus sistemas digestivos. As competências em Sustentabilidade abrangem avaliação de cadeias produtivas sustentáveis, com ênfase em avaliações tecnológicas e de ecossistemas. Isso inclui estudos que promovem a conservação e restauração dos ecossistemas.

Subprograma Patrimônio Genético

Neste subprograma, o foco reside na microbiota de herbívoros, explorando o enorme potencial biotecnológico de microrganismos e enzimas presentes em seus sistemas digestivos. Desde 2018, o CNPEM vem prospectando enzimas e microrganismos da biodiversidade com alto potencial biotecnológico. Uma mudança de patamar é investigar de forma sistemática a vida microbiana e seu metabolismo presente nos diversos nichos ecológicos dos seis biomas brasileiros. Grande parte dessa microbiota ainda é desconhecida e não pode ser cultivada em laboratório. Esse vasto potencial genético, chamado de matéria-escura genômica, pode ser acessado por abordagens de sequenciamento de última geração, com qualidade e completude equivalentes aos microrganismos isolados e cultivados em laboratório. Esta abordagem guarda um enorme potencial para a descoberta de novas moléculas com propriedades únicas e alto valor agregado para diversas áreas, como saúde, agricultura e indústria.

O conhecimento acerca do potencial genético (biotecnológico) dos herbívoros do Bioma Amazônia representa um importante serviço ecossistêmico ainda inexplorado, sendo este o bioma com destaque nas pesquisas atuais do CNPEM. Com uma abordagem inovadora que combina o poder do síncrotron brasileiro (Sirius) com as técnicas de multi-ômicas mais avançadas²⁴, será possível caracterizar detalhadamente as novas enzimas descobertas nos microbiomas dos herbívoros.

Neste semestre, um estudo relevante aborda a descoberta de um sistema enzimático proveniente da microbiota intestinal da capivara. Esse sistema demonstra um ganho de função no processamento de carboidratos complexos, tornando-o atraente para aplicações industriais. O microbioma intestinal de mamíferos é composto por uma comunidade de microrganismos relacionados especificamente à digestão de alimentos ingeridos. A composição nutricional dos alimentos modula a composição e a interação dos microrganismos presentes no intestino, e a saúde do animal hospedeiro. Portanto, animais que apresentam dietas diferentes possivelmente apresentarão uma microbiota distinta especializada na decomposição da alimentação ingerida, atraindo o interesse do estudo dessas comunidades microbianas para a prospecção de novas enzimas associadas à despolimerização de carboidratos.

23. Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente. <https://www.unep.org>

24. CABRAL, L. et al. (2022). Gut microbiome of the largest living rodent harbors unprecedented enzymatic systems to degrade plant polysaccharides. *Nature Communications*, Springer Science and Business Media LLC. DOI: 10.1038/s41467-022-28310-y

A investigação da microbiota intestinal da capivara, um animal herbívoro monogástrico semiaquático de pequeno porte, que apresenta alta eficiência de digestibilidade de fibras, revelou um novo microrganismo com notável capacidade de degradação de carboidratos. Essa capacidade é atribuída a sistemas enzimáticos caracterizados por conter grupos de genes especializados, denominados *loci*, de utilização de polissacarídeos. O genoma dessa bactéria presente no intestino da capivara possui um *loci* gênico conservado, semelhante ao que é encontrado em bactérias presentes no intestino humano. Esta conservação, entretanto, é observada apenas na composição gênica, não se mantendo nas caracterizações bioquímicas e estruturais conduzidas no CNPEM (Figura 26). O estudo do LNBR demonstrou um ganho de função do *loci* gênico presente na bactéria do intestino da capivara comparado ao da microbiota intestinal humana. Este ganho é caracterizado principalmente pela função adicional de despolimerização de carboidratos denominados β -glucanos lineares e substituídos, tipicamente encontrados na dieta de herbívoros. Essas adaptações moleculares expandem nosso conhecimento em relação à evolução mecanística da microbiota intestinal de animais herbívoros em comparação aos sistemas de degradação de glucanos já descritos em outros animais. Além disso, esse trabalho impulsiona a exploração de metagenomas intestinais de herbívoros como fontes de novas estratégias moleculares para digestão de matéria vegetal, que podem abrir novas oportunidades para a valorização de materiais lignocelulósicos.

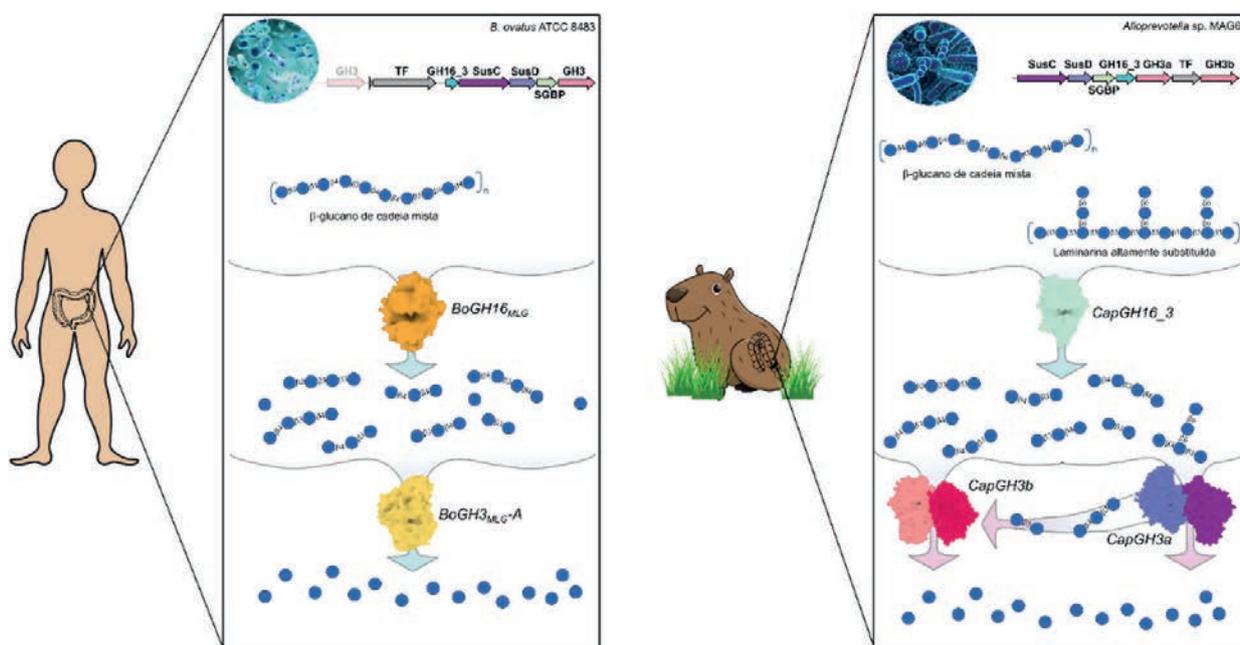


Figura 26. Esquema representando o ganho de função entre o sistema enzimático para despolimerização de carboidratos complexos encontrado em bactérias do intestino humano e no intestino de capivaras.

Subprograma em Cadeias Produtivas Sustentáveis

Este subprograma apresenta soluções inovadoras para avaliar e promover cadeias produtivas que conciliam a geração de biorrenováveis com a preservação da rica biodiversidade do país. São realizadas avaliações aprofundadas de cadeias produtivas sustentáveis, com ênfase em análises tecnológicas e ecossistêmicas. Isso inclui estudos de conservação e restauração de ecossistemas. A Plataforma de Sustentabilidade do CNPEM é utilizada para identificar estratégias sustentáveis que priorizem as sinergias entre a biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas. São empregadas ferramentas de avaliação tecnológica, análise de ciclo de vida e modelos que quantificam e avaliam os benefícios e impactos negativos nos ecossistemas relacionados às cadeias de produção de biorrenováveis. Dessa forma, é possível quantificar os benefícios e impactos dessas cadeias, fornecendo subsídios para decisões estratégicas e ambientalmente responsáveis.

Os biomas brasileiros, ostentando uma das maiores biodiversidades do planeta, são compostos por diversos ecossistemas e abrigam milhares de espécies. Apesar da grandiosidade dessa riqueza natural e da preservação de grande parte dela, todos os biomas brasileiros enfrentam crescentes ameaças pelas atividades humanas. O Bioma Amazônia, cobrindo cerca de metade do território nacional, se destaca, mas seu desequilíbrio afeta não apenas o papel da floresta na estocagem de carbono, como também outros serviços ecossistêmicos e a conservação de sua biodiversidade, com potencial ainda pouco conhecido e pouco explorado. Os biomas fornecem serviços essenciais como regulação do clima, purificação da água e do ar, polinização de plantas e produção de alimentos. A degradação ambiental coloca em risco a disponibilidade desses serviços, com graves consequências para a sociedade e a economia. Considerar a conservação e restauração dos ecossistemas no contexto da produção de energias renováveis e materiais para a sustentabilidade é crucial para o enfrentamento da crise ambiental atual.

Neste semestre, destacam-se trabalhos relacionados aos impactos da mudança de uso da terra no atendimento à demanda futura de etanol e às perspectivas sobre a integração de cadeias e a disponibilidade de terras para a produção de bioplásticos no Brasil.

Impactos da mudança de uso da terra no atendimento à demanda futura de etanol

A transição de uma economia baseada em combustíveis fósseis para uma economia de base biológica é essencial para mitigar as mudanças climáticas. Os biocombustíveis figuram como uma alternativa promissora na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), principal razão do aquecimento global. No entanto, como sua produção depende do cultivo de biomassa, surgem preocupações associadas à sustentabilidade, como a conservação da biodiversidade, a concorrência com a produção de alimentos e as emissões por mudança no uso da terra (LUC).

Este estudo teve como objetivo avaliar como a localização e as rotas de conversão influenciam as emissões de GEE numa possível expansão da cana-de-açúcar no Brasil para atender às projeções de demanda de etanol para 2030. Uma redução consistente e significativa nas emissões de GEE é alcançável através da implementação de uma estratégia que prioriza a distribuição espacial de expansões de biorrefinarias

de etanol, com base em emissões georreferenciadas do ciclo de vida, incluindo emissões de LUC associadas à produção de cana-de-açúcar.

Os resultados exploram diferentes estratégias para o Brasil cumprir suas metas de mitigação de GEE, ao mesmo tempo em que atende à demanda futura de etanol, em relação às compensações ambientais e de produção de energia, e protege áreas com alta biodiversidade. Ao avaliar áreas prioritárias para expansão da produção de etanol, o estudo mostra que contabilizar as emissões de mudança de uso da terra leva a significativas diferenças espaciais na expansão de biorrefinarias que minimiza as emissões concomitantemente ao atendimento à demanda (Figura 27). Neste caso, os resultados mostram uma priorização de áreas de pastagem com alto nível de degradação para serem utilizadas no suprimento da demanda futura por biocombustíveis, uma vez que nestas áreas ocorre um estoque de carbono ao se substituir áreas degradadas por cana-de-açúcar.

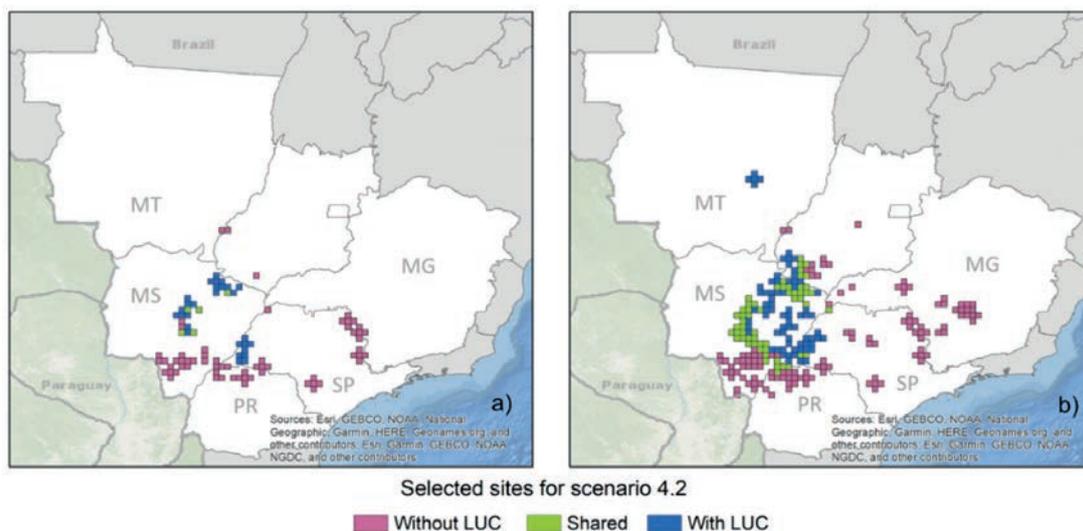


Figura 27. Priorização de áreas para expansão da produção de etanol considerando as mudanças de estoque de carbono associadas as mudanças de uso da terra.

Outro resultado interessante mostra que, embora a demanda por terra seja 77% maior para produzir o mesmo volume de etanol em comparação com biorrefinarias que utilizam etanol de primeira e de segunda geração, a configuração de instalações para produzir apenas etanol de primeira geração com recuperação de palha tem o potencial de gerar uma quantidade significativa de energia. Essa opção poder ser considerada caso a geração de eletricidade seja uma prioridade.

Explorando as sinergias e o trade-off para a produção de bioplásticos no Brasil: perspectivas sobre a integração de cadeias e a disponibilidade de terras

Embora os plásticos atualmente não representem um problema no que diz respeito à utilização global do abastecimento de petróleo e às emissões de gases com efeito de estufa (GEE), as projeções futuras de crescimento do mercado e a transição energética podem alterar este cenário. Além disso, o lixo plástico já é uma crise e pode piorar dentro de algumas décadas.

Dada a situação, são necessárias ações para melhorar a circularidade e a renovabilidade da cadeia produtiva, tais como considerar reciclagem avançada e a produção de plásticos de base biológica. O Polietileno de Base Biológica (bioPE) é sustentável se a sua matéria-prima for cultivada de forma sustentável, evitando a competição alimentar, a expansão sobre biomas naturais e o estresse sobre os recursos naturais. Este trabalho teve como objetivo revelar se o Brasil pode acomodar a futura demanda global de bioPE para 2050, usando cana-de-açúcar como matéria-prima, considerando um zoneamento ambientalmente conservador para a expansão da biomassa e abordando os riscos de biodiversidade e disponibilidade de água.

Da área avaliada de 35,6 Mha, 3,55 Mha estariam isentas de trade-off entre os critérios considerados, o que seria suficiente para atender

a demanda por etanol prevista no RenovaBio para 2030. Porém, o cenário de expansão com melhor eficiência de circularidade e intensidade de uso da terra para atender à demanda global de bioPe para 2050 exigiria 22,2 Mha de novas terras de cana-de-açúcar. Por isso, podem surgir questões como a concorrência com a produção de alimentos, a expansão sobre bacias hidrográficas comprometidas e emissões de GEE pela mudança de uso da terra. Outras questões, como a expansão sobre biomas naturais, também devem ser apontadas ao considerar a concorrência futura com outros produtos de base biológica que podem ser produzidos na mesma área.

São necessários esforços para substituição de plástico por alternativas de base biológica e avanços nas alternativas de reciclagem. Porém, os resultados mostram que também é necessário dar mais atenção à redução da procura, o que irá travar o crescimento do mercado, reduzir as fugas de plástico para o ambiente e ajudar a acomodar o bioPE como um potencial material sustentável. Além disso, é mostrado que o bioPe pode ser uma alternativa de estoque de carbono para futuras estratégias de zerar as emissões líquidas de GEE.

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Materiais para Sustentabilidade

O Programa de P&D em Materiais para Sustentabilidade do CNPEM se dedica a um desafio crucial: transformar a rica biodiversidade brasileira em materiais de alto valor agregado, utilizando os resíduos agroindustriais como matéria-prima. Estes materiais são empregáveis em vários setores da indústria de transformação como alimentícia e química. Para alcançar esse objetivo, o programa reúne um arsenal de ferramentas inovadoras, combinando as áreas de Biologia Sintética e Molecular com técnicas de última geração. Dentre as ferramentas disponibilizadas estão a engenharia genética, desenho e engenharia de proteínas, integração de abordagens ômicas, prospecção e descoberta por métodos avançados de sequenciamento (como *single-cell sequencing* e sequenciamento de 3ª geração *long-read sequencing*), além do estado da arte em biologia estrutural com síncrotron de 4ª geração e experimentos resolvidos no tempo na escala de micro e milissegundos. Conjuntamente, esta abordagem interdisciplinar gera conhecimentos mecanísticos e metabólicos que são instrumentais para guiar o desenvolvimento de macromoléculas e sistemas biológicos complexos de alto desempenho e customizados para a realidade brasileira.

A estratégia do CNPEM em Materiais para Sustentabilidade é voltada para a pesquisa e desenvolvimento de sistemas biológicos industriais, incluindo o desenvolvimento de sistemas enzimáticos para despolimerização e conversão de matérias-primas de relevância industrial e de cepas microbianas engenheiradas para a produção de intermediários químicos e enzimas de interesse biotecnológico. Além disso, as atividades do Programa também estão orientadas para a realização de pesquisa em síntese e caracterização de nanomateriais para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas e monitoramento ambiental.

Subprograma em Sistemas Biológicos Industriais

O Subprograma Sistemas Biológicos Industriais se propõe a explorar o imenso potencial de microrganismos e enzimas como ferramentas chave na construção de uma bioeconomia circular. A transição de uma economia baseada em matérias-primas fósseis para uma economia que privilegie matérias primas renováveis e sustentáveis requer o desenvolvimento científico e tecnológico de processos de conversão em moléculas de maior valor agregado. O CNPEM faz uso da biotecnologia como papel importante nesta transição, sendo alicerçada por meio de abordagens multidisciplinares e integradas de técnicas no estado-da-arte como radiação síncrotron, simulações quânticas, multi-ômicas, inteligência artificial, engenharia metabólica de sistemas, engenharia enzimática, biologia molecular estrutural e escalonamento de processos em escala piloto.

Neste semestre, destacam-se os seguintes trabalhos: (i) descoberta de um sistema enzimático com potencial atuação na produção de bioquerosene de aviação; (ii) desenvolvimento de rota metabólica para produção de olefinas a partir de glicerol; (iii) construção racional de plataformas microbianas produtoras de ácido mucônico, descoberta e estudo de mecanismo de regulação de enzimas ativa em carboidratos por meio do estado redox; (iv) e estratégias enzimáticas de produção de álcoois aromáticos a partir de aldeídos.

Sistema enzimático para hidrocarbonetos renováveis

Um dos grandes desafios para a produção de combustíveis *drop-in* para a aviação é obter moléculas não-oxigenadas na constituição do biocombustível, o que exclui a utilização de etanol e biodiesel com biocombustíveis para a aviação. Combustíveis *drop-in* apresentam composições químicas e características físicas semelhantes aos derivados de petróleo, como as cadeias longas de carbono, podendo ser utilizados diretamente sem exigir a adaptação das máquinas e da infraestrutura existente. Em

2023, a descarboxilase OleTPRN, da superclasse P450, foi reportada e ganhou grande notoriedade devido a habilidade de produzir alcenos a partir de diferentes cadeias de ácidos graxos. No entanto, alguns desafios ainda precisam ser superados para a aplicação eficiente dessas enzimas em processos industriais, como a redução na formação de subprodutos oxigenados que acompanham os hidrocarbonetos, além da eliminação da necessidade de peróxido de hidrogênio como cofator, reduzindo os custos

de produção do combustível *drop-in*. Este novo estudo apresenta a descoberta e caracterização de novas descarboxilases não-heme, conhecidas como UndA, com potencial biotecnológico para a produção de hidrocarbonetos de cadeia curta a partir de ácidos graxos. As descarboxilases do tipo não-heme têm características estruturais similares com as P450, mas não possui o grupo prostético heme. A biocatálise ocorre a partir de um *cluster* de ferro que está coordenado por resíduos de aminoácidos de histidina e ácido glutâmico no sítio catalítico. Sabe-se até o momento que essa biocatálise não utiliza peróxido de hidrogênio como cofator e apresenta especificidade para cadeias de tamanho C12. Para prospectar diferentes descarboxilases UndA, um consórcio microbiano e redes de similaridade de sequências foram empregados. As análises revelaram diversas sequências promissoras, as quais foram testadas em laboratório. Entre elas, duas se destacaram por apresentarem performance catalítica superior. A fim de

avaliar o potencial das novas enzimas, comparou-se com a UndA de *Pseudomonas fluorescens* (PfUnd), a única descarboxilase não-heme reportada na literatura.

A Figura 28a compara a produção do hidrocarboneto 1-undeceno (C11:1), a partir do ácido graxo C12:0, pelas novas descarboxilases LNBR e pela única descarboxilase não-heme descrita na literatura (PfUnd). Os resultados demonstram que a performance entre as enzimas é bastante similar e a quantidade de hidroxilados, ou seja, produtos oxigenados, é bem inferior comparada com a quantidade do hidrocarboneto produzido. Na Figura 28b, podemos observar um comportamento intrigante: as enzimas PfUnd e Und676 são inibidas pelo ferro adicionado, enquanto a atividade da enzima Und828 é consideravelmente ampliada para a produção do alceno C11:1. Este resultado indica que as descarboxilases não-heme possuem mecanismos de regulação por ferro distintos, que estão em fase de investigação.

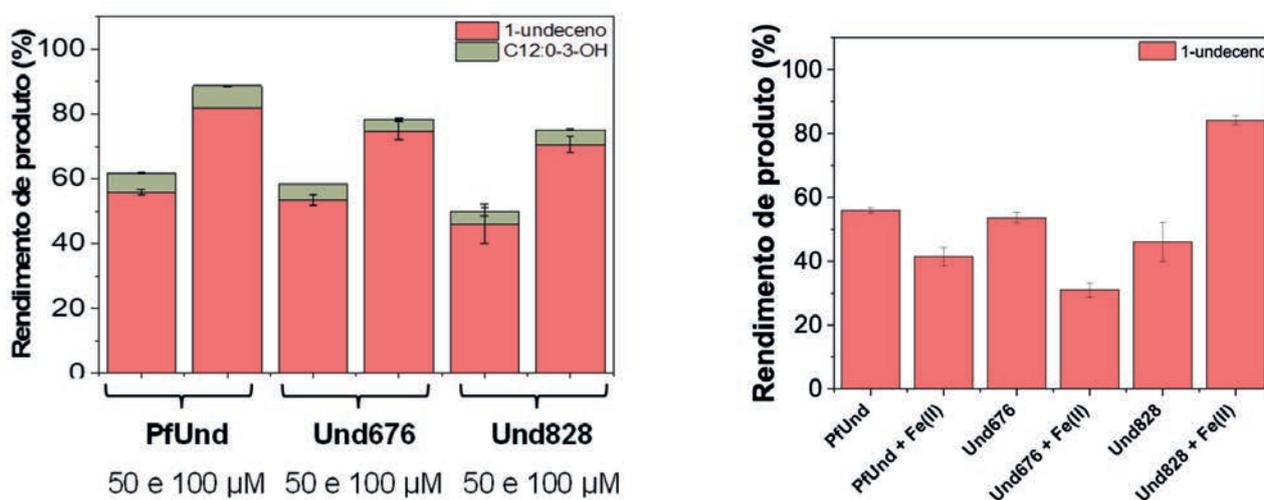


Figura 28. (a) Comparação da produção de C11:1 pela ação das descarboxilases PfUnd (literatura), Und676 e Und828, as duas enzimas descobertas no LNBR/CNPEM. (b) Comparação das enzimas na presença de ferro.

Ciclo de “*Design-Build-Test-Learn*” para construção racional de plataformas microbianas

O ácido mucônico é considerado uma molécula bioprivilegiada e tem atraído interesse por sua aplicação como intermediário na manufatura de bioplásticos comercialmente importantes, incluindo nylon, polietileno tereftálico (PET), resinas, e, recentemente, bio-nylon e bio-PET. Apesar da relevância, a produção microbiana de ácido mucônico utilizando substratos renováveis ainda apresenta desafios, como os baixos rendimentos e produtividades requeridos para o estabelecimento de processos economicamente

viáveis e ambientalmente amigáveis.

Está em andamento um projeto financiado pela FAPESP25 com o objetivo de aplicar ferramentas de engenharia metabólica de sistemas para a obtenção de ácido mucônico. Isso inclui modelagem matemática em escala genômica, prospecção de enzimas em bibliotecas metagenômicas, técnicas avançadas de biologia sintética e abordagens multi-ômicas. O foco é acelerar o desenvolvimento de linhagens de *Escherichia coli* superprodutoras de ácido

25. FAPESP 2020/16187 6 - Implementação de um ciclo de “*Design-Build-Test-Learn*” para construção racional de plataformas microbianas produtoras de ácido mucônico.

mucônico, utilizando glicerol (importante resíduo da indústria do biodiesel) como fonte de carbono.

Neste semestre, destacam-se os avanços nas etapas de design e de construção da plataforma procariótica produtora de ácido mucônico. Estudos computacionais, utilizando modelos metabólicos em escala genômica, possibilitaram a definição racional da via metabólica com maior potencial para produção de ácido mucônico, assim como prever genes alvos a serem deletados do genoma da bactéria a fim de aumentar a produção do ácido mucônico. Um conjunto

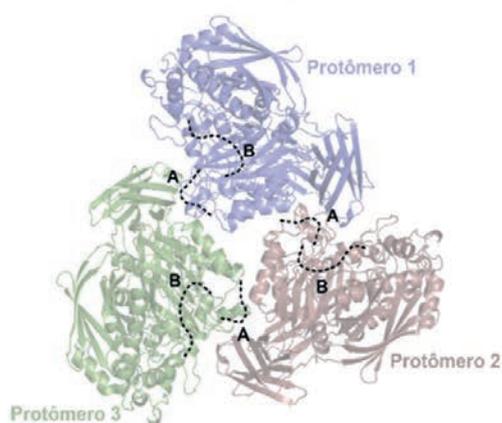
de 8 modificações genéticas foi implementado em uma cepa prova de conceito construída previamente e que apresentava produção basal de ácido mucônico. Ensaio de triagem em pequena escala conduzidos na Plataforma de Biotecnologia Industrial (PBI) do LNBR/CNPEM confirmaram que, em comparação com a cepa prova de conceito, as modificações genéticas investigadas até o presente momento promoveram um aumento de três vezes na produção do ácido mucônico. Os resultados são mais promissores em relação aos estudos já publicados até o momento nesta temática.

Mecanismos reversíveis para controlar reações enzimáticas

As enzimas que atuam em carboidratos complexos são essenciais para o metabolismo dos microrganismos e oferecem oportunidades únicas para a obtenção de bioprodutos a partir de fontes renováveis. Dando sequência a um estudo previamente iniciado no CNPEM, onde um novo mecanismo de regulação baseado no estado redox foi descoberto para uma glicosidase, neste semestre foram obtidos novos dados estruturais que forneceram informações inéditas acerca do mecanismo inicialmente proposto. A enzima estudada possui uma organização trimérica em solução que foi recentemente resolvida por meio da técnica de criomicroscopia eletrônica (Cryo-EM). A

nova estrutura elucidada permitiu a visualização de uma região que contém um resíduo de cisteína predito como importante para o mecanismo de regulação proposto (Figura 29). Essa região da proteína não havia sido observada experimentalmente nas estruturas cristalográficas resolvidas anteriormente. Os novos experimentos forneceram um dado importante para corroborar também os estudos *in silico*, nos quais simulações computacionais demonstram o envolvimento da reorganização dessa região na formação de uma ponte dissulfeto intramolecular que impacta diretamente na ligação do substrato e consequentemente na atividade da enzima.

Estrutura obtida por cristalografia de raios-X



Estrutura obtida por Cryo-EM

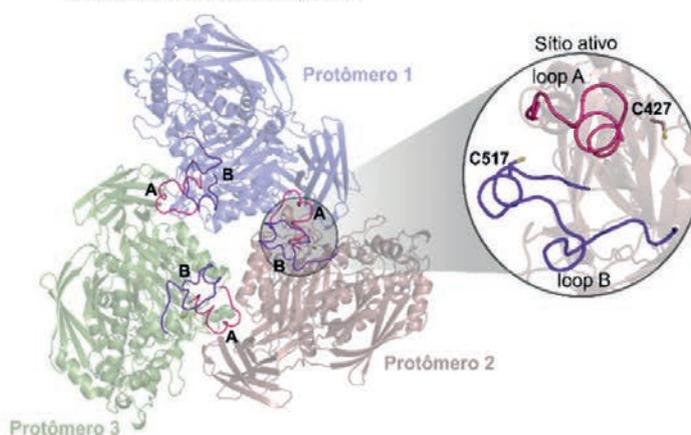


Figura 29. Estrutura tridimensional da glicosidase resolvida pelas técnicas de cristalografia de raios-X e por criomicroscopia eletrônica (Cryo-EM), destacando os resíduos de cisteínas (C427 e C517) que são importantes para a atividade da enzima.

Rotas enzimáticas para metabolização de aromáticos com potencial biotecnológico

Álcoois aromáticos, como o 4-hidroxibenzílico e o álcool vanílico, são amplamente utilizados nas indústrias cosmética e alimentícia como aromatizantes. Além disso, eles são matérias-primas essenciais para a produção de medicamentos e defensivos agrícolas. No entanto, essas moléculas são predominantemente obtidas por extração natural ou síntese química, ambas com limitações. A extração natural enfrenta desafios em termos de escala, enquanto a síntese química pode ser insustentável ambientalmente. Portanto, o CNPEM estuda como essas moléculas são naturalmente produzidas, buscando inspiração para desenvolver soluções biotecnológicas que permitam uma produção mais sustentável.

Destaca-se os resultados de finalização do estudo “Investigação das rotas metabólicas utilizadas por *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* para a utilização de compostos aromáticos derivados da lignina”, apoiado pela FAPESP²⁶. Um estudo recente revelou que uma bactéria que ataca laranjeiras apresenta a capacidade de produzir diversos tipos de álcoois aromáticos a partir de moléculas que podem ser extraídas da lignina, uma macromolécula abundantemente encontrada na parede celular vegetal (Figura 30). Utilizando uma abordagem multidisciplinar, que incluiu análises do perfil de expressão gênica global da bactéria (transcriptoma), engenharia genética, ensaios enzimáticos e química

analítica, identificou-se duas enzimas inéditas que catalisam a reação de síntese de álcoois aromáticos a partir de aldeídos (Figura 31). Cada enzima pertence a uma família diferente, embora ambas utilizem o mesmo tipo de co-substrato (NADPH). A enzima codificada pelo gene XAC1484 pertence à família das desidrogenases/reduzases de cadeia curta (SDR), enquanto a enzima codificada pelo gene XAC3477 pertence à família das aldo-ceto reduzases (AKR). Até o momento, enzimas com esse tipo de atividade haviam sido relatadas na família das desidrogenases/reduzases de cadeia média (MDR), que geralmente possuem a desvantagem de dependerem de zinco para sua atividade.

O estudo também evidenciou que a bactéria transforma os aldeídos em álcoois como uma estratégia de defesa, visto que os aldeídos são mais tóxicos do que os álcoois. Além de produzir os álcoois aromáticos, descobriu-se que a bactéria possui mecanismos de enviá-los para fora da célula, o que traz vantagens para a recuperação desses compostos do meio de cultivo. Em suma, esse estudo revelou estratégias enzimáticas de produção de álcoois aromáticos a partir de aldeídos, abrindo caminho para o desenvolvimento de biotecnologias aplicadas na conversão de resíduos agroindustriais ricos em lignina para a produção de álcoois aromáticos utilizados em vários setores industriais.

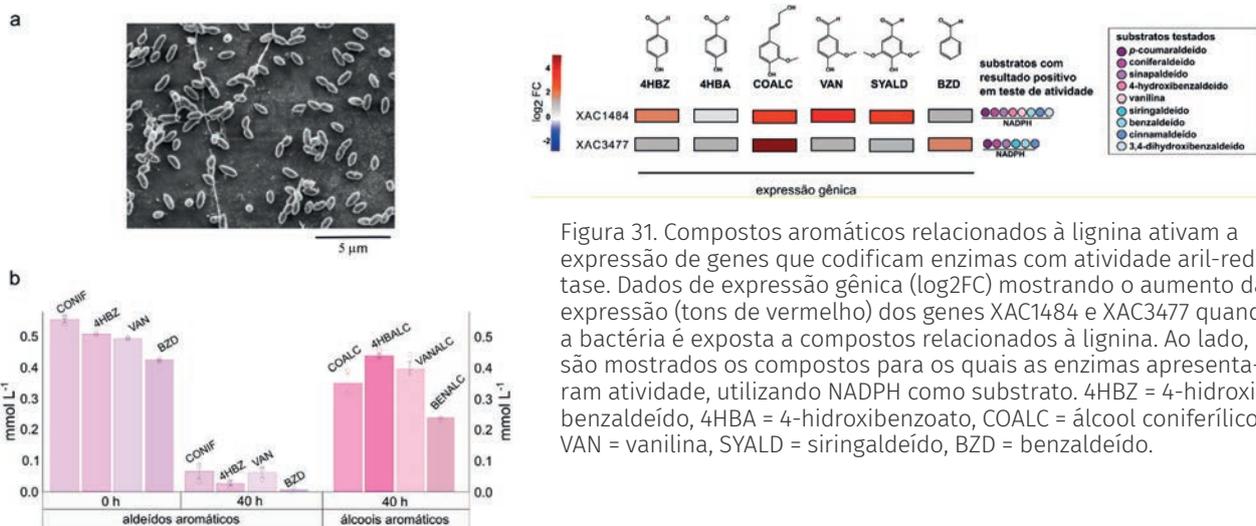


Figura 30. Bactéria *Xanthomonas citri* produziu álcoois aromáticos a partir de diversos aldeídos aromáticos relacionados a lignina com taxas de conversão de 50% a 80%. a) Imagem de microscopia de varredura adquirida em uma das instalações abertas do CNPEM mostrando a bactéria *Xanthomonas citri*. b) Gráfico mostrando a concentração de aldeídos aromáticos adicionados ao meio de cultura e a concentração dos álcoois aromáticos produzidos e excretados pela bactéria, analisados após 40 h de cultivo. CONIF = coniferaldeído, 4HBZ = 4-hidroxibenzaldeído, VAN = vanilina, BZD = benzaldeído, COALC = álcool coniferílico, 4HBALC = álcool 4-hidroxibenzílico, VANALC = álcool vanílico, BENALC = álcool benzílico.

26. FAPESP: Processo: 2019/06921-7.

Subprograma em Ecomateriais

O CNPEM dedica-se a abordar questões fundamentais e complexas relacionadas à conversão de matérias-primas provenientes da biodiversidade, como resíduos agroindustriais, em moléculas de alto valor agregado. O Subprograma de P&D em Ecomateriais do CNPEM concentra-se em três principais iniciativas: (i) ecotoxicidade; (ii) remediação e monitoramento ambiental; e (iii) funcionalização de biopolímeros.

Ecotoxicidade

Estudos integrados dos impactos de novos materiais sobre organismos vivos e meio ambiente são essenciais para a inovação sustentável. Neste contexto, pesquisas em ecotoxicidade exercem um papel fundamental, gerando informações científicas importantes para orientar o uso de novos materiais com segurança, proteção da biodiversidade e preservação da saúde humana e animal. Neste semestre, avançou-se no desenvolvimento de uma nova abordagem computacional-experimental para a caracterização da ecotoxicidade do nanomaterial óxido de grafeno (GO) sobre o nematoide modelo *C. elegans* na presença do ácido tânico (TA), uma

molécula natural de relevância tecnológica, biológica e ambiental. Foi demonstrado que o ácido tânico é capaz de interagir com a superfície do óxido de grafeno e mitigar totalmente a ecotoxicidade aguda (mortalidade) desse nanomaterial. Estes resultados apontam a importância de trabalhos multidisciplinares por meio da associação de técnicas computacionais (DFT, MD e ML) métodos experimentais (AFM, XPS, Raman e Bioensaios) para um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos em nanobioecointerações e seus reflexos na modulação da ecotoxicidade de nanomateriais em cenários de co-exposição ambiental (Figura 32).

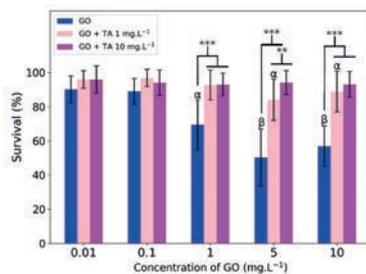
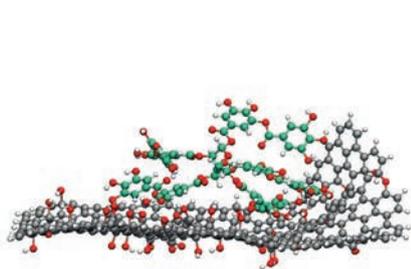


Figura 32 - Simulação computacional da interação da molécula de ácido tânico (TA) com o nanomaterial óxido de grafeno (esquerda) e seu efeito na mitigação da ecotoxicidade após 24 horas de exposição ao nematoide *C. elegans* (direta). Este trabalho foi submetido para publicação na Edição especial "Nanoinformatics: spanning scales, systems and solutions" do *Beilstein Journal of Nanotechnology* (Petry et al., Interaction of graphene oxide with tannic acid: Computational modeling and toxicity mitigation in *C. elegans*).

Remediação e Monitoramento Ambiental

Materiais nanoestruturados funcionalizados são promissores para aplicações em remediação e monitoramento de poluentes em diferentes matrizes ambientais. O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um herbicida e está entre os poluentes mais amplamente distribuídos no meio ambiente e águas residuais devido ao seu uso intensivo na agricultura. Nesse sentido, foi estudada a síntese, caracterização e desempenho de adsorção do nanomaterial óxido de grafeno (GO) e óxido de grafeno reduzido (rGO) funcionalizado com nanopartículas magnéticas (Fe₃O₄) para aplicação em remediação do 2,4-D em água contaminada. A funcionalização magnética foi realizada empregando um método de co-precipitação, utilizando apenas uma fonte de Fe²⁺, necessitando de baixa energia e permitindo o controle da quantidade de

nanopartícula de magnetita incorporada na superfície dos materiais. Pela primeira vez na literatura, foi demonstrada uma abordagem de redução verde para GO, com e sem Fe₃O₄, mantendo o comportamento magnético após a reação. A partir desses resultados, um estudo comparativo sistemático do desempenho de adsorção entre ambos os materiais foi publicado. O melhor desempenho foi obtido para as amostras GO-Fe₃O₄ 1:1 e rGO-Fe₃O₄ 1:1, apresentando valores de porcentagem de remoção do herbicida de 70,4% e 91,1%, respectivamente. Os estudos dos parâmetros termodinâmicos da adsorção mostraram que o processo foi espontâneo e exotérmico, e os materiais sintetizados possuem alta eficiência na adsorção do 2,4-D mesmo após cinco ciclos de adsorção/dessorção (Figura 33).

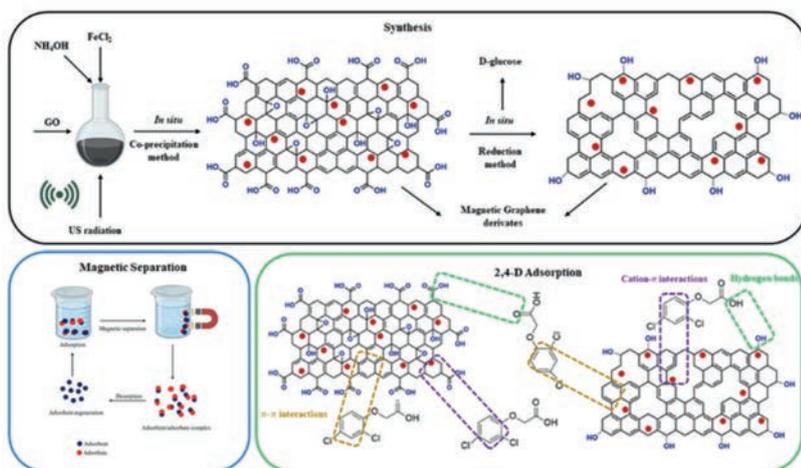


Figura 33 - Esquema ilustrativo do processo de síntese dos nanomateriais de óxido de grafeno funcionalizados com nanopartículas magnéticas para remediação ambiental do herbicida 2,4-D em água contaminada. Os resultados deste trabalho foram publicados recentemente no periódico *Environmental Science and Pollution Research* (2024) DOI: 10.1007/s11356-024-32845-6

Funcionalização de Biopolímeros

No projeto de Funcionalização de Biopolímeros, os materiais renováveis funcionais estão sendo desenvolvidos a partir de biocoloides funcionalizados com cargas eletrostáticas, visando à substituição de materiais de origem não-renovável. Dentre os sistemas de biocoloides explorados, a atração eletrostática entre nanofibrilas de celulose aniônicas (aCNFs) e catiônicas (cCNFs) foi estudada para a obtenção de criogéis. A análise por microscopia eletrônica de varredura em modo ambiental (ESEM) revelou que a morfologia dos criogéis aCNF-cCNF se manteve após ciclos de intumescimento e secagem, enquanto os materiais formados somente por aCNFs ou cCNFs exibiram perda de rugosidade ou desestruturação completa (Figuras 1a-i)²⁷. A complexação eletrostática entre CNFs proporcionou estabilidade estrutural, superando a típica baixa resistência de materiais de celulose em água²⁸.

Para a elucidação do efeito da umidade nesses criogéis, um sistema foi desenvolvido para monitorar sua morfologia por microtomografia de raios X (μ CT) na linha MOGNO do Sirius (Figura 34.j). O sistema consistiu em um porta-amostra projetado para comprimir criogéis sob umidade controlada (Figura 34.k). Os experimentos foram concluídos com sucesso, sendo testados criogéis de CNFs com e sem resistência à umidade. No momento, métodos de segmentação de imagens estão sendo avaliados, utilizando redes neurais treinadas a partir de *labels* de referência (Figura 34.l-n). Nas próximas etapas, as imagens segmentadas serão analisadas para inferir os mecanismos de deformação dos criogéis em condições secas e úmidas. Assim, esse estudo deve contribuir para o entendimento dos efeitos plastificantes da água nesses sistemas.

Para viabilizar a produção de materiais renováveis, a equipe do subprograma tem desenvolvido rotas mais econômicas e escalonáveis para

a obtenção de nanoceluloses. Nesse sentido, um processo de produção de aCNFs a partir do bagaço de cana-de-açúcar foi desenhado para realizar as etapas de polpação, branqueamento e oxidação simultaneamente. O método inovador foi capaz de isolar aCNFs em uma única etapa, sendo que, dentre as opções testadas, o tratamento com NaClO 50 mmol/g produziu um gel homogêneo. Nessa condição, as aCNFs foram obtidas com $\sim 1,2$ mmol/g de grupos carboxilatos, confirmados por análises químicas e titulação condutométrica (Figura 34.o-p). Os próximos passos desse trabalho envolvem o escalonamento do método para a produção de aCNFs em escala piloto na Planta Piloto do LNBR.

Dando continuidade aos estudos de interações entre os componentes da parede celular vegetal, os esforços foram ampliados a fim de quantificar a interação entre celulose e lignina em meios líquidos. Para essa finalidade, a espectroscopia de força atômica (AFS) foi explorada para investigar a influência do solvente usado para a separação desses componentes da biomassa. A AFS é uma técnica poderosa que permite quantificar com resolução nanométrica as forças de superfície entre duas interfaces (Figura 34.q). A Figura 34.h mostra que a força de adesão entre lignina e celulose no cossolvente etanol e água apresentou o menor valor em comparação com esse sistema nos solventes água e etanol puros. Ainda nesse estudo, medidas de dinâmica molecular e aprendizado de máquinas estão em andamento para a elucidação em nível molecular do mecanismo de interação celulose-lignina. Dessa forma, este trabalho apresentará implicações importantes para o desenvolvimento de processos eficientes de separação e para o aproveitamento integral dos componentes da biomassa.

27. Oliveira, M. C. S., Nascimento, D. M., Ferreira, E. S. & Bernardes, J. S. (2024). Combining and concentrating nanocelluloses for cryogels with remarkable strength and wet resilience. *Carbohydrate Polymers* 330, 121740.

28. Solhi, L. et al. (2023). Understanding Nanocellulose–Water Interactions: Turning a Detriment into an Asset. *Chem. Rev.* 123, 1925–2015.

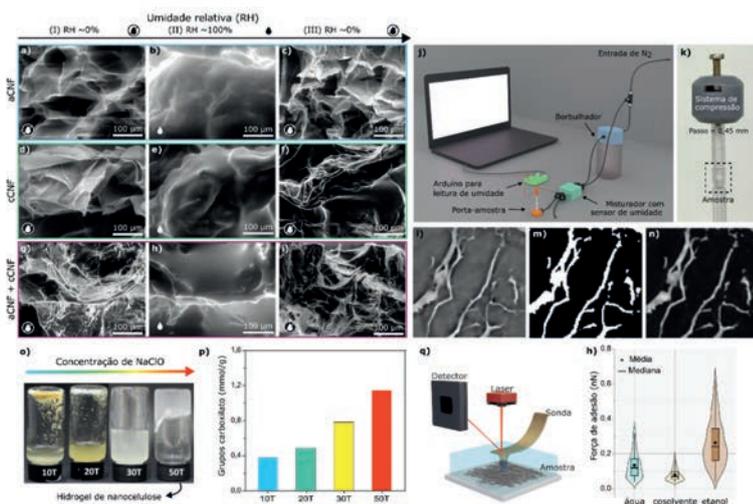


Figura 34 - Imagens de ESEM de criogéis preparados com (a) aCNF; (b) aCNF + cCNF; (c) cCNF. Os criogéis foram analisados em RH de 10, 100 e 10% (após condensação de água). Análise de μ CT in situ com controle de umidade e deformação: (j) montagem experimental; (k) porta-amostra para compressão de criogéis; (l-n) treinamento de uma rede neural para segmentação de imagens: (l) área de interesse, (m) label de referência, (n) mapa de probabilidade gerado no treinamento. Produção de aCNFs a partir do bagaço de cana-de-açúcar em única etapa com NaClO 10, 20, 30 e 50 mmol/g de biomassa: (o) amostras após tratamento; (p) concentração de grupos carboxilatos determinados por titulação condutimétrica; (q) ilustração esquemática do sistema experimental utilizado para as medidas de espectroscopia de força e (b) gráficos de violino e *boxplot* para a força de adesão obtidos a partir de 1024 curvas de força-distância.

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Quânticas

A produção de novos materiais e dispositivos e o entendimento aprofundado de suas propriedades quânticas possibilitará impacto em diversas áreas, como eletrônica, sensores, e computação quântica.

Subprograma Dispositivos Quânticos

O subprograma em Dispositivos Quânticos visa aprofundar a compreensão dos fenômenos quânticos presentes em componentes semicondutores de poucos nanômetros. Tais materiais prometem revolucionar tecnologias futuras em computação, comunicação e sensoriamento. Estas aplicações se aproveitam das características únicas destes materiais quânticos e nanoestruturas, que prometem gerar novos desenvolvimentos em dispositivos semicondutores, lasers, dispositivos magnéticos, entre outros.

Fabricação de heteroestruturas de van der Waals e caracterização de dispositivos 2D

No primeiro semestre de 2024, confeccionou-se heteroestruturas do tipo van der Waals baseados em diferentes materiais bidimensionais (2D) para análise da condutividade eletrônica destes dispositivos ultrafinos. Para isso, empilhou-se de maneira artificial nitreto de boro hexagonal na parte superior (hBN), grafeno (SLG) e poucas camadas de grafite (FLG) sobre cristais naturais de biotita, seguido pela etapa de micro e nanofabricação dos eletrodos metálicos. Ao executar esse procedimento, obtém-se a confecção de dispositivos quânticos composto apenas por 2Ds. Logo, caracterizou-se eletricamente esses dispositivos híbridos 2D para averiguação da sua condutividade eletrônica. A Figura 35.a mostra um esquema do dispositivo com nanoeletrodos metálicos fabricados em uma heteroestrutura híbrida de hBN/SLG/Biotita contendo FLG ligados diretamente ao SLG para formação de um eletrodo do tipo 1D. Já a Figura 35.b apresenta imagens

ópticas de um dispositivo híbrido 2D representativo. As curvas de transferência (corrente vs BGV) mostram um comportamento histerético nas curvas de corrente à medida que se aplica a tensão de porta na configuração “back-gate” (BGV), Figura 35.c. Entretanto, caso a tensão de porta seja aplicada na configuração “top-gate” (TGV), o comportamento histerético não é observado, Figura 35.d. Esses resultados iniciais indicam a existência de um acúmulo de carga na interface biotita/SiO₂ ou no próprio cristal de biotita. Essa característica indica a possibilidade de utilização destes nanodispositivos 2D para chaveamento de sinal elétrico ou em dispositivos de memória. Para o segundo semestre, prevê-se a investigação da origem da histerese nas curvas de transferência dos nanodispositivos, e a confecção de novos dispositivos quânticos a fim de controlar, maximizar a janela de operação e o tempo de memória.

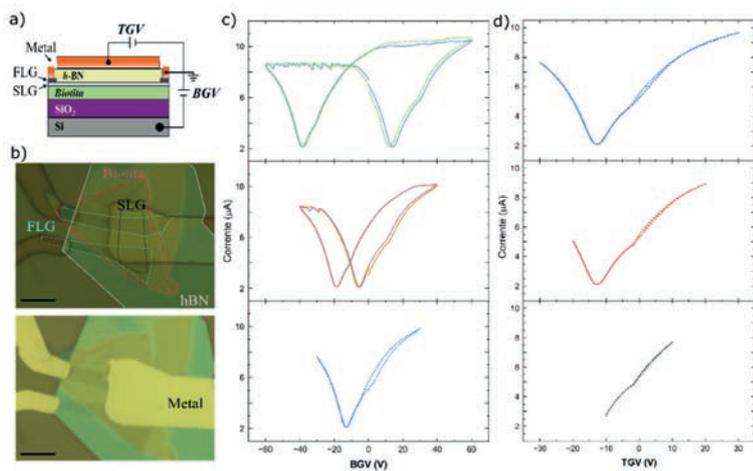


Figura 35 - (a) Ilustração e (b) imagem óptica de nanoeletródos metálicos fabricados em uma heteroestrutura 2D híbrida de hBN/grafeno(SLG)/Biotita contendo grafite (FLG) contatando diretamente o grafeno para formação de um eletrodo do tipo 1D. (c) e (d) curvas de transferência (corrente versus tensão de porta) para nanodispositivos de grafeno encapsulados e medido na configuração “back-gate” (BGV) e “top-gate” (TGV). Nas curvas de corrente vs BGV é observada uma clara curva de histerese à medida que a intensidade da tensão de porta aplicada aumenta.

Epitaxia por feixe molecular de pontos quânticos a base de gálio

O mecanismo de crescimento Volmer-Weber pode ser induzido quando materiais não similares são depositados pela técnica de Epitaxia por Feixe Molecular (MBE). Neste caso, os átomos adsorvidos ligam-se mais facilmente entre si do que com os átomos da superfície do substrato. Além disso, o descasamento dos parâmetros de rede também favorece a nucleação e, portanto, a formação de ilhas tridimensionais. Este cenário é desejável para a fabricação de pontos quânticos capazes de confinar os portadores de cargas.

Neste trabalho, a técnica de MBE vem sendo utilizada para produzir ilhas de gálio (Ga). Estas, devido à influência do substrato e ao processo de crescimento, podem apresentar uma fase semicondutora e, portanto, uma banda de energia proibida. A cristalinidade das ilhas é avaliada por microscopia de força atômica (AFM) e por espectroscopia

Raman. A imagem de AFM (Figura 36a) mostra estruturas multifacetadas, sendo cada face um plano cristalino distinto. O perfil de altura (Figura 36c) mostra que as ilhas têm uma média de 40 nm da sua base até o seu topo. O controle das dimensões pode alterar os níveis de energia que são gerados na estrutura dos pontos quânticos e dessa forma alterar o seu espectro de absorção e emissão. Além do tamanho dos aglomerados, a falta de ordenamento também pode mudar suas propriedades eletrônicas. O espectro Raman (Figura 36b) mostra picos bem definidos para a amostra cristalina enquanto para a amostra amorfa eles são ausentes. Na continuação deste projeto espera-se investigar a estrutura atômica por microscopia eletrônica de transmissão e avaliar o transporte elétrico em condições extremas de temperatura e campo magnético.

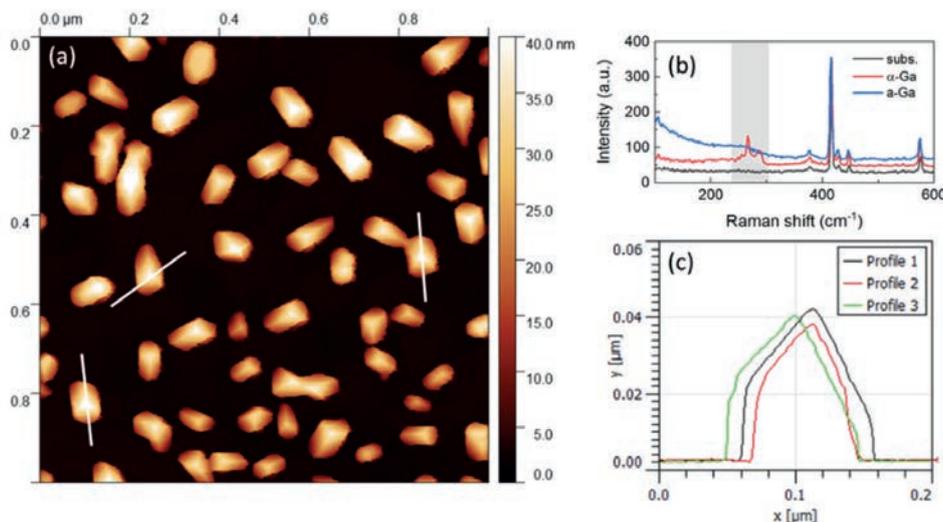


Figura 36 - Caracterização estrutural de pontos quânticos de Ga: (a) imagem por AFM das ilhas multifacetadas. (b) Espectro Raman do substrato, amostra amorfa e amostra cristalina. (c) Perfil de altura das ilhas.

Procedimento para litografia micro e nano em filmes finos de YBa₂Cu₃O₇

No primeiro semestre de 2024, foi desenvolvido um procedimento para litografia de filmes de YBa₂Cu₃O₇ com escrita direta para estruturas de até 2 micrômetros. O primeiro passo foi um estudo dos parâmetros de crescimento dos filmes via deposição laser pulsado no LCIS e posterior desenvolvimento do procedimento de litografia. A Figura 37.a apresenta

difratogramas de raios X para diferentes receitas de crescimento onde a amostra R1 apresenta picos das famílias (00l) e (h00) do YBCO. Em contrapartida, a amostra R3 apresenta apenas os picos 001, o que é esperado para crescimento epitaxial. A Figura 37.b apresenta curvas de resistência pela temperatura para amostras de diferentes espessuras.

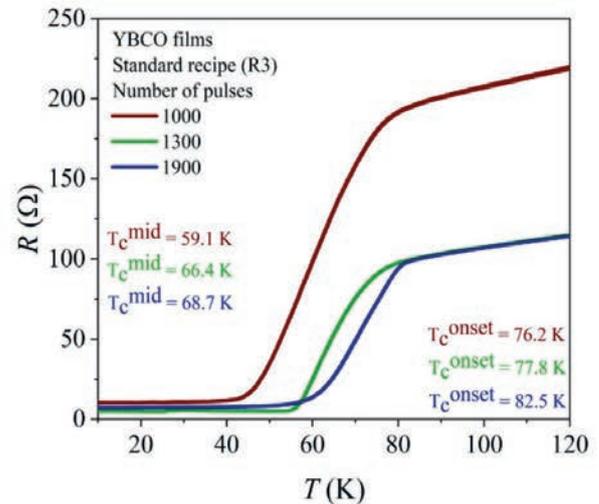
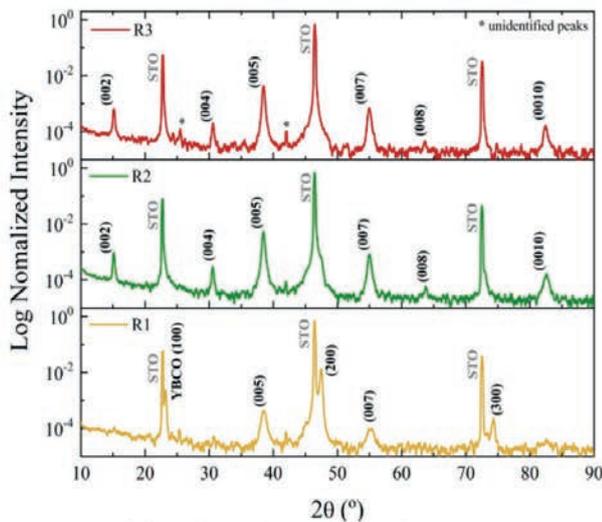


Figura 37- (a) Análise de DRX para filmes de YBCO crescidos com diferentes receitas (b) caracterização elétrica de YBCO para filmes com diferentes espessuras

As imagens apresentadas na Figura 38 apresentam o progresso obtido utilizando as instalações do LNNano para preparação de estruturas de YBa₂Cu₃O₇. Foram obtidos dispositivos de constrição denominados *bow-tie*, com espessura entre 2 e 4 micrometros. Foram utilizados filmes com espessura entre 50 nm e 100 nm crescidos com as receitas desenvolvidas e foi realizada a corrosão por feixe de íons de argônio Ar⁺. Na Figura 38.a apresentamos

uma imagem de microscopia ótica de um dispositivo onde o substrato é visto em cinza claro, o YBCO em preto e eletrodos de Ti/Au em branco. Na Figura 38.b, apresentamos imagens de microscopia eletrônica de varredura com maior magnificação. Apesar de obtidas as constrições, regiões fora da ponte parecem apresentar algum resíduo de YBCO indicando que necessitamos de algum ajuste no tempo de corrosão.

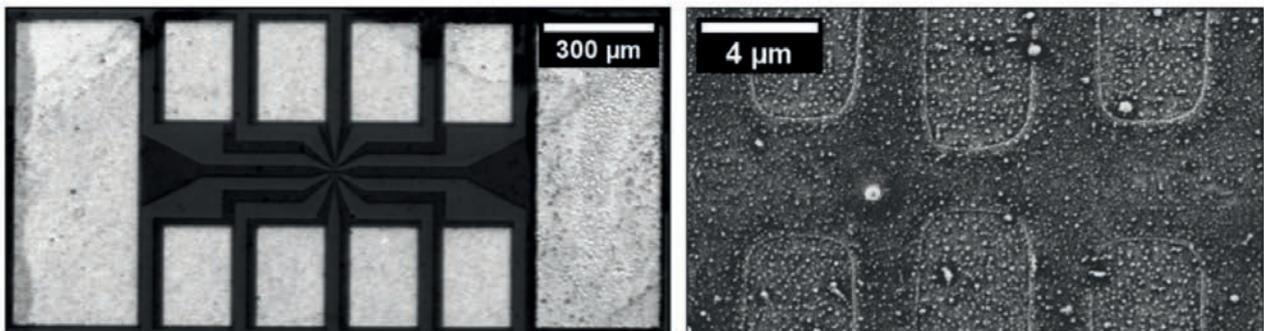


Figura 38 - Dispositivo de YBCO após litografia. (a) Imagem ótica de um dispositivo único e (b) imagem de microscopia eletrônica de varredura de um zoom em uma constrição.

Crescimento de Fase Pt₂ZnSe₃ – Isolante Topológica

A síntese de materiais tipo Jacutingáita de Pt₂HgSe₃ tem sido realizada com sucesso em sistemas de ampola de quartzo em alto vácuo (10⁻⁵ Pa) e temperaturas de crescimento acima de 900 °C. A inserção de Zn na estrutura Jacutingáita tem se mostrado desafiador sendo necessárias temperaturas mais elevadas. Porém, o quartzo não suporta temperaturas superiores e novas metodologias de síntese estão sendo avaliadas. Dessa forma, os esforços foram dedicados às caracterizações eletrônicas do material Pt₂HgSe₃ através de medidas de transporte elétrico em um único cristal. Devido ao tamanho micrométrico dos cristais de Pt₂HgSe₃, foi desenvolvido um microeletrodo de ouro em um substrato de Si/SiO₂, no qual um único cristal de Pt₂HgSe₃ (< 10 μm) foi posicionado no chip utilizando um micromanipulador de

um Microscopia Eletrônica de Varredura de Duplo Feixe (Feixe de íon focalizado-FIB) para estabelecer o contato elétrico nas bordas do cristal. Medidas de resistividade em função da temperatura indicam o comportamento metálico do material em temperatura ambiente e semicondutor em temperaturas abaixo de ~20 K. Também foram observadas oscilações quânticas (oscilações de Shubnikov-de Haas) nas medidas de magnetorresistência (resistência em função de um campo magnético aplicado) que poderão indicar, justamente com as medidas de ARPES (*angle-resolved photoemission spectroscopy*), a serem realizadas no próximo ano com a finalização da linha SAPÊ (*angle-resolved PhotoEmission*) do Sirius, o comportamento de isolante topológico dos materiais tipo Jacutingáita.

Energia de formação de vacâncias de selênio e energia de adesão de oxigênio para a liga Mo(1-x)W(x)Se₂

Os computadores quânticos possuem um imenso potencial para revolucionar a computação, oferecendo a capacidade de resolver certos problemas exponencialmente mais rápido do que os computadores clássicos. No entanto, a realização de um computador quântico funcional continua a ser um desafio significativo devido à suscetibilidade dos bits quânticos (*qubits*) ao ruído e à decoerência. *Qubits* baseados em spin de estado sólido, particularmente aqueles hospedados em materiais bidimensionais, oferecem um caminho promissor para enfrentar esses desafios, pois podem ser prontamente inicializados, controlados seletivamente e lidos com alta fidelidade, mesmo em temperatura ambiente. Entre os materiais 2D, os dicalcogenetos de metais de transição

(TMDs) emergiram como uma plataforma líder para o processamento de informações quânticas devido ao seu acoplamento spin-órbita inerente e aos gaps de energia eletrônicos ajustáveis. Em particular, a liga de disseleneto de molibdênio-tungstênio (Mo_(1-x)W_(x)Se₂) exibe interessantes propriedades magnéticas, ópticas e eletrônicas, tornando-a uma candidata para tecnologias quânticas. Neste projeto, investigamos a energia de formação de defeitos do tipo vacância e a energia de adesão de oxigênio na liga Mo_(1-x)W_(x)Se₂ usando simulações computacionais ab initio. Os resultados das energias para diferentes concentrações e distribuição de metais serão analisados e comparados com as medidas experimentais no centro.

Subprograma de Pesquisa e Desenvolvimento em Supercondutividade

O subprograma em Supercondutividade visa desenvolver materiais e dispositivos supercondutores para aplicações nas áreas médica, de energia, transporte e física de altas energias, com baixíssimo impacto ambiental. Inicialmente, esta iniciativa contempla o projeto, desenvolvimento e prototipagem de um magneto supercondutor do tipo *wavelengthshifter* (WLS) para a linha de luz de tomografia do Sirius, que deverá dedicar-se ao estudo de rochas e minerais.

Dando continuidade ao subprograma em Supercondutividade, o CPNEM atuou em diversas frentes de estudos e desenvolvimentos de dispositivos e materiais supercondutores, com destaque para os avanços do projeto do *Wavelength Shifter Supercondutor* (SWLS). A colaboração com o CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear), iniciada em 2020, continua ativa no desenvolvimento deste projeto, que visa a construção de um dispositivo de inserção adequado para atender à demanda de uma futura linha de luz do Sirius. O projeto preliminar do SWLS se encontra na fase final e, no primeiro semestre de 2024, foi dada continuidade no desenvolvimento de todos os subsistemas, com destaque para a fabricação e validação da primeira bobina central de NbTi, os primeiros testes da fonte de corrente construída e teste de conceito de conexões criogênicas críticas. Mais detalhes sobre a evolução em cada subsistema serão dados a seguir.

Wavelength Shifter Supercondutor (SWLS)

Devido à complexidade da aplicação de materiais supercondutores em dispositivos de larga escala, esse projeto requer uma ampla compreensão de diferentes áreas do conhecimento e o desenvolvimento interdependente e simultâneo de seus diversos subsistemas. Esse trabalho visa criar estratégias para solucionar os desafios técnicos envolvidos no desenvolvimento, mobilizando diversas áreas da Diretoria Adjunta de Tecnologia (DAT) do CNPEM. Além disso, o projeto do SWLS contou com a supervisão e acompanhamento do CERN, por meio de discussões regulares sobre cada subsistema. As estratégias desenvolvidas visam sustentar as características que viabilizam o funcionamento do supercondutor e

permitir a correta operação do dispositivo em condições mecânicas e térmicas extremas, enquanto satisfaz as exigências do feixe do acelerador.

Os desenvolvimentos relacionados aos diversos de subsistemas, que serão descritos ao longo deste relatório, visaram a prototipagem de diversos componentes críticos, com destaque para a primeira bobina central de NbTi, testes e validações de conceitos, como o da *splice box*, e o desenvolvimento de estratégias para montagem e fiducialização e caracterização magnética do dispositivo, além de avanços nos projetos da fonte, do sistema de detecção de quench e automação e controle do SWLS.

Projeto Eletromagnético

No primeiro semestre de 2024, foi realizada a primeira caracterização magnética de uma bobina central do SWLS. Foram realizadas melhorias no ajuste da curva de calibração dos sensores Hall e nas medidas das curvas BH dos materiais ferromagnéticos à temperatura criogênica. Isso possibilitou a atualização das simulações magnéticas e uma comparação mais precisa entre os dados medidos e simulados dos protótipos das bobinas no criostato vertical. No caso da bobina central, foi possível atingir um valor de campo de até 4.8 T no *gap* do protótipo com polo de hólmio, a uma corrente de 289 A, em conformidade com as simulações. Também foi realizado o *quench training* na bobina central, sendo possível mantê-la sob um valor muito acima da sua corrente de operação (Figura 39).

Além disso, avanços foram feitos no *setup* de

caracterização magnética do SWLS. Foi definida uma estratégia de caracterização em dois planos. O plano A propõe uma caracterização em ar, que utilizaria uma anticâmara inserida no interior da câmara de vácuo do SWLS para realizar a caracterização à temperatura ambiente. As medidas ocorreriam por meio da movimentação de sensores Hall acoplados a uma haste mecânica e utilizaria métodos de medidas de integrais por fio esticado. Já o plano B propõe uma caracterização a vácuo e em ambiente criogênico, realizada no interior da própria câmara de vácuo do SWLS. As medidas ocorreriam por meio do uso de uma placa com PCB coils e sensores Hall acoplados, permitindo tanto medidas de campo quanto integrais de campo. Os próximos passos envolverão o estudo, fabricação, montagem e testes de cada uma destas estratégias de caracterização.

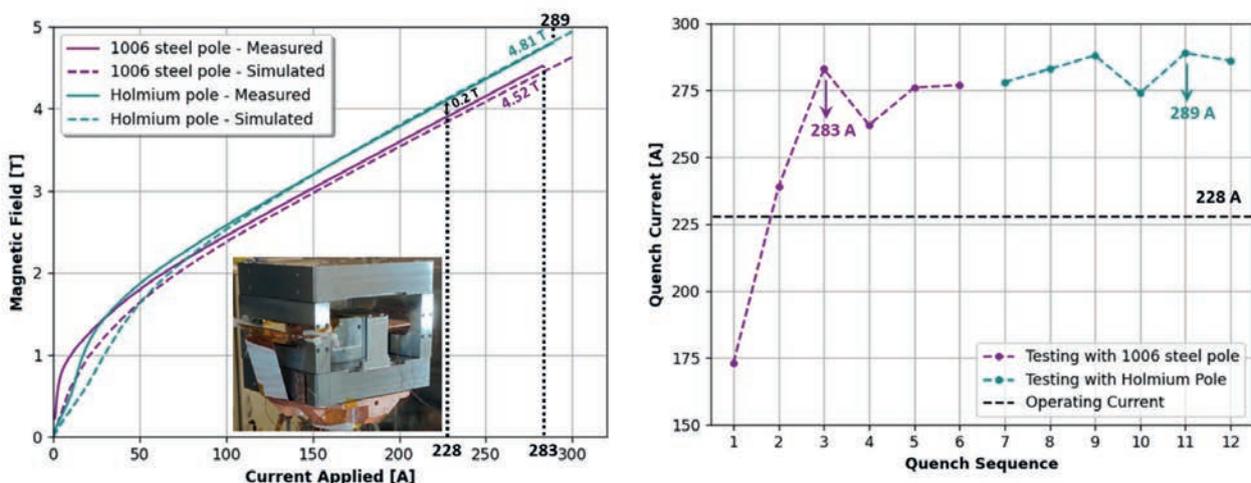


Figura 39. Resultados da caracterização magnética de protótipo com bobina central do SWLS no criostato vertical: comparação de valores de campo medidos e simulados no *gap* e *quench training*.

Projeto Mecânico

Durante o primeiro semestre de 2024, diversos avanços ocorreram no projeto mecânico do SWLS. Simulações multifísicas incorporando forças magnéticas e contrações térmicas foram realizadas para validar o modelo mecânico atualizado da estrutura eletromagnética (Figura 40). Tendo como referência o processo de caracterização magnética, foram realizadas modificações no projeto da câmara central e o conceito mecânico das transições da câmara de vácuo (300 K - 20 K) foi finalizado.

Com relação à fabricação de componentes, testes de usinagem foram feitos para os RF-shields e flanges das transições, além do estudo de usinabilidade do Holmium, material dos polos centrais. Foram também realizadas compras de matéria prima especial, como o Alumínio 6061-T6, bem como de componentes importantes, como a *baseframe*, além do estabelecimento de contato com fornecedores de materiais especiais, como os polímeros isolantes térmicos de alto desempenho.

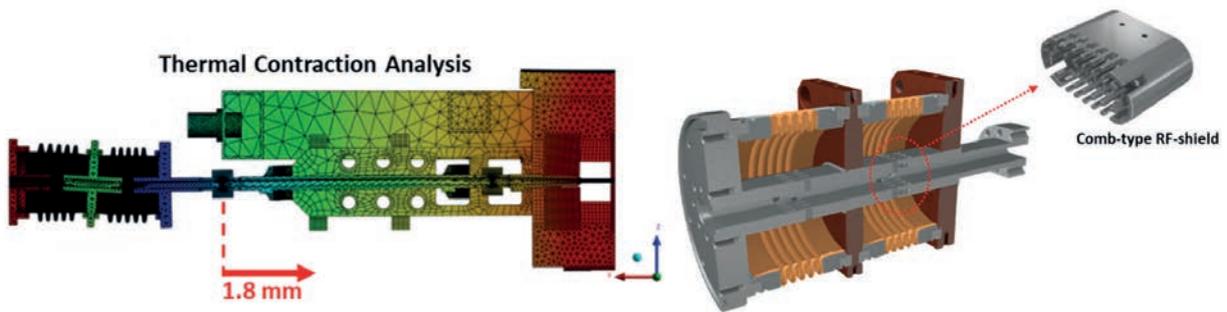


Figura 40. Representação das simulações de contração térmica da estrutura eletromagnética (à esquerda) e conceito mecânico das transições 300 K - 20 K (à direita)

Projeto Mecânico

Durante o primeiro semestre de 2024, diversos testes em temperaturas criogênicas foram realizados e contribuíram para o entendimento de questões relevantes para o projeto, como por exemplo a influência da fixação e da termalização dos fios de sensores de temperatura criogênicas nas suas medidas, o comportamento térmico do conceito de refrigeração das bobinas ao longo de algumas ciclagens térmicas (300 K - 4 K) e outros testes de componentes auxiliares.

Além da parte experimental criogênica, deu-se seguimento em algumas definições e testes iniciais do método de fabricação

dos componentes flexíveis de cobre que são responsáveis por conectar termicamente a fonte de refrigeração às bobinas supercondutoras ao mesmo tempo que evitam transmitir as vibrações associadas ao ciclo de funcionamento do refrigerador. As simulações térmicas foram atualizadas conforme a versão mais atual do projeto e alguns parâmetros estão sendo ajustados para alcançar as performances desejadas (Figura 41). Além disso, outro teste está sendo desenvolvido para testar e medir a condutância térmica dos *Shield RF comb-type* propostos para avaliar seu impacto no sistema de refrigeração como um todo.

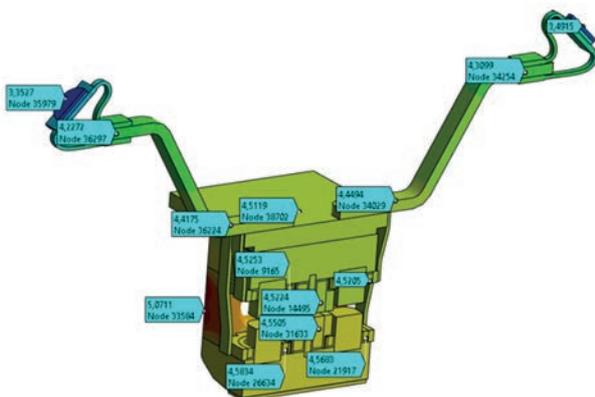


Figura 41. Simulação térmica da massa fria atualizada para a versão mais atual do projeto mecânico.

Current Leads

As *current leads* do criostato vertical são baseadas no mesmo princípio das do SWLS, dessa forma, os testes no criostato validam também o modelo final. Nesse sentido, no primeiro semestre de 2024 foi projetado e realizado um teste para validar a performance térmica e o sistema de detecção de *quench* da *splice box*, região que comporta as conexões entre as bobinas (Figura 42). No circuito, essa região é a única parte resistiva entre as bobinas, podendo apresentar

riscos para o sistema termoeletrônico. No entanto, o resultado preliminar do teste indicou uma resistência menor do que $10 \text{ n}\Omega$, valor abaixo do limite considerado adequado ($R < 500 \text{ n}\Omega$), com uma detecção de *quench* funcional. Em paralelo, a fim de otimizar a performance térmica das *current leads*, foi proposto um novo método de fixação mecânica das *current leads* supercondutoras no criostato. O novo método será testado e validado em breve.

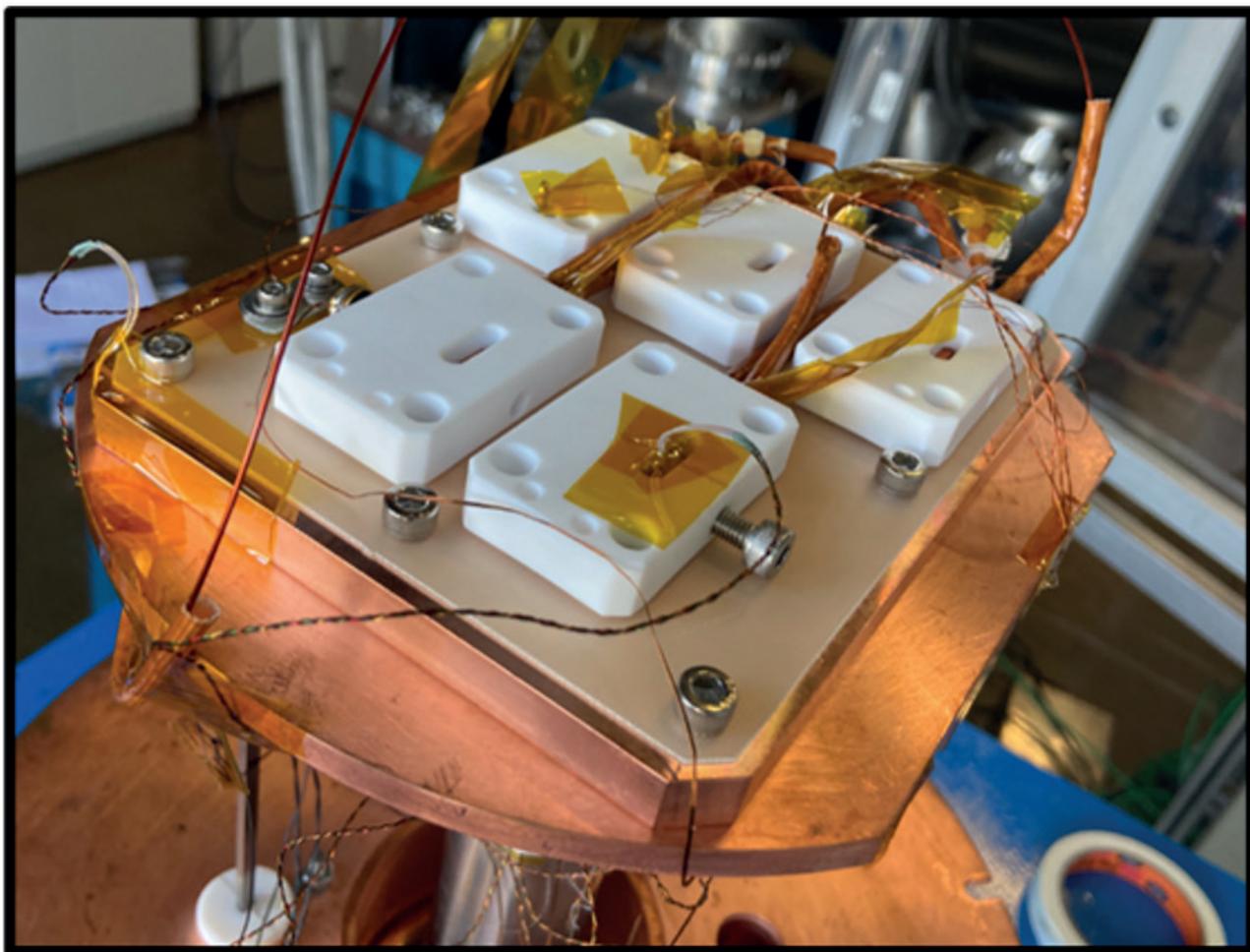


Figura 42. *Splice box* instalada no criostato vertical para a realização dos testes.

Fontes

Com relação às fontes do SWLS, neste primeiro semestre de 2024 foi feita a montagem do conversor em um bastidor e ele foi alocado em um rack, junto com todo sistema de controle da fonte. Um teste foi feito com esse novo *setup* e foi possível alcançar 280 A. A operação da fonte em baixas correntes pode levar a saturação do transformador, o que acaba queimando as chaves

do conversor como consequência. Foi estudada e implementada uma solução para este problema, que é a adição de um clamp-ativo em paralelo com o transformador. Esta adição solucionou o problema em baixas correntes, porém agora surgiu o problema de as chaves desse clamp-ativo estarem esquentando muito. Esse ponto em específico é o que está sendo atacado atualmente.

Automação e instrumentação

No primeiro semestre de 2024, com relação ao criostato vertical para testes, foram implementadas páginas Web para a realização de configurações avançadas no monitor de temperatura e no conversor ressonante, protegidas por senha e acessíveis pela interface Web principal de controle do criostato. Foi também implementado um sistema de armazenamento de dados em PostgreSQL para maior robustez e

flexibilidade no acesso aos dados. Com relação ao projeto do SWLS, foi desenvolvida a versão final do diagrama elétrico e layout do painel de intertravamento. Adicionalmente, foi implementado um módulo de software para permitir a comunicação entre o sistema de detecção de quench, o qual utiliza o protocolo MQTT, e o sistema de controle do Sirius, o qual utiliza o protocolo *Channel Access*.

Fabricação das Bobinas Supercondutoras

No primeiro semestre de 2024, o foco do desenvolvimento das bobinas supercondutoras do SWLS esteve na fabricação e validação de uma bobina central de NbTi. O projeto da bobina central, definido através da fabricação de um protótipo de cobre, seguiu os mesmos métodos de bobinagem e impregnação das bobinas laterais já validadas, mas inovou com a introdução de um novo conceito de molde de impregnação. Nele, a bobina é impregnada em conjunto com o *clamp* final de montagem, buscando um melhor contato térmico e acomodação mecânica.

Baseado nessa primeira interação, uma bobina central de NbTi foi produzida utilizando o mesmo modelo e a mesma rota de fabricação. Após a desmoldagem, a bobina apresentou um excesso de resina na borda

externa, induzindo trincas nessa região. Entretanto, ela foi testada e validada no criostato vertical do ponto de vista eletromagnético, apresentando um bom desempenho e concordância com as simulações. A seguir, a fim de otimizar esse modelo de bobina, foram implementadas duas modificações: um novo conceito de saída dos fios supercondutores para melhor orientação e acomodação na região do gap, e uma redução na dimensão do mandril em regiões estratégicas visando minimizar o acúmulo de resina. Uma segunda bobina central de NbTi foi fabricada seguindo o novo modelo e apresentou melhorias visuais. Atualmente, ela se encontra na fase de preparação para os testes e validações no criostato vertical.

Desenvolvimento protótipo de equipamento de Ressonância Magnética (MRI) para pequenos animais

A possibilidade de colaborar em projetos relacionados a equipamentos que envolvem ressonância magnética (MRI) tem sido uma área de interesse no CNPEM nos últimos anos. Com isso, propôs-se o desenvolvimento ao longo do ano de 2024 de um equipamento de MRI conceitual, com o objetivo primário de capacitar os grupos do CNPEM nas disciplinas da instrumentação para Ressonância Magnética.

Durante o primeiro semestre do ano de 2024, o projeto Protótipo de Equipamento de MRI para Pequenos Animais teve suas fases Conceitual e Preliminar realizadas. Durante a etapa conceitual, o foco foi o levantamento das especificações dos subsistemas. Assim, requisitos de projeto foram identificados para delinear conceitos dos subsistemas necessários, levando em consideração prazo de entrega e orçamento. O objetivo era gerar uma

imagem de Ressonância Magnética em um ano, com um orçamento de até um milhão de reais, abrangendo materiais de consumo, permanentes e capacitação. Com base nisso, definiu-se que o desenvolvimento interno abrangeria os sistemas magnéticos e de radiofrequência, enquanto os sistemas de amplificação de sinal e console de controle e processamento seriam adquiridos para posterior desenvolvimento em projetos futuros. Durante a etapa preliminar, o foco foi na translação dos requisitos científicos em requisitos de engenharia e início dos desenvolvimentos.

Para tanto, conta-se com a atuação de diversas equipes presentes na Diretoria Adjunta de Tecnologia. Para a execução da entrega de um protótipo funcional de um equipamento de ressonância magnética capaz de gerar imagens, tem-se como escopo de projeto:

- Desenvolvimento dos sistemas magnéticos (magneto central e bobinas de gradiente) e sistemas de radiofrequência (bobina de radiofrequência (RF) e circuito integrado);
- Estudo, especificação e aquisição dos sistemas de controle e interface de usuário e sistemas de recepção, transdução e amplificação de sinais (console de controle, amplificadores de RF e gradiente);
- Integração de todos os componentes necessários para a construção de um protótipo de equipamento de Ressonância Magnética;
- Capacitação da equipe da DAT nas disciplinas de: radiofrequência para Ressonância Magnética; simulação, projeto e fabricação de bobinas e eletrônica associada; operação de equipamentos de Ressonância Magnética; eletrônica de potência pulsada; eletrônica e instrumentação para controle de equipamentos biomédicos.

Considerando os requisitos de execução do projeto foram alinhados alguns requisitos técnicos ao sistema proposto: (i) volume útil de ao menos uma esfera de 40 mm de diâmetro para imageamento de amostras orgânicas ou pequenos animais – diretamente relacionado ao tamanho do magneto central, bobinas de radiofrequência e gradiente, e a potência necessária para os amplificadores; (ii) utilização de ímãs permanentes. Esses requisitos implicaram em uma redução significativa de custo e tempo de projeto e fabricação, comparado ao uso de magnetos supercondutores, além de dispensar criogenia.

Partindo dessas premissas, os desenvolvimentos do projeto realizados no primeiro semestre de 2024 para cada um dos subsistemas necessários para atingir a proposta de um equipamento de geração de imagens via Ressonância Magnética englobou desenvolvimentos para o magneto central; o sistema de gradiente; o sistema de radiofrequência; consoles de controle e integrações do subsistema.

O projeto do magneto central utiliza discos de ímãs permanentes de NdFeB (grade N45SH) para gerar um campo magnético e materiais ferromagnéticos (aço 1006) para o retorno do fluxo de campo. O objetivo é gerar um campo de 0,4 T na região central do equipamento, com homogeneidade de até 10 ppm em um diâmetro de volume esférico (DSV) de 4 cm.

No primeiro semestre, foram realizadas simulações no software *Simulia Opera* para modelar o magneto central e validar o campo magnético. Na etapa preliminar, as peças do magneto foram fabricadas, medidas e tratadas para proteção das superfícies. A etapa conceitual definiu requisitos do sistema de gradiente, como intensidade mínima de 100 mT/m e baixa indutância e resistência elétrica nas bobinas. Desenvolvimentos posteriores foram realizados com o *pyCoil-Gen*, um programa *open-source* em Python. Protótipos foram feitos para validar as simulações e o método de caracterização, enquanto a compra das placas finais está em andamento.

Para o sistema de radiofrequência, decidiu-se usar uma bobina Tx/Rx que realiza transmissão e recepção de sinais de RF, necessitando de um circuito T/R switch para isolar os canais. A bobina solenoidal foi projetada no software *FEMM* com geometria de 8 espiras e espaçamento variável, utilizando fita de cobre no enrolamento. Um protótipo foi construído para caracterização elétrica, permitindo refinar o circuito projetado para ajuste de sintonização e casamento de impedância. Capacitores não-magnéticos e trimmers de safira foram adquiridos, e o cabo coaxial RG223 será utilizado por ser não magnético.

A chave T/R está sendo desenvolvida pela DAT, com projeto simulado no software *LTspice* para validação. O console escolhido foi o *Cameleon4* da RS2D. O equipamento foi recebido pela equipe no CNPEM e está sendo estudado para conexão com outros componentes, além da familiarização com a interface e comandos. Uma *workstation* foi preparada para *download* dos programas necessários, e um treinamento remoto com a equipe técnica da RS2D está agendado para julho.

Desenvolvimento de Protótipo de Acelerador de Prótons para Terapia e Outras Aplicações

A iniciativa em busca de projetos de aceleradores de prótons, que teve início em 2022 com estudos e entendimentos preliminares de possibilidades, contou com avanços significativos na primeira metade de 2024. Um dos objetivos atuais dessa iniciativa é o desenvolvimento de um protótipo de uma cavidade aceleradora do tipo RFQ (*Radio Frequency Quadrupole*). Esse tipo de cavidade funciona especialmente para partículas em baixíssimas velocidades, correspondentes a energias de entrada de prótons da ordem de dezenas de keV e saída com poucas unidades de MeV. Ela é tradicionalmente aplicada logo após uma fonte fornecedora de íons, e o objetivo desse projeto é demonstrar a capacidade do CNPEM em expandir suas habilidades de desenvolvimento também para aceleradores de prótons, aproveitando ao máximo as experiências adquiridas com o desenvolvimento do acelerador de elétrons do projeto Sirius. Espera-se que o desenvolvimento desse protótipo esteja no portfólio do CNPEM, para expandir as competências em aceleradores com fins médicos, como, por exemplo, um acelerador capaz de produzir radioisótopos médicos e realizar terapia de prótons.

Os desenvolvimentos relacionados ao protótipo mencionado estão sendo realizados dentro do escopo do projeto, iniciado em janeiro de 2024:

- Especificação, aquisição, montagem, comissionamento e operação de uma fonte de prótons comercial.
- Desenvolvimento, fabricação, montagem, comissionamento e operação de uma cavidade do tipo RFQ capaz de acelerar o feixe oriundo da fonte de prótons até aproximadamente 1 MeV;
- Aproveitamento das torres amplificadoras de potência de rádio frequência usadas no antigo anel de armazenamento do UVX como fonte de potência para a cavidade RFQ;
- Desenvolvimento e implementação de sistemas de monitoramento e controle do protótipo, inclusive relacionados ao diagnóstico do feixe pós cavidade RFQ.

Esse projeto traz desafios em áreas nas quais o CNPEM já possui considerável experiência. Isso inclui projetos mecânicos, processos de fabricação e usinagem de precisão. Também envolve metrologia para montagem e alinhamento, caracterização e engenharia de materiais. Outros desafios são as vedações para alto vácuo, design e operação de sistemas de vácuo em câmaras e cavidades. Além disso, inclui eletrônica para instrumentação e sistemas de monitoramento e controle para *interlock* e conversores de potência. No entanto, o projeto também demanda a capacitação das equipes em áreas altamente específicas e de interesse do CNPEM. Isso abrange a dinâmica de feixe em aceleradores de prótons e sistemas para aplicação de radiofrequência de alta potência em cavidades ressonantes.

Estruturação dos Sistemas e Componentes do Protótipo

O processo de refinamento e detalhamento da estrutura de sistemas e componentes avança junto ao projeto, baseando-se tanto na análise de soluções adotadas em outros projetos de cavidades RFQ presentes na literatura quanto nas experiências prévias e propostas de solução das equipes do CNPEM. Uma proposta de estrutura dos sistemas que compõem o acelerador protótipo e permitem o seu funcionamento foi desenvolvida neste semestre, incluindo a listagem dos componentes que definem, em um nível acima de detalhes, o conteúdo de cada um dos sistemas. Diversas empresas fornecedoras de fontes de prótons foram consultadas para análise de seus produtos comerciais, tais como Panttechnik, DIS Germany, BREEBIT e NEC. Selecionou-se a proposta da NEC, que teve recomendação de parceiros especialistas externos que já tiverem experiência com esse fornecedor. O produto da NEC foi analisado e entendido com cuidado pelas equipes de engenharia do CNPEM.

Tipicamente, cavidades RFQ são feitas de cobre, material que possui boa condutividade elétrica e térmica pelo seu custo. Entretanto, é comum que o início de novos desenvolvimentos de cavidades tenha riscos altos que resultem no descarte das peças. Para evitar desperdício de cobre, uma estratégia comum é testar as primeiras fabricações em um material semelhante com menor custo, nesse caso opte-se pelo alumínio. Uma cavidade RFQ em alumínio não é eficaz para acelerar feixes

de partículas, mas ela será importante para validar diversas etapas do desenvolvimento, tais como processos de fabricação, montagem, alinhamento, estanqueidade de vácuo, processo de sintonização da cavidade.

O modelo da cavidade em alumínio foi trabalhado e lapidado ao longo de todo o semestre utilizando de simulações multifísica. Simulações de pressão foram realizadas utilizando *MOLflow* para verificar se a pressão desejada no interior da cavidade seria alcançada com as configurações de gás oriundo da fonte de prótons e as bombas de vácuo propostas.

Um primeiro teste de usinagem de um modelo reduzido da cavidade de alumínio já foi realizado (Figura 43). Preparações para possibilitar a usinagem da peça no tamanho real estão em andamento.



Figura 43. Peça inferior da cavidade usinada em tamanho reduzido como um primeiro teste de processos de usinagem.

Prototipagens para Desenvolvimento da Solução de Vedação por O'ring 3D

Uma solução de vedação está sendo desenvolvida e validada para ser utilizada na cavidade RFQ. Trata-se de uma montagem usando anéis de vedação O'rings devidamente posicionados entre as quatro peças que constituem a cavidade e as duas tampas durante a montagem, que se baseia em fusos roscados e parafusos para garantir o aperto das peças. Essa solução foi inspirada na literatura e demonstra potencial de conseguir evitar tradicionais rotas de brasagem, que demandam tempo e cuidado, além da possibilidade de erros que podem ser fatais para as peças. Um protótipo em tamanho reduzido foi projetado para validação da solução. Os resultados dos testes foram satisfatórios, com a montagem se mostrando estanque. O próximo passo para validação da solução será a realização de testes de estanqueidade com a cavidade de alumínio.

Após a montagem da cavidade RFQ, é necessário realizar um procedimento de sintonização da cavidade através da adequação do volume interno dela, controlado pelo nível de inserção de 16 pistões laterais, referidos como sintonizadores.

Dada a premissa de aproveitar as torres amplificadoras de RF do antigo anel de armazenamento do UVX, as torres, que já foram testadas ao longo de 2022, foram devidamente montadas na área de testes. A intenção inicial é usar apenas uma das duas torres disponíveis, reduzindo complexidades relacionadas a necessidade de uma eletrônica de controle (*low-level RF*). O sistema de RF montado está representado nas fotografias da Figura X11, onde também estão indicadas de forma aproximada onde serão posicionadas a cavidade RFQ e a fonte de prótons.

Prototipagens para Desenvolvimento da Solução de Vedação por O’ring 3D

Uma solução de vedação está sendo desenvolvida e validada para ser utilizada na cavidade RFQ. Trata-se de uma montagem usando anéis de vedação O’rings devidamente posicionados entre as quatro peças que constituem a cavidade e as duas tampas durante a montagem, que se baseia em fusos roscados e parafusos para garantir o aperto das peças. Essa solução foi inspirada na literatura e demonstra potencial de conseguir evitar tradicionais rotas de brasagem, que demandam tempo e cuidado, além da possibilidade de erros que podem ser fatais para as peças. Um protótipo em tamanho reduzido foi projetado para validação da solução. Os resultados dos testes foram satisfatórios, com a montagem se mostrando estanque. O próximo passo para validação da solução será a realização de testes de estanqueidade com a cavidade de alumínio.

Após a montagem da cavidade RFQ, é necessário realizar um procedimento de sintonização da cavidade através da adequação do volume interno dela, controlado pelo nível de inserção de 16 pistões laterais, referidos como sintonizadores.

Dada a premissa de aproveitar as torres amplificadoras de RF do antigo anel de armazenamento do UVX, as torres, que já foram testadas ao longo de 2022, foram devidamente montadas na área de testes. A intenção inicial é usar apenas uma das duas torres disponíveis, reduzindo complexidades relacionadas a necessidade de uma eletrônica de controle (*low-level RF*). O sistema de RF montado está representado nas fotografias da Figura X11, onde também estão indicadas de forma aproximada onde serão posicionadas a cavidade RFQ e a fonte de prótons.

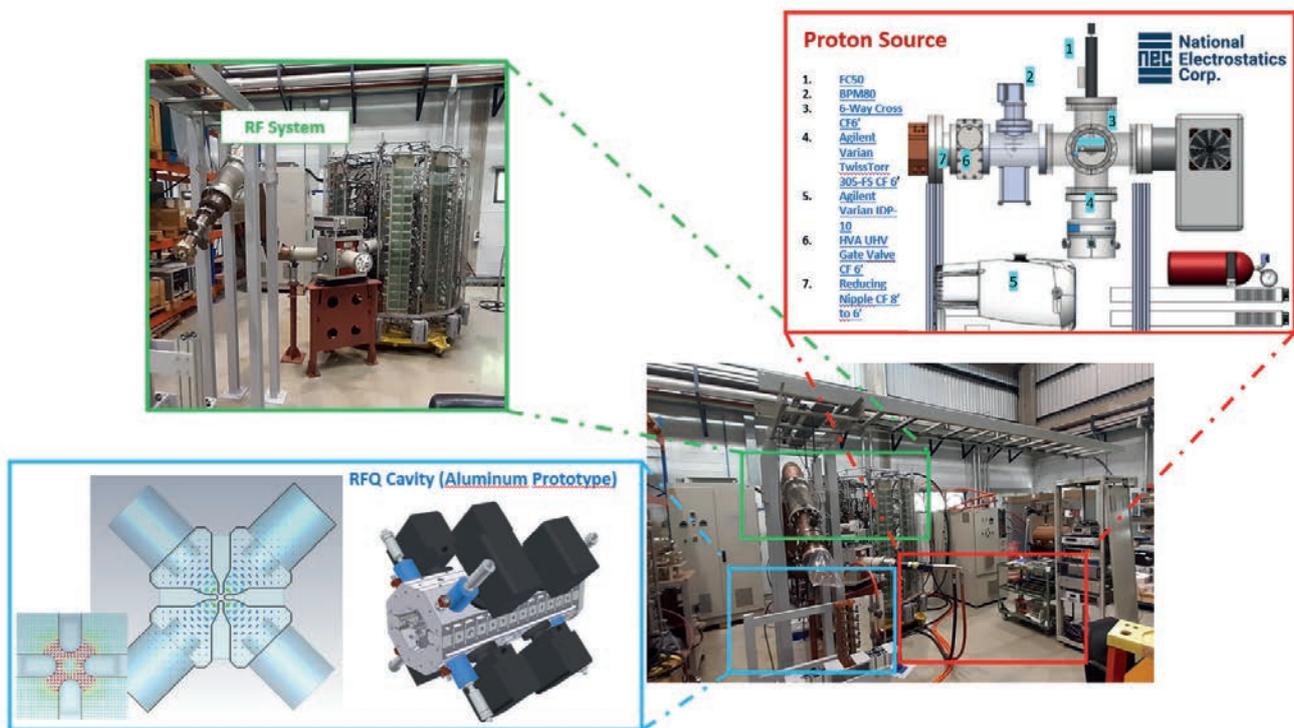


Figura 44. Sistema de RF montado e posição aproximada da cavidade RFQ e da fonte de prótons.

Com o avanço das definições dos componentes que constituem os sistemas do acelerador protótipo, foi possível iniciar o detalhamento dos blocos operacionais, os protocolos de comunicação e sistemas de monitoramento que podem ser aplicados. Um fluxograma de *interlocks* também foi elaborado baseado no projeto conceitual atual do protótipo.

Programa de Pesquisa e Desenvolvimento com Luz Síncrotron

A pesquisa realizada internamente no Sirius, um dos mais avançados aceleradores de partículas síncrotron do mundo, é de suma importância para o avanço da ciência e tecnologia em diversas áreas. Esta seção destaca alguns dos resultados mais importantes dessas pesquisas no período, ressaltando como o uso de luz síncrotron tem permitido descobertas significativas em estudos estruturais, químicos e biológicos. Ao explorar as capacidades únicas do Sirius, os cientistas têm conseguido obter dados de alta precisão e resolução, essenciais para o desenvolvimento de novos materiais, processos industriais e avanços em saúde e meio ambiente, além de aprimorar as técnicas e capacidades das instalações.

Organização química e estrutural

A pesquisa em Organização Química e Estrutural explora a composição, estrutura e propriedades das moléculas e materiais, focando na organização atômica e molecular e suas influências. Para isso, utilizam-se técnicas avançadas como a espectroscopia, difração de raios X e microscopia eletrônica para descobrir novos materiais com aplicações em diversas indústrias.

Mecanismo de desintoxicação em plantas

O manganês (Mn) é um micronutriente com diversas funções nas plantas. Além da ativação de enzimas, o Mn é particularmente relevante no processo fotossintético como um componente da enzima complexa que desenvolve oxigênio para catalisar a reação de divisão da água. Em sistemas biológicos, o Mn pode alterar os seus estados de oxidação de +2 até +7, mas a sua absorção pelas raízes das plantas ocorre como Mn^{2+} , no qual é facilmente deslocado para os brotos. Em excesso, o Mn pode ser fitotóxico e gerar espécies reativas de oxigênio danificando o aparelho fotossintético, reduzindo o conteúdo de clorofila, a assimilação de dióxido de carbono

e, portanto, o crescimento. Técnicas baseadas em síncrotron, como μ -SXRF e XANES (estrutura próxima à borda de absorção de raios X) com alta resolução espacial da linha CARNAÚBA, podem fornecer informações precisas *in situ* sobre a localização, distribuição e especiação de Mn. Enquanto μ -SXRF permite sua localização espacial por meio de imagens em microescala, a espectroscopia XANES investiga os ambientes de ligação molecular local e estados de oxidação. O resultado sugere que a maior fração de Mn é complexada por ligantes orgânicos, modelados como malato e citrato ligados a Mn, em vez de íons livres ou forma oxidadas.

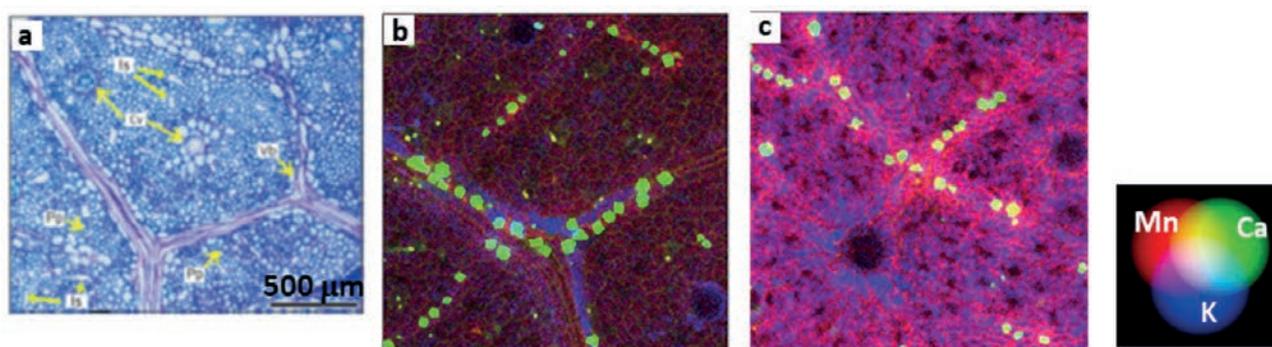


Figura 45: a) Fotomicrografias da região mediana da lâmina foliar de *Eucalyptus tereticornis* sob condições controle. b) Mapa XRF (panorâmica) de K, Ca e Mn numa região da folha de *Eucalyptus* sob condições de controle. c) Mapa XRF dos mesmos elementos em condições de alta concentração de Mn. Área mapeada de 1 mm x 1 mm com resolução espacial de 2 mm.

Dinâmica de redox

A pesquisa em Dinâmica de Redox estuda a transferência de elétrons entre espécies químicas, essencial para reações biológicas e químicas como respiração celular e fotossíntese. Investigam-se os fatores que influenciam essas reações e suas aplicações em baterias, células de combustível, e síntese química, além de ajudar a desenvolver novas terapias médicas e mitigar impactos ambientais.

Reações de oxidação e redução medidas in situ

As reações de oxidação e redução, ou reações redox, desempenham papéis fundamentais em foto-eletrocatalise, catálise e baterias. Por exemplo, em processos eletroquímicos, como na produção de energia a partir de células a combustível ou na eletrocatalise de produtos químicos, reações de oxidação e redução ocorrem nas superfícies dos eletrodos. Tais eletrodos são chamados de catalisadores e facilitam essas reações químicas, aumentando a taxa de reação sem serem consumidos, permitindo, assim, uma eficiência maior do processo. A estação TARUMÃ possui um ambiente de amostras líquidas dedicado ao estudo dessas reações redox. A Figura 1²⁹ mostra o que acontece com

um catalisador de óxido de cobre durante o processo de conversão de nitrato em amônia ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_3$) em diferentes potenciais. É perceptível a mudança na concentração de Cu^{+1} e Cu^0 observada em uma região do catalisador (-0.4 V e -0.6V), bem como se observada pontualmente (XANES pontual). Essa reação de conversão é de grande interesse industrial, pois a amônia é um fertilizante majoritariamente produzido a partir combustíveis fósseis e sua demanda cresce a cada ano. Por outro lado, o nitrato é um rejeito de produção na indústria e acaba sendo um contaminante em ambientes marinhos e fluviais, tornando-o uma excelente solução para a produção de amônia verde.

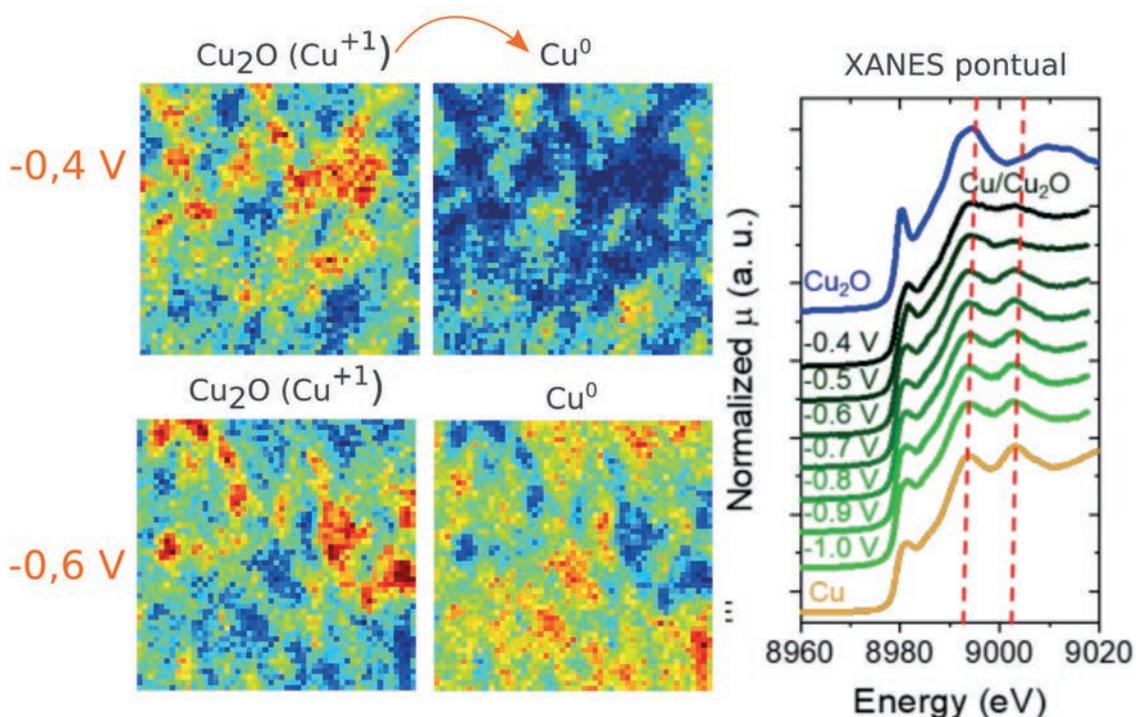


Figura 46: Redução do óxido de cobre I (Cu^{+1}) durante o processo eletrocatalítico de conversão de nitrato em amônia.

Interações nano-bio

A pesquisa em Interações Nano-Bio explora como nanomateriais interagem com sistemas biológicos, impactando áreas como sistemas de entrega de medicamentos, diagnósticos avançados e terapias inovadoras. Investigando as propriedades dos nanomateriais e seus efeitos em células e tecidos, os pesquisadores buscam melhorar a biocompatibilidade e minimizar efeitos adversos.

29. Costa, G. F., Winkler, M., Mariano, T., Pinto, M. R., Messias, I., Souza Jr., J. B., Neckel, I. T., Santos, M. F. C., Tormena, C. F., Singh, N., & Nagao, R. (2024). Identifying the active site of $\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{O}$ for electrocatalytic nitrate reduction reaction to ammonia. *Chem Catalysis*, 4, 100850.

Adsorção de proteínas

Proteínas rapidamente adsorvem em nanopartículas quando estas são expostas a ambientes biológicos, alterando a estabilidade coloidal, biodistribuição e interações celulares. Apesar dos esforços extensivos para investigar o destino das nanopartículas, poucos estudos utilizam métodos de caracterização de alta resolução que permitam uma análise detalhada. As metodologias existentes não conseguem diferenciar partículas internalizadas no início do período de incubação daquelas internalizadas tardiamente. Neste estudo, foram superadas essas limitações relacionadas às disparidades na incubação e monitorou-se precisamente o deslocamento espaço-temporal de nanopartículas coloidalmente estáveis revestidas com uma coroa proteica dentro das células. Esta abordagem inovadora envolveu a incubação das nanopartículas com células por um período definido, removendo meticulosamente as partículas não internalizadas no início do experimento e fixando as células em diferentes momentos. Além disso, essa

estratégia envolveu o uso da nanotomografia por raios X, combinada com técnicas de microscopia de alta resolução, super-resolução e microscopia correlativa, revelando a migração das nanopartículas para a região perinuclear, enquanto a evolução das organelas celulares é monitorada em células totalmente hidratadas sob condições quase nativas, sem a necessidade de agentes contrastantes. Notavelmente, esse rastreamento indica a fusão de vesículas contendo nanopartículas durante a migração (Figura 47). Ao mesmo tempo, a microscopia de super-resolução permitiu a medição da transição de endossomos para endolisossomos derivada de diferenças de pH entre as estruturas vesiculares. Esta estratégia demonstra o potencial para descobrir os aspectos temporais do comportamento das nanopartículas dentro das células e pode ser adaptável a uma ampla gama de nanopartículas e tipos celulares, oferecendo uma ferramenta versátil e poderosa para acompanhar nanopartículas em ambientes celulares.

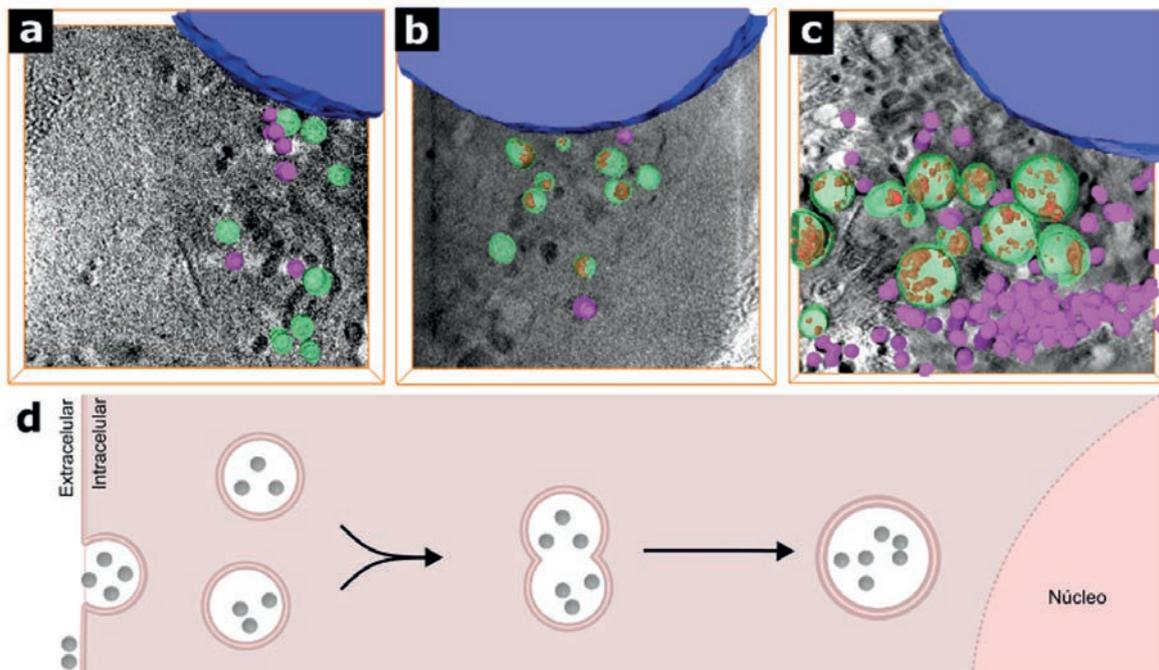


Figura 47: Segmentação das células obtidas por cryo-SXT para as amostras a) controle, b) 0h, e c) 24h após a remoção das nanopartículas não internalizadas. Cores: vesículas (verde), nanopartículas (vermelho), gotículas lipídicas (rosa) e núcleo (azul). d) Ilustração do deslocamento e fusão de vesículas propostos de acordo com os resultados observados.

Fenômenos em escala de poro

A pesquisa em fenômenos em escala de poro estuda as interações e processos em estruturas porosas, como rochas e solos, focando no fluxo de fluidos, transporte de solutos e reações químicas. Esse entendimento é crucial para a engenharia de petróleo, hidrogeologia, ciência dos materiais e biomedicina, visando melhorar a eficiência de processos industriais, gestão de recursos naturais e desenvolvimento de novos materiais.

Dinâmica da formação de zeólitas

Compreender a dinâmica da formação de zeólitas é fundamental para sintetizar materiais zeolíticos de alta qualidade com propriedades controláveis, a fim de desenvolver materiais mais eficientes e de alto desempenho para catálise. A espectroscopia de correlação de fótons de raios X (XPCS) usando raios X coerentes oferece novas possibilidades para a observação *in situ* da dinâmica de flutuação em escala nano a micro durante o crescimento do cristal de zeólita. Apresenta-se aqui um estudo *in situ* de XPCS, combinado com espalhamento de raios X de pequeno e grande ângulo,

conduzido na linha de luz CATERETÊ em Sirius, da formação e dinâmica de zeólitas sob condições hidrotérmicas. A análise dos resultados permite identificar com precisão as sucessivas etapas de crescimento e cristalização, revelando o processo de dissolução da topologia da zeólita LTA durante o crescimento da zeólita sodalite (SOD). Esta abordagem abre um novo caminho poderoso para estudar a dinâmica da formação de nanomateriais, transições de fase e processos de crescimento sob condições *in situ* que permitirão insights profundos sobre os mecanismos de síntese em nanoescala.

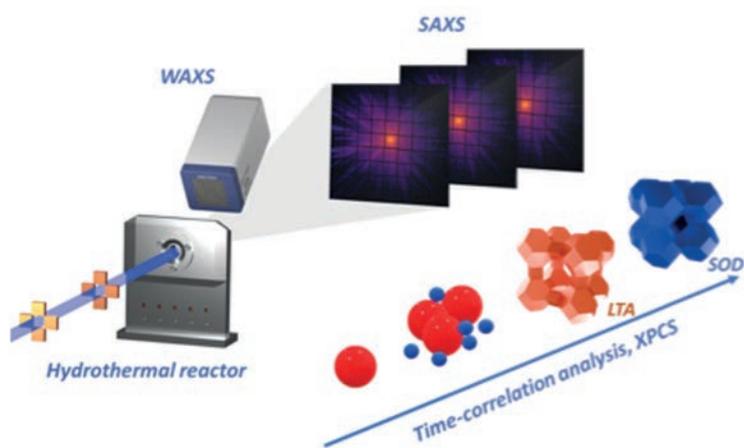


Figura 48: Representação esquemática do experimento onde SAXS, WAXS e XPCS foram realizados.

Condições extremas

A pesquisa em condições extremas estuda materiais, organismos e sistemas em ambientes severos, como temperaturas extremas e alta pressão. Essencial para desenvolver tecnologias avançadas, essa área tem aplicações na exploração espacial, construção em regiões polares e fabricação de materiais resistentes, ampliando os limites do conhecimento e da sobrevivência em ambientes hostis.

Composto de perovskita CsCuCl₃ sob condições extremas

Perovskitas de haleto têm atraído grande interesse na pesquisa devido às suas aplicações multifacetadas e versáteis em optoeletrônica. Este interesse é intensificado pela capacidade dessas perovskitas de sofrer modificações estruturais complexas sob condições extremas, resultando em mudanças significativas em suas propriedades. Utilizando as capacidades da linha EMA, neste estudo³⁰ foi investigada a interação intrínca entre atributos estruturais e vibracionais do CsCuCl₃, utilizando técnicas de espectroscopia Raman e difração de raios X de pó em síncrotron sob baixas temperaturas e altas pressões. O

estudo sobre o composto CsCuCl₃ em condições extremas revelou que o material apresenta uma transição de fase estrutural de primeira ordem de uma célula hexagonal para uma monoclinica quando submetido a altas pressões. Esta transição é reversível, mas influenciada pela pressão residual, causando alterações no valor da pressão crítica. Além disso, foi observada uma correlação significativa entre as dinâmicas de spin e fônons, especialmente em temperaturas baixas, indicando um mecanismo de acoplamento spin-fônon. Estes achados destacam a complexidade das propriedades estruturais e vibracionais do CsCuCl₃.

30. Rodríguez-Hernández, J. S., Gómez, M. A. P., Furtado, O. P., Vasconcelos, D. L. M., Ayala, A. P., Paschoal, C. W. A., Kutelak, L. O., Lombardi, G. A., & dos Reis, R. D. (2024). CsCuCl₃ perovskite compound under extreme conditions. *Phys. Rev. B*, 109(5), 054116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.109.054116>

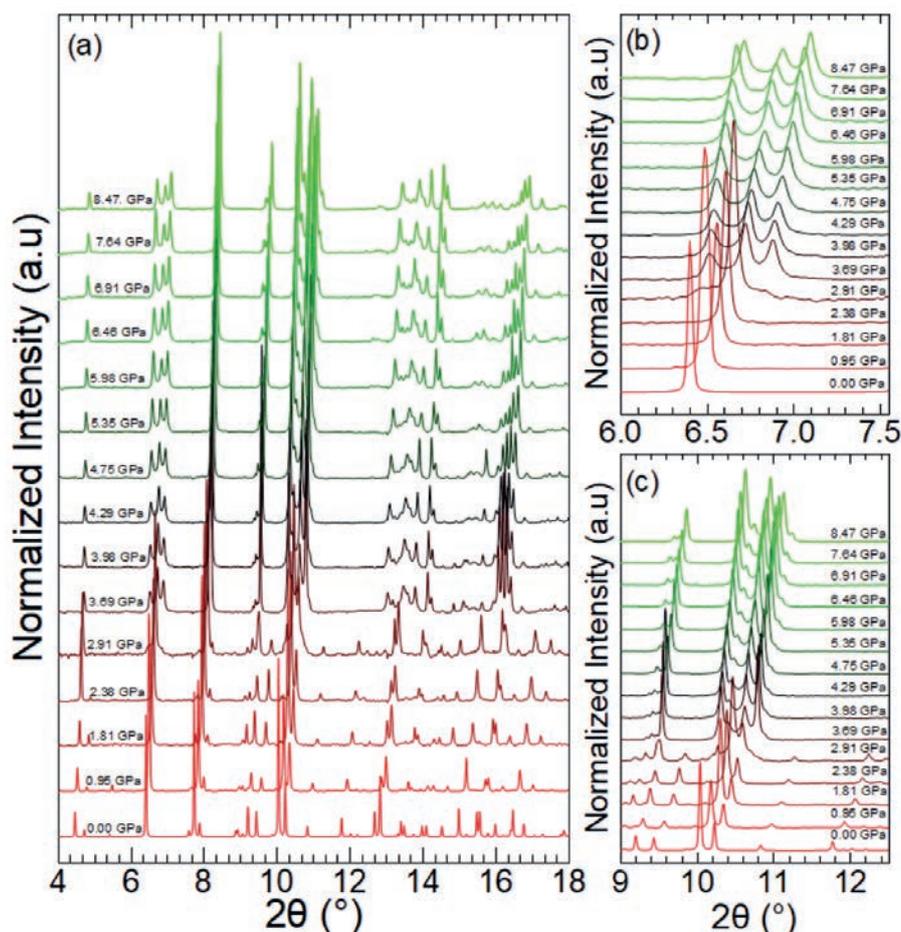


Figura 49 a) Difração de raios X no composto de CsCuCl₃ como função da pressão aplicada. (b) e (c) mostram regiões específicas do padrão de difração.

Estrutura eletrônica e magnética

A pesquisa em estrutura eletrônica e magnética investiga as propriedades e comportamentos dos materiais em nível atômico e molecular, influenciando semicondutores, supercondutores e materiais magnéticos. Compreender essa estrutura é essencial para o desenvolvimento de novos materiais tecnológicos. Técnicas como espectroscopia, difração de raios X e simulações computacionais são usadas para explorar essas estruturas complexas.

Conversão de Correntes em Heteroestruturas

A orbitrônica é um campo emergente da física que explora o uso de correntes de momento angular orbital para a transmissão e manipulação de informações em dispositivos eletrônicos. Neste estudo³¹, utilizamos técnicas de bombeamento de spin por ressonância ferromagnética para investigar a conversão de correntes de spin e orbital em correntes de carga em heteroestruturas YIG/Pt/CuOx. Observamos que a magnitude do efeito de conversão depende da espessura dos filmes de Cu

e do tipo de oxidação. Experimentos na linha IPÊ, combinando XAS nos modos TEY e FY com perfis de profundidade por XPS, revelaram uma distribuição de fases oxidadas com um gradiente de concentração de oxigênio que diminui da superfície do CuOx até a interface com a Pt. A magnitude do efeito de conversão correlaciona-se com a presença deste gradiente de oxidação, sugerindo que o oxigênio é essencial para a quebra de simetria que induz a polarização do momento orbital.

31. Santos, E. S., Abrão, J. E., Costa, J. L., Santos, J. G. S., Mello, K. R., Vieira, A. S., Rocha, T. C. R., Mori, T. J. A., Cunha, R. O. R., Mendes, J. B. S., & Azevedo, A. (2024). Bulk and Interface Effects Based on Rashba-like States in Ti and Ru Nanoscale-Thick Films: Implications for Orbital-Charge Conversion in Spintronic Devices. *ACS Applied Nano Materials*.

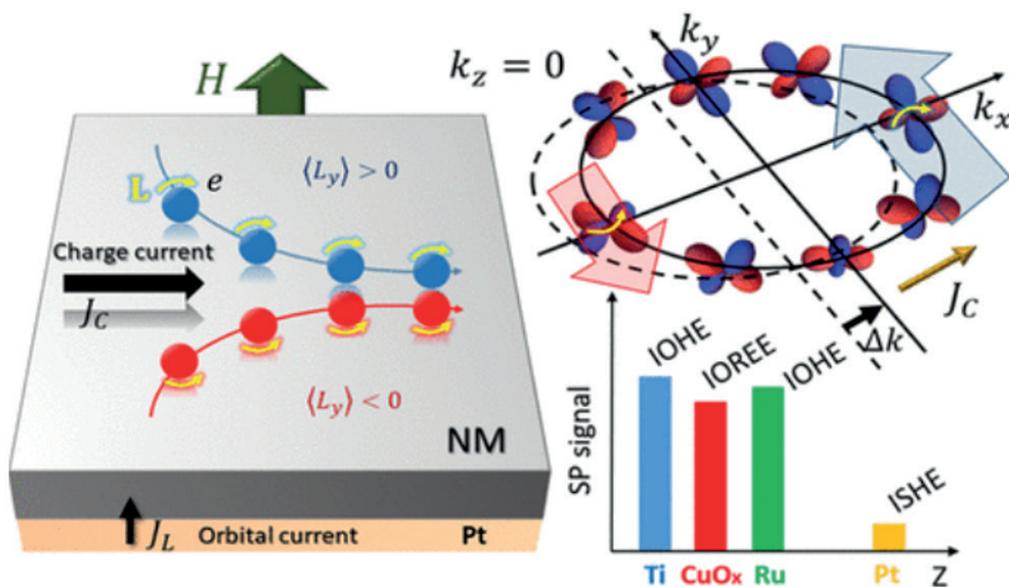


Figura 50: Representação esquemática da conversão de correntes orbitais em correntes de carga em uma heteroestrutura YIG/Pt/CuOx. A corrente de carga J_C é gerada a partir de correntes orbitais J_L através de efeitos como o Efeito Hall de Orbital Inverso (IOHE) e o Efeito Rashba Orbital Inverso (IOREE). O gráfico de barras mostra os sinais de polarização (SP) para diferentes materiais (Ti, CuOx, Ru e Pt), indicando a magnitude da conversão. A presença de oxigênio em CuOx é essencial para a quebra de simetria que induz a polarização do momento orbital.

Excitações quânticas

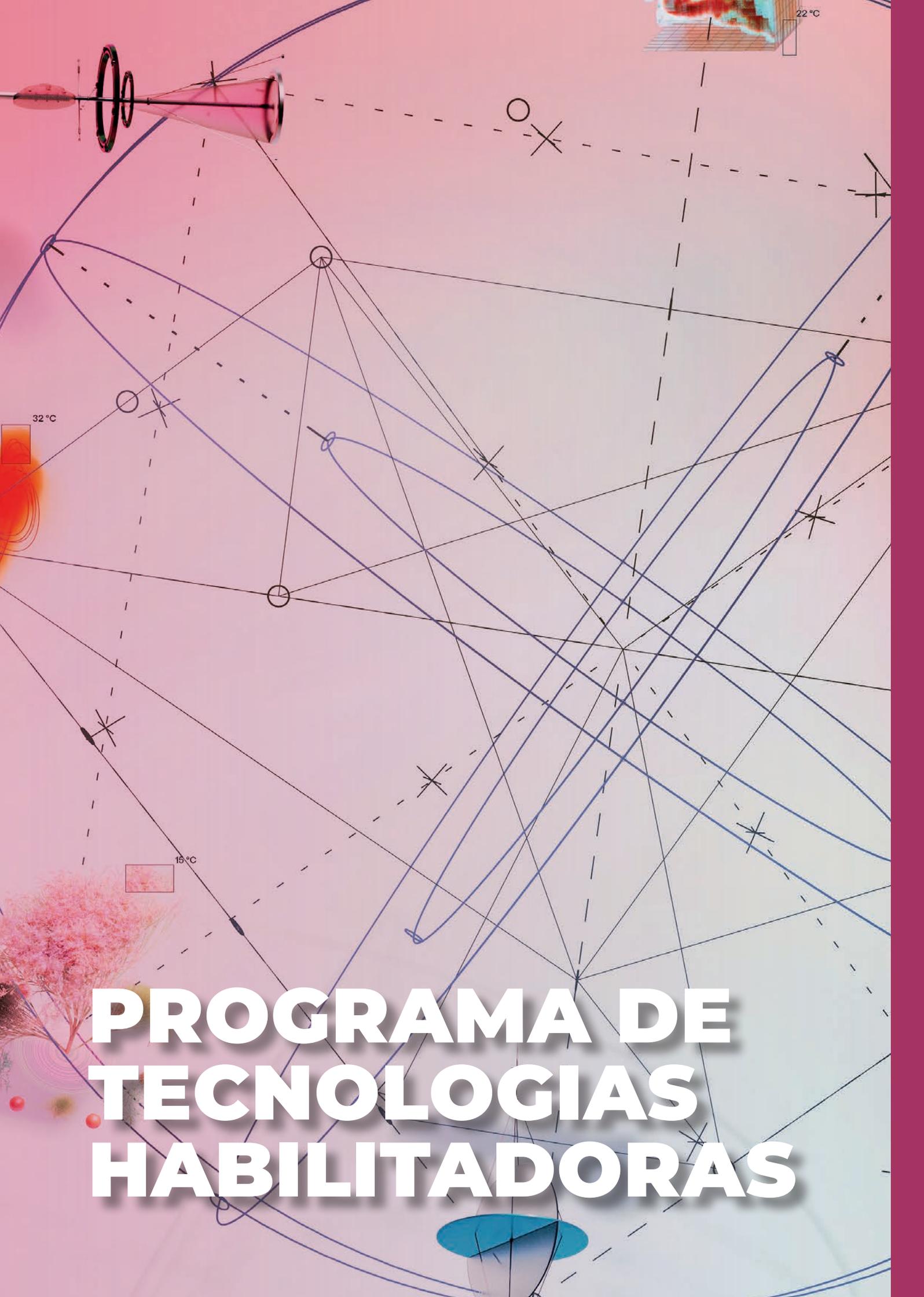
A pesquisa em excitações quânticas investiga estados excitados em sistemas quânticos e suas interações. Esse campo é crucial para avanços em computação quântica, materiais exóticos como isolantes topológicos, e novos métodos de comunicação e criptografia, permitindo maior precisão no controle de sistemas quânticos.

Controle de Polaritons em Cavidades Nanofotônicas

Cavidades nanofotônicas são fundamentais para diversas aplicações, incluindo optoeletrônica, biossensores e computação quântica. Elas enaltecem a atividade de quase-partículas denominadas poláritons, que emergem da hibridização de fótons e oscilações coletivas de carga na matéria. Como esses estados fotônicos são intrinsecamente confinados, as cavidades polaritônicas podem aumentar a interação luz-matéria em volumes subdifracionais. Além disso, a excepcional capacidade de ajuste do polariton fornece um caminho para o controle dinâmico das propriedades da cavidade sem alterar sua estrutura física. Neste trabalho, foram introduzidos campos magnéticos como um novo grau de liberdade para controlar modos de nanocavidade. Especificamente, foi explorada a transição de

Landau menos energética em grafeno magnetizado como um parâmetro de ajuste para poláritons de fônons em uma cavidade α -MoO₃ biaxial. Para revelar poláritons no espaço real, foi utilizada uma microscopia criogênica de campo próximo de última geração que pode operar em campos de até 7 T. Os resultados demonstram modos de cavidade magneticamente ajustáveis confinados dentro da estrutura α -MoO₃. Além disso, o trabalho prevê uma transição topológica da dispersão de poláriton induzida via campo magnético, levando a variações drásticas na distribuição de campos dentro da cavidade. Assim, este novo estudo ressalta a versatilidade das cavidades nanofotônicas baseadas em níveis de Landau, abrindo caminho para futuras aplicações em magneto-óptica.





PROGRAMA DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Neste capítulo estão descritos os resultados do Programa de Tecnologias Habilitadoras, que abrangem a consolidação e expansão de núcleos importantes de competências, capazes de garantir singularidade na contínua busca da compreensão aprofundada e integrada das propriedades e dos mecanismos de interação da matéria *in situ*, *in vivo* e *in operando* e em diversas escalas de tamanho. Os desenvolvimentos em tecnologias habilitadoras servem de apoio para os quatro Eixos de atuação.



Caracterização em Nanoescala

Dentro da caracterização em nanoescala, destaca-se o uso da microscopia eletrônica de transmissão devido a sua resolução espacial, que pode chegar a 0,05 nm, ou seja, em escala atômica. Com esta técnica, é possível estudar a estrutura de matérias dos materiais cristalinos através da difração de elétrons variando da escala nano a micro. Contudo, materiais amorfos não podem ser estudados diretamente através da difração de elétrons. Assim, para este fim, tem-se desenvolvido a técnica de análise de primeiros vizinhos (*pair distribution function*), aplicada a difração de elétrons. Esta técnica foi aplicada para todos os microscópios do LNNano e parâmetros importantes de aquisição dos padrões de difração foram encontrados, tais como o comprimento de câmera, a intensidade para cada imagem de difração, a soma de diferentes imagens e a remoção de fundo brancos e fundos escuros. Assim, a aquisição de dados e utilização de softwares específicos de processamento para esta técnica se tornou rotina ao longo do primeiro semestre de 2024. Além disso, o LNNano vem desenvolvendo um software próprio, baseado em Python, no qual busca-se otimizar tanto o processo de procura do centro exato da difração através da função de autocorrelação baseado em deslocamento dos espectros normais entre si, quanto a correção de distorções por meio da função

de autocorrelação baseado em deslocamento dos espectros ortogonais entre si, a calibração automática, a remoção de fundos etc.

Além da difração de elétrons, a microscopia eletrônica também pode ser usada para caracterizar estruturalmente os materiais por meio da geração de imagens com resolução atômica, as quais são fundamentais para o estudo de interfaces e nanopartículas, por exemplo. Em interfaces, as imagens de alta resolução podem ser usadas para o estudo de indexação das regiões presentes em interfaces homogêneas ou heterogêneas, de tensão acumulada na interface e de tipos de defeitos ao longo da interface.

Além das aplicações descritas, a microscopia eletrônica de transmissão também pode ser usada para caracterizar os materiais através de técnicas espectroscópicas, gerando imagens com resolução manométrica e até atômica, capazes de fornecer informações composicionais e de estado eletrônicos dos átomos presentes na amostra. Nesse sentido, o grupo de EM desenvolveu uma plataforma que integra e otimiza a aquisição de imagens de alta resolução e análises espectroscópicas, a partir do uso de softwares de simulação, de medidas de tensão, de filtros de Fourier e do processamento de dados espectroscópicos. O resumo destes resultados pode ser encontrado no artigo recente, publicado na *Applied Surface Science*³².

Bioimagens

No primeiro semestre de 2024 foi desenvolvido um dispositivo microfluídico inovador para o preparo de amostras de criomicroscopia eletrônica resolvida no tempo. Este dispositivo, baseado em uma arquitetura helicoidal, foi aprimorado para melhorar a eficiência do processo de mistura de soluções. A pesquisa resultou na produção de grades auto-seccantes, permitindo a obtenção de gelo fino e uniforme, crucial para a coleta de dados de alta qualidade. Utilizando este sistema,

foram obtidos dados estruturais de proteínas, incluindo a apoferritina, com uma resolução de aproximadamente 6Å, destacando o potencial do dispositivo para estudos avançados de macromoléculas. Paralelamente, o laboratório intensificou suas atividades de capacitação, promovendo treinamentos, estágios e cursos internacionais, como o curso de *Single Particle Cryo-EM* realizado na Argentina, para ampliar o uso e o impacto da criomicroscopia eletrônica na comunidade científica da América Latina.

32. Dos Santos, G. T. et al. (2024). Nanostructured FTO/Zr-hematite interfaces for solar water-splitting applications. *Applied Surface Science* 645, 158867

Desenvolvimento de métodos de preparo de amostra para criomicroscopia resolvida no tempo utilizando um dispositivo microfluídico

O LNNano desenvolve pesquisas na área de metodologias para a aquisição e processamento de dados, visando o avanço da técnica de criomicroscopia para a análise estrutural de macromoléculas. Um dos projetos internos visa o desenvolvimento de um dispositivo microfluídico, para o preparo de amostras para criomicroscopia eletrônica resolvida no tempo. Essa técnica é capaz de revelar estados intermediários em reações envolvendo complexos macromoleculares. Inicialmente, os dispositivos foram planejados baseados em arquiteturas disponíveis na

literatura. Após testes preliminares, verificou-se a necessidade de modificações na arquitetura do misturador, para torná-lo mais eficiente. Sendo assim, foi desenvolvido um dispositivo baseado em uma arquitetura helicoidal, inicialmente proposta por pesquisadores do LMM para aplicações em outras áreas (Figura 51.A-B). Além disso, conforme descrito em relatórios anteriores, foi adaptado um protocolo químico para a produção *in-house* de grades auto-secantes (*self-wicking grids*) para a obtenção de grades com gelo mais fino e uniforme (Figura 51.C-D).

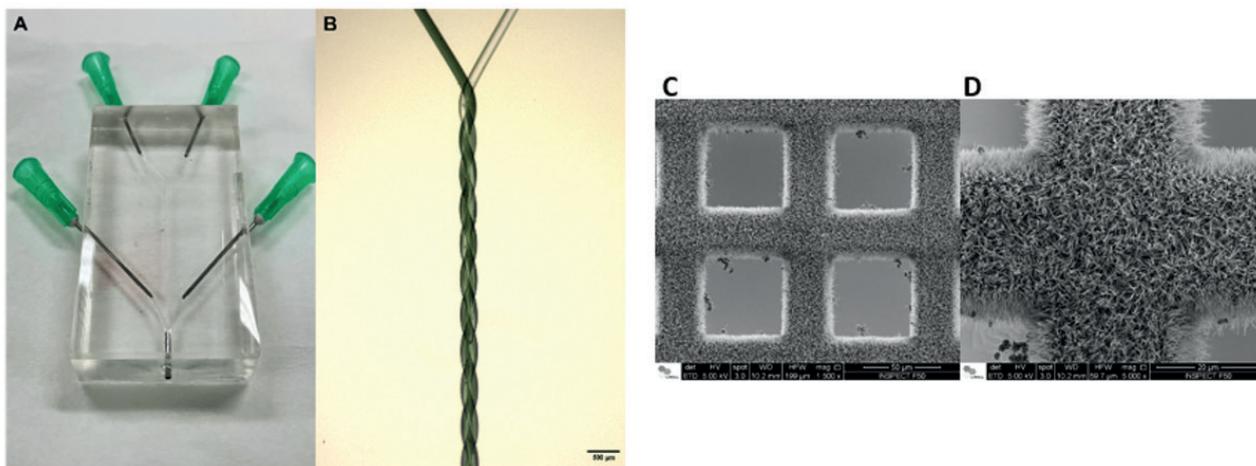


Figura 51 - Dispositivo microfluídico e grades auto secantes. (A) Visão geral do dispositivo produzido e (B) imagem ampliada do início do canal de mistura do dispositivo. A imagem (B) mostra uma gradual homogeneidade colorimétrica de duas soluções, que possuem diferentes tonalidades de cinza. (C-D) Imagens SEM das grades auto secantes de nanofios.

Após a validação das condições do gelo, foram preparadas grades contendo uma amostra padrão usando o dispositivo, com a proteína apoferritina. Foi possível produzir uma grade com diversas áreas com gelo fino e amorfo, adequada para coleta de dados. Cerca de 300 movies foram coletadas no microscópio Titan Krios, os quais foram utilizadas para o processamento de dados e obtenção de estrutura 3D da proteína. Utilizando os dados coletados, foi possível obter um mapa de cryo-EM ao final do refinamento, com resolução em torno de 6Å, indicando que embora o sistema ainda necessite de melhorias, visando obter um gelo mais fino e uniforme, este se mostrou eficaz na obtenção de uma estrutura de uma proteína.

Ainda neste projeto, após testar o dispositivo de mistura com testes colorimétricos, duas proteínas diferentes foram misturadas utilizando o canal de geometria borboleta. Para esse teste, as proteínas misturadas foram apoferritina e ferritina. Grades de controle também foram preparadas usando o sistema padrão de vitrificação Vitrobot. Foi possível obter regiões de bom gelo, como já demonstrado para a amostra contendo apenas apoferritina. Também foi possível obter uma mistura homogênea, como a obtida com o Vitrobot.

Esta pesquisa foi desenvolvida no contexto de um projeto de Mestrado junto à UFABC, que foi finalizado em junho de 2024³³.

33. "Desenvolvimento de um dispositivo microfluídico para o preparo de amostras para criomicroscopia eletrônica resolvida no tempo", autora: Daniela Cristina Serdan, Pós-Graduação em Biotecnologia, UFABC.

Simulação Computacional e Inteligência Artificial

O subprograma tem em sua atuação a forte integração não apenas com os outros subprogramas do Programa de Tecnologias Habilitadoras, mas pela própria natureza, forte inserção nos diferentes Programas do LNNano.

Teoria e Simulações Computacionais de propriedades estruturais e eletrônicas de Nanomateriais

Visualização da dessinterização induzida por feixe de elétrons de cerâmicas nanoestruturadas em escala atômica

A difusão de massa e a tensão local de tração associadas à irradiação por feixe de elétrons podem favorecer o processo de dessinterização. Foi relatada a dessinterização induzida por feixe de elétrons de filmes finos de ZrO_2 na escala atômica com resolução espacial, usando microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (HRTEM). Os resultados confirmam trabalhos anteriores nos quais a dessinterização é impulsionada pela tensão de tração atuando na ponte se um estímulo externo, como a irradiação, desencadear a mobilidade atômica. Além disso, foram encontrados

desvios das descrições microscópicas clássicas: uma nanoponte muito estável é formada e evolui até a ruptura com um ângulo diedro constante em vez de uma ruptura frágil. Um modelo adaptado para dessinterização na nanoescala é proposto com base nos achados experimentais. Este trabalho fornece insights que podem melhorar o conhecimento sobre a ruptura de materiais cerâmicos nas escalas nano e atômica, contribuindo para um melhor entendimento do comportamento dos materiais. Este trabalho foi publicado em *Cell Reports Physical Science*³⁴.

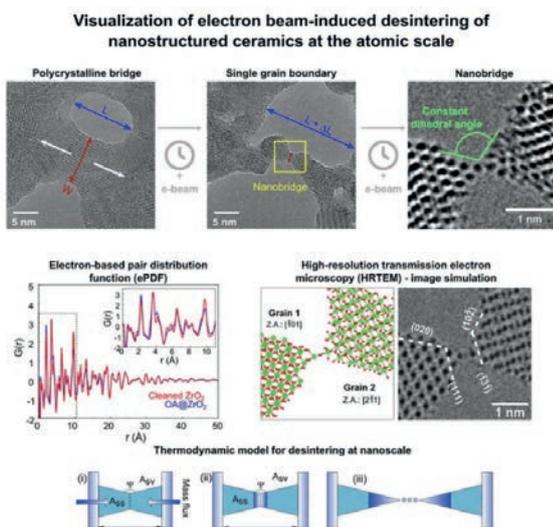


Figura 52 - Resumo dos resultados combinando técnicas experimentais, de simulação, e desenvolvimento de modelos teóricos para compreensão do fenômeno da dessinterização.

Controle magnético de nós de Weyl e pacotes de ondas em semimetais tridimensionais

Foram investigadas as transições de fase topológicas impulsionadas pelo *warping* da estrutura eletrônica e por um campo magnético transversal, para semimetais de Weyl tridimensionais. Primeiro, o número de Chern foi utilizado como uma ferramenta matemática para derivar o diagrama de fase topológica. Em seguida, cada um dos setores topológicos foi associado a um estado de momento angular de um pacote de onda em rotação. Então, foi apresentado como a posição dos nós de Weyl pode ser manipulada por um campo magnético externo transversal que, em última análise,

extingue a rotação do pacote de onda, primeiro parcialmente e depois completamente, resultando em uma sequência de transições de fase topológicas induzidas pelo campo. Finalmente, foram calculadas a magnetização induzida pela corrente e a condutividade Hall anômala de um material de Weyl distorcido prototípico. Ambas as observáveis refletem as transições topológicas associadas à rotação do pacote de onda e podem ajudar a identificar o elusivo efeito Hall anômalo quântico tridimensional em materiais de Weyl distorcidos tridimensionais. O *preprint* deste trabalho está disponível no *arXiv*³⁵.

34. TER Fiuza, B Focassio, J Bettini, GR Schleder, MHM Rodrigues, JB Souza Junior, AFazzio, RB Capaz, ER Leite. (2024). Visualization of electron beam-induced desintering of nanostructured ceramics at the atomic scale. *Cell Reports Physical Science* 5 (2), 101828.

35. B Focassio, GR Schleder, A Fazzio, RB Capaz, PV Lopes, J Ferreira, C Enderlein, MB Silva Neto. (2024). Magnetic control of Weyl nodes and wave packets in three-dimensional warped semimetals. *arXiv preprint arXiv:2401.06282*

Modificação dupla da hematita para minimizar efeitos de small polarons e recombinação de carga para geração de hidrogênio sustentável

Nanoestruturas de hematita são fortes candidatas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de divisão de água. No entanto, existem desafios importantes para melhorar a densidade de carga e minimizar as taxas de recombinação de carga para um desempenho fotoeletroquímico competitivo baseado em hematita sem comprometer aspectos de sustentabilidade. Aqui, desenvolvemos uma estratégia sintética para aproveitar Al³⁺ e Zr⁴⁺ abundantes na Terra em uma modificação química dupla para minimizar sinergicamente os efeitos do *small polaron* e a recombinação de carga interfacial. O método à base de

solução simultaneamente induz a dopagem de Al³⁺ na rede cristalina da hematita, enquanto Zr⁴⁺ forma um excesso interfacial, criando um filme fino nanoestruturado homogêneo de fase única. O fotoânodo projetado aumentou a fotocorrente de 0,7 mA cm⁻² para hematita pura até 4,5 mA cm⁻² a 1,23 V e além de 6,0 mA cm⁻² ao aplicar uma sobretensão de 300 mV sob iluminação simulada de luz solar (100 mW cm⁻²). Os resultados demonstram o potencial do design de modificação dupla usando processos à base de solução para viabilizar tecnologias energéticas sustentáveis. Este trabalho foi publicado em *Journal of Materials Chemistry A*³⁶.

Desenvolvimento e implementação de ferramentas de inteligência artificial para descoberta e design de materiais

Avaliação de desempenho de potenciais interatômicos de aprendizado de máquina universais: desafios e direções para superfícies de materiais

Os potenciais interatômicos de aprendizado de máquina (MLIPs) são uma das principais técnicas na caixa de ferramentas da ciência dos materiais, capazes de unir a precisão ab initio com a eficiência computacional dos campos de força clássicos. Isso permite simulações que abrangem desde átomos, moléculas e biosistemas, até materiais sólidos, superfícies, nanomateriais e suas interfaces e interações complexas. Uma classe recente de MLIPs avançados, que utiliza representações equivariantes e redes neurais de grafos, é conhecida como modelos universais. Esses modelos são propostos como modelos fundacionais adequados para qualquer sistema, cobrindo a maioria dos elementos da tabela periódica. Os MLIPs universais atuais (UIPs) foram treinados com o maior conjunto de dados consistente disponível atualmente. No entanto,

esses são compostos principalmente por cálculos DFT de sólidos periódicos. Neste trabalho, foram avaliados a universalidade de todos os UIPs disponíveis abertamente, a saber, MACE, CHGNet e M3GNet, em uma tarefa representativa de generalização: cálculo de energias de superfície. Foi descoberto que os modelos fundamentais prontos para uso apresentam deficiências significativas nesta tarefa, com erros correlacionados à energia total das simulações de superfície, tendo uma distância fora do domínio do conjunto de dados de treinamento. Enquanto os UIPs são um ponto de partida eficiente para o ajuste fino de modelos especializados, ainda existe o potencial de aumentar a cobertura do espaço dos materiais em direção a conjuntos de dados de treinamento universais para MLIPs. O *preprint* deste trabalho está disponível no *arXiv*³⁷.

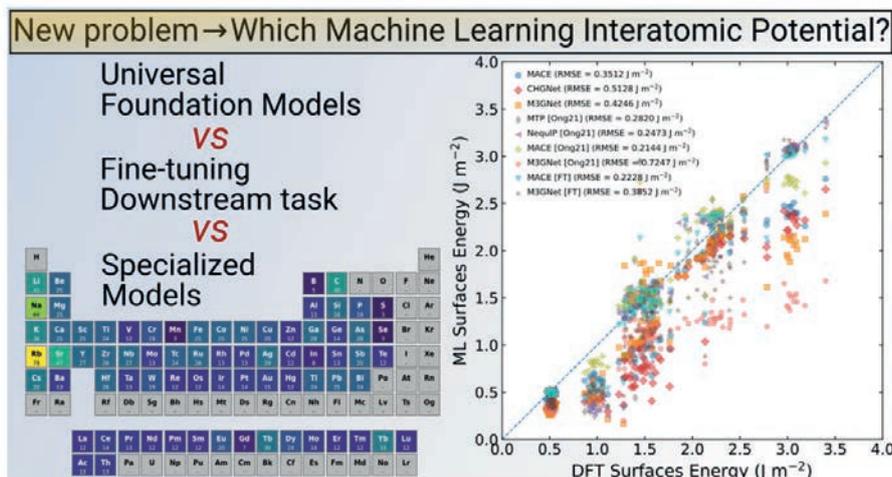


Figura 53 - Representação do problema a ser solucionado com os potenciais de inteligência artificial, comparando qual estratégia é mais eficiente para a solução de um novo problema científico. Na direita, é representada o gráfico de paridade entre o valor de referência comparado com o valor predito pelo modelo, onde valores mais próximos à diagonal são melhores.

36. NC Verissimo, FA Pires, I Rodriguez-Gutierrez, J Bettini, TEER Fiuza, CA Biffe, F Montoro, GR Schleder, RHR Castro, ER Leite, FL Souza. (2024). Dual modification on hematite to minimize small polaron effects and charge recombination for sustainable solar water splitting. *Journal of Materials Chemistry A* 12, 6280-6293

37. B Focassio, LPM Freitas, GR Schleder. (2024). Performance Assessment of Universal Machine Learning Interatomic Potentials: Challenges and Directions for Materials' Surfaces. *arXiv preprint arXiv:2403.04217*

Inteligência Artificial na Análise Avançada de Imagens de Microscopia Eletrônica de Transmissão

Foi implementado o uso de ferramentas de inteligência artificial para o processamento de imagens de microscopia eletrônica de transmissão. Com isso, torna-se possível não apenas a automação, mas a obtenção de informações até então inacessíveis, além da melhoria da qualidade dos dados utilizando métodos de processamento tradicional. Sistemas de interesse são, por exemplo, processos de

ruptura de *nanoflakes* de materiais 2D e *nano-clusters* de óxidos, processos estes que são visualizados por microscopia de alta resolução (HRTEM) in situ. O projeto tem como resultados esperados tanto o desenvolvimento e validação metodológica quanto resultados aplicados dos sistemas físicos mencionados (Figura 54). Atualmente o processo e o *workflow* está em desenvolvimento.

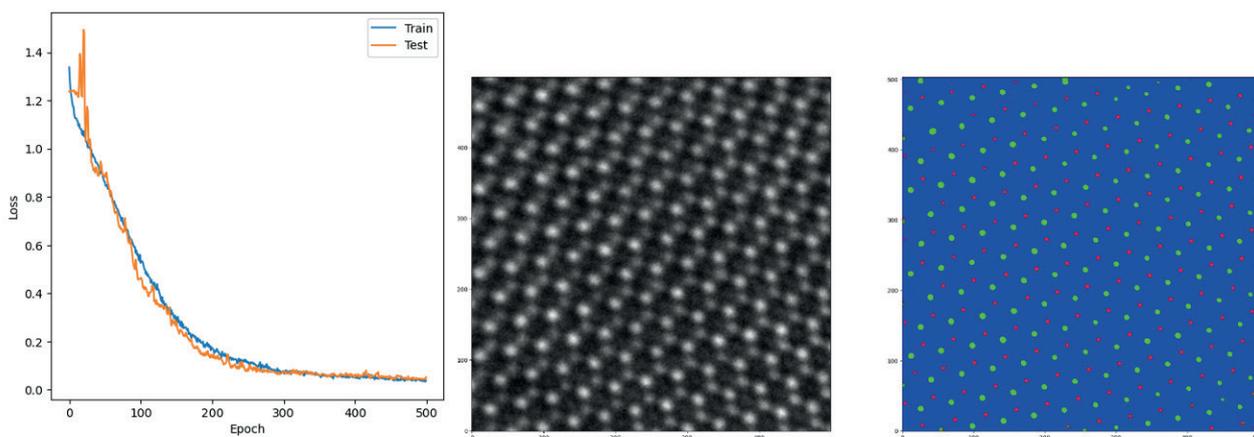


Figura 54 - Exemplo de treinamento de rede neural profunda para segmentação semântica de imagens de microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (HRTEM). Esquerda: *loss function* em função do número de *epochs* de treinamento. Centro: Imagem de HRTEM de uma amostra de MoS₂. Direita: previsão do modelo de segmentação para identificação das espécies e posições atômicas correspondente.

Micro e Nanofabricação

Os avanços do Subprograma de Micro e Nanofabricação incluem a otimização de litografia por feixe de elétrons e corrosão assistida por plasma, resultando na fabricação de contatos elétricos 1D em heteroestruturas 2D. O encapsulamento de grafeno com isolantes como nitreto de boro hexagonal e filossilicatos é uma realização chave. Além disso, novos processos de fotolitografia e a instalação de um sistema de *sputtering* para a deposição de filmes finos têm ampliado as capacidades de fabricação, beneficiando o desenvolvimento de dispositivos quânticos e nanoestruturas complexas. Os avanços obtidos ao longo do primeiro semestre deste ano seguem discutidos abaixo.

Confecção de eletrodos do tipo “1D” em heteroestruturas de van der Waals 2D

Avanços em micro e nanofabricação de dispositivos em amostras de materiais 2D demandam a contínua otimização de processos de litografia e corrosão. Nesse sentido, grandes esforços foram empenhados na otimização dos processos de litográfica por feixe de elétrons e corrosão assistida por plasma no LNNano. Ao longo dos últimos meses, foram realizados processos de micro e nanofabricação exigidos para o processamento de contatos elétricos do tipo 1D (*side-contact*) nas heteroestruturas híbridas 2D. Realizou-se com sucesso o encapsulamento de monocamadas de grafeno (SLG) com diferentes isolantes 2D, dentre eles o nitreto de boro hexagonal (hBN) e filossilicatos (biotita e talco). A Figura 55.a apresenta imagem

óptica de uma heteroestrutura de SLG encapsulada entre dois cristais de hBN. Já a Figura 55.b mostra a mesma área após a revelação da região a ser corroída e posteriormente à etapa de corrosão seca por plasma (O₂ e SF₆) dos materiais 2D e após remoção da camada de PMMA (Figura 55.c). As Figuras 55.d-e apresentam imagens ópticas de um transistor de efeito de campo nanofabricado por litografia eletrônica e após a etapa de metalização e *lift-off*, respectivamente. Ao executar o protocolo descrito acima, obtém-se a confecção de eletrodos denominados de 1D ou *side-contacts* nos dispositivos quânticos 2D, pois a única área de contato entre o eletrodo metálico e a camada ativa de SLG é a interface lateral da monocamada de grafeno.

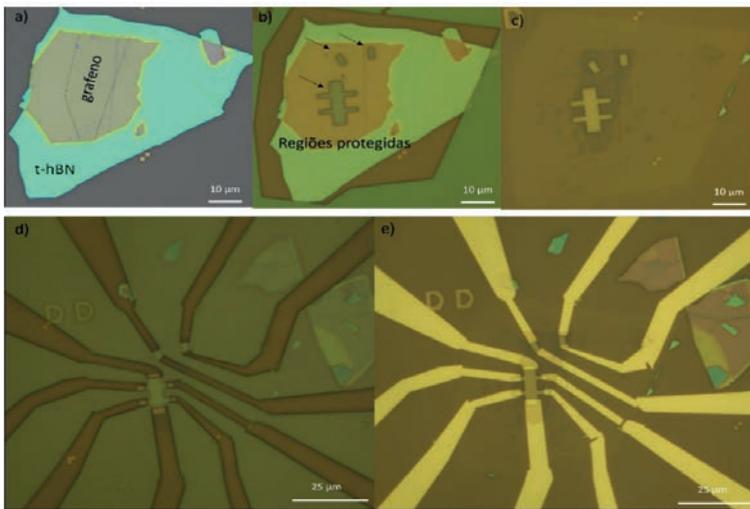


Figura 55 - (a) Imagem óptica de uma heteroestrutura 2D composta de uma monocamada de grafeno encapsulada entre 2 cristais de hBN. Imagens ópticas da mesma amostra após processo de revelação da litografia eletrônica para definição do formato do transistor 2D (b), após a etapa de corrosão da área desprotegida por técnicas de “reactive ion etching” (c), e após realizado o processo de lift-off do filme de ouro de um transistor FET (d), restando apenas os contatos metálicos contactando o grafeno encapsulado na arquitetura de contatos 1D ou “side-contact”. Imagem óptica de um heteroestrutura híbrida de grafeno encapsulado por um cristal de hBN e biotita. Em contato ao grafeno existem dois grafites que funcionam como eletrodos locais e permitem o contato do grafeno sem necessidade de corrosão do hBN. (f) imagem óptica de um transistor FET do tipo “top-gate” onde se observam os eletrodos metálicos contactando grafites que estão conectados ao grafeno encapsulado.

Implementação de novos processos de fotolitografia

As demandas em instalações multiusuários abertas é uma força motriz do desenvolvimento de novos processos em ambiente de micro e nanofabricação de dispositivos. Um projeto específico apresentou a demanda de obter estruturas micrométricas em resinas fotossensíveis mais espessas, da ordem de dezenas de micrômetros, em contraste com a resina fotossensível padrão utilizada nas instalações de microfabricação otimizada para 1400 nm de espessura. Para gerar estruturas do tipo lift-off de materiais não convencionais e espessos, foi escolhido o fotoresiste AZ40XT pela sua capacidade em reproduzir padrões de dimensões laterais micrométricas e com espessura entre 25-65 μm, dependendo da velocidade de rotação utilizada durante a sua aplicação, como ilustrado na Figura 56.a. A primeira etapa foi a elaboração de uma curva de rotação em função da espessura do fotoresiste para o material já disponível na instalação,

utilizando uma dose exagerada de exposição à luz UV no processo de fotolitografia, sem critérios de avaliar o formato das estruturas desejadas, e aferir a espessura do fotoresiste por meio de um perfilômetro de contato. A Figura 56.b ilustra os dados de perfilometria de contato em função da velocidade de rotação do fotoresiste, evidenciando um contraste entre as espessuras medidas e os valores esperados com base no material fornecido pelo fabricante. A causa mais provável desse desvio é a degradação do fotoresiste ao longo do tempo, tratando-se de um insumo armazenado a longo prazo. Em seguida, foram realizados testes de dose de exposição à luz UV para avaliar a performance do processo com relação a obtenção de estruturas com dimensões laterais micrométricas. Nota-se a qualidade visual das estruturas obtidas com dose de 500 mJ/cm² na Figura 56.d em comparação com a dose de 400 mJ/cm² utilizada na Figura 56.c.

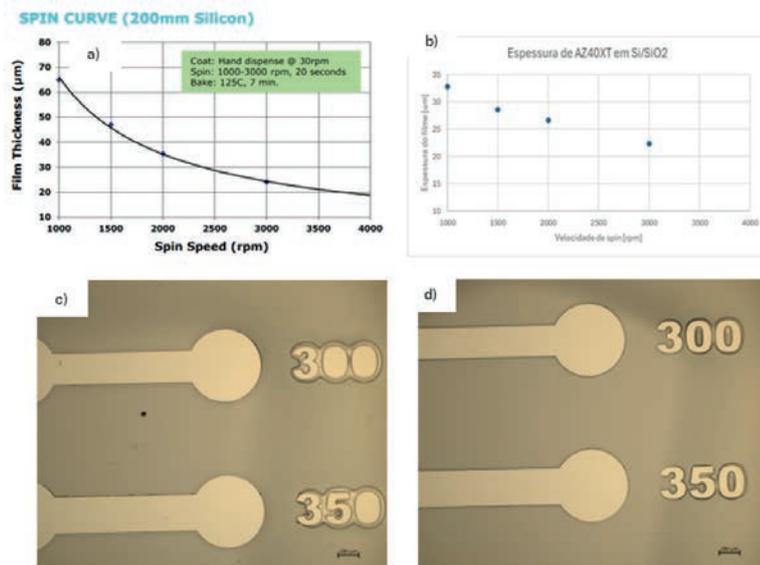
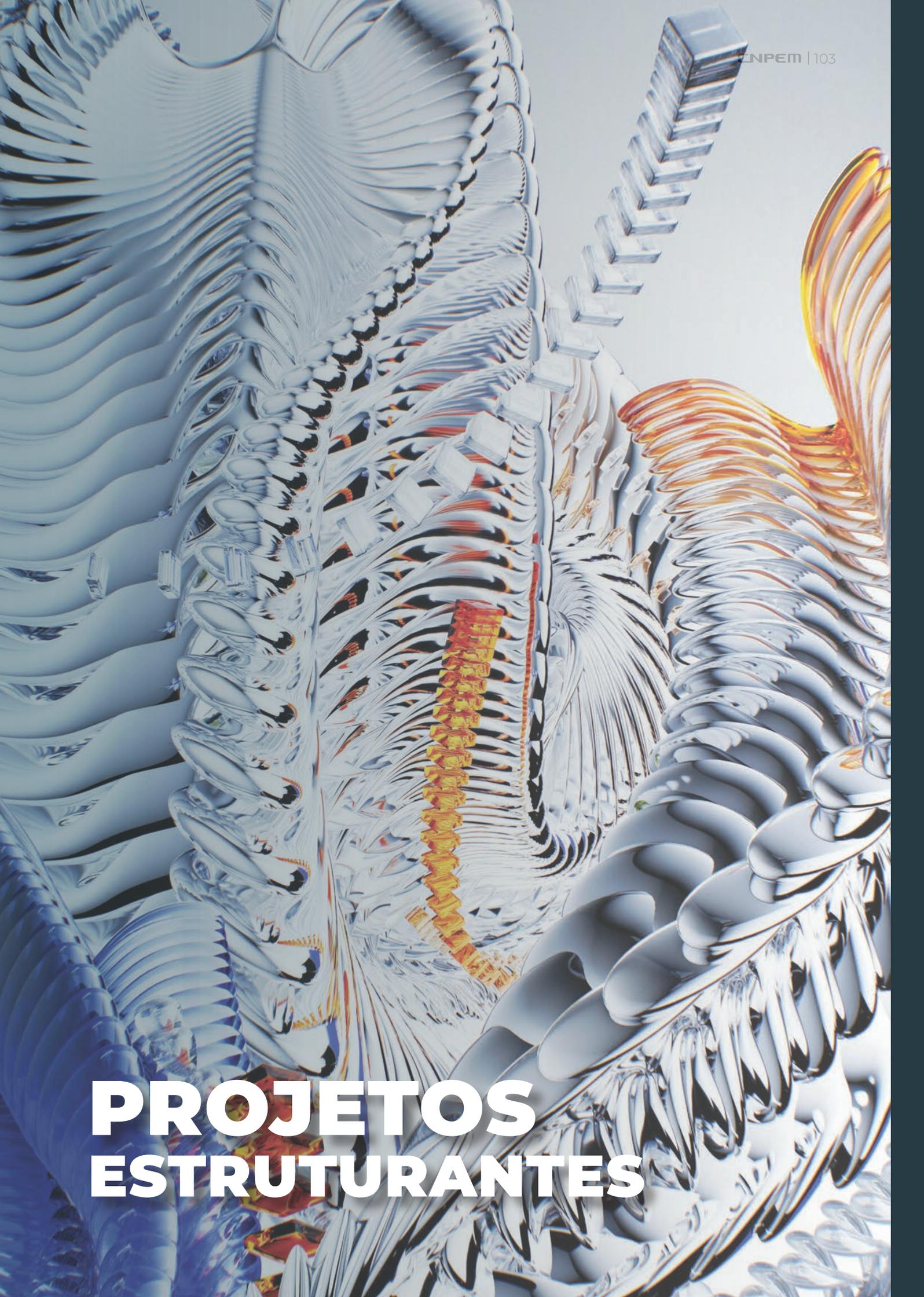


Figura 56 - Curva de espessura do fotoresiste AZ40XT em função da velocidade de rotação durante a sua aplicação, (a) fornecida pelo fabricante e (b) elaborada nas instalações de microfabricação do LNNano. Imagem de microscópio óptico obtida de filme de AZ40XT exposto a uma dose UV de (c) 400 mJ/cm² e (d) 500 mJ/cm².





PROJETOS ESTRUTURANTES

Neste capítulo estão descritas as atividades realizadas nos Projetos Estruturantes do CNPEM, os quais envolvem a implantação de infraestruturas de pesquisa que servirão de forma transversal aos quatro eixos de atuação do Centro. Estes projetos exigem um amplo esforço de P&D interna para a criação de soluções aos desafios relacionados à construção de infraestruturas de pesquisa de alta complexidade.



Projeto Orion

O Orion será um complexo laboratorial para pesquisas avançadas em patógenos das classes 3 ou 4 que contará com instalações de máxima contenção biológica (NB4), além de espaços NB2 e NB3. Também são considerados estudos em imageamento e microscopia eletrônica, sendo a primeira instalação NB4 do mundo conectado a um acelerador de partículas, o que possibilita os estudos em linhas de luz. O Projeto Orion contribuirá para a capacitação de recursos humanos no Brasil e para impulsionar o desenvolvimento tecnologia nos métodos de diagnóstico de doenças infecciosas, vacinas e estratégias de vigilância epidemiológica.



Figura 57. Perspectiva externa da edificação

O desenvolvimento do projeto, iniciado em 2023 com o levantamento de informações, passou pelas seguintes fases de projeto no primeiro semestre de 2024:

- **Projeto Conceitual:** finalizado no mês de abril, teve como objetivo a definição do perímetro da edificação e o zoneamento das grandes áreas e atividades.

Essa etapa foi realizada com a participação da gerenciadora do projeto, do escritório de arquitetura, bem como dos pesquisadores e interessados no projeto.

- **Estudo Preliminar:** com finalização prevista para o fim de julho, o objetivo dessa etapa se concentra no desenvolvimento de soluções arquitetônicas, estruturais e de sistemas, visando a definição do layout e a elaboração de *rooms data sheets*.

Além dos envolvidos na etapa anterior, também fazem parte do projeto a Consultoria Internacional especialista em laboratórios NB4, bem como os projetistas de Instalações (MEP), Estrutura, Fundações, Infraestrutura (Terraplanagem, Drenagem e Pavimentação), Consultoria de Bombeiros e Piso de Concreto.

Ao fim dessa etapa, os documentos consolidados de projeto serão utilizados para contratação de uma empresa que apoiará a pré-construção e, eventualmente, construção.

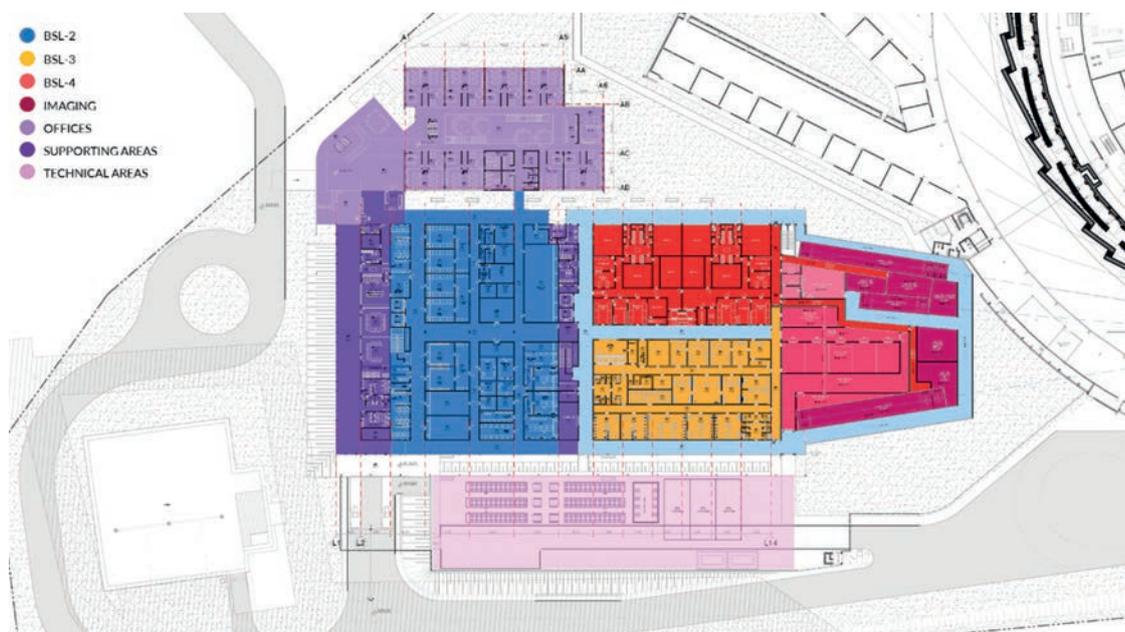


Figura 58. Planta do térreo da edificação

Assim, entende-se que o primeiro semestre de 2024 teve como papel fundamental a consolidação da espacialidade do projeto Orion, estabelecendo o posicionamento e definição dos espaços de escritório, dos ambientes laboratoriais NB2, NB3 e NB4 e dos programas de microscopia, imageamento e linhas de luz. Também foram estabelecidas as necessidades e dimensionamento das áreas técnicas necessárias para viabilizar os usos da edificação.

Paralelamente à elaboração do projeto, foram iniciadas as obras de terraplanagem, tendo sido realizadas as movimentações de terra necessárias para a conformação do subsolo e realização das fundações, que devem ser executadas de maneira a não causar vibrações que prejudiquem o funcionamento dos estudos em andamento no Sirius.

Linhas de Luz integradas ao Orion

Com o objetivo de alavancar pesquisas avançadas em doenças infecciosas e preencher uma lacuna significativa nas atuais capacidades de imageamento 3D de amostras biológicas, o Orion está sendo projetado para integrar as linhas de luz do Sirius. Na mesoescala, ferramentas de bioimagem de raios X podem elucidar mudanças estruturais em células, tecidos e órgãos, fornecendo evidências cruciais sobre a dinâmica da infecção e propagação viral. No entanto, as metodologias atuais de preparação de amostras e de medidas em luz síncrotron são limitadas a amostras de baixos níveis de biossegurança. Dessa forma, enquanto proteínas isoladas podem ser estudadas com relativa segurança, células, tecidos e organismos podem ser altamente infecciosos, exigindo manipulação especializada. Atualmente, a inativação de amostras é o principal método para estudar amostras de níveis de biossegurança 3 e 4 (NB3 e NB4) nos mais variados laboratórios do mundo. No entanto, essa manipulação pode induzir a alterações estruturais, impactando potencialmente interpretações dos resultados obtidos.

Consequentemente, há uma urgência social para que linhas de luz de imageamento de amostras biológicas dentro do mesmo ambiente de

biossegurança dessas amostras sejam construídas, permitindo a investigação de espécimes nativos infectados com patógenos NB3 e NB4. Uma das grandes propostas do Orion é conectar ambientes NB3 e NB4 a três linhas de luz: (1) SIBIPIRUNA (*Soft x-ray bio-Imaging Beamline with Partially coherent Illumination for Resolving cellular Ultra-structure in NANometers*) para tomografia de células individuais; (2) TIMBÓ (*Tender x-ray coherent IMaging Beamline for ex-vivo small animal Organs and tissues*) para tomografia de tecidos; e (3) HIBISCO (*HIgh-energy Beamline for In-Vivo Small animal COmputed tomography*) para tomografia de organismos.

Abaixo serão detalhados os principais desenvolvimentos alcançados durante o semestre para as linhas SIBIPIRUNA e TIMBÓ. Serão apresentados, de forma sucinta, as principais definições e simulações relacionadas aos componentes ópticos das linhas de luz e às estações experimentais, que estarão posicionadas dentro do laboratório Orion. Durante o semestre, também foram realizados avanços em relação à arquitetura e definição dos sistemas de apoio das linhas de luz, incluindo: laboratórios e equipamentos para preparação de amostras, sistemas de descontaminação da linha de luz e ambientes de amostra.

Linha de Luz SIBIPIRUNA

A SIBIPIRUNA será uma linha de luz de campo total TXM (*full field Transmission X-rays Microscopy*) que usará raios X moles na janela da água para gerar imagens tomográficas de células em estado quase nativo. Em específico, a SIBIPIRUNA será integrada ao laboratório NB4 do Orion, permitindo obterá obtenção de imagens de células em estado quase nativo infectadas por agentes que demandam máxima contenção biológica. Além disso, também está sendo projetada a possibilidade de fazer imageamento correlativo de tomografia de raios X com imagens de super-resolução obtidas por fluorescência de luz visível.

Ao longo dos últimos meses de trabalho, as alterações de maior impacto na SIBIPIRUNA foram a mudança do tipo de dispositivo de inserção (ID, no inglês *insertion device*) e a sua adequação ao projeto arquitetônico mais recente do prédio do Orion. Anteriormente, a linha seria derivada de um ID do tipo ondulador, mas passa agora para um dipolo (no inglês *bending magnet dipole*) (B2). Tal mudança acarretou alterações no projeto em diferentes escalas, indo desde os requisitos dos elementos ópticos do front-end e da estação experimental até mudanças das posições das cabanas. Como vantagem da alteração para o B2, podemos citar, no geral,

uma melhor compatibilização entre as linhas do Sirius e o prédio do Orion, e, em particular, um aumento do tamanho do feixe focalizado na amostra, o que favorece a técnica de full field. Como desvantagem, haverá uma potencial diminuição parcial no fluxo de fótons, mas ainda dentro de valores típicos encontrados em outras linha do mundo para esta mesma técnica. Além disso, a proposta atual é que a linha disponha de duas estações experimentais, uma no prédio do Sirius (operando em NB2), e outra operando prioritariamente em níveis NB3 e NB4 dentro do prédio do Orion.

A óptica primária da linha SIBIPIRUNA será baseada em espelhos para raios X, em um design de óptica acromática, ou seja, as propriedades do feixe são independentes da energia. Dado o intervalo de energia para operação na faixa dos raios X moles, ou raios X de baixa energia, um monocromador de grade plana (PGM – do inglês *Plane Grating Monochromator*) é uma solução bem conhecida em vários síncrotrons no mundo, bem como no Sirius, a exemplo dos monocromadores das linhas IPÊ e SABIÁ. O PGM é constituído por dois elementos, um espelho plano e uma grade difração. A resolução em energia da grade foi otimizada para estar de acordo com a resolução da lente de zonas de Fresnel (FZP), como descrito posteriormente.

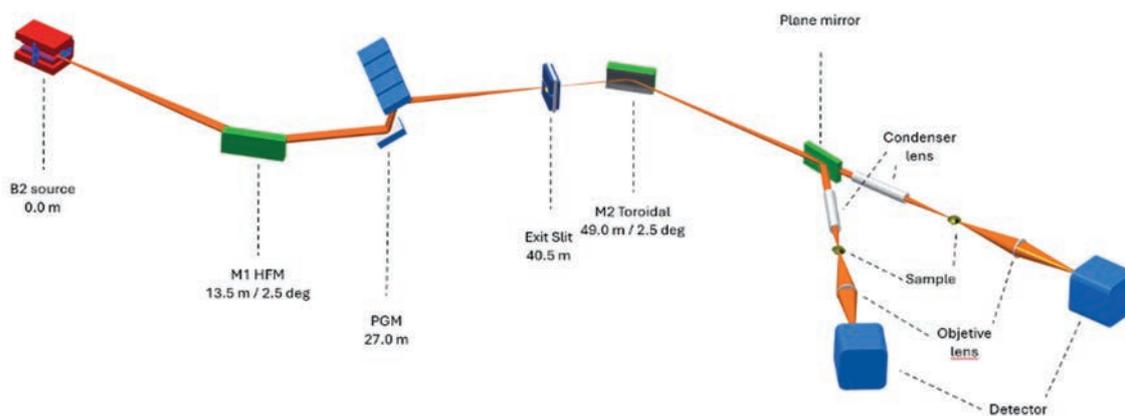


Figura 59 - Detalhes sobre a disposição dos elementos ópticos da linha SIBIPIRUNA

Para a focalização horizontal, foi escolhido um espelho elíptico com deflexão lateral, a exemplo de outro espelhos focalizadores utilizados em outras linhas do Sirius. Considerando a abertura numérica simétrica da condensadora (CCL), as posições do PGM e do espelho de focalização horizontal (HFM - do inglês *Horizontal Focusing Mirror*) foram escolhidas de maneira que a divergência do feixe, em ambas as direções, fosse a mesma, garantindo a simetria do feixe nas posições após a fenda de saída. Além disso, a abertura vertical da fenda de saída, na posição do foco, está diretamente relacionada com a resolução em energia da linha. Em razão da grade funcionar como um elemento de dispersão, a abertura vertical da fenda de saída define a banda passante de energia. Em números, a combinação de uma grade com densidade de 1100 l/mm e uma abertura da fenda de 50 um resulta em um poder de resolução de aproximadamente $E/\Delta E \geq 1 \times 10^4$, para a energia de 500 eV, valor esse que vai ao encontro da resolução da FZP projetada para o microscópio da SIBIPIRUNA. O feixe monocromático após a fenda de saída é um feixe divergente, ou seja, seu tamanho aumenta ao longo da distância de propagação.

Como teremos duas estações experimentais, a estação Sirius e a estação Orion, o feixe terá dimensões também distintas na entrada do microscópio em cada estação. Para contornar essa diferença, um espelho colimador com deflexão horizontal será colocado após a fenda de saída. Esse espelho, com uma figura toroidal e os raios de curvatura em cada direção otimizados para colimar o feixe nos planos horizontal e vertical, garante que as dimensões do feixe sejam as mesmas na entrada de ambos os microscópios. A posição desse espelho colimador é projetada para uma otimização entre o tamanho do feixe na entrada do espelho e o diâmetro de entrada da CCL. Detalhes sobre a disposição dos elementos ópticos da linha SIBIPIRUNA podem ser encontrados na figura acima.

A definição dos casos de uso da estação experimental surgiu a partir de uma revisão das linhas de luz existentes que possuem a mesma técnica que a SIBIPIRUNA. Pôde-se observar que diferentes tipos de porta-amostras são utilizados nessas linhas de luz. Dentre eles, os porta-amostras de grid são os mais disseminados em pesquisas realizadas com a mesma finalidade da SIBIPIRUNA. Portanto, existem protocolos com maior nível de validação para a sua utilização. Em função da SIBIPIRUNA estar em um ambiente de acesso restrito, seu design vem sendo elaborado de forma a aumentar a flexibilidade da sua operação, derivando, assim, na decisão de preparar a linha para suportar experimentos a partir de uma maior variedade de porta-amostras, sendo eles as grids, membranas e capilares. A Figura 60 exemplifica o fluxo de preparo de amostras da SIBIPIRUNA para o cenário de grids. Para os preparos que utilizam as membranas e capilares, são esperadas etapas similares às apresentadas abaixo.

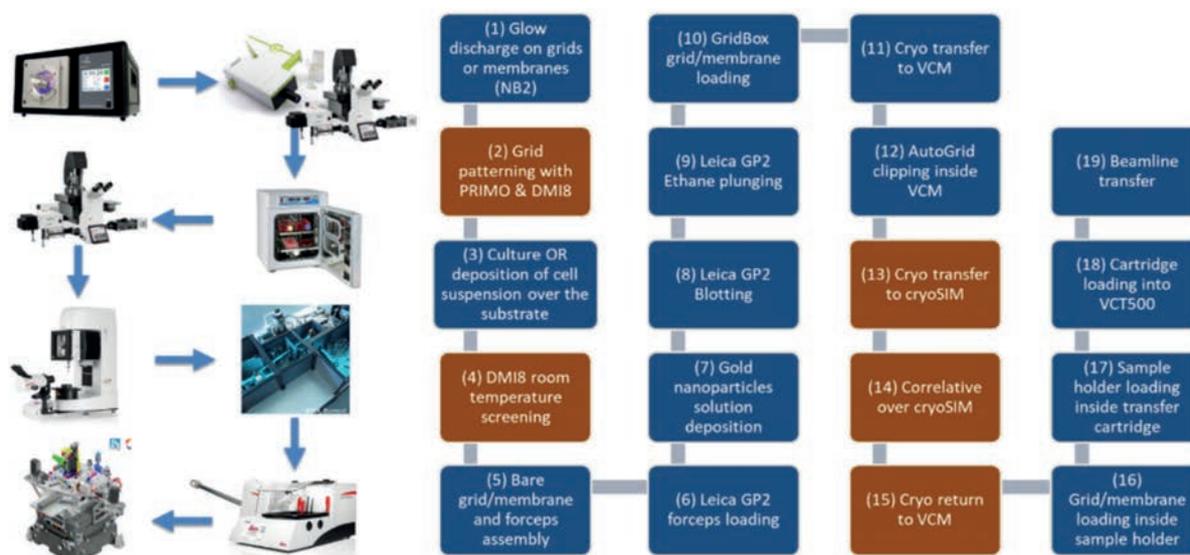


Figura 60 - Fluxo de preparo de amostras com grid para a SIBIPIRUNA

A partir da implantação de técnicas de microscopia correlativa, é possível obter dados de características diferentes de um mesmo ponto da amostra. Esse tipo de abordagem tem demonstrado bastante sucesso desde a sua aplicação. A SIBIPIRUNA será uma linha de luz dedicada à tomografia de células e deverá contar com um sistema de imageamento correlativo. A técnica correlativa na qual se optou foi a microscopia fluorescente de super-resolução. A técnica foi escolhida por não induzir a nenhum tipo de degradação da amostra. Dessa forma, foram definidos como casos de uso para a linha de luz SIBIPIRUNA a geração de imagens 3D a partir da tomografia de raios X, imagens 3D a partir da microscopia fluorescente de super-resolução e a geração de uma imagem correlativa entre essas duas técnicas, fornecendo, assim, uma imagem 3D da amostra com a sobreposição da imagem de raios X e fluorescência.

Na figura abaixo, é apresentado um design preliminar da linha de luz, em que o item 1 da figura da esquerda indica a estação experimental que irá atender as amostras oriundas do ORION. O item 3 da imagem representa uma 'bio-bolha' que tem como função ser uma barreira redundante ao ambiente da estação experimental. O item 4 mostra o tubo de transferência de amostras, que irá permitir que as amostras sejam transferidas do laboratório BSL4 para o interior da estação experimental. O item 5 apresenta os tubos de transporte que irão levar os gases esterilizante ao interior da estação experimental, com o intuito de descontaminar o ambiente. O item 6 da figura à esquerda é a estação experimental que está detalhada na imagem à direita com as várias áreas conforme descritas na legenda da figura abaixo. O item 7 é o detector.

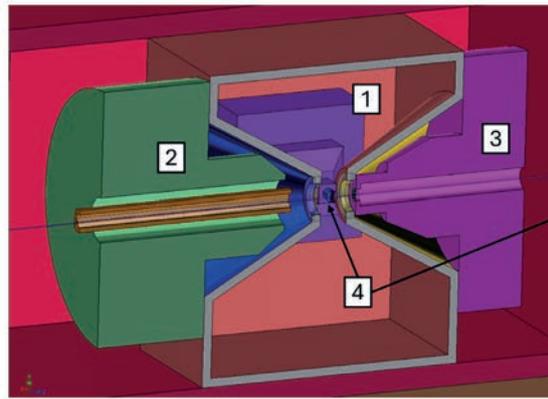
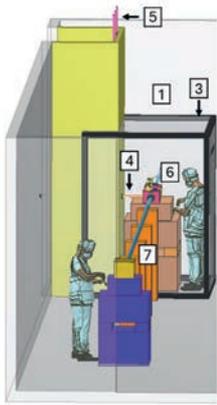


Figura 61 - (Esquerda) Vista da estação experimental da SIBIPIRUNA. 1 – Estação Experimental destinada a experimentos com amostras NB4, 3 – ‘bio-bolha’ de proteção de isolamento da estação experimental BSL4, 4 – tubo para transferência de amostras, 5 – tubos de alimentação do sistema de esterilização, 6 – Estação Experimental, 7 – Detector. (Direita) Design conceitual da Estação Experimental de Amostras. 1 - Módulo de Posicionamento da Amostra, 2 - Subsistema Óptico para focalização, 3 - Subsistema Óptico para demagnificação, 4 - Módulo do Suporte de Amostras

Linha de Luz TIMBÓ

A linha de luz TIMBÓ será destinada a realizar o imageamento tridimensional da organização e arquitetura de tecidos, organoides e conjuntos de culturas celulares. Adicionalmente, espera-se que a TIMBÓ seja capaz de identificar alterações provocadas por doenças nesses sistemas por meio da visualização e contagem automática de células afetadas. A linha trabalhará com campo de visão variável podendo receber amostras de 100 μm até 4 mm. Destaca-se que a TIMBÓ, em termos de resolução, está situada entre as SIBIPIRUNA e HIBISCO, sendo crucial para a integração e correlação dos dados obtidos em ambas as linhas, proporcionando ao Orion uma visão que vai desde o comportamento celular até o comportamento do organismo como um todo. A TIMBÓ irá se beneficiar da coerência do feixe oriundo do Sirius, sendo projetada para utilizar as técnicas de holografia (com contraste de fase), pticografia e contraste de fase com luz de raios X na faixa de 5 a 20keV. As medidas de amostras biológicas saudáveis ou contaminadas serão realizadas em vácuo e

em condições criogênicas *ex vivo*.

A TIMBÓ está organizada como mostrado na figura abaixo, sendo a linha mais longa das três em construção para o projeto ORION. A fonte de luz da linha TIMBÓ será um ondulator (figura abaixo), localizado em uma seção de “baixo beta” do anel de armazenamento do Sirius. Esse trecho reto permite obter o máximo brilho e coerência da fonte de luz. As especificações finais do ondulator estão em andamento a fim de otimizar os parâmetros da fonte para melhor acoplar a radiação da fonte com a estação experimental. No entanto, dado o intervalo de energia de operação da linha (de 5 a 20 keV) e a ausência de requisitos no controle de polarização, já se pode antecipar que este dispositivo de inserção será um ondulator de luz linearmente polarizada (LPU) com período entre 15 e 20 mm. O número de períodos e, conseqüentemente, o comprimento do ondulator estão sendo otimizados para minimizar a divergência do feixe, que é um parâmetro importante para a estação experimental.



Figura 62 - Layout geral TIMBÓ e disposição dos prédios do Sirius e Orion. (1) Ondulador; (2) monocromador (DCM) dentro da cabana óptica; (3) piso de alta estabilidade do Sirius; (4) Hall experimental do Sirius; (5) estação experimental em nível de biossegurança 4; (6) prédio do Orion.

A cabana óptica, posicionada próxima ao túnel do anel de armazenamento, abriga o DCM (~30m), e a cabana experimental, posicionada dentro do prédio do ORION, abriga a estação experimental (~117m). Após a cabana experimental, o túnel de vácuo do detetor se estende até o final da linha, e abriga todo o conjunto de detecção de raio X. A cabana do DCM, a princípio, não apresenta novos desafios, e será construída assim como as cabanas já implementadas no hall do SIRIUS.

A cabana que abriga a estação experimental deverá possuir a função de barrar a radiação e ser também um fechamento biológico, possibilitando a descontaminação do sistema de posicionamento de amostra em caso de graves acidentes. Dado esse requisito, alguns fornecedores estão sendo estudados para a confecção desta cabana e serão detalhados em relatórios futuros. A linha de luz possuirá apenas uma estação experimental, que será utilizada para experimentos com amostras em todos os níveis de biossegurança. Para que isso seja possível, protocolos de descontaminação serão criados para garantir a segurança da linha quando esta for operada com níveis de segurança mais baixos que os previamente utilizados. O túnel de vácuo do detetor será projetado de modo que tenha espessura suficiente para barrar a radiação do feixe, e assim, não será necessário a construção de uma cabana adicional para barrar a radiação, além da cabana já mencionada em volta da estação experimental. A distância entre a amostra e o detetor está sendo considerada de aproximadamente 30m a fim de garantir a propagação necessária para as técnicas de holografia e ptiografia.

Um dos diferenciais da TIMBÓ é que, na estação experimental, haverá duas opções de iluminação da amostra: a) com feixe cônico (com divergência de aproximadamente 3 mrad) e b) com feixe “paralelo” (com a divergência natural do ondulado, de aproximadamente 30 μ rad). Isso será possível com uma translação horizontal (eixo X) da óptica de focalização, que permitirá o feixe ser transmitido de forma inalterada, ou focalizado.

No caso específico da holografia, a amostra é posicionada após o foco, de forma que os raios são divergentes, causando assim uma ampliação da imagem na posição do detector. A distância entre o foco e a amostra irá variar de 1 mm a 1 m, e o campo de visão da imagem é definido por essa distância e a divergência do feixe. No entanto, o fato de a amostra ser posicionada fora do foco impõe requisitos extremamente apertados para os componentes ópticos. Ao contrário da posição focal, onde os raios convergem e definem um pico de intensidade, fora de foco a iluminação revela quaisquer imperfeições dos componentes ópticos. Consequentemente, a iluminação na amostra pode ser altamente

não-homogênea, deteriorando a qualidade da imagem, ou até mesmo impedindo a reconstrução da imagem. Por esse motivo, uma atenção especial está sendo dada na escolha do conjunto óptico de focalização, para que a solução escolhida forneça uma iluminação homogênea e sem artefatos na posição da amostra. Para essa técnica de imagem por raios X, a focalização do feixe do ondulado é crucial, geralmente alcançada por meio de uma óptica de focalização como sistemas de espelhos Kirkpatrick-Baez (KB), Fresnel Zone Plates (FZP), espelhos capilares (condensador), entre outros. Todas essas opções garantem um grande fator de de-magnificação da fonte e elevada densidade de fluxo. Entretanto, para o caso das FZP, existem efeitos de aberração cromática e baixa aceitância do feixe de entrada, ocasionando perda de fluxo na amostra. Para os espelhos KB, os requisitos de estabilidade são um desafio de engenharia, uma vez que o conjunto de óptica de focalização seria móvel na estação experimental. Consequentemente, a opção de um espelho capilar é mais apropriada para o caso científico da TIMBÓ e os desafios de engenharia associados.

Porém, os espelhos capilares apresentam um tamanho de foco maior que as outras opções apresentadas. Além disso, imperfeições na superfície desses espelhos, inerentes à sua fabricação, podem levar a imperfeições de alta frequência nas imagens de campo distante, violando a condição de “feixe vazio” e sem artefatos para reconstrução da imagem. Uma solução é a combinação da óptica de focalização com uma guia de ondas. A guia de ondas apresenta um alta aceitância angular, alinhando-se com a abertura angular da óptica de focalização. Isso se relaciona à criação de um foco menor, normalmente na escala de centenas até dezenas de nanômetros. As guias de ondas de raios X atuam como um filtro espacial e de coerência, permitindo apenas um número restrito de modos de propagação, criando assim um efeito de “limpeza” na frente de onda. Experimentos recentes destacam uma redução significativa no tamanho do feixe de até 15 nm, otimizando a abertura numérica, resolução e coerência espacial ao incorporar a guia de ondas de raios X no foco da óptica de focalização. Embora a tecnologia de guiamento de ondas seja bastante extensa no contexto da radiação infravermelha e da luz visível, guias de onda de raios X são desenvolvimentos relativamente recentes. Simulações do comportamento do feixe na saída do canal revelam características bastante favoráveis, como, por exemplo, a distribuição homogênea de fase e amplitude, e elevado fluxo transmitido compatíveis com o que está sendo esperado para a linha TIMBÓ.

LAB – Laboratório de Amostras Biológicas

A etapa de comissionamento técnico do Laboratório de Amostras Biológicas (LAB) foi marcada por importantes avanços no desenvolvimento de protocolos para ensaios de hemólise, utilizando bolsas de concentrado de hemácias, além de ensaios celulares. Dentre os diversos protocolos estabelecidos no LAB, destaca-se um estudo com os resultados promissores obtidos nas linhas de luz do Sirius.

No estudo, as células de câncer de mama da linhagem MCF-7 foram cultivadas no LAB e submetidas a tratamentos com agrotóxicos. Posteriormente, essas células foram centrifugadas

e minuciosamente caracterizadas na linha de luz IMBUIA do Sirius, proporcionando insights importantes sobre os efeitos dos agrotóxicos em nível celular (figura abaixo - esquerda). Por sua vez, na pesquisa coordenada por Renata Rabelo, as células de fibroblastos NIH/3T3 foram cultivadas no LAB e, posteriormente, caracterizadas na linha de luz CATERETÊ do Sirius (Figura abaixo- direita).

Essas iniciativas sublinham a sólida capacidade técnica do LAB no estabelecimento de protocolos avançados que são essenciais para as caracterizações detalhadas de amostras biológicas conduzidas no Sirius.

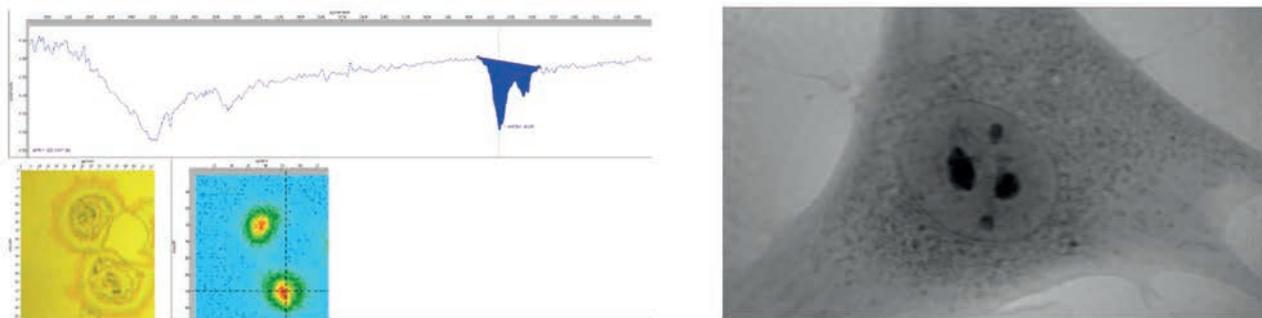


Figura 63 -(Esquerda) Resultado obtido na linha de luz IMBUIA com linhagem de células de câncer de mama MCF-7, cultivadas no LAB. (Direita) Resultado obtido na linha de luz CATERETÊ com linhagem de células de fibroblastos NIH/3T3, cultivados no LAB.

Protótipos

Ótica de Lentes e Guias de Onda

Na fase de projeto preliminar do projeto de protótipos de Ótica de Lentes e Guias de Onda, foram desenvolvidas várias atividades críticas para garantir a viabilidade técnica e operacional das soluções propostas para as três linhas de luz associadas ao Projeto Orion, a saber: SIBIPIRUNA, TIMBÔ e HIBISCO. Primeiramente, foram conduzidos estudos detalhados para entender os problemas, requisitos e desempenhos necessários de uma série de conceitos

ópticos. Cada cenário foi avaliado quanto ao padrão de iluminação, demandas de coerência, resolução da imagem e tempo de aquisição, além de serem analisadas as capacidades técnicas e construtivas das soluções. Um tema comum e inédito foi a necessidade de compatibilidade do design óptico e das tecnologias comumente empregadas em linhas de luz com requisitos de biocontenção e biodescontaminação.

Estação de crio-nanotomografia por contraste de absorção de raios X moles

Na linha SIBIPIRUNA, está sendo desenvolvida uma estação de imagem de células por raios X moles (0.3 a 0.75 keV), incorporando espelhos e um monocromador do tipo PGM (*Plane Grating Monochromator*), similares aos utilizados em outras linhas do Sirius, como a IPÊ e a SABIÁ. Assim, a óptica primária da linha SIBIPIRUNA não apresenta maiores incertezas, exceto pelo refinamento necessário derivado das definições arquitetônicas do prédio Orion. Entretanto, a estação experimental, esquematizada na Figura 64 e baseada em um microscópio de raios X composto por um condensador do tipo capilar e por uma lente objetiva refrativa de Fresnel (FZP, do inglês *Fresnel Zone Plate*), enfrenta desafios técnicos decorrentes das demandas de biocontenção. Em primeiro

lugar, a proposta de separação física entre o ambiente da amostra e o ambiente dos elementos ópticos por janelas exige distâncias de trabalho para o capilar e a FZP que estão no limite das tecnologias de fabricação desses componentes. Em segundo lugar, no caso de vazamento dessas janelas, ou em ocasião de manutenções técnicas, tanto o capilar quanto a FZP precisarão passar por procedimentos de descontaminação biológica, o que é feito tipicamente por agentes bastante agressivos, como o peróxido de hidrogênio ou dióxido de cloro. Logo, tanto esses elementos ópticos em si quanto seus estágios de posicionamento precisam ser validados experimentalmente por meio de prototipagem e testes para que a solução definitiva possa ser encaminhada.

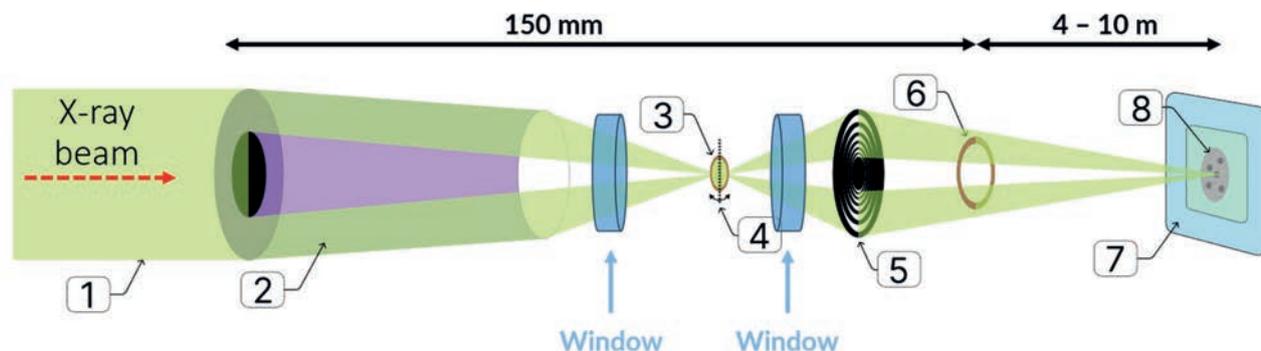


Figura 64 - Desenho esquemático do microscópio de raios-X moles da linha de luz SIBIPURUNA: (1) feixe de raios-X; (2) condensador capilar; (3) amostra; (4) eixo de tomografia; (5) Fresnel Zone Plate; (6) anel de fase de Zernike (opcional); (7) detector de área (do tipo CMOS); (8) imagem da amostra no detector; e janelas de separação de ambiente da amostra.

Estação de crio-nanotomografia por contraste de raios X coerentes

A linha TIMBÓ será dedicada ao imageamento 3D de conjuntos de células, como tecidos e organoides, utilizando técnicas de raios X coerentes (5 a 20 keV), como contraste de fase, holotomografia e pticografia. Conforme

indicado na Figura 65, a óptica para a linha de luz TIMBÓ será composta essencialmente por um Monocromador de Duplo Cristal (DCM), um capilar de focalização e um guia de onda (*waveguide*).

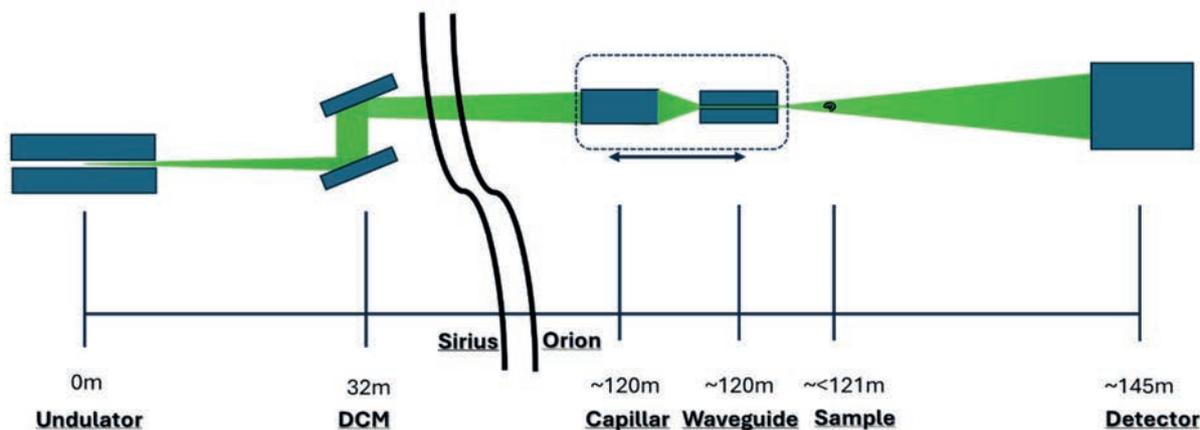


Figura 65 - Esquemático da óptica de raios-X da linha de luz TIMBÓ.

Enquanto o DCM é uma tecnologia já bem estabelecida no Sirius, o dispositivo de guia de onda será empregado pela primeira vez na linha TIMBÓ. Por conta de seus resultados promissores em linhas internacionais, este dispositivo visa a limpar e homogeneizar o feixe de raios X. Para garantir o desempenho ideal, os testes serão conduzidos na linha de luz CATERETÊ. Ainda, no caso do capilar, a demanda de tamanho de foco para a TIMBÓ é mais rigorosa do que para a linha SIBIPURUNA. Portanto, avaliações mais rigorosas de desempenho para capilares estão previstas na linha de luz EMA. Além disso, assim como no microscópio da linha SIBIPURUNA, tanto o capilar como o guia de onda poderão ser submetidos a ciclos de descontaminação biológica, de tal forma que os efeitos dos agentes desinfetantes sobre esses elementos ópticos também exijam validação experimental. Espera-se que os resultados obtidos guiem as decisões de projeto para essa linha.

Estação de microtomografia in-vivo por contraste de fase de raios X duros

A linha HIBISCO será utilizada para tomografia de animais *in vivo*, empregando a técnica de contraste de fase com energia entre 16 e 45 keV. O esquema óptico, ilustrado na Figura 66, é relativamente simples, sendo baseado em um Monocromador de Duplo Cristal (DCM) e em um sistema de espelhos do tipo KB. Ambas as tecnologias já foram bem desenvolvidas nas linhas de luz da primeira fase do Sirius. Ainda assim, similarmente à linha TIMBÓ, é essencial que o feixe que atinge o detector não apresente deformações críticas. Uma vez que espelhos KB são tipicamente utilizados para micro-nanofocalização, e que na HIBISCO será feito uso também do efeito de amplificação do feixe para

aumento do campo de visão, testes estão sendo planejados na linha CARNAÚBA para avaliações de frente de onda e de deformação do feixe ao utilizar espelhos KB nesse regime. Em função de demandas de biocontenção, estudos serão conduzidos para identificar possíveis soluções para janelas vácuo-ar que minimizem a interferência no feixe. De fato, devido à alta taxa de descontaminação necessária na linha HIBISCO, essas janelas e outros elementos ópticos serão submetidos a múltiplos ciclos de descontaminação. Esses testes assegurarão a operação segura dos componentes ao longo do ciclo de vida da estação experimental, destacando pontos críticos para o projeto das três linhas do Orion.

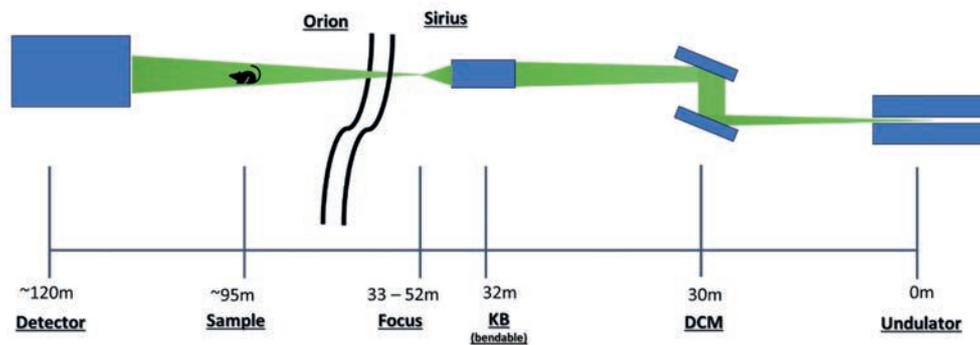


Figura 66 - Esquemático da óptica de raios-X da linha de luz HIBISCO.

Porta-amostras criogênico

Com base nas premissas e requisitos estabelecidos que envolvem nanoposicionamento, criogenia < 100 K, e adequação a biocontenção e biodescontaminação, foi desenvolvido o design conceitual para o estágio Manipulador da Amostra indicado na Figura 67, que atenderia à linha SIBIPURUNA e potencialmente também a linha TIMBÓ. Este projeto adota um conceito de Tripod de cinemática paralela para movimentação cartesiana XYZ,

equipado com metrologia e atuadores mecânicos de resolução nanométrica e alcance de alguns milímetros. Acima do Tripod, um estágio rotativo criogênico suporta o pino de amostras, permitindo rotações completas necessárias para a tomografia. Ao longo do próximo período, o projeto deve evoluir para avaliações dinâmicas e térmicas mais detalhadas, contemplando também testes de compatibilidade com agentes de desinfecção.

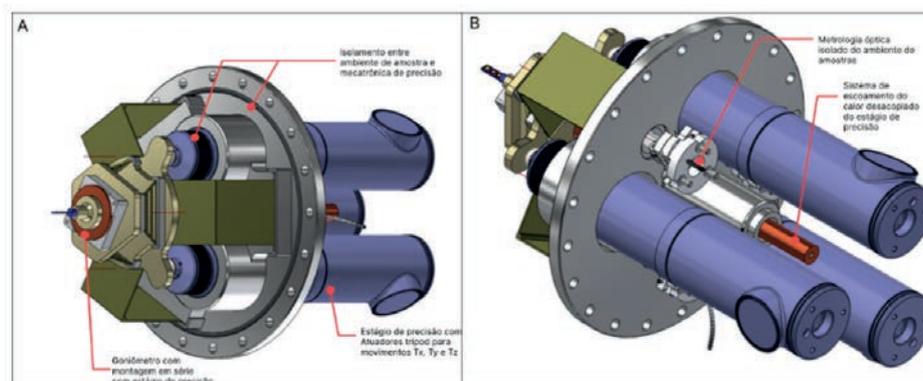


Figura 67 – PACRIO: Manipulador da amostra e Sistema de Gerenciamento Térmico. A) vista isométrica da parte interna (exposta às amostras e ciclos de descontaminação mais frequentes), e B) vista da parte externa (em ambiente de vácuo separado da amostra).

De uma perspectiva mais ampla, para garantir a compatibilidade das amostras com as necessidades científicas e com o PACRIO, todo o fluxo de trabalho deverá ser validado de acordo com o Sistema de Preparo de Amostras. Este sistema será baseado na estruturação de um laboratório de preparação de amostras criogênicas, permitindo a avaliação do fluxo de trabalho (ferramentas, destreza do operador, etc.) e das tecnologias de vitrificação de amostras, utilizando tanto equipamentos comerciais tradicionais quanto novas soluções inovadoras. Como parte desse fluxo, considerando o cenário de microscopia de células na comunidade síncrotron, foi definida a necessidade de uma capacidade complementar de geração de imagens 3D de fluorescência para a linha de luz SIBIPIRUNA. Portanto, relacionado ao design do PACRIO, está sendo desenvolvido um microscópio de fluorescência de super resolução, também criogênico, que não só auxiliará nas atividades de preparo de amostras, mas também fornecerá imagens correlativas às imagens de raios X. Diferentes cenários de desenvolvimento estão em avaliação, como ilustrado na Figura 68, e as primeiras aquisições devem ser iniciadas nos próximos meses. Parte das compras de itens comerciais já foram realizadas, com entregas a partir de maio de 2024.

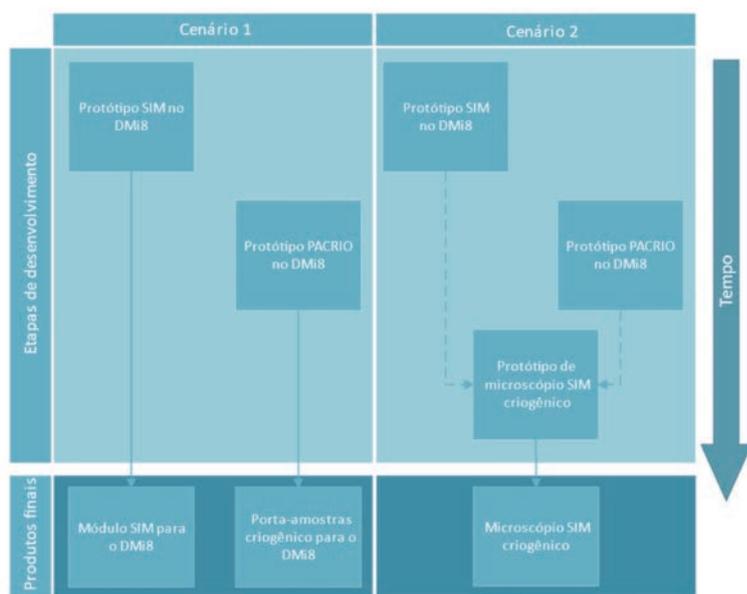


Figura 68 - Possíveis cenários de desenvolvimento para um crio-microscópio 3D de fluorescência de superresolução compatível com o PACRIO para a linha SIBIPIRUNA.

Porta-amostras para Tomografia *in vivo*

O conceito do protótipo do porta-amostra da linha de luz HIBISCO foi desenvolvido com base em requisitos de esterilização e capacidade de realizar tomografia helicoidal. Utilizando estágios de levitação magnética, que permitem rotações e translações em todas as direções, foi possível criar um esboço de estrutura adequada para sustentar amostras como saguis e camundongos, com dimensões plausíveis para a aplicação na linha de medição.

Apesar da proposta, ainda não há garantias de que a precisão do movimento da amostra atenda aos limites permitidos, devido a possíveis deformações dos componentes que podem causar erros de posicionamento. Esses erros podem ser mitigados com modificações na estrutura do porta-amostra, mantendo a solução de estágios magnéticos satisfatória para a aplicação.

O protótipo dos biossensores visa realizar tomografias de espécimes *in vivo*, minimizando artefatos de movimento causados por ciclos cardíacos e respiratórios. A revisão bibliográfica abordou métodos de compensação de movimentos cardiorrespiratórios e a importância do monitoramento dos sinais biológicos. Os requisitos essenciais incluem monitoramento contínuo, não invasividade, transmissão sem fio e rápido tempo de resposta do sistema.

Os estágios magnéticos são compostos por um conjunto de blocos contendo bobinas geradoras de campo magnético, denotadas como *tiles*, e bases imantadas que levitam sobre os *tiles*, denotadas como *shuttles* (Figura 69). O arranjo desacoplado entre as bobinas e as bases permite que o *shuttle*, o qual sustentará a amostra, seja completamente esterilizado, uma vez que não possui partes móveis acopladas em bases fixas que dificultam o acesso do gás fumegante.

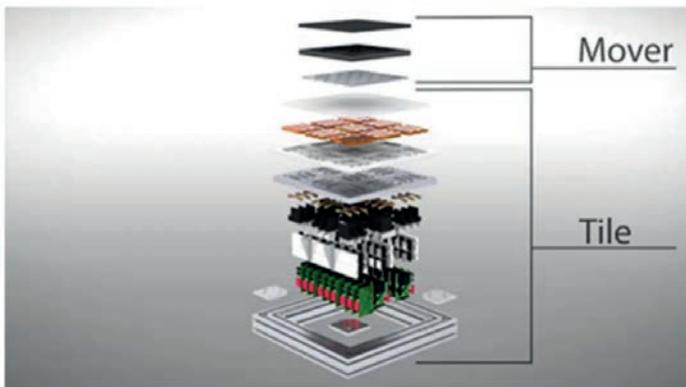


Figura 69: Vista explodida de um mover (shuttle) e um tile.

A partir da modelagem do sistema, considerando valores para os parâmetros de entrada obtidos em bibliografias, pode-se projetar uma estrutura preliminar do porta-amostra (Figura 71) e simular sua movimentação (Figura 70), permitindo averiguar se a trajetória percorrida pelo centro de massa da amostra garante uma tomografia satisfatória.

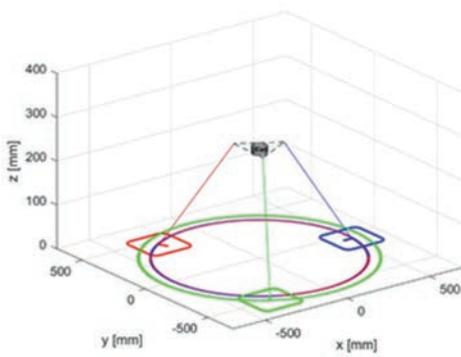


Figura 70: Simulação da trajetória percorrida pelos shuttles (em verde, azul e vermelho) e pelo centro de massa da amostra (em preto).



Figura 71: Estrutura preliminar do porta-amostra.

O desenvolvimento de um sistema para monitoramento de sinais biológicos baseia-se em uma arquitetura direcionada para o sensoriamento, condicionamento, transmissão e processamento dos sinais, como mostra o diagrama da Figura 72.

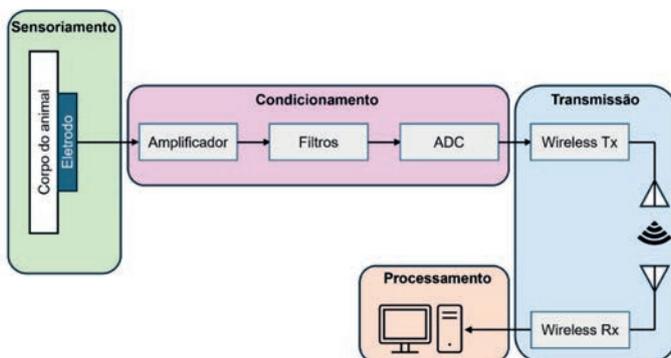


Figura 72: Diagrama conceitual da arquitetura necessária para monitoramento dos sinais biológicos via comunicação sem fio.

A tomografia em fases específicas do ciclo cardíaco impõe um requisito de latência e sincronia no sistema. Desse modo, o protocolo de comunicação e o processamento dos dados devem atender ao pior cenário possível para o tempo de reação. De forma conceitual, as abordagens pensadas para a realização de projeção em fases específica do ciclo cardíaco de um camundongo anestesiado estão demonstradas na Figura 73.

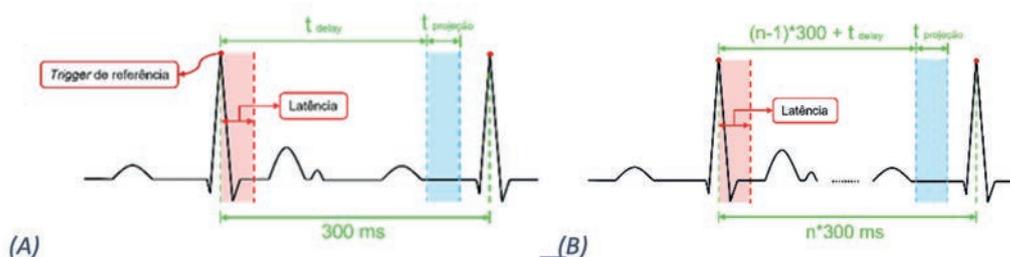


Figura 73: Esquemático sobre o processamento dos sinais ECG para realizar projeções em fases específicas do ciclo cardíaco de um camundongo anestesiado. a) uma projeção a cada batimento. b) uma projeção a cada conjunto de n batimentos.

Detector de Pixel Híbrido

O TUPI (*Timepix-based Ultra-fast Photon Imaging*) é uma família de detectores projetada para alcançar altas resoluções temporais, utilizando ASICs Timepix4, tendo como aplicação principal a linha de luz TIMBÓ. O transporte de dados é realizado via fibras ópticas até uma placa DAQ com FPGAs, que processa e ajusta os frames recebidos. Diversos materiais foram considerados para os sensores, destacando-se o silício e GaAs, com alta eficiência de absorção para diferentes energias de fótons.

Para absorver eficientemente fótons em torno de 20 keV, sensores de silício precisam ter espessuras próximas a 1,5 mm, enquanto sensores de

GaAs necessitam apenas de 0,5 mm. Para energias mais baixas, sensores de GaAs e CdTe com espessuras de 1 e 2 mm são viáveis, com mais de 90% de eficiência de absorção.

Foram realizadas o projeto conceitual de uma placa de circuito impresso de “Carrier Board” e de uma “Placa Adaptadora” para três chips Timepix4, formando um módulo base. Estes módulos se acoplam a uma “Control Board” unificada, com capacidade de expansão. A comunicação com a placa DAQ Board FPGA é feita via fibra óptica, e a refrigeração é gerida por sistemas de aquecimento controlado ou bombas de calor *Peltier*.

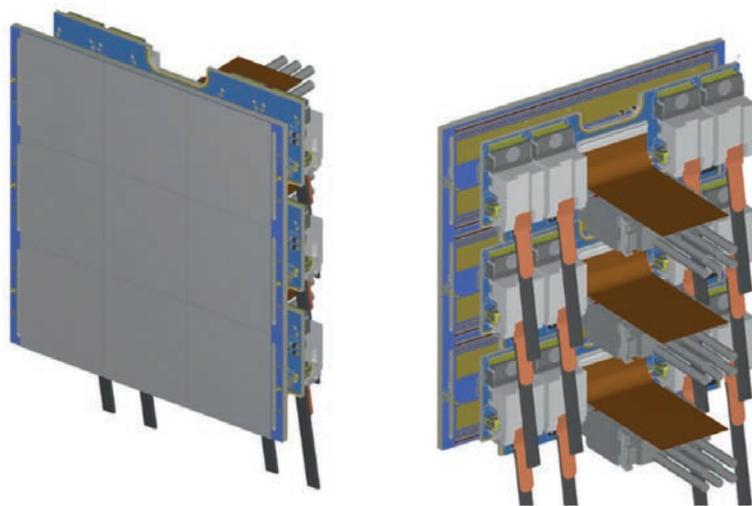


Figura 74: 3 módulos Base do TUPI com uma das opções conceituadas para a montagem da geometria 3x3 chips com 2,06 Mega pixels (constituído por três módulos bases dos quais cada um possui uma linha de três chips Timepix4).

A geometria do detector é composta por uma matriz de 3x3 chips Timepix4, montados em sistemas de suporte e refrigeração, além das placas “Carrier Board” e “Adapter Board”. O controle de temperatura pode ser realizado por aquecedores resistivos para manter a temperatura estável, ou por meio de bombas de calor *Peltier*. Um componente denominado “Spreader”, anexado à PCB dos chips Timepix4, é utilizado para homogeneizar a temperatura no plano transversal de extração de calor. A refrigeração é efetuada através de água refrigerada. O painel traseiro do detector inclui diversas conexões para comunicação e alimentação, destacando-se 12 conectores MPO/MPT para transmissão de dados ao sistema de aquisição DAQ, uma porta USB tipo C, uma porta Ethernet para controle, LEDs indicadores, conectores de alimentação, *Triggers* e refrigeração.

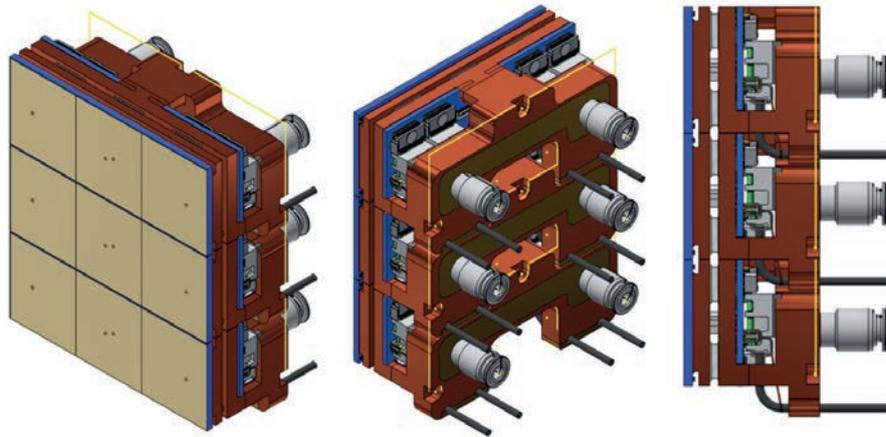


Figura 75: Construção mecânica de 3 módulos Base do TUPI

A aquisição de dados é feita por links de alta velocidade, com até 16 links por chip Timepix4 operando a 10,24 Gbps. Placas DAQs utilizam FPGAs para receber, decodificar e ordenar os dados dos chips, garantindo alta velocidade de transmissão e armazenamento.

O software do TUPI possui três funções principais: aquisição de dados, controle do equipamento e orquestração de procedimentos de alto nível. O software de *readout* armazena dados adquiridos, enquanto o software de controle interage com o hardware para definir parâmetros de escoamento e processamento. A orquestração de experimentos permite a realização de tarefas complexas, como testes e calibrações, utilizando diferentes camadas de software.

Foram realizados estudos bibliográficos e adaptações nos procedimentos de testes, calibrações e caracterizações para o Timepix4. A calibração de *Time over Threshold* (ToT) e *TimeWalk* é essencial no modo *Data Driven*. Sensores High-Z requerem caracterização de *Escape Peaks* para correção durante scans de energia. A ausência do modo *Charge Summing Mode* (CSM) no Timepix4 demanda novas metodologias para medição de multiplicidade e cálculo da *Detector Quantum Efficiency* (DQE).

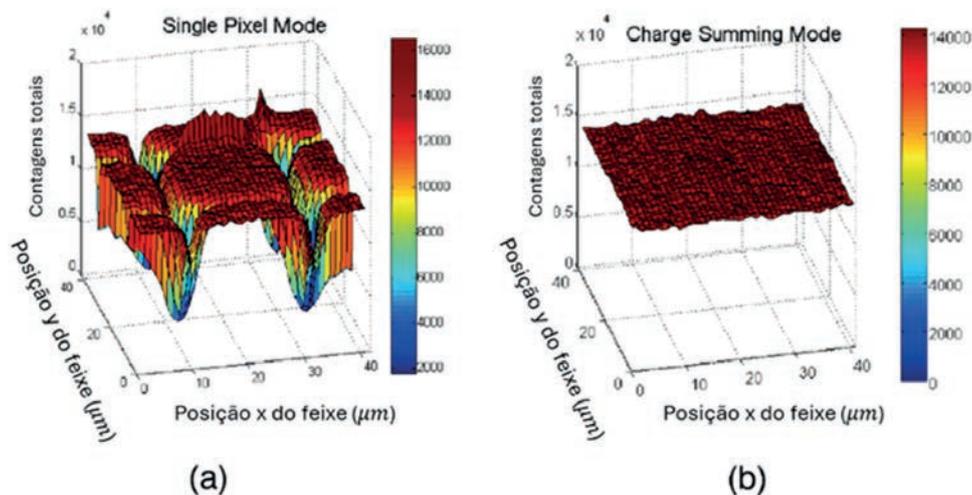


Figura 76: sensibilidade derivada do método usando CSM de uma região um pouco menor que um pixel no Medipix3 que possui mesmo tamanho de pixel do Timepix4 e, contrariamente, conta com o modo CSM.

ASIC para Detector

O projeto de um ASIC para detector na linha de luz HIBISCO tem como requisitos principais a capacidade de detectar com alta eficiência fótons monocromáticos de 50keV, a taxa de 3.5×10^9 fótons/s/mm² com resolução espacial até 10 μ m.

Para aplicações de detecção direta de raios X em detectores de área, as cargas geradas no sensor pela interação de um fóton induzem uma nuvem de cargas aos eletrodos do ASIC (pixels) com uma determinada

distribuição no espaço de natureza gaussiana. O presente projeto pretende utilizar as cargas induzidas em um agrupamento de pixels para inferir a posição de impacto do fóton com resolução menor que o próprio pixel, uma vez que, por limitações fundamentais de produção, não é possível construir pixels em detectores híbridos abaixo de 20 μ m. O resultado simulado de tal princípio foi validado no início da fase conceitual e é resumido na Figura 77:

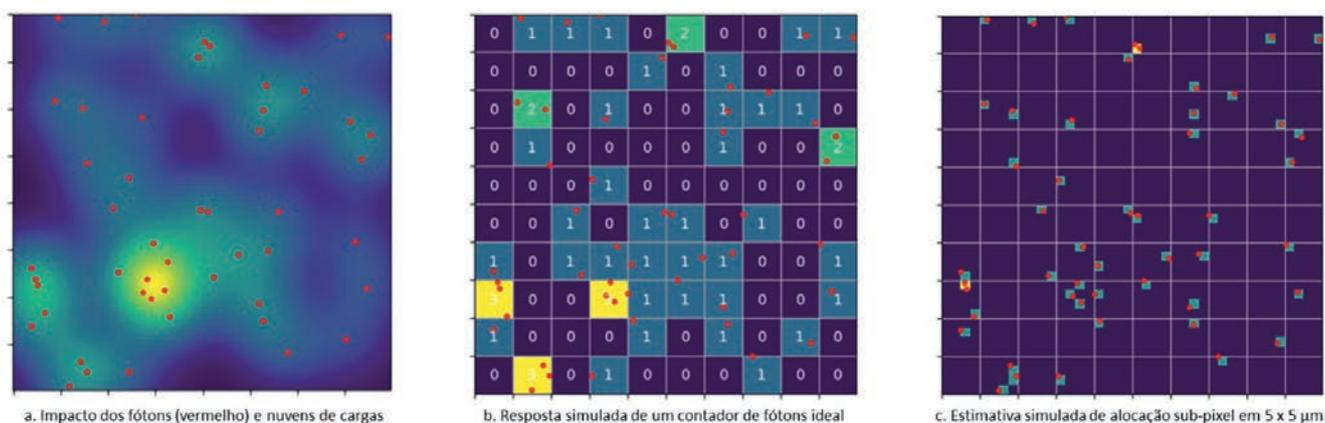


Figura 77. Simulação de 50 fótons atingindo um sensor (CdTe de 2mm) de área 200 x 200 um

Na sequência, o estudo realizou a análise de circuitos eletrônicos capazes de implementar a estratégia sub-pixel com potencial de integração no ASIC de detecção, ou seja, topologias capazes de realizar a proposta cuja estimativa de ocupação de área de implementação no wafer de silício fosse compatível com o tamanho do pixel. Foram levantadas possibilidades de fornecedores de sensores e parceiros comerciais candidatos a realizar a hibridização, definida como o processo de junção entre o ASIC e o sensor.

Dados os requisitos de energias da ordem de 50 keV, os materiais sensores que tenham alta absorção foram limitados a 2 candidatos comerciais: CdTe (ou CZT) ou GaAs. Por questões comerciais, foi optado por GaAs de 1mm, com duas possibilidades de hibridização:

- A base de pilares de cobre ou índio.
- A base de ACAs (*Anisotropic Conductive Adhesives*)

Esse projeto conceitual vem sendo desenvolvido em parceria com a empresa brasileira HwIT, com especialidade em microeletrônica. O fim do projeto conceitual consiste na elaboração de um cronograma físico financeiro de projeto, que contemple o design e a prototipagem de um ASIC para detecção, em conjunto com um mapa de riscos a serem avaliados, uma vez que o custo de design e fabricação de projetos microeletrônicos é consideravelmente elevado.

Desenvolvimento de criomicroscopia para sistemas biológicos

Como parte do projeto Orion, a equipe do LNNano tem trabalhado no planejamento das futuras instalações da criomicroscopia eletrônica e no comissionamento de técnicas que serão utilizadas. A discussão de ocupação de uma área no prédio vermelho avançou a partir de visitas e reuniões técnico-administrativas que resultaram na entrega do programa de necessidades e elaboração de plantas preliminares para o preparo de amostras de células e tecidos. A estrutura preliminar desta área contará com sala de preparo de amostras, sala para FIB-SEM, sala de crioultramicrotomia e sala para microscópio eletrônico de transmissão 100-200kV. Visando reforçar o estabelecimento das técnicas de tomografia e criotomografia, em particular em sistemas celulares e tecidos biológicos, foi recentemente contratado um analista de desenvolvimento tecnológico e um especialista

em criomicroscopia, para apoiar a preparação de amostras e operação dos criomicroscópios. Foi finalizada a aquisição dos equipamentos de crioultramicrotomia e sistema para vitrificação de amostras para amostras celulares, com expectativa de entrega até agosto de 2024. Além disso, esforços têm sido realizados na implementação de uma área para cultivo celular, que contará com microscópio ótico invertido, estufas, centrífuga, equipamento de micro-ondas para otimização do preparo de amostras. Este espaço será utilizado, inicialmente, para o cultivo de células de um parasita que não oferece risco biológico e apresenta diversos genes homólogos a parasitas de importância clínica. O estabelecimento dessa linhagem modelo será fundamental para a implementação de técnicas de criotomografia em volume de células no laboratório de crio microscopia do LNNano.

Caracterização de proteínas de agentes infecciosos

Um dos subprogramas do projeto Orion visa o estudo da Biologia Molecular do Sabiá Arenavírus (SABV ou *Brazilian mammarenavirus*), apoiando a investigação de doenças virais causadas por agentes infecciosos risco 4. Como o alvo deste projeto é expressar e purificar subunidades desta proteína, a execução pode ser feita em ambiente laboratorial com nível de biossegurança 2, não oferecendo risco ao manipulador.

Foi estabelecida como meta a purificação da proteína Z, conhecida também como proteína de matriz, do SABV, devido ao seu papel crucial na montagem e liberação de novas partículas virais, tornando-a um alvo de interesse para estudos estruturais e funcionais. O projeto alcançou as seguintes submetas:

- Clonagem: Foram desenhadas duas construções da Proteína Z, sendo uma versão completa de 100 resíduos de aminoácidos (Z full) de 321 pares de base (pb), cobrindo os aminoácidos de 1 a 100, e uma versão reduzida (Z short) com 171 pb, cobrindo os aminoácidos de 37 a 87. Essas construções foram clonadas em bactérias e triadas para encontrar as melhores condições de expressão, incluindo temperaturas de 18°C, 30°C e 37°C.
- Expressão: A Proteína Z full demonstrou ser solúvel e expressa em maior quantidade.
- Purificação: A Proteína Z full foi purificada em alta escala utilizando uma coluna TALON, clivagem com trombina seguida de gel filtração e concentração, alcançando uma concentração de 10 mg/ml.
- Caracterização: A proteína Z purificada foi caracterizada por espalhamento dinâmico de luz (DLS), confirmando sua monodispersividade e estado oligomérico de monômero.

Os resultados obtidos confirmam que a meta de purificação da proteína Z do SABV foi atingida com sucesso, e que a expressão em *E. coli* resultou em uma quantidade suficiente de proteína solúvel. A purificação foi eficiente, produzindo uma Proteína Z de alta pureza, adequada para estudos estruturais e funcionais posteriores. Estes avanços contribuirão significativamente para investigações futuras, auxiliando na criação de intervenções eficazes contra o SABV.

Plataforma de Biotecnologia Industrial

A Plataforma de Biotecnologia Industrial (PBI) ampliará a infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento (P&D) laboratorial expandindo o escopo, indo além da produção de etanol. Por meio de processo de evolução adaptativa e desenho racional, serão desenvolvidos microrganismos para diversas aplicações, seja na indústria de transformação, seja na indústria extrativa. A plataforma permitirá uma abordagem multidisciplinar para o estudo de enzimas técnicas que podem ou não serem produzidas por microrganismos desenvolvidos no CNPEM. Para ambas as atividades, a biologia sintética é central, bem como a caracterização precisa e monitoramento de sistemas biológicos em níveis atômicos e moleculares. As atividades de pesquisa e desenvolvimento devem ocorrer em vários tipos de microrganismos, como fungos filamentosos, leveduras e bactérias e no menor tempo possível, pois ciclos de desenvolvimento de biotecnologias envolvem de alguns anos até uma década. Portanto, há uma demanda clara de paralelização e de instrumentação de alto desempenho (*high-throughput*), sendo foco desta atual estrutura científica. A PBI também atende outro importante requisito para atingir relevância industrial, que é a capacidade de testar os sistemas biológicos em biorreatores com monitoramento e controle dos processos sempre que possível em tempo real.

A Plataforma de Biotecnologia Industrial (PBI) visa implementar uma infraestrutura de pesquisa de ponta para descoberta, desenho e engenharia de enzimas e microrganismos com relevância industrial, com foco na validação tecnológica (TRL 3 a 5). Importante ressaltar que a PBI se concentrará em eliminar gargalos tecnológicos e comprovar a viabilidade técnica das biotecnologias desenvolvidas, sem necessariamente demonstrar a viabilidade da cadeia completa de produção. A plataforma possui dois elementos centrais de implantação: uma infraestrutura de alto desempenho (*high-throughput*) para o desenvolvimento acelerado de enzimas e microrganismos e uma infraestrutura de escalonamento para o teste e otimização das biotecnologias em escala piloto.

Neste semestre, destaca-se o comissionamento de dois equipamentos: o Chi.Bio e o eVOLVER. O Chi.Bio (Figura 78) é um sistema disponível comercialmente para monitoramento, controle automático e manipulação de sistemas biológicos com alto paralelismo e em pequena escala. O Chi.Bio passa por uma nova etapa de ajustes após a identificação de falhas nos controladores que limitavam seu funcionamento ideal. Os controladores foram prontamente substituídos pela empresa responsável. Os testes de performance do equipamento estão sendo conduzidos em modo turbidostato, a fim de mimetizar os experimentos de adaptação laboratorial evolutiva que serão realizados durante o desenvolvimento das plataformas microbianas no LNBR. Como parte do comissionamento do equipamento, microrganismos modelos, como a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a bactéria *Escherichia coli* estão sendo cultivadas continuamente.

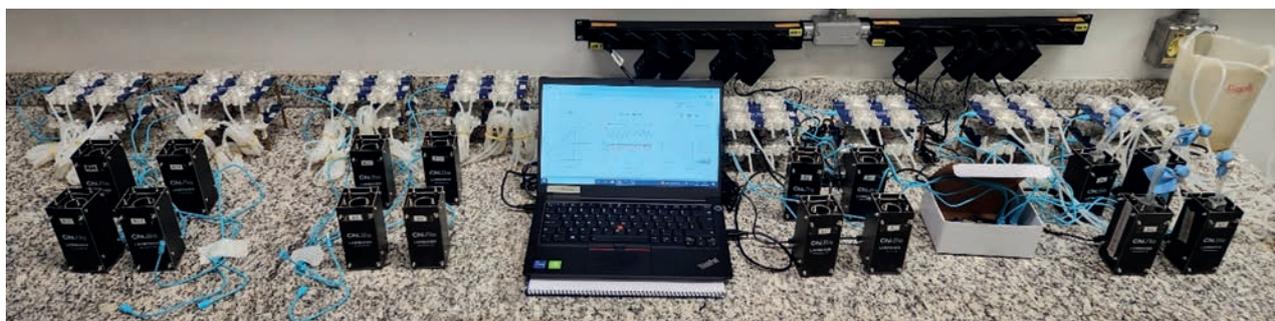


Figura 78. Equipamento Chi.Bio montado em sua totalidade no LNBR/CNPEM. 2 controladores, 16 micro-reatores e 16 conjuntos de bombas peristálticas.

O equipamento de desenvolvimento interno eVOLVER (Figura 79), atualmente em fase de comissionamento, tem demonstrado resultados promissores em suas etapas de implementação e testes. O projeto eVOLVER é um protótipo modular que permite a evolução adaptativa de microrganismos de forma automatizada com alto *throughput* e controle de parâmetros relevantes para o crescimento celular, como turbidez da cultura, vazão de substrato, temperatura e agitação. Na primeira etapa do comissionamento, realizada em 2023, teve como prioridade os testes de cultivos de microrganismos validando a operação básica do eVOLVER, incluindo a precisão dos parâmetros de cultivo e a consistência dos resultados obtidos. Neste semestre, o esforço se concentrou no desenvolvimento interno do software necessário para a utilização e monitoramento do equipamento. Esta fase é crucial, pois abrange a criação de interfaces de usuário intuitivas e a implementação de algoritmos de controle e monitoramento que garantirão a operação eficiente e segura do equipamento. Além disso, está em andamento o refinamento da programação do software para otimizar o desempenho e a resposta do sistema às variáveis de operação.



Figura 79. Protótipo de sistema automatizado, customizável e modular para evolução adaptativa em condições de crescimento controladas e com a manutenção de culturas em fase exponencial.

Projeto Sirius

O Projeto Sirius representa um dos maiores esforços de construção de infraestrutura nacional de pesquisa em larga escala. Os avanços do Projeto são evidenciados pelas atividades de instrumentação científica e desenvolvimento tecnológico, além de projeto, montagem e comissionamento de novas linhas de luz. A seguir, são descritos os principais desenvolvimentos realizados no primeiro semestre deste ano.

Ondulador PAPU

O projeto do protótipo de ondulador PAPU21 tem início na constante evolução do CNPEM no desenvolvimento de câmaras de vácuo. Nos últimos anos, houve uma redução significativa da seção transversal das câmaras de vácuo produzidas, fato que possibilita o desenvolvimento de novos dispositivos de inserção com *gap* menores para instalação no Sirius.

Nesse sentido, o design magnético do PAPU21 se baseou no desenvolvimento de câmara de vácuo com 4,6 mm de altura, permitindo *gaps* < 6 mm. O design do ondulador teve como

referência inicial o espectro dos onduladores em vácuo adquiridos para o Sirius, IVU18. Os estudos realizados mostraram que aproximadamente 117 períodos de 21 mm para o PAPU21 com *gap* de 5,8 mm seriam suficientes para obter um espectro de raios X similar ao dos IVU18 enquanto são respeitados os limites de *beam-stay-clear* de um trecho baixo- β do Sirius, totalizando um comprimento de quase 2,4 metros de ondulador. Inicialmente, foi decidido realizar a produção de um primeiro módulo, com 58 períodos, mantendo todos os outros parâmetros necessários.

Design Magnético e Simulações de Forças

Durante o semestre, foi concluído o projeto magnético do ondulador incluindo as definições de amplitude de campo magnético, *gap* e período. O PAPU21 terá um campo magnético de 0,98 T, 5,8 mm de *gap* e 58 períodos de 21 mm para esse primeiro módulo. Também foram definidas as terminações do ondulador, que contarão com blocos de tamanho regular e com blocos mais finos, de metade da espessura dos blocos regulares. A geometria dos blocos foi definida a partir da análise do *roll-off* do campo magnético. Todos esses avanços e definições foram realizados a partir da análise de resultados de simulações magnéticas.

Além disso, o desenvolvimento desse protótipo de ondulador também abarcou a exploração de um conceito bastante importante e que vem sendo amplamente estudado e aplicado no projeto de novos IDs: a compensação magnética das forças. Essa forma de

compensação utiliza um cassete de blocos magnéticos adicional com direções de magnetizações invertidas em relação às direções no cassete de blocos principal. Inicialmente, foi testada a possibilidade de utilização dos blocos magnéticos do ondulador protótipo Delta20, que atualmente estão disponíveis, e os resultados mostraram uma compensação de aproximadamente 40% das forças magnéticas. Para um teste de conceito, também foi realizado um estudo para a definição de uma geometria de bloco ideal e do *gap* necessário para maximizar a compensação das forças. Com os blocos obtidos nesse caso, dedicados a compensação de forças, mais de 99% da força longitudinal poderá ser compensada. Sem a compensação a força magnética máxima estava na ordem de 11kN, já com a compensação, os resultados não passam de 100N.

Estrutura mecânica e magnética

O projeto mecânico do PAPU21 está seguindo o mesmo conceito em “C”, sendo que este conceito foi utilizado e validado no PAPU50 (projeto anterior) com sucesso. As vantagens deste formato estão na facilidade de caracterização magnética, correções de erros de fase com *shims*, instalação da câmara de vácuo entre outras.

Neste semestre foram definidos o formato geométrico do bloco magnético e maneira de fixação, o projeto dos subcassetes (Figura 80), *clamps* de fixação dos blocos, estudo dos guias lineares para movimentação de fase e suportes para compensação de forças.

Simulações de esforços estrutural foram realizadas com programa de elementos finitos, como mostrado na Figura 81, e testes experimentais para validação foram realizados.



Figura 80. Subcassete superior com 6 períodos.

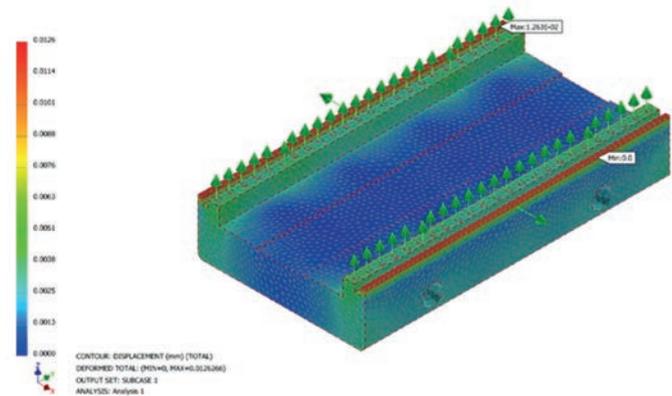


Figura 81. Simulação estrutural para análise de esforços.

Na sala de montagem de dispositivos magnéticos do CNPEM foi montado um *setup* com célula de carga para teste dos elementos de fixação dos blocos, foi aplicado força de arranque similar às forças magnéticas no ondulator montado, como calculadas por elementos finitos.

Sistema de Vácuo

Do ponto de vista do sistema de vácuo, foi realizado neste primeiro semestre o projeto conceitual da câmara de vácuo para o ondulator PAPU 2.0. Está em desenvolvimento o processo de brasagem do tubo principal da câmara com chapa lateral que atua com as funções de suportaçoão e transferência de calor. O desenho da câmara é ilustrado na Figura abaixo.

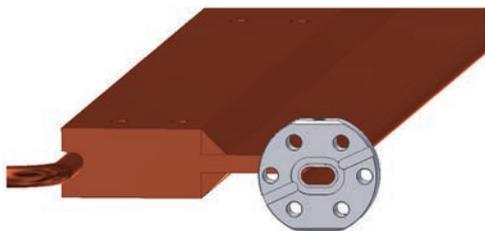


Figura 82. Desenho câmara de vácuo

Este projeto apresenta um considerável desafio referente a deposição do filme metálico (NEG) no interior de um tubo obilongo de dimensões pequenas de 9 mm na horizontal e 4.2 mm na vertical. Devido a estas dimensões restritas, o volume de plasma apresenta maior dificuldade de se desenvolver e a deposição passa a ser instável. Não foram encontrados relatos na literatura científica de depósito de NEG em uma câmara de vácuo nestas dimensões, evidenciando o pioneirismo do trabalho. Neste semestre foi desenvolvido com sucesso o processo de deposição NEG em um tubo de 1300 mm de comprimento. Após diversos testes, foram realizadas 3 câmaras com deposição completa ao longo do comprimento e excelente comportamento de ativação NEG em equipamento de XPS. A Figura abaixo mostra o tubo cortado com deposição NEG completa.

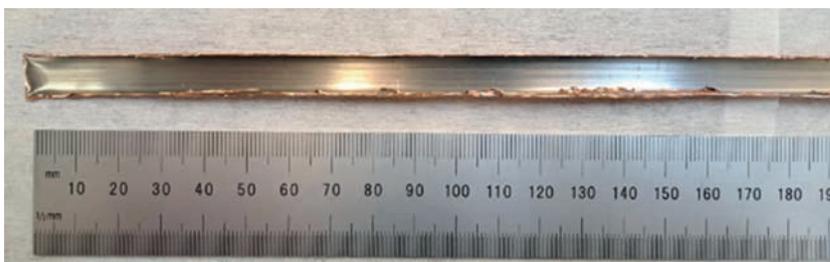


Figura 83. Tubo cortado com deposição NEG

Instalação de onduladores planares verticais – Sirius

Durante o primeiro semestre foi finalizado o desenho de fabricação da câmara de vácuo do VPU, de seu gabarito para usinagem, assim como do sistema de suportação da câmara no túnel para a instalação do VPU. Além disso, foram definidas as estratégias de instalação da câmara e fiducialização dos mesmos. A Figura 84 ilustra as câmaras de vácuo no trecho com o ondulador VPU posicionado para operação com gap de 9,7 mm.

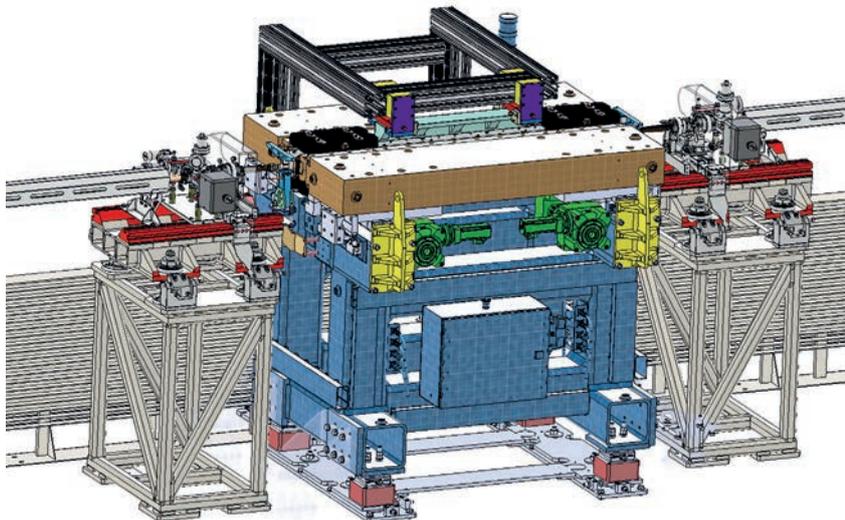


Figura 84. Desenho 3D do ondulador VPU e componentes do trecho reto no setor 6.

Com relação às transições das câmaras do VPU, estas foram projetadas e seus *blanks* já foram entregues a empresa PrismaCut para o processo de eletroerosão a fio, e devem retornar para os processos de fabricação restantes, realizados *in-house*. Com relação aos berços e suportes de BPM, estes estão com os respectivos processos de compra em andamento, com o objetivo de ter os componentes recebidos no Centro até o final de 2024.

No que diz respeito às câmaras retas, estas já possuem desenhos detalhados, e seus processos de usinagem devem iniciar no 4º trimestre de 2024, visto a fabricação mais simples destas, a usinagem das mesmas será finalizada ainda no segundo semestre deste ano, no mais tardar início de 2025. O andamento e planejamento do projeto prevê a instalação do primeiro ondulador VPU em abril de 2025, enquanto o segundo deverá ser instalado entre junho e agosto de 2025.

Instalação de onduladores IVU – Sirius

No primeiro semestre foi finalizada a fabricação das câmaras de vácuo dos trechos retos onde serão instalados os onduladores IVUs. Destaca-se a fabricação das transições, sendo essa a câmara de vácuo que realiza a mudança de geometria do sistema de vácuo da câmara padrão do Sirius para a câmara especial do ondulador.

Além disso, os onduladores foram montados e testados pelos engenheiros e técnicos do SINAP, centro de pesquisa chinês responsável pela fabricação destes elementos de inserção. Foi realizado condicionamento de vácuo com valores de pressão final da ordem de 3.10-10 mbar, o que está coerente com a pressão desejada para operação no Sirius. O perfil de gases residuais também está coerente com o esperado para ultra alto vácuo. Os onduladores serão entregues ao CNPEM no final do mês de julho de 2024. As instalações estão previstas para iniciar em agosto de 2024, proporcionando maior brilho e intensidade do feixe de luz para as linhas EMA e PAINEIRA.



Figura 85. Imagem de Ondulador IVU em processo de montagem

Front-End máquina para linhas de luz

No primeiro semestre de 2024 foram realizados avanços nos projetos dos *front-ends* para linhas de luz da Fase 1 do Sirius e Projeto Orion. Câmaras de vácuo tubulares foram construídas, e os *photon shutters* para as linhas Sapê e Jatobá estão prontos para instalação, inclusive com procedimento de medição de posição validado em bancada. Estes componentes são fundamentais para que as duas linhas de luz mencionadas possam estar em operação ainda no segundo semestre de 2024.

Também foram usinadas mancais, bases e suportes para *photon shutters* para as linhas de Luz HIBISCO e TIMBÓ referentes ao Projeto Orion. A previsão é de que estes componentes estejam prontos para instalação até meados de julho de 2024.

Recomissionamento Gleeble-MTS

Durante o primeiro semestre, finalizou-se o projeto de recuperação do simulador termomecânico Gleeble 3800 (Figura 86). Além da manutenção, o recomissionamento do equipamento contemplou sua calibração e treinamento da equipe.



Figura 86. Gleeble 3800 - Módulo Pocket Jaw

Desenvolvimento de câmaras de cobre pelo processo de eletroformação

O projeto prevê o desenvolvimento de uma técnica de produção de câmaras de vácuo de cobre utilizando um processo inverso ao convencional: partindo da deposição do filme de NEG sobre um substrato de alumínio, seguido da eletroformação de filmes de cobre sobre o filme de NEG, e posteriormente a corrosão química do substrato de alumínio. Esta técnica foi publicada em uma pesquisa do CERN, com algumas limitações, e o CNPEM busca reproduzir e desenvolver uma rota a produção deste tipo de câmara.

Ao longo do primeiro semestre de 2024, as principais atividades conduzidas envolveram o processo de deposição NEG na parte externa de um tubo de alumínio, visando reproduzir o processo real de fabricação de uma câmara de vácuo. Até então, os desenvolvimentos haviam focado em amostras planas. Os principais avanços foram: automatização do sistema de

rotação da amostra de alumínio para o crescimento do filme de cobre por eletroformação, a implementação do sistema de corrosão de alumínio utilizando uma bomba peristáltica unidirecional e projeto e construção da câmara de deposição de filme de NEG e cobre pelo processo de *magnetron sputtering*.

Com relação ao sistema de rotação de amostra, um driver e motor foi implementado durante o sistema de crescimento do filme de cobre a fim de obter um crescimento do filme uniforme e concêntrico. Para isso, um sistema de eixo foi desenvolvido de modo a garantir o contato elétrico para deposição do filme, isolando todas as partes que não deveriam expostas a deposição do filme de cobre. A Figura 87 mostra imagem do esquema de eixos das amostras, do sistema de rotação durante a deposição e a amostra após deposição. A Figura 88 refere-se a amostra obtida.

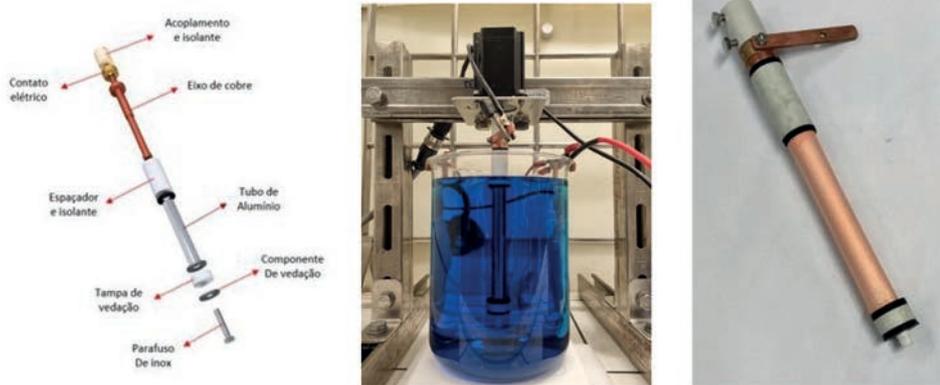


Figura 87. Sistema de crescimento do filme de cobre sobre alumínio.



Figura 88. Amostra de alumínio após crescimento do filme de cobre.

Após o crescimento do filme, faz-se necessária a retirada do mandril de alumínio através do processo de corrosão com solução de hidróxido de sódio (NaOH). Para isso, um sistema de corrosão unidirecional foi desenvolvido de modo que apenas o alumínio estivesse em contato contínuo com a solução.

Ainda no primeiro semestre de 2024, uma câmara de vácuo para deposição de filme de cobre e de NEG externo ao tubo de alumínio foi projetada e construída. Os testes de deposição para posterior obtenção de amostra completa (mandril de alumínio, filme de NEG e filme de cobre) estão previstos para o segundo semestre deste ano, assim como a otimização do processo e suas caracterizações.

Planta de Liquefação de hélio do Sirius

O Planta de Liquefação de hélio do Sirius fornecerá hélio líquido para as cavidades supercondutoras que serão instaladas no segundo semestre de 2024 no anel de armazenamento em substituição a cavidade Petra 7 normal-condutora.

Em janeiro de 2024, concluiu-se a análise de risco de ausência de O₂ junto a um consultor externo. Com isso, diversas ações para proteção das pessoas foram mapeadas e serão

executadas durante 2024. Em fevereiro de 2024, foi concluída a instalação das tubulações de água de processo e as tubulações de água gelada em aço carbono do circuito C2. Foi concluído o isolamento térmico das tubulações de água gelada, além da realização do teste de estanqueidade desse circuito, alimentação elétrica e a automação. Após comissionamento, esse circuito foi liberado de processo alimentando os compressores de hélio e Cold Box.



Figura 89. Montagem do Circuito C2 na Casa de Bombas 1

Após automação o circuito de processo C2 foi incluído do Supervisório do Prédio do Sirius, testado e liberado.

Foi concluída a infraestrutura elétrica para a planta criogênica e sala de compressores de hélio. Foi instalada a UPS e Painel elétrico para alimentação de todos os equipamentos da Planta.



Figura 90. UPS e Painel Elétrico da Planta Criogênica



Figura 91. Painel CC1 energizado



Figura 92. Painel TB2 Energizado



Figura 93. Painel TB3 Energizado

Todas as montagens mecânicas da parte quente da planta criogênica foram concluídas pela WM, assim como, todas as peças remanescentes dos equipamentos da planta criogênica, como a instrumentação do Dewar e bomba de vácuo turbo da Cold Box. Foi concluído o teste de vazamento com hélio e teste de pressão nas conexões pendentes; e foi realizado "pump and Purge" dos tanques com Nitrogênio.

No mês de fevereiro, iniciou-se o pré-comissionamento da Planta Criogênica, contando com a expertise da empresa Linde. Nesse estágio, foram realizadas inspeções minuciosas em todos os subsistemas e nas utilidades de cada equipamento da planta, assegurando que tudo estivesse em perfeitas condições antes da fase de comissionamento.

Entre fevereiro e março foi realizado o processo de vácuo e "pump and purge" com hélio 4.5 em toda a planta, incluindo os três tanques, todas as tubulações e equipamentos. Esse procedimento foi repetido três vezes, com o objetivo de garantir uma limpeza completa e meticulosa do sistema antes do preenchimento final com hélio 5.0, assegurando a pureza necessária para a operação.

Em março, o CNPEM finalizou a instalação dos dutos de exaustão para os dois compressores, marcando um passo significativo no progresso da planta criogênica.



Figura 94. Exaustão dos Compressores de hélio

Ainda em março, a Linde realizou teste de atuação de sistemas de segurança SIL2 e concluiu a instalação mecânica da planta, na qual, o CNPEM assinou o termo de aceite e foi realizado o comissionamento e testes de aceitação da planta. A equipe de engenharia do CNPEM desenvolveu um projeto para as alterações sugeridas no primeiro semestre de 2024, e as instalações serão realizadas no segundo semestre.



Figura 95. Circuito de processo C3 estendido na sala de RF

Em maio, iniciou-se a instalação da renovação de ar do Hall Experimental, no entanto, essa instalação será concluída apenas no final de 2024. Em junho, foi concluída a instalação dos sensores de O_2 no Hall Experimental e sala de compressores, assim como os sinalizadores visuais e buzinas. Em junho foi concluída a instalação dos ventiladores para renovação de ar das salas de compressores.

Distribuição de Nitrogênio Líquido

O sistema de distribuição de Nitrogênio Líquido foi projetado e fabricado para abastecer 40 linhas de luz e a planta de liquefação de hélio no Sirius.

Durante o comissionamento do sistema de distribuição de Nitrogênio Líquido, no final de novembro de 2023, foram detectados problemas que impediram a entrega do sistema.

Ocorreu um vazamento no Separador de fases de Nitrogênio para o Vácuo e, em 40 trechos de tubulação para abastecimento das linhas de luz observamos condensação. Deste modo, foi necessário a remoção do separador de fases e dos trechos de alimentação de cada linha de luz e envio para retrabalho na fábrica da DEMACO na Holanda.



Figura 96. Trechos das linhas de luz embalados para envio para retrabalho na DEMACO



Figura 97. Separador de fases removido para envio para retrabalho na DEMACO

A fim de atender o prazo do comissionamento da Planta Criogênica em janeiro de 2024, a DEMACO enviou um separador de fases de 40 litros e flexíveis isolados a vácuo aéreo para uma montagem provisória.

O separador de fases e os trechos de alimentação das linhas de luz chegaram na DEMACO para retrabalho no final de março, que realizou a inspeção desse material, definiu um plano de reparo e revisou a plano de inspeção de qualidade. A empresa está realizando o retrabalho do separador de fases e dos trechos de linha. No entanto, será necessário a substituição de algumas válvulas da Stohr, que tem alto "lead time".



Figura 98 – Separador de fases de Nitrogênio em retrabalho na DEMACO

Com isso, a conclusão do retrabalho, testes de aceitação em fábrica e retorno do material para o CNPEM só ocorrerá no segundo semestre de 2024.

Fontes de luz síncrotron

Os aceleradores são o coração de toda infraestrutura do Sirius, permitindo a geração de luz síncrotron de alta qualidade para diversas pesquisas. Sistemas de correção e controle, como o *feed-forward* via hardware, garantem a precisão e estabilidade do feixe de elétrons, minimizando perturbações e mantendo a confiabilidade do síncrotron.

Esta seção destaca avanços no Sirius, incluindo um sistema de correção de posição do feixe via hardware, compensação de campo residual no feixe armazenado e novos amplificadores de estado sólido, que aumentam a eficiência e capacidade do síncrotron. Esses desenvolvimentos reforçam a excelência e ampliam as capacidades de pesquisa do Sirius.

Controle e estabilidade

Sistema de correção *feed-forward* para onduladores via hardware

Atualmente, alguns dos dispositivos de inserção do Sirius possuem um sistema de correção de posição e ângulo do feixe baseado em tabelas de caracterização (*feed-forward*). O sistema de correção atual é baseado em cálculos e ajustes de órbita feitos somente via *software*, com atualizações enviadas por meio de PVs EPICS. Para diminuir a dependência da disponibilidade e estabilidade da rede de dados bem como aprimorar o determinismo das correções de órbita, um sistema de correção local feito em *hardware* está sendo desenvolvido.

O sistema de correção *feed-forward* via hardware será capaz de consultar informações de posição e movimentação dos blocos magnéticos do dispositivo de inserção e calcular valores de corrente necessários para as corretoras que compensam o efeito das movimentações no feixe de elétrons. O hardware proposto para a correção *feed-forward* é baseado no

single-board computer (SBC) *Beaglebone Black*, já utilizado como base em nós de controle do Sirius, e, portanto, presente em diversos subsistemas dos aceleradores.

O nó de controle do sistema de *feed-forward* recebe as informações de posicionamento dos dispositivos de inserção através de uma interface serial RS485 de 10 Mbps em modo *streaming*. A partir das posições e de valores pré-configurados do software de controle, o sistema consulta uma tabela de correção consulta quais as correntes devem ser ajustadas nos ímãs corretoras de órbita. A atuação é realizada por meio de Fontes de Baixa Potência (FBPs), que fornecem correntes de -10 até 10 A.

A arquitetura ainda permite implementações futuras para receber informações da correção de órbita rápida (FOFB) via interface RS485 para que os sistemas possam atuar em conjunto. Tal princípio de operação é resumido na Figura 99.

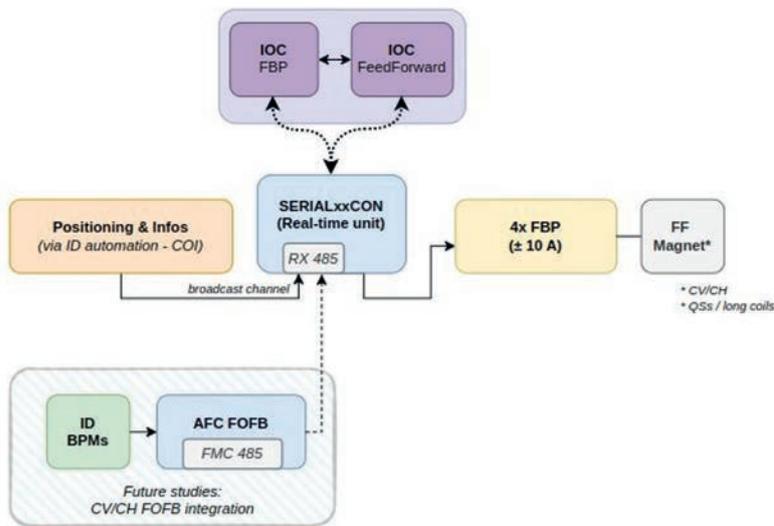


Figura 99: Diagrama em blocos do sistema de correção de órbita feed-forward.

Por se tratar de uma aplicação que necessita de determinismo no cálculo de posições e esforço de controle, a estrutura de firmware precisa garantir que determinadas tarefas críticas não estejam dependentes do sistema operacional, e, portanto, fazem uso dos núcleos de tempo real (PRU) disponíveis na *Beaglebone Black*. A atribuição de tarefas e intercomunicação entre os núcleos de processamento é descrita na Figura 100.

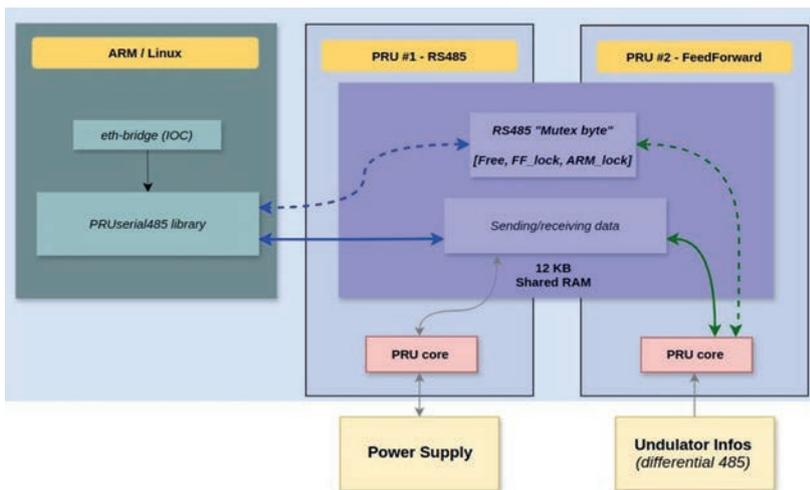


Figura 100: Arquitetura de software e firmware do sistema de correção feed-forward para onduladores.

Dinâmica de feixe de elétrons

Compensação do campo residual do NLK na posição do feixe armazenado

Para compensar a perturbação na órbita do feixe armazenado no anel de armazenamento do Sirius causada pelo pulso do NLK durante as injeções, foi utilizado um método inovador criando campos pulsados adicionais com amplitude, duração e forma adequadas para anular o efeito combinado do campo residual do NLK na posição do feixe armazenado, e das correntes induzidas no recobrimento da câmara cerâmica. As formas do pulso (seno completo na horizontal e meia senoide na vertical), assim como amplitude e duração, foram ajustadas para minimizar a perturbação de posição relativa ao longo dos 864 pacotes do anel durante o pulso do NLK. A oscilação da média dos pacotes foi reduzida

com o realinhamento horizontal do NLK. Foram necessárias 3 iterações deste processo para alcançar os parâmetros atuais. Na primeira iteração, foram utilizados pulsos de forma meia senoide para ambos os planos, semelhantes aos pulsos principais do NLK, mas percebeu-se que, no plano horizontal, a perturbação era dominada pela corrente induzida no recobrimento da cerâmica do NLK, com formato da derivada do pulso principal, levando a uma segunda iteração com formas de pulso ajustadas. Nesta tentativa, percebeu-se que o pulso de compensação estava do valor máximo e um pouco deformado, o que levou a mais uma iteração com range maior de corrente para a bobina de compensação.

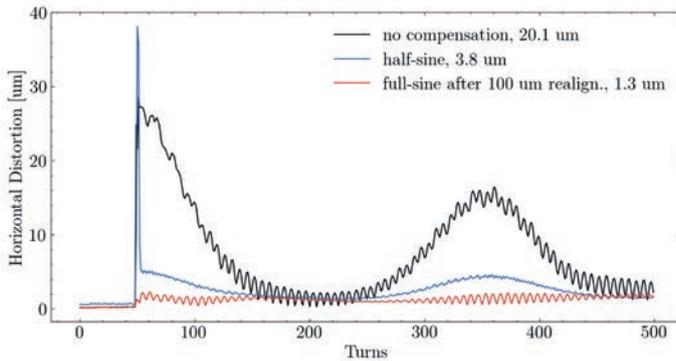


Figura 101: Perturbação na órbita do feixe estocado durante pulso do NLK. A curva preta mostra a perturbação sem compensação. A curva azul mostra a primeira tentativa de compensação usando pulsos em forma de meia senoide, e a curva vermelha mostra o resultado final, com pulso em forma de seno completo e realinhamento do NLK.

Subsistemas de aceleradores de elétrons

Novos amplificadores de estado sólido de 500 MHz e 65 kW

O Sirius opera com geradores de potência de RF em 500 MHz, utilizando módulos amplificadores em estado sólido combinadas em torres de 65 kW cada. Duas torres alimentam a cavidade Petra7 atualmente instalada no anel de armazenamento. Com a instalação das novas cavidades supercondutoras, mais 2 torres foram preparadas, totalizando 4 torres capazes de fornecer 260 kW de potência de RF para a Fase 1 do Sirius.

Para a Fase 2 do Sirius, haverá a necessidade de aumento da potência de RF disponível, e mais quatro torres devem ser construídas. Para estas novas torres, estão sendo desenvolvidas

novos módulos amplificadores utilizando um novo transistor recentemente disponibilizado no mercado, o BLF978P (sucessor do modelo anteriormente utilizado, o BLF578). A Figura 102 mostra uma vista de cima do novo módulo amplificador. As maiores vantagens do novo projeto são a redução do número de soldas e montagem manual de componentes necessários, possibilitando uma produção mais precisa e automatizada. O novo módulo fornece potência que pode chegar a 1 kW, com ganho acima de 22 dB e eficiência maior que 70%. A Figura 103 compara o ganho e a eficiência dos dois amplificadores.



Figura 102: Amplificador de estado sólido com transistor BLF978P projetado no LNLs.

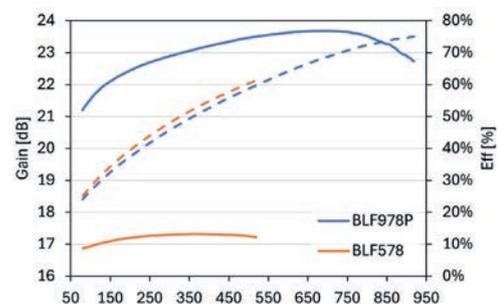


Figura 103: Ganho (curvas sólidas) e eficiência (tracejadas) dos módulos amplificadores em 500 MHz.

Para a produção das quatro torres amplificadoras foi feita uma parceria com a empresa PITEC. Após período de prototipagem e validação, um lote piloto de 10 unidades foi produzido para teste do processo de fabricação industrial. Após aprovação de 100% do lote piloto, foi disparada a produção de um primeiro lote de produção de 176 módulos, suficientes para duas torres de 65 kW incluindo módulos reservas. Entretanto, apenas 102 módulos deste lote passaram nos critérios de aprovação, correspondendo a uma fração de apenas 58%.

Dado que os onduladores atualmente instalados no Sirius são temporários e de menor potência que os inicialmente planejados, e que o aumento de corrente do Sirius para 350 mA foi postergado para a Fase 2, verificou-se que as atuais 4 torres amplificadoras capazes de fornecer 130 kW são suficientes operar a Fase 1 do Sirius. Desse modo, tomou-se a decisão estratégica de postergar-se em aproximadamente 2 anos a conclusão das novas torres. Assim, encerrou-se o acordo com a PITEC em março de 2024 com o cenário atual em relação ao número de módulos aceitos, deixando a retomada da produção das 4 torres finais para depois da instalação das cavidades supercondutoras na parada do segundo semestre deste ano.

Tecnologias para luz síncrotron

Infraestrutura

Planta de recuperação de gás hélio para as linhas de luz

A planta de recuperação de gás hélio visa recuperar o hélio líquido utilizado nas linhas de luz após sua evaporação, para que possa ser purificado e novamente liquefeito para reutilização. O processo envolve a coleta do hélio gasoso, armazenamento, pressurização até 200 bar e envio para purificação e liquefação em empresa externa. Durante os 8 meses iniciais de operação da planta, 92% do hélio adquirido foi recuperado, obtendo uma taxa de pureza de 98,1%. Esses resultados melhorarão ainda mais no próximo período, tendo em vista que não será necessário descartar novos volumes de gás para limpeza do circuito na operacionalização inicial. A eficiência obtida neste primeiro ciclo de recuperação resultou em uma economia de aproximadamente 70% do custo bruto do hélio líquido consumido.

Futuramente, planeja-se realizar todo o processo de liquefação internamente, eliminando a necessidade de terceirização. Para isso, um projeto para Equipamento Multiusuários foi submetido à FAPESP ao final de 2023 e se encontra em análise. Até o momento, os resultados econômicos já são significativos e reflexo da constante busca por eficiência e sustentabilidade operacional no Sirius.

Interligação das linhas de luz ao sistema de distribuição de nitrogênio líquido

O LNDS (Linha de Nitrogênio de Distribuição a Vácuo) é uma rede de tubulações isoladas a vácuo com 600 metros de extensão, instalada no teto de blindagem (Figura 104-A). Essa linha possui derivações e válvulas para cada linha de luz, permitindo um abastecimento automático de nitrogênio, algo que era feito de forma manual. As linhas PAINEIRA, MANACÁ, SAPUCAIA e QUATI foram conectados, eliminando a necessidade de enchimento manual de Dewars, resultando em 12 horas de redução de mão de obra semanal e diminuição dos riscos operacionais. A estação de enchimento de Dewars (Figura 104-B) também foi conectada ao LNDS, mais próximo aos consumidores manuais. Os planos futuros incluem a conexão do Cryocooler da linha EMA e a adição de outra estação de enchimento manual até o final de 2024. Para 2025, está prevista a conexão do Dewar que abastece o *cryojet* da linha MANACÁ, assim como dos três Dewars da linha CATERETÊ ao LNDS.

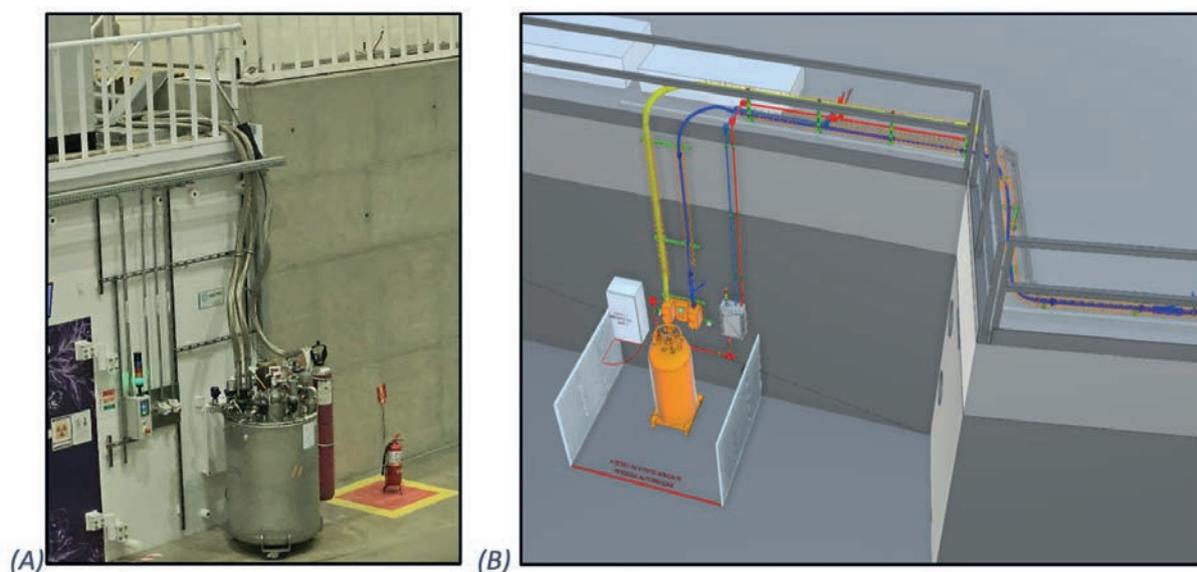


Figura 104: (A) Cryocooler da linha MANACÁ, exemplo de interligação de carga ao LNDS. (B) Projeto de módulo de estação de enchimento de dewars que será replicado em 3 locais do hall experimental do Sirius.

Mecatrônica de precisão

Atualização do sistema de controle do monocromador HD-DCM da linha MANACÁ

O monocromador de duplo cristal de alta dinâmica (HD-DCM) está em operação na linha MANACÁ desde 2020. Visando a melhora da usabilidade, flexibilidade e manutenibilidade do sistema, a arquitetura de controle está passando por uma revisão completa, desde otimizações nos dispositivos eletroeletrônicos até o software embarcado e de alto nível.

O sistema de controle foi reprojetoado utilizando métodos de controle avançados, com aplicação nos dois subsistemas de atuação do HD-DCM: o mecanismo interno (ShS), responsável pelo ajuste fino no paralelismo entre cristais e manutenção do feixe em saída fixa; e o estágio rotativo (Gon), responsável pela seleção de energia. Os diagramas de Nyquist presentes na Figura 105-A atestam a robustez dos controladores aplicados, evidenciando a capacidade das funções embarcadas de reagirem a distúrbios externos e de garantir o seguimento de uma trajetória, bem como a obtenção de bandas de controle de 159Hz, 265Hz e 198Hz. Esses parâmetros são importantes para quantificar a capacidade do controlador em manter a estabilidade em regime estacionário – para cada um dos graus de liberdade do ShS. O comissionamento técnico do ShS indica estabilidades estacionárias para o ShS de 3nm (RMS) para a translação e de 11nrad (RMS) e 17nrad (RMS) para as rotações *pitch* e *roll*, respectivamente; e do estágio rotativo uma velocidade de 1°/s com erro de seguimento na ordem de décimos de milésimos de graus (Figura 105-B). Os resultados são significativos para a melhora da usabilidade do HD-DCM pela linha de luz.

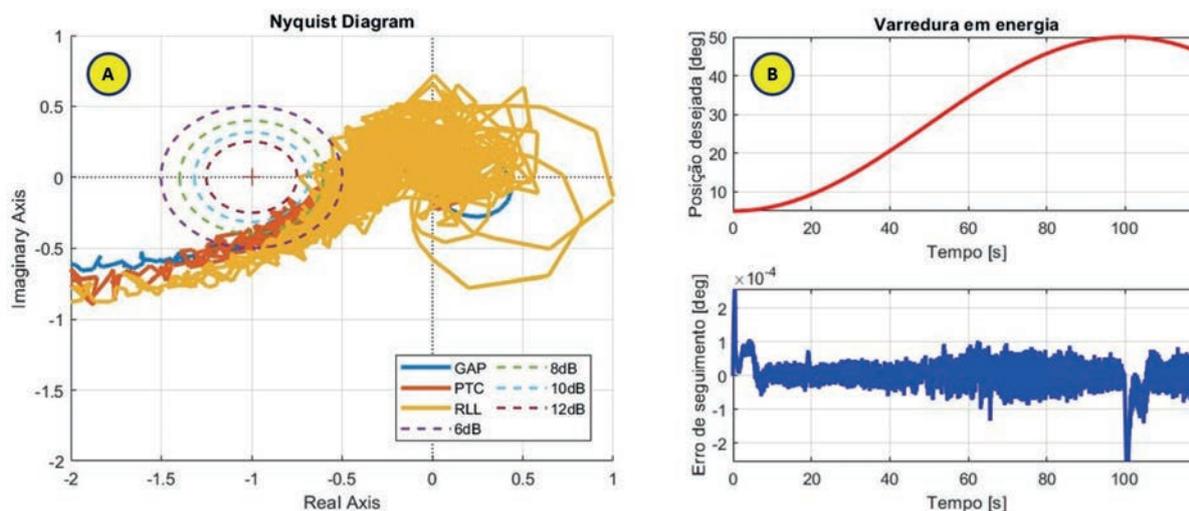


Figura 105: (A) Diagramas de Nyquist para cada grau de liberdade do ShS. (B) Erro de seguimento de trajetória do estágio rotativo durante uma movimentação.

Em paralelo com a agenda de operação da linha de luz, a revisão está em andamento e com previsão de conclusão para setembro de 2024. A atualização do sistema da linha EMA também está programado para o início de 2025.

Acoplamento monocromador-ondulador em modo Fly-Scan na linha SABIÁ

A linha SABIÁ possui ondulador Delta (DU525), responsável por emitir feixe de radiação eletromagnética na faixa de 90 a 1600 eV e caracterizado por picos em energias que variam conforme a posição do equipamento. O monocromador PGM (*Planar Grating Monochromator*) é responsável por selecionar a faixa de energia do feixe dependendo de sua posição. Portanto, o sincronismo na movimentação contínua (*Fly Scan*) entre o DU525 e o PGM é essencial para otimizar o fluxo de fótons do feixe, viabilizando e acelerando a realização de experimentos de XMCD (*X-ray Magnetic Circular Dichroism*) e XAS (*X-ray Absorption Spectroscopy*).

O resultado de comissionamento técnico do sistema é especialmente positivo, pois a arquitetura adotada (Figura 106-A) individualiza as malhas de controle de ambos os dispositivos, elimina a propagação de erros e busca uma aplicação final genérica que possa atender qualquer linha de luz e dispositivos em modo *Fly Scan*. Atualmente o sistema está entregue à linha de luz para comissionamento científico e é capaz de configurar os equipamentos e executar trajetórias especificadas pelo usuário, com aquisição e salvamento dos dados experimentais de forma automática (Figura 106-B).

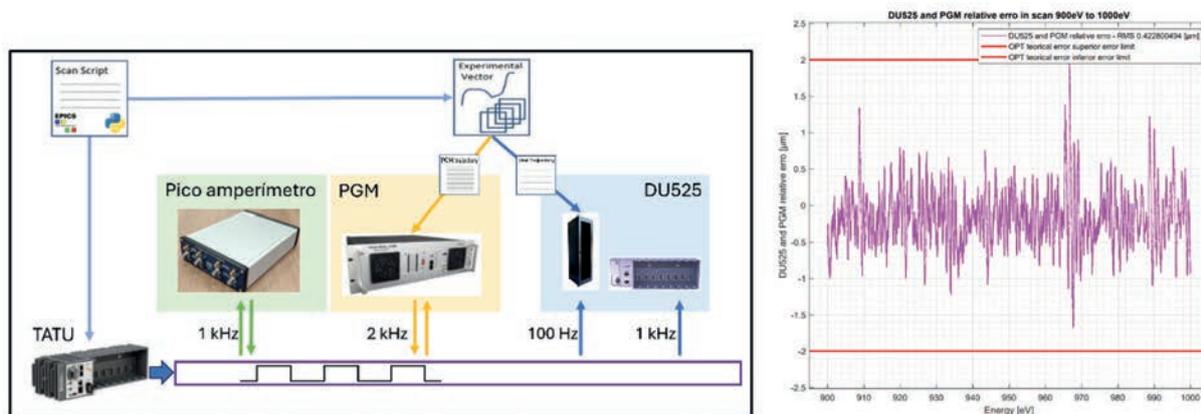


Figura 106: (A) Arquitetura de sincronismo do *Fly Scan* em energia da linha de luz SABIÁ. (B) Posição relativa PGM-DU525 em modo *Fly Scan* de 900eV a 1000eV durante comissionamento técnico - resultado dentro das especificações técnicas (linhas vermelhas).

Optomecânica

Amortecimento magnético

Com o desenvolvimento do monocromador de duplo cristal de alta dinâmica (HD-DCM), de sistemas de espelhos, e de estações experimentais de nanoposicionamento, o CNPEM vem demonstrando uma evolução permanente em sistemas mecatrônicos de alto desempenho para as linhas de luz do Sirius. Para além da otimização de mecanismos de posicionamento com controle passivo e ativo, isto é, sem e com controle de malha fechada (de alta banda), respectivamente, o próximo passo será o domínio de tecnologias de amortecimento, capazes de reduzir amplitudes de vibração e/ou facilitar (e otimizar) opções de design de malhas de controle.

Como uma alternativa para sistemas com operação em vácuo, e, possivelmente, em condições criogênicas, em que soluções poliméricas comuns não são aplicáveis, iniciou-se um projeto de desenvolvimento baseado em amortecimento induzido por campos magnéticos. Essa tecnologia já foi implementada com sucesso em sistemas de linhas de luz no *Diamond Light Source*, por exemplo, e avaliada para sistemas mecatrônicos criogênicos na indústria de semicondutores (Ambaum, N, 2021). Os primeiros casos de estudo utilizando amortecedores magnéticos para atenuar passivamente determinados modos normais de vibração em sistemas para o Sirius serão dedicados a mecanismos de espelhos, com aplicação em temperatura ambiente nas linhas SAPÊ e CARNAÚBA.

No último período, a partir de referências da literatura³⁸, foram desenvolvidos códigos em MATLAB que permitem, por exemplo, projetar o valor do amortecimento para uma frequência específica. Na Tabela 24, são apresentados os resultados obtidos para dois modos de vibração, em 200 e 300 Hz, para o espelho M1 da CARNAÚBA. Pode-se observar que fatores de amortecimento de até 9% são previstos para a frequência mais baixa, o que é um ganho acima de uma ordem de grandeza para sistemas mecânicos elásticos em vácuo, que podem ter fatores de amortecimento tão baixos quanto 0.2%. Esses resultados consideram o uso de dois módulos que podem ser acoplados ao suporte dos espelhos, combinando ímãs permanentes, chapas de material condutor elétrico (cobre), e blindagens metálicas para proteção de componentes próximos, conforme ilustrado na Figura 107. Após a realização de medidas em bancada para a validação, os primeiros sistemas com esse tipo de tecnologia deverão ser instalados em ambas as linhas de luz até o final de 2024. Na sequência, são esperados desenvolvimentos também para aplicações criogênicas.

38. Ambaum, N. et al. (2021). Piezoelectric Shunt Damping in Cryogenic Conditions: Application to a Flexure-based Mechanism, Proc. 36th ASPE Annual Meeting.

Tabela 22: Resultados analíticos para amortecimento magnético no projeto do espelho M1 da linha CARNAÚBA.

Freq. [Hz]	Amortecimento p/ 1 módulo [Ns/m]	Amortecimento p/ 2 módulos [Ns/m]	Fator de amortecimento p/ 2 módulos [-]	Amplificação p/ 2 módulos [-]
200	238,58	477,16	0,0905	5,53
300	238,58	477,16	0,0603	8,29

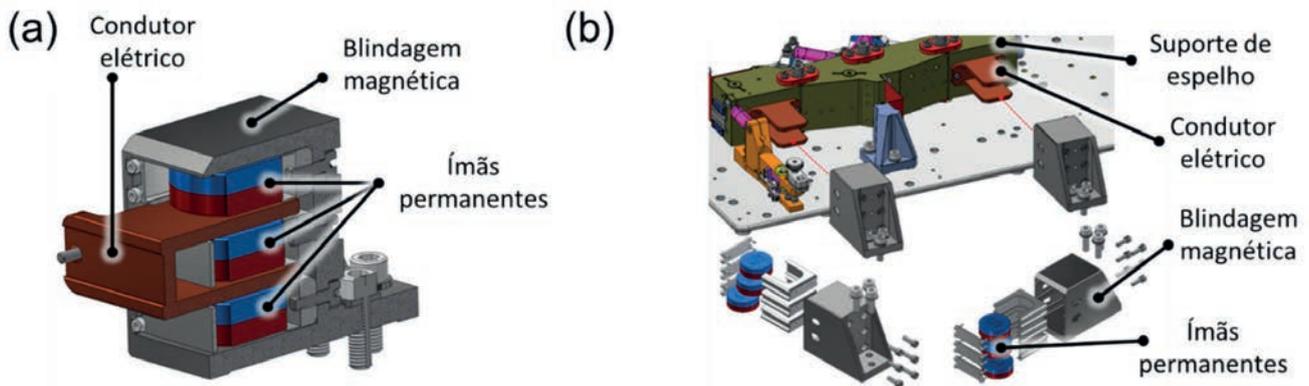


Figura 107: Solução com aplicação de amortecimento magnético para sistemas de espelhos de raios-X: (a) módulo com chapa dupla de cobre, arranjo triplo de ímãs permanentes, e blindagem magnética; (b) montagem explodida dos módulos de amortecimento no suporte do espelho M1 da linha CARNAÚBA.

Interfaces térmicas empregando Ga-In

Ligas de Gálio Índio (GaIn) podem ser utilizadas como interfaces térmicas entre materiais, tendo como vantagem o fato de serem líquidas à temperatura ambiente, proporcionando relativamente alta condutividade térmica de contato ao mesmo tempo em que promovem o desacoplamento mecânico entre as peças. No contexto de linhas de luz, uma aplicação bastante conhecida está relacionada à refrigeração de espelhos de raios-X com trocadores de calor com água, especialmente em sistemas com requisitos ultracríticos em erros de forma e de figura, e naqueles que envolvam os chamados *benders* mecânicos para ajuste de parâmetros de curvatura do espelho³⁹. Nos espelhos para as linhas de luz da Fase 1 do Sirius, o uso de GaIn foi evitado em função da conhecida incompatibilidade entre essas ligas e alumínio (com reações mecânicas críticas), e de conhecidas dificuldades de aplicação e manipulação. Como alternativa, foram utilizadas soluções criogênicas, e espelhos com curvatura fixa, que dispensavam uso de *benders*. Mais recentemente, porém, buscando-se simplificar o projeto e reduzir a operação de alguns dos sistemas criogênicos passando para operação à temperatura ambiente, decidiu-se explorar novamente a tecnologia de GaIn.

As primeiras aplicações para o Sirius serão em espelhos das linhas de luz SAPÊ e CARNAÚBA. Nesses projetos, estão sendo avaliados tanto o uso de GaIn em diferentes concentrações e viscosidades (líquido e pasta), como também em diferentes geometrias, a saber: em filme, que é a forma de uso típica, e como gota, com pontos concentrados de extração de calor, mas com maior tolerância mecânica de montagem. Neste processo de desenvolvimento, estão incluídos ainda testes de aplicação e preparo do material em condições de vácuo, tanto para criar um procedimento seguro de uso como para evitar o derramamento e/ou a formação de bolhas durante bombeamento de vácuo. Esses sistemas entrarão em operação já entre os meses de agosto e outubro de 2024.

39. L. Zhang, D. Cocco, N. Kellez, D. S. Morton, V. Srinivasan, and P. M. Stefan. (2015). "Optimizing x-ray mirror thermal performance using matched profile cooling. *J. Synchrotron Radiat.* 22(5), 1170.
D. Cocco, C. Hardin, D. Morton, L. Lee, M. L. Ng, L. Zhang, L. Assoufid, W. Grizolli, X. Shi, D. A. Walko, G. Cutler, K. A. Goldberg, A. Wojdyla, M. Idir, L. Huang, and G. Dovillaire. (2020). Adaptive shape control of wavefront-preserving x-ray mirrors with active cooling and heating. *Opt. Express* 28(13), 19242.

Sistemas experimentais

CryoSIM

A tomografia de raios X moles em amostras vitrificadas, quando combinada a imagens de fluorescência de super-resolução, permite uma melhor compreensão dos processos celulares ao fornecer informações morfológicas e químicas além daquelas alcançáveis por uma técnica de microscopia isolada. Dentre as técnicas de super-resolução disponíveis, destaca-se a de microscopia por iluminação estruturada (SIM). Esta técnica é compatível com uma ampla gama de marcadores fluorescentes, possui boa profundidade de penetração e supressão de iluminação de fundo. Além disso, ela requer doses e tempos de exposição pequenos, o que minimiza em amostras criogênicas o aquecimento e a consequente devitrificação.

Para a aquisição de imagens fluorescentes de super-resolução para correlação com a linha de luz SIBIPURUNA, está sendo desenvolvido um protótipo de SIM com capacidade criogênica, que atuará como módulo de extensão para microscópios de fluorescência convencionais. O protótipo consistirá em um módulo estruturador de luz baseado em um *digital micromirror device* (DMD), que será montado em uma placa de ensaio óptico e acoplado à porta de iluminação de um microscópio Leica DMI8, com um porta-amostras criogênico compatível com o estágio do microscópio. Utilizando o kit de desenvolvimento de software (SDK) fornecido pelo fabricante, será possível integrar os módulos ao microscópio, conferindo-lhe capacidades de super-resolução e de imageamento de amostras vitrificadas. Se bem-sucedida, a proposta permitirá uma simplificação importante quando comparada a soluções de *cryoSIM* disponíveis atualmente em outras instalações, que dependem de arranjos ópticos significativamente mais complexos. Essa redução de complexidade não apenas facilita a implementação da funcionalidade em outros microscópios do tipo disponíveis no CNPEM a custos mais acessíveis, mas também pode ter um papel decisivo como uma solução que pretende compatibilidade com níveis de biossegurança.

Atualmente, os componentes ópticos e optomecânicos correspondentes ao protótipo do estruturador estão em processo de aquisição, com previsão de montagem, alinhamento e calibração para setembro de 2024. Após esses procedimentos, será iniciada a validação das capacidades de super-resolução do microscópio pelo imageamento a temperatura ambiente de diferentes linhagens de células mamíferas fixadas com paraformaldeído. Em paralelo, será desenvolvido um modelo térmico do porta-amostras criogênico do microscópio de fluorescência para validação do conceito proposto, que poderá também ser validado dentro do *workflow* de preparo de amostras da estação SAPOTI da linha CARNAÚBA.

Difração e espectroscopia em vidros na estação experimental EMA

Vidros e vitrocerâmicas são materiais multifuncionais com aplicações diversas, desde ciências básicas até áreas tecnológicas de alto desempenho. Embora muito usados em nosso cotidiano, estes materiais ainda carecem de pesquisas para ampliar a sua eficiência. Neste trabalho⁴⁰, são apresentados como os desenvolvimentos feitos na linha EMA permitiram uma caracterização detalhada desses materiais, oferecendo *insights* sobre suas propriedades físicas sob condições extremas. Essas investigações têm o potencial de ajudar significativamente no desenvolvimento de materiais melhorados e pode levar a avanços significativos na área.

Tomografia resolvida no tempo no estudo de processos de mineralização em meios porosos

A mineralização de CO₂ em rochas é uma tecnologia crucial para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e para o controle da temperatura global. Arenitos têm se mostrado um potencial candidato para esta captura segura de CO₂, ainda que os mecanismos responsáveis por esse processo sejam pouco compreendidos. Neste contexto, realizou-se um estudo detalhado envolvendo as caracterizações morfológicas e mineralógicas de uma amostra de arenito da formação do Rio Bonito, no Brasil. O processo de dissolução mineral, que precede a precipitação de CO₂, foi promovido utilizando soluções de HCl em diferentes concentrações para mimetizar o ácido carbônico (H₂CO₃) sob pressão. Para isso, duas células de fluxo foram desenvolvidas para as linhas de luz MOGNÓ (Figura 108) e CARNAÚBA permitindo acompanhar, ao longo do tempo, os resultados da interação ácido/rocha.

40. Pena, R. B., da Silveira, R. A., Hippler, G., Evaristo, L. L., Corrêa, L. E., do Carmo, D., & Souza-Neto, N. M. (2024). EMA beamline at Sirius: A versatile platform to probe glass and glass ceramics under extreme thermodynamic conditions. *International Journal of Applied Glass Science*. <https://doi.org/10.1111/ijag.16676>

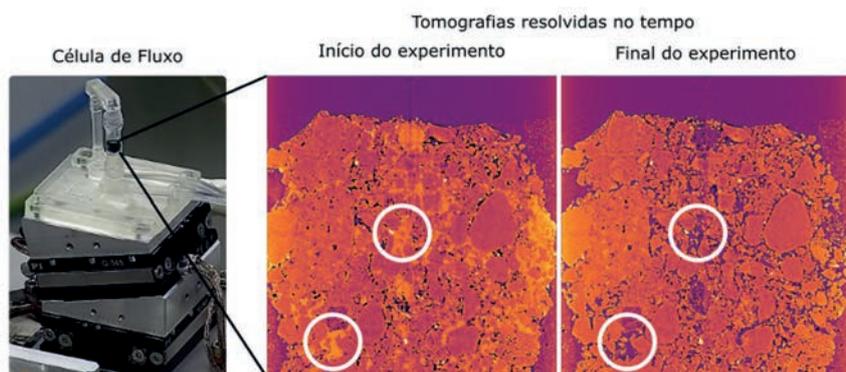


Figura 108: Esquerda: Célula de fluxo desenvolvida exclusivamente para a nano estação da linha de luz MOGNO. Ela pode ser conectada a uma bomba externa, permitindo a realização de tomografias resolvidas no tempo durante a injeção de fluídos. Direita: Uma fatia da tomografia inicial e uma da final de uma amostra de arenito, indicando regiões dentro dos círculos brancos onde fases cimentícias foram dissolvidas pelo ácido HCl (0,2%).

Experimentos de tomografia resolvida no tempo (4D μ CT), realizadas na MOGNO, revelaram taxas de dissolução relativa de 0,07 % por minuto, para duas concentrações de HCl testadas (0,05% e 0,2%). A Figura 108 exemplifica um dos experimentos, elucidando duas regiões da amostra (círculos brancos), onde fases cimentícias são completamente dissolvidas devido à injeção da solução ácida e se transformam em poros, após 6 h de experimento. Dentro deste período, imagens 3D foram capturadas a cada 10 minutos, permitindo obter a taxa de dissolução mineral a partir da distribuição dos poros em cada medida. Além disso, análises de fluorescência de raios X (XRF) resolvida no tempo, realizadas na CARNAÚBA, permitiram acompanhar a dissolução de elementos chave como Fe, Mn e Ca, durante a injeção de HCl nas mesmas concentrações utilizadas nos experimentos na MOGNO. Esses resultados proporcionaram uma compreensão abrangente da dissolução das fases de cimento, incluindo calcita, feldspatos, argilas, muscovita e outros minerais de óxidos. Os resultados obtidos orientarão futuros experimentos visando otimizar a precipitação mineral de CO_2 , para a captura segura de carbono em subsuperfície.

Estudo das mudanças estruturais de catalisadores da linha de luz PAINEIRA

A PAINEIRA é uma estação experimental dedicada à caracterização estrutural de materiais policristalinos por difração de raios X (XRD). Neste primeiro semestre de funcionamento da PAINEIRA, foi feito um estudo das mudanças estruturais de catalisadores de óxido de cério modificados com lantânio. O foco dessa pesquisa é manipular a quantidade de defeitos estruturais causados na céria a partir de inserção de diferentes proporções de lantânio e do tratamento térmico para ativação do catalisador, aplicados na conversão direta do metano a produtos C_2 (etano e etileno). Os experimentos realizados na linha PAINEIRA foram feitos na etapa de ativação do catalisador, com fluxo controlado da mistura 3% H_2/He e aquecimento contínuo numa taxa de $5^\circ\text{C}/\text{min}$. Cada difratograma de raios X foi obtido em 20s com o detector rápido (PIMEGA 450D) em 20KeV. A Figura 109 mostra a evolução estrutural da amostra em função do tratamento termoquímico.

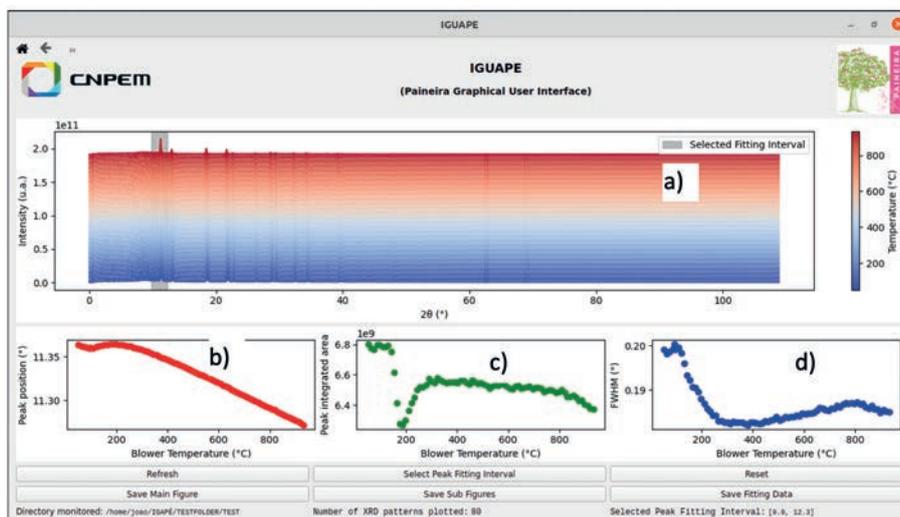


Figura 109: Padrões de difração de raios-X de amostras de CeO_2 modificada com La obtidos em experimento in-situ na linha PAINEIRA. Dados gerados pelo software IGUAPE desenvolvido pelo grupo PAINEIRA.

Vale destacar o software IGUAPE (Interface Gráfica para Usuários da PAINEIRA)⁴¹, em que os usuários visualizam os difratogramas de raios X à medida que o detector finaliza a aquisição e são plotados continuamente durante a cinética reacional (Figura 109a). É possível também escolher um pico de difração de interesse e obter gráficos da variação da posição do pico (Figura 109b), área integrada (Figura 109c) e da largura à meia altura (Figura 109d). Os resultados revelaram que houve a dilatação do parâmetro da rede cristalina da amostra com o aquecimento até 850°C. Isto foi observado através do gráfico Figura 109b, pois a posição do pico de difração está relacionada ao parâmetro de rede do cristal. No entanto, houve diminuição do tamanho médio de cristal (Figura 109d) até aproximadamente 250°C da sua abundância. Isso indica diminuição da regularidade da rede cristalina, o que pode estar relacionado com aumento de defeitos. A partir de aproximadamente 300°C, a abundância dos cristais se eleva (Figura 109c), mas o tamanho dos cristalitos aumenta de forma lenta. Estas características podem indicar aumentos da regularidade dos cristais, mas com defeitos na rede. Acima de 750°C, um processo de deformação da rede cristalina foi indicado.

Em resumo, os resultados estruturais podem fornecer subsídios para as melhores temperaturas de ativação dos catalisadores, em que se deseja ter maior quantidade de defeitos estruturais dos catalisadores.

Algoritmos para processamento de dados experimentais

Tomografia em Zoom

A tomografia local, ou tomografia em zoom, tem como objetivo alcançar uma maior resolução espacial nas medições. No entanto, esta técnica apresenta limitações devido à incompletude dos dados, uma vez que apenas uma pequena região no interior da amostra é observada. Essa configuração de tomografia é viabilizada pela geometria cônica do feixe de raios X da MOGNO, permitindo a ampliação das estruturas internas observadas e aumentando significativamente a resolução espacial. Na linha de luz MOGNO, é possível obter voxels de alguns micrômetros em medições de baixa resolução e de centenas de nanômetros em medições de alta resolução.

A implementação desse algoritmo é motivada pela necessidade de corrigir discrepâncias observadas entre as projeções *'forward'* calculadas e os dados medidos. Essas discrepâncias surgem ao usar as posições medidas pelos motores do sistema q-motion como parâmetros de entrada na função de reprojeção do código. Tais diferenças podem comprometer a precisão das projeções, afetando a qualidade das imagens e, por conseguinte, as análises e processamentos derivados delas. Essa abordagem é crucial para corrigir o sinograma, garantindo que as projeções *forward* sejam precisas e alinhadas com os dados reais.

Dessa forma, a implementação do algoritmo de correção de posição melhora significativamente a fidelidade das imagens projetadas. Ao realizar a correção de posição, o algoritmo garante que as coordenadas de projeção atualizadas estejam mais próximas das coordenadas desejadas, minimizando a diferença dentro de uma tolerância aceitável. Isso é feito através de um processo iterativo de otimização.

A Figura 110 ilustra uma fatia reconstruída de uma amostra e da região de interesse em condição de zoom, utilizando as técnicas de reprojeção desenvolvidas.

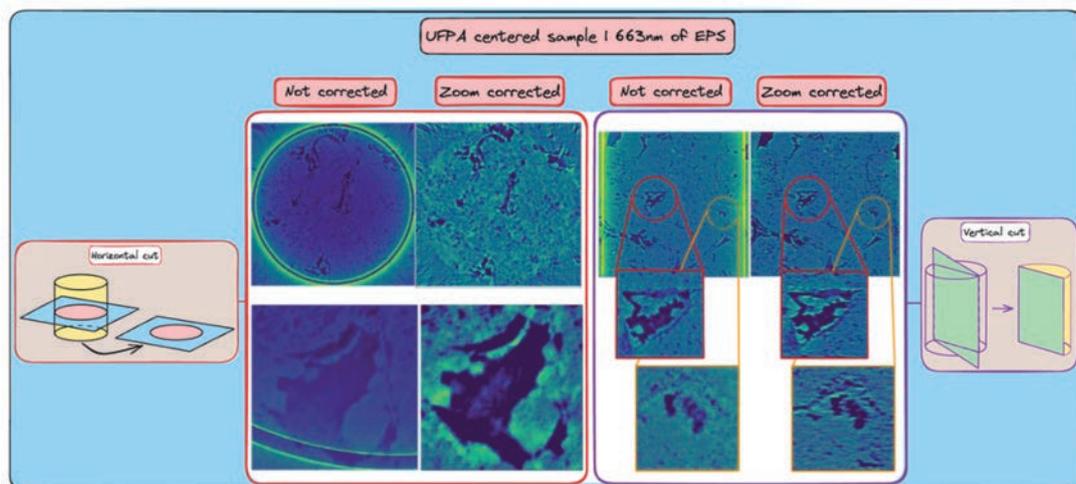


Figura 110: Reconstrução total e em região de interesse em condição de zoom.

41. O fornecimento de software é oriundo do projeto apoiado pela FAPESP (processo 2023/15615-2).

Gestão de dados experimentais

Catálogo de Dados e Rastreamento de Amostras

Os sistemas de catálogo de dados atuam como um repositório com metadados, descrições detalhadas das amostras e informações contextuais dos experimentos conduzidos nas linhas de luz. Tais sistemas ajudam a promover a governança, a qualidade, a segurança e a conformidade regulatória dos dados e metadados, além de apoiar a colaboração entre diferentes grupos de pesquisas.

O sistema ICAT é um sistema de catálogo de dados projetado para gerenciar e fornecer acesso a metadados científicos, que vem sendo utilizados em ambientes de pesquisa científica e grandes instalações de pesquisa no mundo, iniciado e mantido como um projeto de código aberto pelo European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) e colaboradores. O ICAT foi adotado como uma solução para organizar, gerenciar e facilitar o acesso aos dados produzidos no Sirius, provendo eficiência na descoberta de dados, qualidade e consistência, governança de dados, facilitação de colaborações, tomada de decisões baseada em dados e diminuição de redundância.

O CNPEM está atuando na adaptação e integração do sistema ICAT à sua infraestrutura computacional. A Figura 111 resume os principais componentes do sistema ICAT.

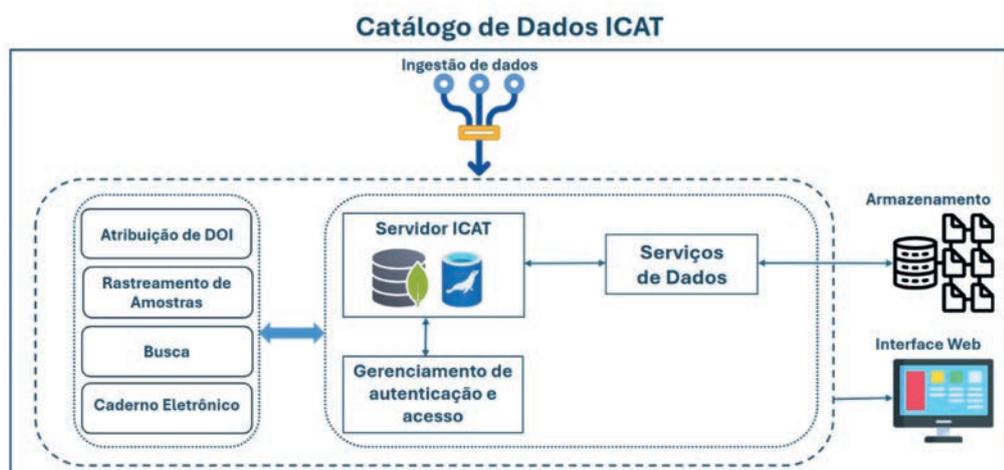


Figura 111: Arquitetura do sistema ICAT.

Dentre os principais componentes do ICAT está o Rastreamento de Amostras, o qual está sendo adaptado para suportar o rastreamento de experimentos cujas amostras são enviadas pelos usuários por correio, o chamado *mail-in*. O sistema de rastreamento de amostra tem como principais objetivos:

- Coleta de metadados, promovendo a coleta de metadados específico das amostras, que serão enviadas ao CNPEM via *mail-in*, e de parâmetros experimentais relevantes para a execução dos experimentos.
- Localização da amostra, permitindo localizar a amostra ao longo de seu trajeto desde o seu local de origem até as dependências do CNPEM.
- Gestão de porta-amostras das linhas de luz, facilitando o envio ao usuário e o rastreamento.

Plataformas para controle e aquisição de dados

Implantação de software de controle baseado em bluesky

Algumas linhas de luz do SIRIUS já se encontram em fase de operação e, para isso, utilizam softwares para orquestração de experimentos que foram, em sua maioria, desenvolvidas de forma independente ao longo do comissionamento científico da linha. Essas rotinas de orquestração de experimentos, em sua maioria, não padronizadas entre as linhas e muitas vezes baseados em pacotes com manutenção descontinuada (por exemplo, *py4syn* e *scan_utils*). Atualmente, boa parte dessas linhas enfrentam dificuldades com a falta de robustez e tempo morto, apresentando necessidades de correção de problemas e margem para melhorias.

Visando aumentar a capacidade de contribuição dos grupos de apoio para melhorias e correções em software para operação das linhas de luz e tornar essas soluções mais manuteníveis no longo prazo, foi iniciado, no primeiro semestre de 2024, um esforço de implementação de ferramentas e arquitetura que habilitasse o reaproveitamento de implementações entre as linhas de luz, além de garantir operação mais robusta e eficiente. Para este fim, adotou-se a *stack* do software do projeto *bluesky*, uma base de código iniciada pelo *Brookhaven National Laboratory* (BNL) como projeto de código aberto e que, atualmente, conta com contribuições de diversos laboratórios síncrotron.

Durante este primeiro semestre, foi dedicado tempo para estudo, testes e validações de conceitos de vários pacotes do Python e serviços do projeto *bluesky*, como (i) *ophyd*, para abstração de controle de dispositivos em linguagem Python; (ii) *bluesky*, para abstração de rotinas de scans; (iii) *queueserver*, como serviço de filas de tarefas, que possibilita unificar controle de experimentos e mover as rotinas para serem executadas em servidores dedicados,, tornando o ambiente de experimentos mais robusto a erros de operação; (iv) *httpserver*, como camada de autenticação e integração com soluções web, que possibilita utilização de interfaces gráficas web; (v) *kafka*, para stream de dados, facilitando a padronização do uso dos dados das linhas em diferentes visualizadores e rotinas que geram dados padronizados; e (vi) *bluesky-widgets*, que disponibilizou componentes para criação de uma interface gráfica de controle destes serviços.

Como resultado desses esforços, um conjunto de pacotes de software vem sendo desenvolvido a fim de unificar soluções para todas as linhas de luz do SIRIUS, com serviços padronizados e pacotes Python comum. Além disso, será providenciada uma organização de ambientes isolados e pacotes que possibilitem soluções específicas para cada uma das linhas de luz. O conjunto de software é chamado de *sophys: Sirius OPHyd and bluesky utilities*.

Esse conjunto de pacotes de software desenvolvido está sendo utilizado pelas linhas QUATI e SAPUCAIA. Em algumas das linhas de luz que já estão em operação, como EMA, MANACÁ e CARNAÚBA, está em andamento o processo de migração para a solução desenvolvida.

A Figura 112 exemplifica uma interface gráfica desenvolvida para controle e comunicação com os serviços da *stack* de software *bluesky* (*sophys-gui*).

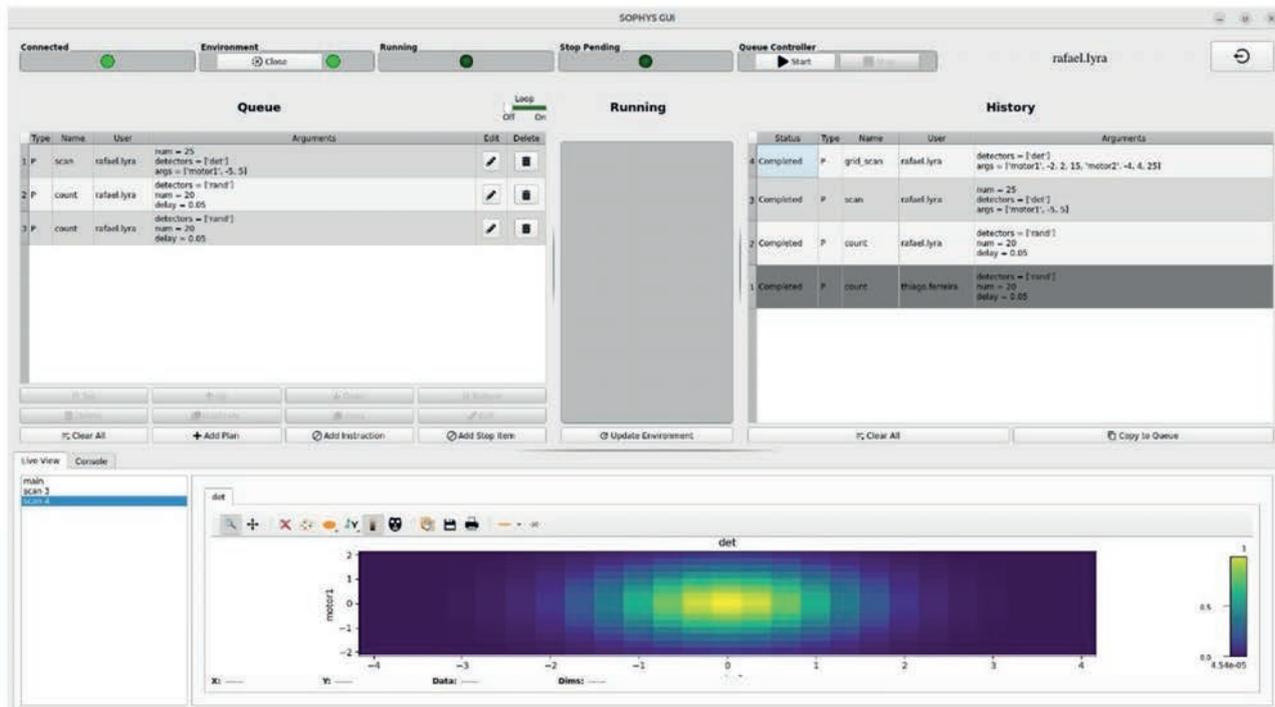


Figura 112: Interface gráfica *sophys-gui*.

Aceleradores

Instalação das cavidades de RF supercondutoras

Neste semestre, foi dada continuidade aos preparativos para a instalação das duas cavidades supercondutoras principais do anel de armazenamento do SIRIUS. A instalação está planejada para o segundo semestre deste ano, de 29 de julho a 19 de outubro. Estas cavidades serão importantes para que corrente armazenada no anel, hoje limitada em 100 mA, seja aumentada para aproximadamente 200 mA. A intensidade e o brilho das linhas de luz terão um aumento proporcional ao crescimento da corrente. Os preparativos neste primeiro semestre incluíram:

- Preparação de duas novas torres amplificadoras de potência de RF.
- Instalação e montagem de infraestrutura hidráulica, de eletrocalhas, suportes etc.
- Readequação da sala de fancoletes, furações no teto da blindagem, marcação de coordenadas para alinhamento etc.
- Fabricação, montagem e testes de bastidores do LLRF.
- Testes dos novos amplificadores de RF e cavidade combinadora.



Figura 113: Instalações RF em andamento na sala para receber as novas cavidades de RF supercondutoras.

Teste de aceitação de fábrica (FAT) dos dois onduladores IVU18

Os onduladores finais para as linhas EMA e PAINEIRA do SIRIUS foram definidos após estudos de alternativas e otimizações, como Onduladores do tipo *in-vacuum*, com período de 18.5 mm, campo magnético máximo efetivo de 1.22 T, e gap magnético de 4.2 mm. Os dois onduladores IVU18 foram contratados junto à *Shanghai Advanced Research Institute* (SARI) em dezembro de 2022. Após um ano e meio de fabricação, montagem e testes, foi realizado o *Factory Acceptance Test* (FAT), em maio de 2024. Durante o FAT, as observações incluíram os testes de *baking*, montagem na câmara de vácuo e movimentação dos IVUs. Os dois IVUs estão em trânsito marítimo para o Brasil e devem chegar para a instalação durante a parada longa do segundo semestre deste ano.

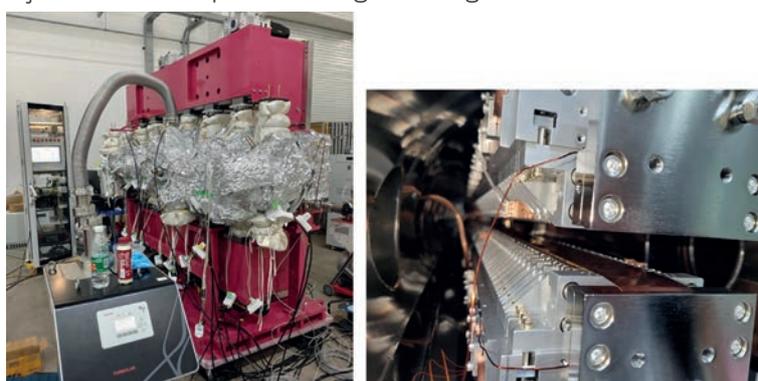


Figura 114: À esquerda, há um IVU18 montado e passando pelo procedimento de 'baking' durante o FAT no SARI. À direita, percebe-se um detalhe dos polos magnéticos montados com a folha de cobre para blindagem do feixe de elétrons.

Compra dos onduladores de polarização vertical (VPUs)

Os onduladores finais para as linhas CARNAÚBA e CATERETÊ foram definidos após estudos de otimização, como onduladores de polarização vertical (VPUs), híbridos, fora do vácuo, e com abertura de gap horizontal. Os parâmetros otimizados são: período de 29 mm, gap magnético de 9.7 mm e 51 períodos completos. A empresa Kyma foi a vencedora do processo de licitação. Neste primeiro semestre, foram elaborados, discutidos e aprovados os projetos conceituais e técnicos dos VPUs em seus aspectos magnéticos, mecânicos e de controle. Atualmente, os VPUs estão em fabricação na Kyma e a primeira unidade deverá estar pronta para embarcar para o Brasil em janeiro de 2025, enquanto a segunda unidade deverá embarcar em maio.

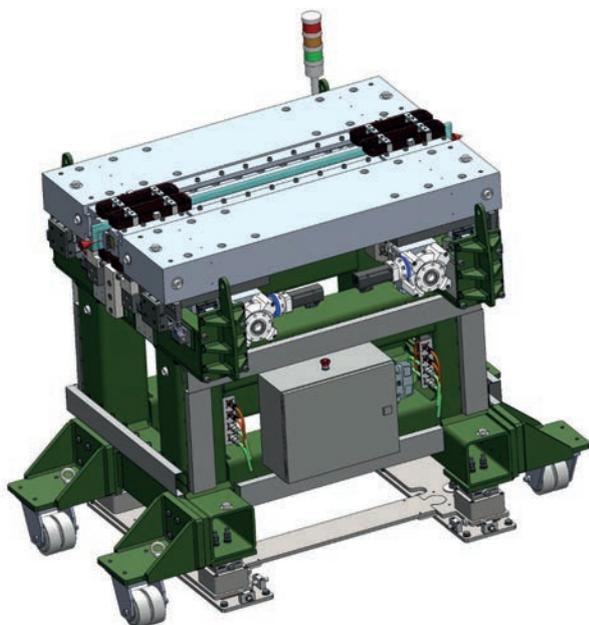


Figura 115: Desenho esquemático do ondulador VPU29, em fabricação na empresa Kyma, para as linhas CARNAÚBA e CATERETÊ.

Linhas de Luz – Fase 1

Linha de Luz SAPÊ

A linha de luz SAPÊ (*Spectroscopy Applied to Photoelectron Emission*) é dedicada a experimentos de espectroscopia de fotoemissão resolvida em ângulo (ARPES) com alta resolução em energia e momento dos fotoelétrons, na faixa do ultravioleta de vácuo (VUV). Esta linha tem como objetivo principal fornecer uma ferramenta avançada para a análise da estrutura eletrônica de materiais cristalinos, especialmente novos materiais como materiais topológicos e bidimensionais (2D). A SAPÊ permitirá à comunidade científica brasileira investigar propriedades eletrônicas fundamentais e fenômenos emergentes nesses materiais, promovendo avanços significativos na ciência dos materiais e suas aplicações tecnológicas.

Atualmente, está sendo realizada a instalação da infraestrutura de cabanas e utilidades na linha de luz. Durante o desenvolvimento do projeto, foram feitas várias etapas para garantir a eficiência e funcionalidade da infraestrutura. A instalação da estrutura metálica e do Isopainel utilizou placas com espessuras de 50 mm e 100 mm, otimizando a capacidade de suporte e o isolamento térmico e acústico. As utilidades da cabana, incluindo água de processo, ar comprimido, e recuperação de hélio, foram cuidadosamente integradas, com testes hidrostáticos realizados para assegurar a integridade dos sistemas.

O sistema de ar-condicionado HVAC foi projetado para manter a estabilidade térmica com

uma variação mínima de temperatura ($22 \pm 0,5^\circ\text{C}$) e baixo fluxo de ar, essencial para a qualidade dos experimentos. Este sistema inclui dutos de ar frio e quente, cassetes de ar-condicionado, e sensores de umidade e temperatura, todos estrategicamente posicionados para otimizar o desempenho. A instalação dos painéis elétricos e a programação do sistema foram etapas críticas para a funcionalidade global da infraestrutura.

A infraestrutura elétrica e de automação da linha SAPÊ foi extensa, com mais de 2 km de cabos e sistemas de energia UPS para proteger equipamentos sensíveis. A rede inclui conexões de 110GB/s e 10GB/s, com mais de 96 pontos de conexão e 5 km de cabos de controle e sinais distribuídos. Esses sistemas garantem uma operação contínua e estável, crucial para a precisão dos experimentos. A montagem dos quadros de distribuição, painéis de controle e testes de conectividade foram realizados para assegurar a funcionalidade antes do comissionamento técnico.

Atualmente, a maior parte das instalações foi concluída, com exceção do sistema de gases especiais, que está em fase de finalização e compra de componentes adicionais. Este sistema fornecerá gases críticos como oxigênio e hélio para diferentes áreas da linha de luz. A previsão é que a instalação completa seja concluída até o início de 2025, assegurando que todos os sistemas estejam plenamente operacionais e atendam às necessidades experimentais da linha SAPÊ.

Linha de Luz CARNAÚBA

A Estação Experimental SAPOTI é uma iniciativa pioneira na implementação de técnicas avançadas de raios X com nanofoco, operando em condições de vácuo e criogênicas. Lançado em 2018, este projeto visa atingir o menor tamanho de foco disponível no Sirius, com apenas 30 nm, e estabelecer novos padrões em resolução de imagem, com capacidade para atingir até 1 nm em 2D e 3D através de ptychografia e ptycho-tomografia. O sistema multimodal combina técnicas de absorção, difração, fluorescência e luminescência, e está equipado com infraestrutura de ponta, incluindo bancadas de granito, câmaras de vácuo, um complexo sistema de carregamento de amostras, módulos de acoplamento, estágios de amostras e espelhos KB. O desenvolvimento enfrentou desafios devido a interrupções causadas pela pandemia de COVID-19 e atrasos nas entregas, mas progrediu significativamente com a ajuda da consultoria holandesa MI-Partners, que teve um papel crucial nos componentes mais críticos.

No que se refere às inovações técnicas, a estação SAPOTI se destaca pelo desenvolvimento do estágio de amostras e do sistema de focalização de espelhos KB. O estágio de amostras é um dos sistemas mecatrônicos mais avançados do Sirius, projetado para a manipulação e posicionamento precisos das amostras para imagens 2D e tomografias. Esse módulo foi inicialmente comissionado na Holanda, sendo posteriormente ajustado no Brasil para garantir a compatibilidade com condições de vácuo e um desempenho térmico adequado. O sistema de focalização dos espelhos KB, por sua vez, demandou um design mecânico extremamente detalhado e atuadores piezoelétricos para cumprir com os exigentes requisitos de estabilidade de posicionamento de até 4 nm RMS, alcançando estabilidade térmica impressionante de menos de +10 mK pico-a-pico, mesmo antes da otimização do controle de temperatura.

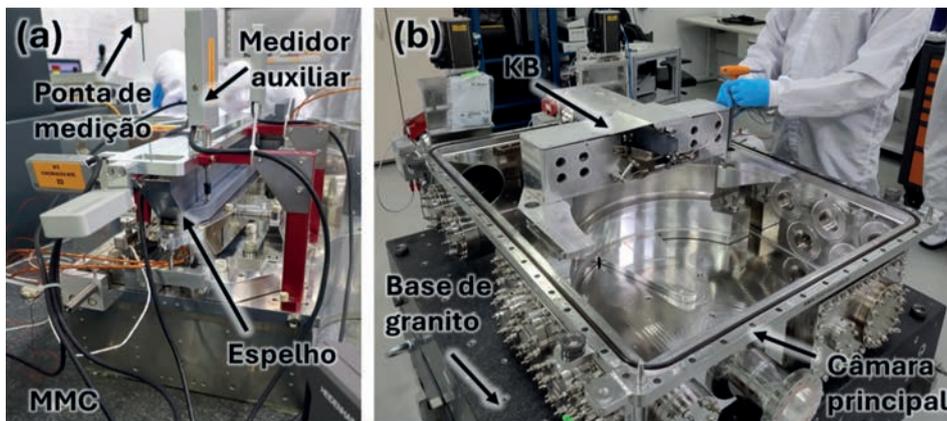


Figura 116: Módulo de espelhos KB: (a) durante metrologia e alinhamento assistido na máquina de medição por coordenadas (MMC), e (b) instalado na câmara principal.

Além disso, a SAPOTI incorpora inovações como refrigeração criogênica e automação avançada para o carregamento de amostras. O sistema de refrigeração criogênica utiliza um criostato do tipo Pulse Tube, inovador nas linhas de luz, especialmente projetado para manter as amostras abaixo de temperaturas críticas necessárias para a preservação de amostras biológicas. O carregamento e armazenamento de amostras ocorre em condições de vácuo e criogenia por meio de um robô tipo pinça, que transfere amostras de um carrossel criogênico para o estágio de amostras, mesclando procedimentos manuais e automatizados para maximizar tanto a segurança quanto a eficácia operacional. Essas características técnicas não apenas sublinham o compromisso com a inovação, mas também preparam a estação para futuras aplicações em biocontenção e outras áreas avançadas de pesquisa.

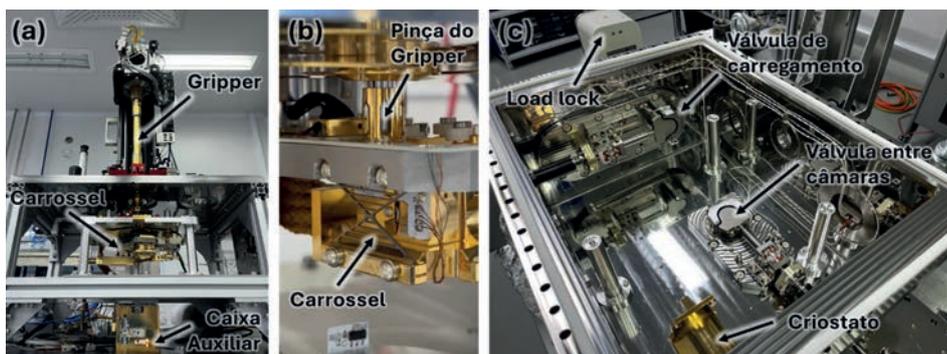


Figura 117: Módulo de carregamento de amostras. Em (a) e (b) os submódulos estão montados em uma jiga de testes para validações de alinhamento e rotinas de automação. Em (c) a câmara de carregamento é mostrada com alguns de seus componentes em espera dos demais componentes da jiga para finalização dos testes de vácuo e refrigeração.

Atualmente, o projeto SAPOTI encontra-se em estágio avançado de comissionamento off-line, com atividades centradas em uma sala limpa fora da linha de luz principal. A previsão é de que o comissionamento com feixe de raios X comece em dezembro de 2024. Apesar de atrasos iniciais, aproximadamente 90% dos objetivos de desenvolvimento e comissionamento foram atingidos. Os esforços recentes se concentraram em resolver desafios associados ao desempenho térmico criogênico e ao alinhamento final dos sistemas de carregamento e armazenamento de amostras. As expectativas são de que as etapas restantes sejam concluídas nos próximos meses, garantindo a transição para operações completas e possibilitando os primeiros experimentos científicos com feixe até o final do ano.

Linha de Luz MOGNO

A instalação de pesquisa do Sirius, conhecida como Microestação MOGNO, foi projetada para explorar a tomografia de alta resolução, utilizando a linha de luz MOGNO. Este projeto é dividido em três fases, com financiamento de duas grandes empresas de energia, a Petrobras e a Equinor. A primeira fase foca na infraestrutura principal para experimentos de microtomografia com troca rápida de amostras isoladas, enquanto a segunda e a terceira fases exploram μ -CT em condições variadas, como laboratório e semi-reservatório.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram feitas instalações críticas, como a base inercial longa de granito, que permite movimentos precisos com levitação a ar ou contato granito-granito, dependendo das necessidades do experimento. A montagem dessa base, junto com sistemas de elevação pneumáticos e trilhos metálicos, proporciona flexibilidade e precisão nos experimentos. Além disso, o pórtico da estação, que suporta os ambientes de amostra, foi cuidadosamente fabricado e montado para garantir a estabilidade e a segurança operacional.

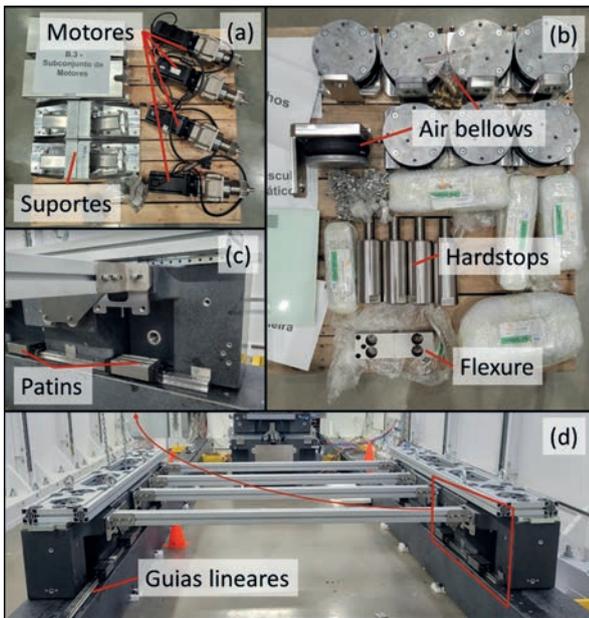


Figura 118: Status da base de interface. Motores e seus suportes aguardando montagem (a). Sistema de movimentação secundário (air bellows) aguardando montagem (b). Detalhe da base de interface mostrando patins e local de montagem dos air bellows (c). E montagem preliminar da base de interface na linha de luz (d).

A estação também inclui um sistema robótico *high throughput*, com um braço robótico e um carrssel de amostras projetados para automatizar o processamento de até 88 amostras em sequência. Isso minimiza a necessidade de intervenção manual e aumenta a eficiência dos experimentos. Este sistema robótico, juntamente com módulos intercambiáveis e estágios de movimentação vertical e horizontal, permite a realização de tomografias detalhadas com controle preciso sobre o posicionamento e a orientação das amostras.

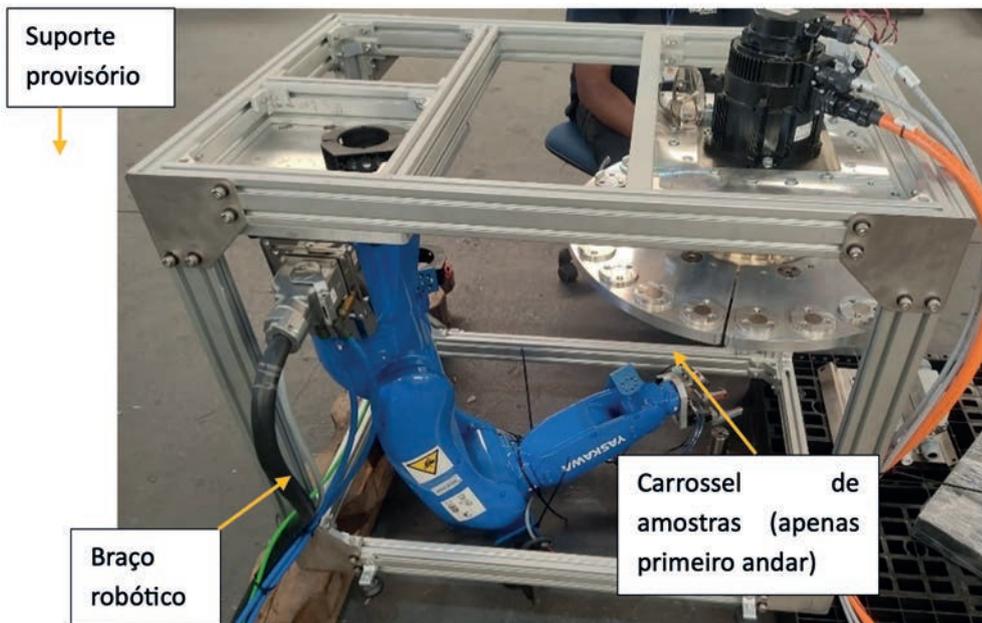


Figura 119: Conjunto robótico entregue.

No que tange à segurança e controle operacional, sistemas de intertravamento e interfaces de usuário foram integrados para assegurar operações seguras e facilitar o manejo dos experimentos pelos usuários. Essas interfaces permitem ajustes finos na posição das amostras, controle sobre os parâmetros da tomografia e integração com sistemas de identificação automática, como códigos QR nos porta-amostras.

Atualmente, a Microestação MOGNO está em fase final de montagem e preparação para o comissionamento técnico, com testes e integrações de subsistemas progredindo bem. Os sistemas de controle e monitoramento estão sendo finalizados para integrar completamente a estação ao funcionamento da Linha de Luz MOGNO.

Os próximos passos incluem a finalização da integração e comissionamento técnico dos sistemas em julho e agosto, seguidos pelo comissionamento científico no final de agosto de 2024, permitindo que a estação comece a operar plenamente.

Linha de Luz QUATI

A linha de luz QUATI é dedicada a experimentos de espectroscopia de absorção de raios X com alta resolução temporal e espacial. Esta linha permite a realização de técnicas como XANES (*X-Ray Absorption Near Edge Structure*), EXAFS (*Extended X-ray Absorption Fine Structure*) e XES (*X-ray Emission Spectroscopy*). Além disso, a QUATI combina raios X com espectrometria de massas, espectroscopia Raman e infravermelha, ampliando as capacidades de análise dos materiais estudados. Operando na faixa de energia de 4.5 a 35 keV, a linha é capaz de estudar a borda K do titânio até o xenônio, além das bordas L dos demais elementos da tabela periódica. Esta flexibilidade permite a investigação de uma ampla gama de materiais, desde catalisadores e nanomateriais até amostras biológicas e ambientais, sob condições *operando* e *in situ*, oferecendo uma visão detalhada de suas propriedades estruturais e funcionais.

O projeto QUATI focou na investigação da dinâmica de materiais funcionais sob condições realistas, utilizando uma fonte de radiação a partir do ímã defletor de 3.2 T. Esta configuração permite fornecer um alto fluxo de fótons monocromáticos, variando de 10^{10} a 10^{11} fótons por segundo, garantindo medições de alta

qualidade e evitando danos a amostras sensíveis. A infraestrutura da linha inclui uma mesa experimental móvel que pode se deslocar até 25 metros, ajustando o tamanho do feixe na amostra de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ a 6 mm. Esta capacidade de ajuste é essencial para adaptar o feixe às necessidades específicas de cada experimento, garantindo resultados precisos e reprodutíveis, além de proteger amostras sensíveis da alta densidade de fluxo de fótons.

Dentre os desenvolvimentos realizados no projeto, destaca-se a instalação das cabanas da linha de luz QUATI, que incluem infraestrutura mecânica e elétrica completas. A instrumentação está em fase de instalação ou comissionamento, como exemplificado pelo monocromador HD-DCM-Lite, que passou por validações de estanqueidade e movimentação em alta frequência. Este equipamento é crucial para a seleção precisa da energia dos fótons, permitindo realizar experimentos com alta resolução. O monocromador HD-DCM-Lite é um desenvolvimento do LNLS e representa um avanço significativo na tecnologia de controle e estabilidade de monocromadores, garantindo a qualidade dos dados coletados.

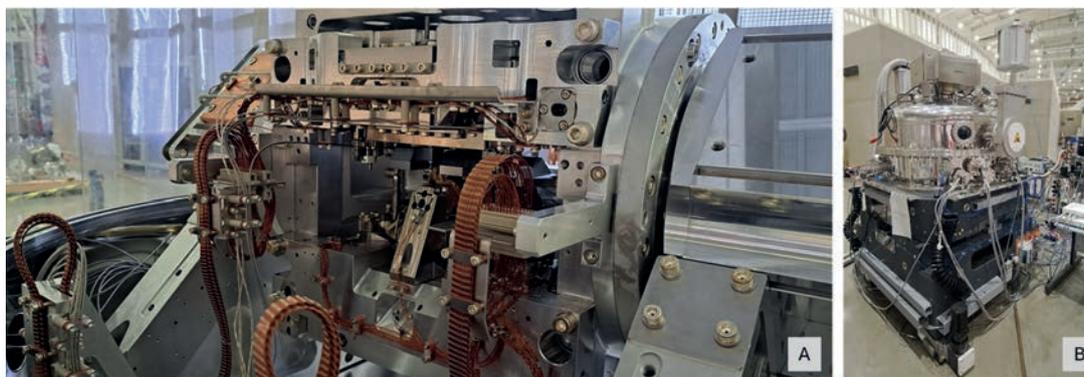


Figura 120 - Monocromador da linha QUATI durante montagem (A) e durante teste de refrigeração já no interior da câmara de vácuo (B).

A fonte de raios X da linha QUATI utiliza um dipolo BC, com campo magnético de 3.2 T, que fornece radiação com energia crítica de 19.15 keV. Todos os componentes do front-end já foram instalados, incluindo intervenções para realinhamento e reposicionamento de alguns componentes, culminando com o recebimento do primeiro feixe no *front-end*. As rampas de corrente realizadas entre outubro de 2023 e janeiro de 2024 permitiram o degas da máscara fixa, das fendas de feixe branco e do dispositivo de vácuo. Este processo é essencial para garantir que o sistema opere em condições ideais, minimizando a presença de contaminantes que possam afetar a qualidade do feixe.

Outro item crucial é o espelho M1, instalado após calibrações do bender, e o sistema de distribuição de gás para estudos *in situ* e *operando*. Este sistema permite trabalhar com diversos tipos de gases, com vazões e pressões controladas, integrando-se à mesa experimental móvel que ajusta o tamanho do feixe na amostra. A distribuição de gases é vital para experimentos que envolvem reações químicas sob condições controladas, permitindo a investigação detalhada de processos catalíticos e outras reações químicas em tempo real. A precisão na entrega e controle dos gases é garantida por um sistema de válvulas automatizado, controlado por software desenvolvido pela equipe da linha.

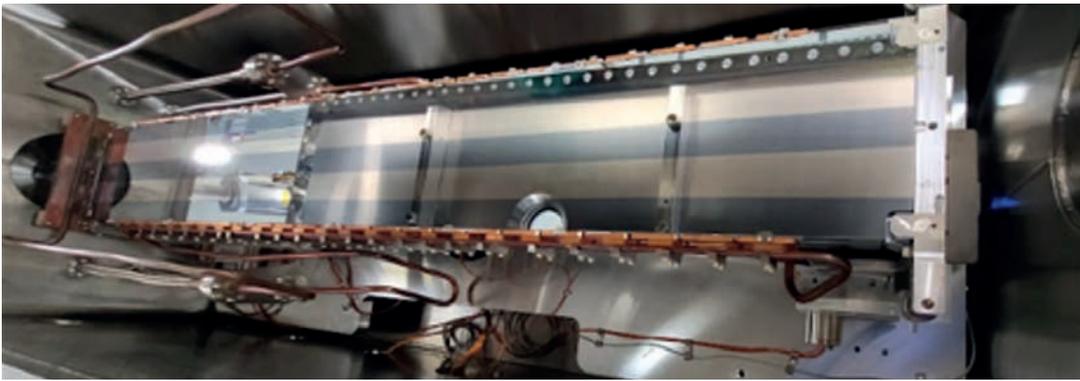


Figura 121 – Espelho M1 da linha QUATI no dia da instalação, antes do fechamento da câmara.

Os detectores principais da linha QUATI, assim como as câmaras de ionização, foram instalados e estão em fase de comissionamento. Estes detectores são preenchidos com gases como He, Ar, N₂ e Kr, adaptados à energia de trabalho. Um sistema automático de troca de gases foi desenvolvido, com controle de software já em fase de teste. Este sistema permite a otimização da mistura de gases para cada experimento, garantindo uma absorção adequada em cada câmara de ionização. A instalação destes detectores é fundamental para a obtenção de dados precisos de absorção de raios X, essenciais para a análise das propriedades estruturais e eletrônicas dos materiais.

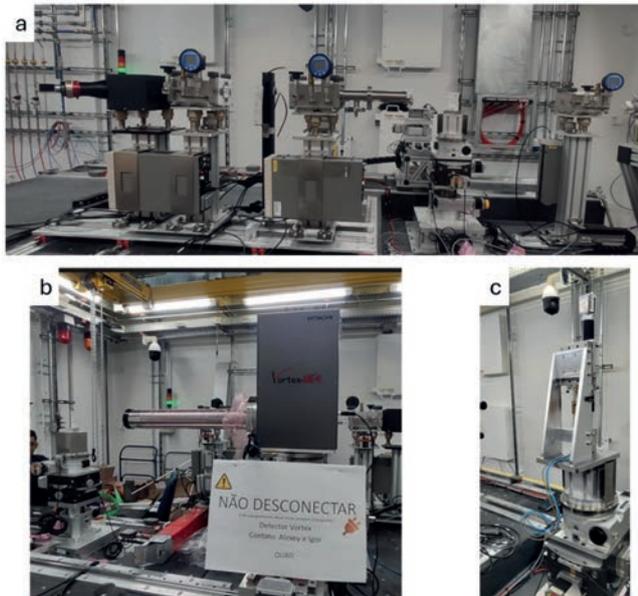


Figura 122. Detetores instalados na mesa experimental da linha QUATI.

A mesa experimental foi projetada para acomodar diferentes setups, permitindo grande flexibilidade. Equipamentos pré-instalados permitem realizar experimentos com movimentação da mesa até 25 metros, ajustando o tamanho do feixe e a densidade de fótons na amostra. Além disso, um sistema de esteira movimenta toda a infraestrutura elétrica e de gás da mesa. Esta capacidade de movimentação é suportada por uma base de granito, cujos blocos foram alinhados com precisão utilizando equipamentos de metrologia avançada. A integração de movimentação e controle é essencial para garantir que os experimentos possam ser configurados rapidamente e com alta precisão, aumentando a eficiência das operações da linha.



Figura 123 – Visão geral da estação experimental da linha QUATI.

O criostato da Janis, parte da configuração 2, proporcionará a análise de amostras em baixa temperatura, alcançando até 4K (-269°C). Isso é essencial para garantir a ausência de vibração na amostra, preservando a qualidade dos dados de XAS. Este criostato será implementado até o final de 2024. O uso de temperaturas criogênicas permite a investigação de materiais em estados únicos, inacessíveis em condições normais de temperatura, proporcionando *insights* valiosos sobre suas propriedades físicas e químicas. A estabilidade e a uniformidade da temperatura são mantidas através de um sistema de vaporização de líquidos criogênicos, minimizando as perturbações vibracionais.

Componentes adicionais, como fendas, diagnósticos e atenuadores, foram instalados para definir, atenuar e visualizar a forma do feixe de raio X. Esses elementos são cruciais para entender a propagação do feixe ao longo da linha e garantir a correta focalização do feixe de raio X. A fenda permite ajustar o tamanho do feixe, enquanto o sistema de diagnóstico de visualização de feixe utiliza um cristal de Yag para converter raios X em luz visível, facilitando a análise e ajuste do feixe. O conjunto de atenuadores é utilizado para reduzir a intensidade do feixe, protegendo amostras sensíveis durante os experimentos.

O status atual do projeto QUATI indica que a maior parte dos elementos estão instalados e em fase final de testes. O comissionamento técnico começará em 2024, com o comissionamento científico previsto entre o final de 2024 e início de 2025, após a parada prevista entre agosto e outubro de 2024. Durante este período, ajustes finais e calibrações serão realizados para garantir que todos os sistemas operem de acordo com as especificações. A continuidade do projeto depende da conclusão bem-sucedida destas etapas, garantindo que a linha de luz QUATI esteja totalmente operacional e pronta para receber usuários e iniciar experimentos científicos de ponta.

Linha de Luz SAPUCAIA

O projeto da linha de luz SAPUCAIA concentra-se na técnica de espalhamento de raios X a baixos ângulos (SAXS), essencial para o estudo de sistemas nanométricos. Para otimizar a utilização dessa técnica, foram projetados sete sistemas experimentais: (i) Biocube, (ii) Sistemas de porta amostras sólidas (PAS), (iii) CAPIVARAS (Capillary in-vacuum robotic auto-sampler), (iv) PAS-Linkan, (v) sistemas de medidas em microfluídica, (vi) Sistema de medidas de SAXS com resolução temporal (*stopped flow*) e (vii) Sistemas de medidas utilizando capilares. O foco inicial foi concentrado nos sistemas (i) Biocube, (ii) Sistemas de porta amostras sólidas (PAS), considerados os mais utilizados. Os sistemas visam acomodar amostras sólidas e líquidas, permitindo uma ampla variedade de estudos experimentais.

Os projetos dos sistemas experimentais estão em diferentes estágios de finalização devido a decisões estratégicas. As aquisições dos componentes necessários para estes sistemas também foram realizadas parcialmente, seguindo o progresso do desenvolvimento de cada um. Este planejamento detalhado ajudou a garantir que os esforços fossem concentrados nos sistemas mais críticos inicialmente.

A montagem dos sistemas experimentais Biocube e PAS avançou, com o sistema Biocube completamente montado e o sistema PAS 80% concluído, pendente de revisão de componentes. Os demais sistemas não começaram a ser montados, seguindo a priorização estabelecida. A integração destes sistemas na linha SAPUCAIA é crucial para o avanço do comissionamento técnico e científico.

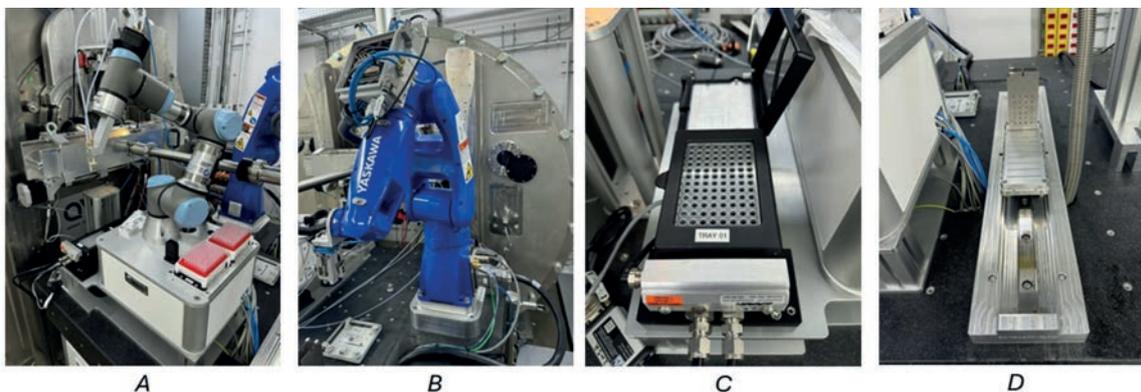


Figura 124: Sistemas experimentais Biocube (A) e PAS (B), juntamente com os respectivos portas amostras para sistemas de líquidos (C) e de sólidos (D).

Paralelamente, o comissionamento técnico da linha foi iniciado, focando na otimização da ótica e na calibração do detector. A otimização abrangeu desde a calibração do ondulador de raios X até ajustes finos dos componentes óticos para maximizar a qualidade e estabilidade do feixe de raios X. O detector 540D da PITEC, essencial para as medições de SAXS, está em processo de otimização e calibração.

Com o sistema ótico e o detector em fase de ajustes finais, foram realizadas as primeiras medidas de amostras conhecidas, fundamentais para a calibração da distância até o detector e para ajustes de precisão na linha. Essas atividades são essenciais antes de iniciar os experimentos com usuários externos, garantindo que a linha opere conforme o esperado e ofereça dados de alta qualidade.

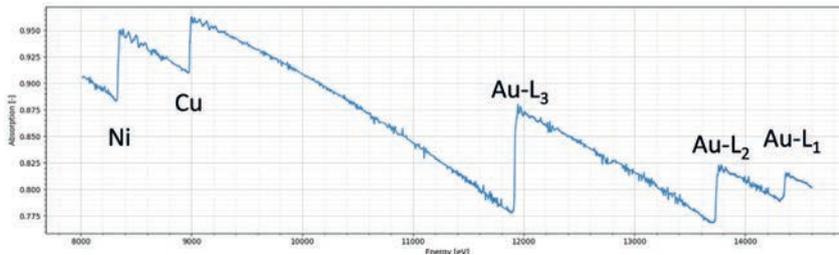


Figura 125: Medidas da borda de absorção dos elementos níquel, cobre e ouro para a calibração da fonte da linha SAPUCAIA.

O status atual indica que o comissionamento técnico e científico está avançando bem, com os sistemas Biocube e PAS em fase final de montagem e os ajustes no detector e ótica em progresso. A expectativa é que o sistema PAS esteja operacional entre outubro e novembro de 2024, após o qual a linha estará pronta para receber pesquisadores externos e iniciar uma série de experimentos em SAXS.

Os próximos passos incluem a conclusão do comissionamento dos sistemas e o início dos experimentos com usuários externos, planejados para começar na segunda quinzena de novembro de 2024. Essa fase é crucial para testar completamente a funcionalidade da linha SAPUCAIA e garantir que ela atenda às necessidades dos pesquisadores na técnica de SAXS.

LMT – Laboratório de Microtomia

O Laboratório de Microtomia (LMT) é dedicado à preparação de amostras biológicas e materiais macios para análises estruturais e químicas. Equipado para operar com cortes ultrafinos entre 20 e 150 nm, o laboratório utiliza um ultramiotomoto que funciona tanto em temperatura ambiente quanto em condições criogênicas. Este equipamento é essencial para preparar amostras que serão analisadas nas linhas de luz do laboratório, possibilitando estudos avançados em microscopia eletrônica e outras técnicas dependentes de cortes de precisão.

Durante o desenvolvimento do projeto, a infraestrutura essencial, como instalação

elétrica, iluminação adequada com lâmpadas e LEDs, sistemas de climatização HVAC e linhas de gás comprimido e nitrogênio, foi completamente estabelecida. O mobiliário técnico necessário para o manejo e preparação das amostras também já foi instalado, integrando-se à infraestrutura existente para otimizar o fluxo de trabalho no laboratório. O equipamento central, um ultramiotomoto Leica EM UC7, está planejado para ser equipado com um acessório Leica EM FC7 para cortes criogênicos, demonstrando o compromisso do laboratório com a capacitação técnica de alta precisão.



Figura 126: Mobiliário técnico instalado no Laboratório de Microtomia (LMT), integrado à infraestrutura de gases e elétrica, permitindo o uso de LEDs, tomadas e gases na bancada de trabalho para a preparação e manipulação de amostras.

Atualmente, o LMT encontra-se em estágio avançado de preparação para entrar em operação plena. A infraestrutura e o mobiliário técnico estão prontos, e a fase de aquisição do ultramicrótomo Leica e outros equipamentos essenciais está em andamento. Estes equipamentos são fundamentais para a operacionalização do laboratório e para assegurar que ele desempenhe eficazmente seu papel no suporte às pesquisas e desenvolvimento científico. A integração de equipamentos adicionais, como o *Knifemaker* para fabricação de navalhas e o AFM Holder para preparo de amostras ultrafinas, está programada para ampliar ainda mais as capacidades do laboratório.

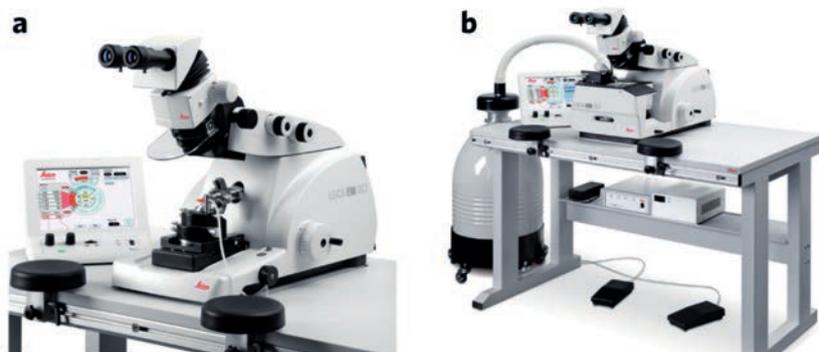


Figura 127: Equipamentos utilizados para a realização de cortes ultrafinos. a) Ultramicrótomo Leica EM UC7, b) Acessório Leica EM FC7 acoplado ao ultramicrótomo Leica EM UC7. A bancada pneumática em destaque em b, bem como o Dewar conectado ao equipamento serão adquiridos em conjunto com o Leica EM UC7 e o Leica EM FC7.

A aquisição e instalação dos equipamentos está prevista para o início de 2025. Uma vez que os equipamentos sejam instalados e os testes operacionais concluídos, o LMT estará apto a iniciar suas atividades, contribuindo significativamente para as pesquisas realizadas em ciência de materiais e biologia estrutural.

Linhas de Luz – Fase 2

A Fase 2 do projeto Sirius é mais um avanço significativo no desenvolvimento das capacidades de pesquisa científica no Brasil. Esta etapa amplia ainda mais as fronteiras da ciência nacional e fortalece o papel do país no cenário global de inovação tecnológica. Com o desenvolvimento de novas linhas de luz e laboratórios especializados, os novos desenvolvimentos visam a investigação de fenômenos fundamentais e aplicados, permitindo avanços importantes em diversas áreas do conhecimento. O projeto Sirius, ao proporcionar acesso a ferramentas de última geração, capacita os pesquisadores a explorarem novas fronteiras científicas, promovendo descobertas que podem beneficiar a sociedade e a economia.

Cada linha de luz desenvolvida na Fase 2 do Sirius possui um foco científico específico e essencial para diferentes campos de

estudo. Atualmente estão em curso o projeto das primeiras 4 linhas, de 10 previstas para essa fase. A linha TATU, por exemplo, é voltada para a nanoespectroscopia de THz/Far-IR, facilitando pesquisas sobre novos materiais e estruturas biológicas. A linha TEIÚ dedica-se à espectromicroscopia de raios X para estudos *in situ*, abrangendo áreas como ciências agroambientais, patrimônio cultural e armazenamento de energia. A linha ARIRANHA, com sua flexibilidade instrumental, atende a necessidades internas do Centro e de pesquisadores externos, desenvolvendo detectores e componentes ópticos. Finalmente, a linha SUSSURANA, com foco em materiais e metalurgia, permitirá estudos em alta energia, viabilizando análises de materiais de grandes dimensões e processos industriais, alinhando-se às demandas da indústria brasileira.

Linha de Luz TATU

A linha de luz TATU, do acrônimo “*Terahertz and fAr-IR Tip-enhanced Ultramicroscopy*”, é a nova estação do Sirius dedicada à nanoespectroscopia de THz/Far-IR síncrotron. O desenvolvimento estenderá o alcance analítico do Sirius aos fenômenos vibracionais e rotacionais de baixíssimas energias e assim beneficiará áreas de pesquisas associadas a novos materiais como MXenes, isolantes topológicos fotônicos e estudos associados à estrutura primária de proteínas em sistemas biológicos. Todas estas frentes elencam

materiais com atividade vibracional nas faixas de far-IR e THz.

No primeiro semestre de 2024, diversas equipes do LNLS se dedicaram às definições conceituais deste projeto em sintonia com os requisitos experimentais da modalidade de pesquisa. Um dos primeiros pontos conceituais a serem definidos foi a nova câmara de dipolo, que deve permitir um aumento em fluxo de mais de 10 vezes na faixa de mid-IR e de mais de 30x na faixa de far-IR/THz (faixa de interesse da TATU).

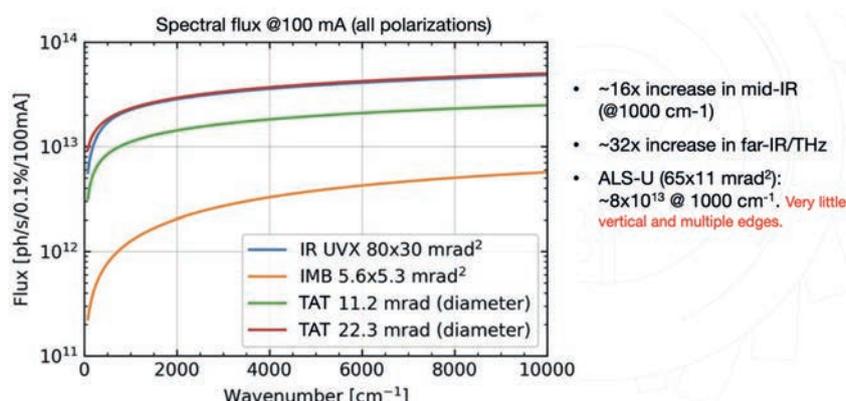


Figura 128: Fluxos espectrais comparados, incluindo os previstos para a linha TATU em comparação com a atual IMBUIA e IR (antigo UVX)

Nesta etapa, também foi definida a óptica de extração (espelho M1), sendo um espelho único focalizador (óptica elíptica) a produzir uma fonte secundária na estação experimental (6 m da fonte). Uma das principais preocupações foi com a extração da carga térmica. O design com um canal central para passagem dos raios X e UV permitirá que mais de 98% da carga térmica gerada não interaja com o espelho e que 90% da radiação na faixa de IR-THz seja preservada e refletida para a estação experimental, mantendo o desempenho da linha.

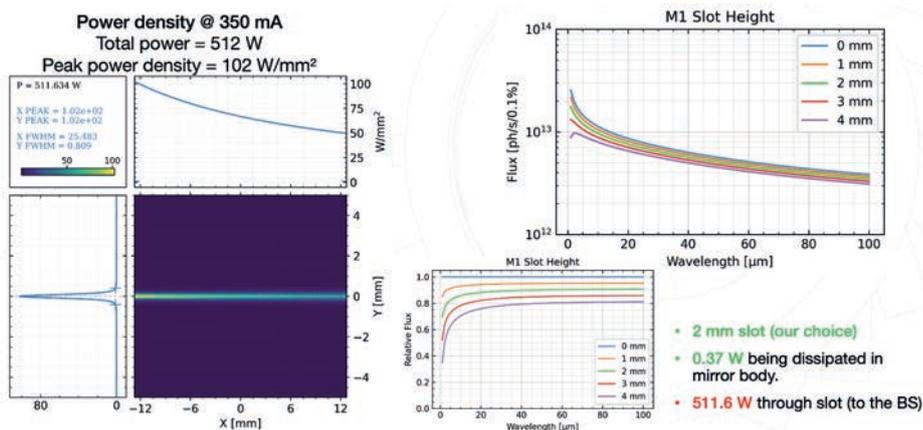


Figura 129: Simulações da carga térmica no espelho M1

Na estação experimental, foi definido um arranjo padrão de microscopia de varredura no campo próximo do tipo espalhamento (s-SNOM), cujo nanoscópio foi projetado de forma a otimizar a focalização de THz e a operação motorizada do instrumento.

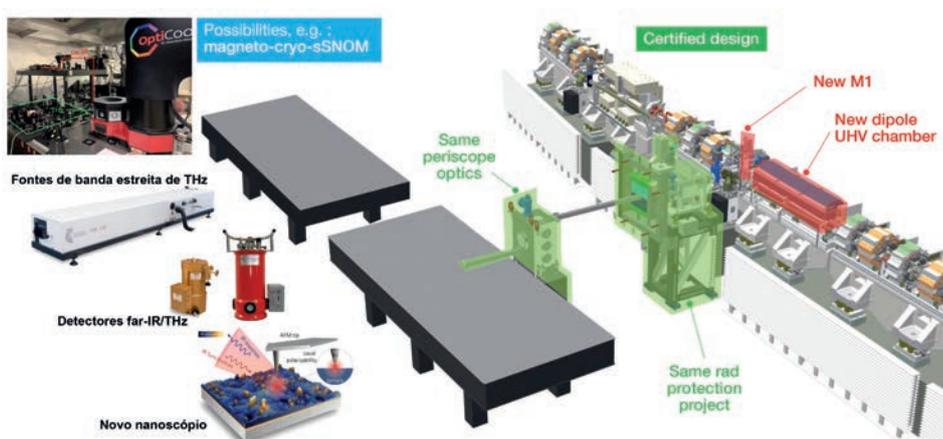


Figura 130: Arranjo experimental da linha TATU

Alguns resultados importantes já foram obtidos após a fase conceitual do projeto, como o início da fabricação de um protótipo de câmara de dipolo com porta de extração especial para THz. O projeto é pioneiro no mundo e possui desafios importantes para a construção, principalmente na execução de brasagem de alta precisão. Os projetos finais do *front-end* e da infraestrutura também foram finalizados e estão em início de construção. Por ser uma linha de baixa energia, a linha TATU não requer blindagem com proteção radiológica em suas paredes. Assim, a infraestrutura da linha é baseada numa estrutura metálica que fará a sustentação de paredes e tetos de isopainéis.

Linha de Luz TEIÚ

A linha de luz TEIÚ (*T*ENDER X-Ray Spectromicroscopy for *In-sitU* Experiments) será dedicada à microscopia de raios X, explorando técnicas de fotoabsorção (XAS), fluorescência (XRF), luminescência (XEOL) e difração (XRD) em diferentes condições ambientais para estudos *in situ*. A linha cobrirá a faixa de 1 a 10 keV para o estudo de amostras heterogêneas e multielementares, buscando a compreensão da dinâmica estrutural, morfológica e química dos materiais nos domínios das ciências agroambientais (solos e plantas), patrimônio histórico e cultural (fósseis, objetos de arte), e coleta e armazenamento de energia (baterias, energia solar células, células solares).

O desenho conceitual da linha de luz (Figura 131) e os cálculos preliminares da óptica da linha de luz foram realizados, permitindo validar as escolhas dos respectivos instrumentos e seus posicionamentos ao longo da linha e dentro da blindagem do Sirius. A fonte escolhida como sendo mais adaptada para a região de interesse da linha, a de raios X tender, foi a fonte do ímã defletor BC. A óptica da linha será baseada em espelhos focalizantes, incluindo uma ótica KB. Esse desenho é compatível com as premissas de utilização da linha voltado para a área agroambiental, cobrindo uma faixa em energia de 1 a 10 keV.

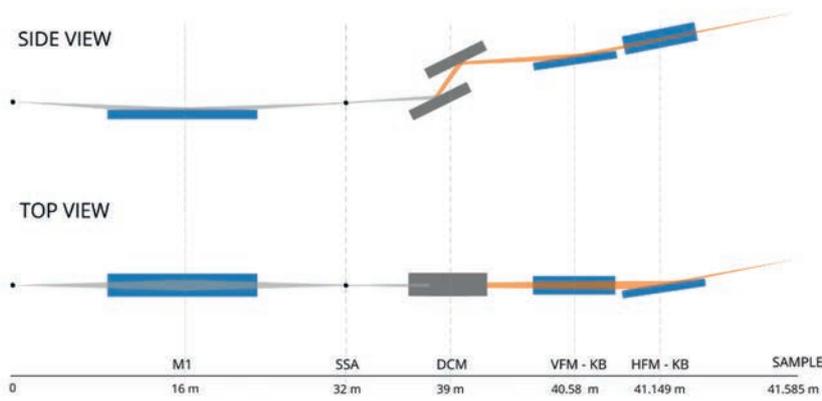


Figura 131: Desenho conceitual da linha de luz TEIU, indicando seus elementos ópticos principais.

Com o desenho da linha definido, torna-se possível o cálculo das potências de radiação e sua densidade em cada um dos elementos ópticos. Esse ainda é um ponto em aberto, mas as simulações indicam que o primeiro espelho de silício recoberto de níquel, operando num ângulo de incidência de 5 mrad, seria capaz de absorver a maioria da potência, mesmo com refrigeração a água, e permitiria o mesmo cenário para os demais elementos. Essa questão é um ótimo fator de simplificação e de redução de custo, quando comparada com a refrigeração por nitrogênio líquido.

Na estação experimental, os espelhos KB focalizam a fonte secundária na posição da amostra, produzindo uma sonda de dimensões sub-micrométricas. As dimensões dessa fonte, um pouco abaixo do micrometro, calculada para a energia de 5 keV é mostrada na Figura 132.

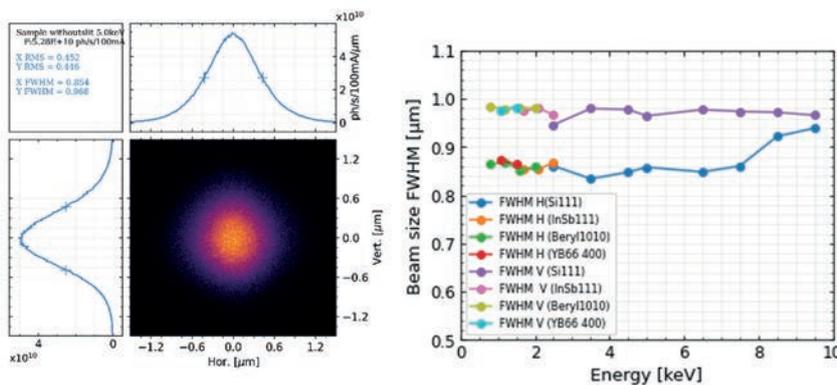


Figura 132: a) Fonte secundária focalizada na posição da amostra através dos espelhos KB. b) Tamanho do feixe focalizado em função da energia de trabalho da linha.

Os próximos passos do projeto incluem aprofundar o desenho da ótica e da estação experimental, com a sequente aquisição e construção dos componentes.

Linha de Luz ARIRANHA

A linha de luz ARIRANHA destina-se ao avanço da pesquisa instrumental e de imagem para feixes de fótons. Ela é projetada para atender às necessidades internas do Centro, bem como de pesquisadores externos. As principais motivações estão no desenvolvimento de detectores híbridos de contagem de fótons (*HPC – Hybrid Photon Counting*), componentes ópticos difrativos (e.g. monocromadores), refrativos (lentes refrativas compostas – CRLs) e reflexivos (espelhos mono- e multicamadas) e sistemas mecatrônicos de dispositivos como monocromadores, não se restringindo a esses exemplos.

De forma geral, o diferencial da linha será a sua flexibilidade para permitir ensaios e testes diversos, compatível com a diversidade de requisitos instrumentais que diferentes linhas de luz apresentam. Por conta disso, podemos listar requisitos que atendam tais demandas de forma efetiva.

Dentre as definições propostas, estão o uso de um ondulador APU22 (Adjustable Phase Undulator) para cobrir a faixa de energia entre 2 e 30 keV, o uso de um monocromador HD-DCM compostos por um par de cristais Si(111) para permitir também o uso de feixe “pink” (policromático, com $\Delta E/E \sim 10^{-2}$) e um par de espelhos do tipo Kirkpatrick-Bayer (K-B) para focalização vertical e horizontal, que já existem no Sirius. A configuração inicial está na figura a seguir.

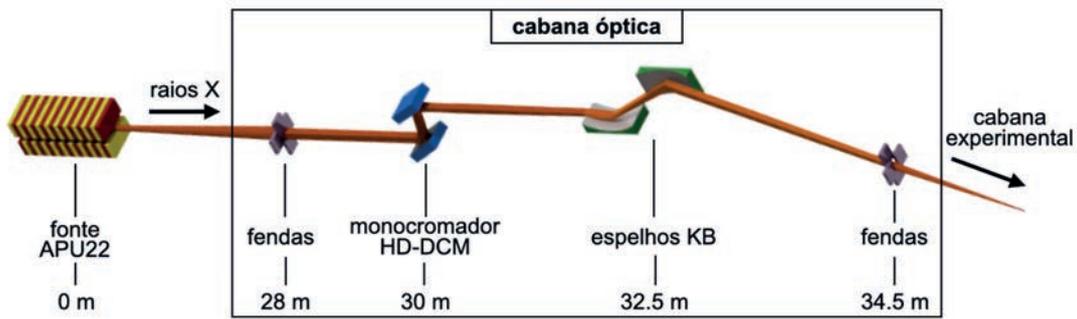


Figura 133. Elementos da cabana óptica. Abaixo da descrição dos elementos é mostrada a distância com relação a fonte APU22.

Para a cabana experimental, a qual deverá ser flexível para atender principalmente as demandas de instrumentação, estão previstas a instalação de um reflectômetro PTB, um difratômetro 4-cículos (3S+1D), uma mesa óptica, e um difratômetro 6-cículos. Todos os equipamentos estão expostos nas Figura 134(a)-(d), onde também se encontra a posição de cada equipamento e distância relativa com a fonte.

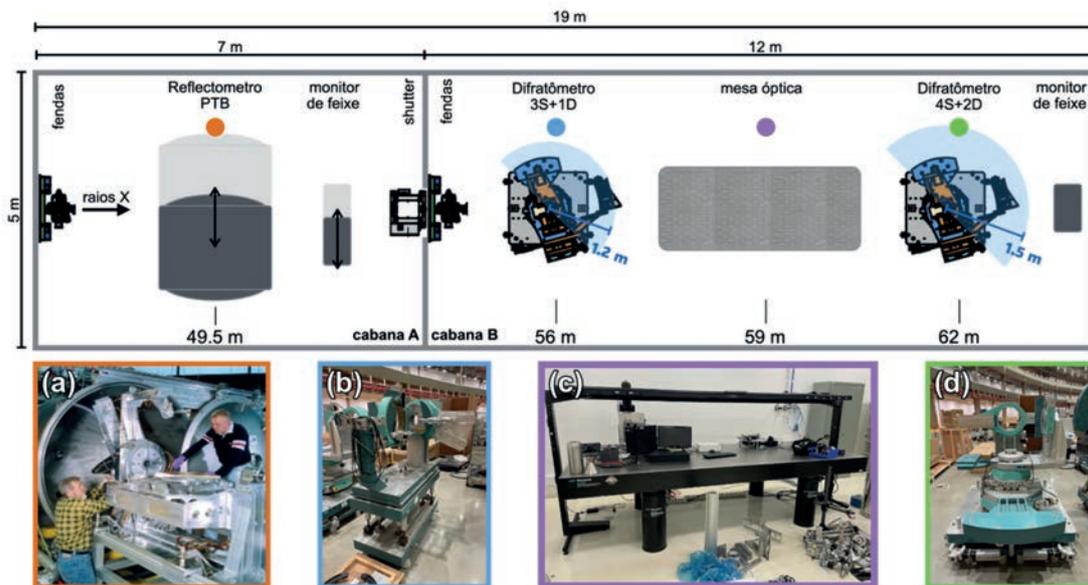


Figura 134. Acima, vista geral da cabana experimental, com detalhe para a separação entre cabana A e cabana B. Abaixo, imagens dos equipamentos que serão instalados: (a) reflectômetro PTB, (b) difratômetro 4-cículos, (c) mesa óptica, (d) difratômetro 6-cículos. Representação fora de escala.

A validação da escolha desses dispositivos é necessária para que o uso da linha possa ser feito com flexibilidade desejada. Alguns parâmetros-chave precisam de caracterização e otimização por meio de simulações, como o fluxo espectral da fonte que apontou uma energia mínima de 5.7 keV, a reflectância dos espelhos K-B que apontou pelo menos ~ 80% de feixe refletido. Por fim, o fluxo e resolução em energia e o tamanho e divergência de feixe simulados, quando combinados com as escolhas de distância, levam ao perfil de feixe que se espera encontrar.

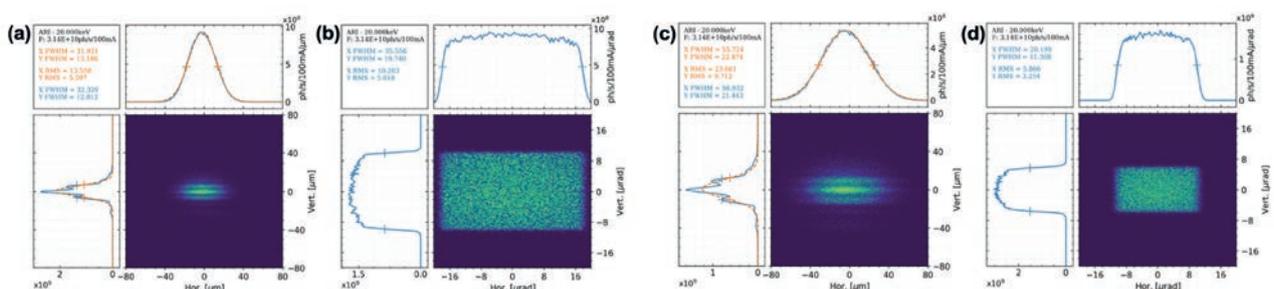


Figura 135. Perfil de feixe e divergência (no plano horizontal x vertical) esperada para o reflectômetro (a,b) e para o difratômetro 4S+2D (c,d), respectivamente.

Com os resultados apresentados até aqui, pode-se afirmar que os requisitos apresentados devem ser alcançados. Também é possível explorar mais cenários com supressão ou uso de novos componentes, como o uso de lentes refrativas combinadas com sistemas de focalização por policapilares, o que deve ser pensado em detalhe ao longo do projeto.

Dessa forma, a linha de luz fica com especificações atraentes também para usuários externos com propósitos genéricos experimentalmente. Tais usuários poderão encontrar na ARIRANHA um ambiente focado em montagens genéricas que, por vezes, podem não encontrar nas linhas de luz do Sirius especializadas em alguma técnica específica ou ambiente de amostra característico.

Ao longo de semestre, a linha também teve os projetos finais de *front-end* e fonte finalizados, indicando, de fato, o uso de um APU22 como fonte e definindo os componentes do início da linha de luz. Isso permite que a fase de aquisições, construção e montagem tenha sua execução iniciada já no segundo semestre.

Linha de Luz SUSSUARANA

A linha de luz SUSSUARANA (do inglês *Synthesis, Strain/Stress, Additive Manufacturing, and in-situ high energy material ANALYSIS*) será dedicada a estudos de ciência dos materiais, metalurgia e aplicações de engenharia. Será a linha de luz de mais alta energia no Sirius até agora, na faixa de 30 a 200 keV, o que possibilitará estudo com técnicas de raios X de materiais de grandes dimensões. Os sistemas experimentais previstos permitirão realizar ensaios termomecânicos de amostras em condições reais de operação, síntese de materiais massivos por compressão/deformação e manufatura aditiva. Essa linha de luz será uma instalação importante para apoiar o desenvolvimento tecnológico da indústria brasileira.

Na atual etapa de projeção, foram identificados três grandes problemas nas áreas envolvendo ciência dos materiais e suas aplicações que motivaram os desenvolvimentos propostos na linha de luz SUSSUARANA: 1) otimização de processos industriais; 2) reciclagem de materiais metálicos; e 3) hidrogenação em metalurgia. A figura abaixo mostra a relação entre eles:

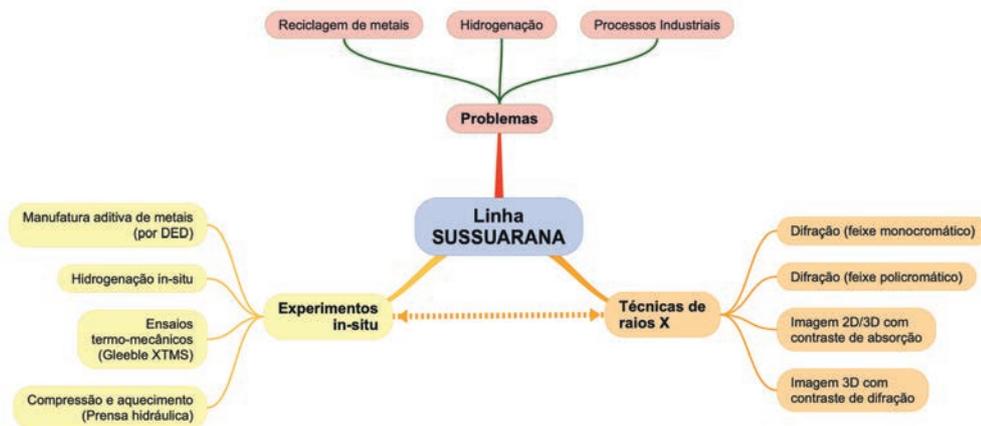


Figura 136: Diagrama esquemático de quais técnicas de raios X e experimentos foram previstos para análises in-situ de materiais e metalurgia na linha de luz SUSSUARANA do Sirius para ajudar na solução dos problemas listados acima.

Para endereçar os estudos nessas áreas, foi proposto o layout mostrado na Figura 137, ainda sem escala e/ou dimensões finais, contemplando de forma ilustrativa as discussões acerca dos principais instrumentos e cabanas da linha. A proposta é usar o setor 15-SP, cuja localização dispõe de um trecho reto no anel para inserção do dispositivo SWLS (*Wavelength shifter superconductor*). As cabanas ópticas e experimental se estenderão entre os eixos 01 e 04 do hall experimental do Sirius. A cabana óptica é relativamente pequena, contendo apenas um monocromador duplo-Laue junto de outros elementos simples. Na cabana experimental estão previstas ter duas estações experimentais com setups e detectores independentes. Tanto a cabana óptica quanto a cabana experimental da linha SUSSUARANA precisam ser dimensionadas para altas energias (até 200 keV) e proteções específicas para uso do feixe branco precisam ser consideradas no *front-end* e monocromador. A sala de controle/usuários da linha ocupará parte da lateral externa e posterior da cabana experimental, seguida de uma sala para disposição dos setups que não estão sendo usados em experimentos na linha de luz e facilitando a logística de troca dos experimentos.

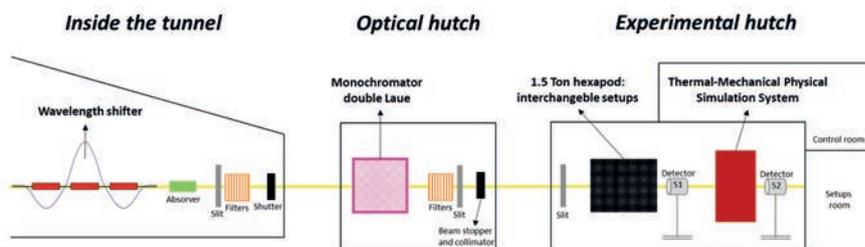


Figura 137: Layout simplificado da linha de luz SUSSUARANA considerando a fonte SWLS, elemento óptico monocromador duplo-Laue, duas estações experimentais e demais salas.

A linha está planejada para operar com feixes branco (policromático) e monocromático. O feixe branco será utilizado para imageamento de amostras e técnicas de difração dispersiva, essencial para sondar tensões residuais em processos dinâmicos. O feixe monocromático será usado para investigar transições de fase e síntese de novos materiais, permitindo mapeamento de estruturas locais com alta resolução. Inicialmente, a linha usará uma óptica simples, com o feixe policromático chegando direto na amostra, e, depois, um monocromador duplo-Laue será adicionado para focar e reduzir o tamanho do feixe. O projeto do monocromador e da ótica final será iniciado no segundo semestre.

A respeito da parte experimental, a linha terá duas estações experimentais para suportar ensaios em amostras e técnicas de raios X. A Estação 1 será multipropósito, com setups

intercambiáveis suportados por um hexapod ou robô de 1.5 Ton, incluindo manufatura aditiva, soldagem, prensagem e hidrogenação. A Estação 2 será fixa, dedicada a ensaios termomecânicos usando um sistema XTMS Gleeble (Figura 138). Entre os equipamentos adicionais, haverá uma prensa Paris-Edinburgh para compressão de materiais, um detector de germânio para experimentos de difração, e sistemas de manufatura aditiva por deposição direta de energia (DED) customizados (Figura 139). Esses setups permitirão análises *in-situ* durante a impressão de peças metálicas, essenciais para estudar tensões residuais, nucleação de grãos, porosidade, e otimizar processos de fabricação. Modificações serão feitas para adaptar esses sistemas à geometria do feixe de raios X da linha SUSSUARANA, garantindo precisão e eficácia nas análises e experimentos planejados.

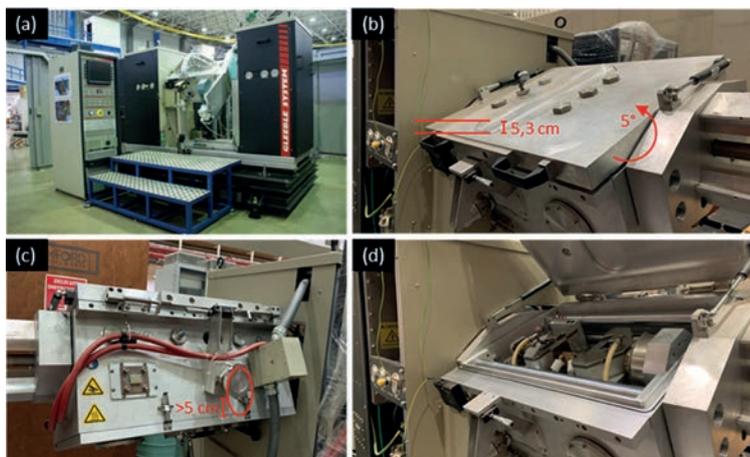


Figura 138: Sistema XTMS 3S50 Gleeble. (a) Foto da Gleeble instalada na linha de luz XRD1 do antigo UVX. (b) Inclinação de 5° para passagem do feixe na janela de saída. (c) Aumento da janela de entrada do feixe em 5 cm devido a inclinação. (d) Câmara de ensaios aberta.

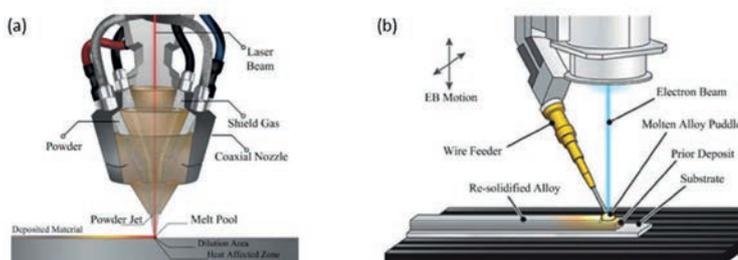


Figura 139: Ilustração dos processos de DED. (a) DED em pó, com fonte de laser. (b) DED em fio, com fonte de feixe de elétrons.

Dado o desafio de propor instrumentação adequada aos problemas levantados com a comunidade científica da área de metalurgia e materiais dentro do escopo da indústria brasileira, o projeto preliminar ainda não foi concluído e deve continuar ao longo do segundo semestre. Contudo, a definição do dispositivo de inserção foi concluída e um protótipo de um SWLS está em curso pela Diretoria Adjunta de Tecnologia (DAT) do CNPEM.

Centro de Vivência Ilum

A equipe do CNPEM atuou ativamente na construção do Centro de Vivência Ilum no último semestre. Neste período, foram concluídas todas as atividades da obra, permanecendo atualmente atividades relacionadas a vistorias finais e compilação de documentações (*databook*).

No início de abril de 2024, foi realizada a aprovação do Formulário de Atendimento Técnico (FAT) do Corpo de Bombeiros do projeto do Centro de Vivência Ilum, incorporando a sua área ao campus do CNPEM e incluindo-o na próxima vistoria para atualização do Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB). Pende a vistoria, que deverá ser realizada após agendamento com Corpo de Bombeiros.

Com isso, o Centro de Vivência Ilum está com sua inauguração prevista para o dia 01 de agosto de 2024. Este espaço inovador e multifuncional não apenas enriquecerá a experiência acadêmica, mas também fortalecerá a conexão entre a comunidade acadêmica do CNPEM e os estudantes da Ilum, promovendo um ambiente de aprendizado e colaboração.

Abaixo são apresentadas as fotos dos ambientes da obra comparadas com as fotos da última revisão do projeto de arquitetura após compatibilização final.



Foto de obra – Vista no nível do Sirius



Modelo renderizado – Vista no nível do Sirius



Foto de obra – Vista da arquibancada



Modelo renderizado – Vista da arquibancada



Foto de obra – Jardim de estudos



Modelo renderizado – Jardim de estudos



Foto de obra – Pátio central



Modelo renderizado – Pátio central

Figura 140. Comparação entre os ambientes em finalização e as vistas do modelo renderizado do projeto de arquitetura.

Centro de visitantes CNPEM

No final de 2023, foi iniciado o processo de concorrência de empresa de arquitetura para elaboração de projetos básicos de urbanização da área de intervenção, projetos básicos da edificação do Centro de visitantes, coordenação e compatibilização de projetos em BIM bem como orçamentação de obras, e material para divulgação, para a implantação do Centro de visitantes no CNPEM.

Em abril de 2024 o contrato foi assinado, com o escritório de arquitetura Studio 41. As tratativas junto aos projetistas contratados, iniciaram em abril, onde foram definidos as metas e cronograma relacionados a esse projeto.

O estudo preliminar de urbanização começou a ser desenvolvido, englobando projetos de implantação com delimitação de arborização, terraplenagem, projeto viário/geométrico, sinalização vertical e horizontal, pavimentação, rede de drenagem, rede de esgoto, rede de água, iluminação pública e realocação de rede de alta tensão. Estes foram entregues pela contratada no primeiro semestre de 2024.

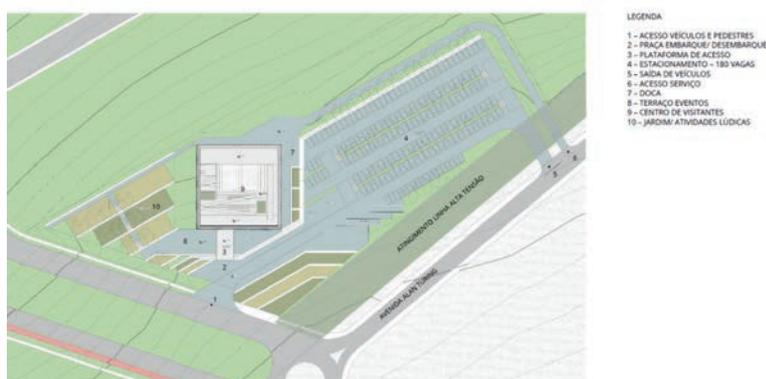


Figura 141. Implantação do Centro de Visitantes

O partido arquitetônico da edificação parte de uma plataforma elevada, como um pódio, que garante acessibilidade, proporciona vistas para a paisagem e facilita percursos livres. O programa é organizado a partir de uma praça de entrada, com os espaços expositivos acima (galeria, exposição principal, exposição temporária e exposição infantil), e abaixo, áreas destinadas a eventos, centro de aprendizagem e administração. Foi concebido um percurso vertical através do "elevador experiência" e um percurso horizontal através de escadas abertas visualmente, criando uma experiência marcante para os visitantes durante a visita.

Atualmente, foi apresentada uma nova proposta de revestimento para a fachada da edificação, elaborada pelo Estúdio 41, utilizando o sistema ETFE (Etileno Tetrafluoroetileno) - uma película de polímero que oferece diferentes texturas e níveis de opacidade. A transparência do material permite trabalharmos com a iluminação, permitindo que a fachada do edifício reflita qualquer evento que esteja ocorrendo no interior.

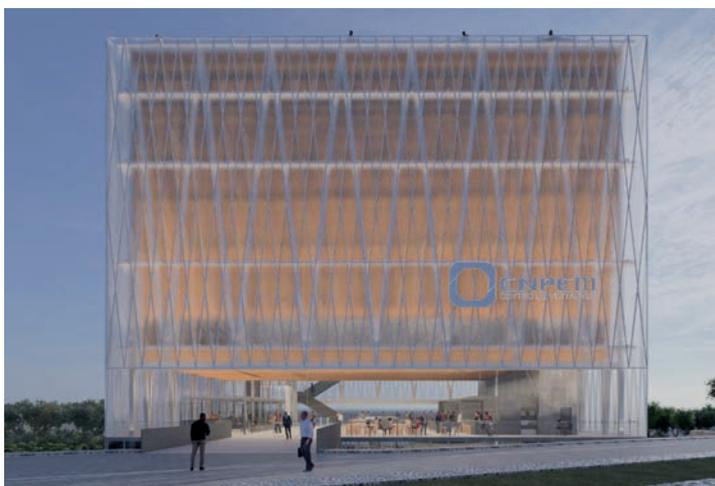
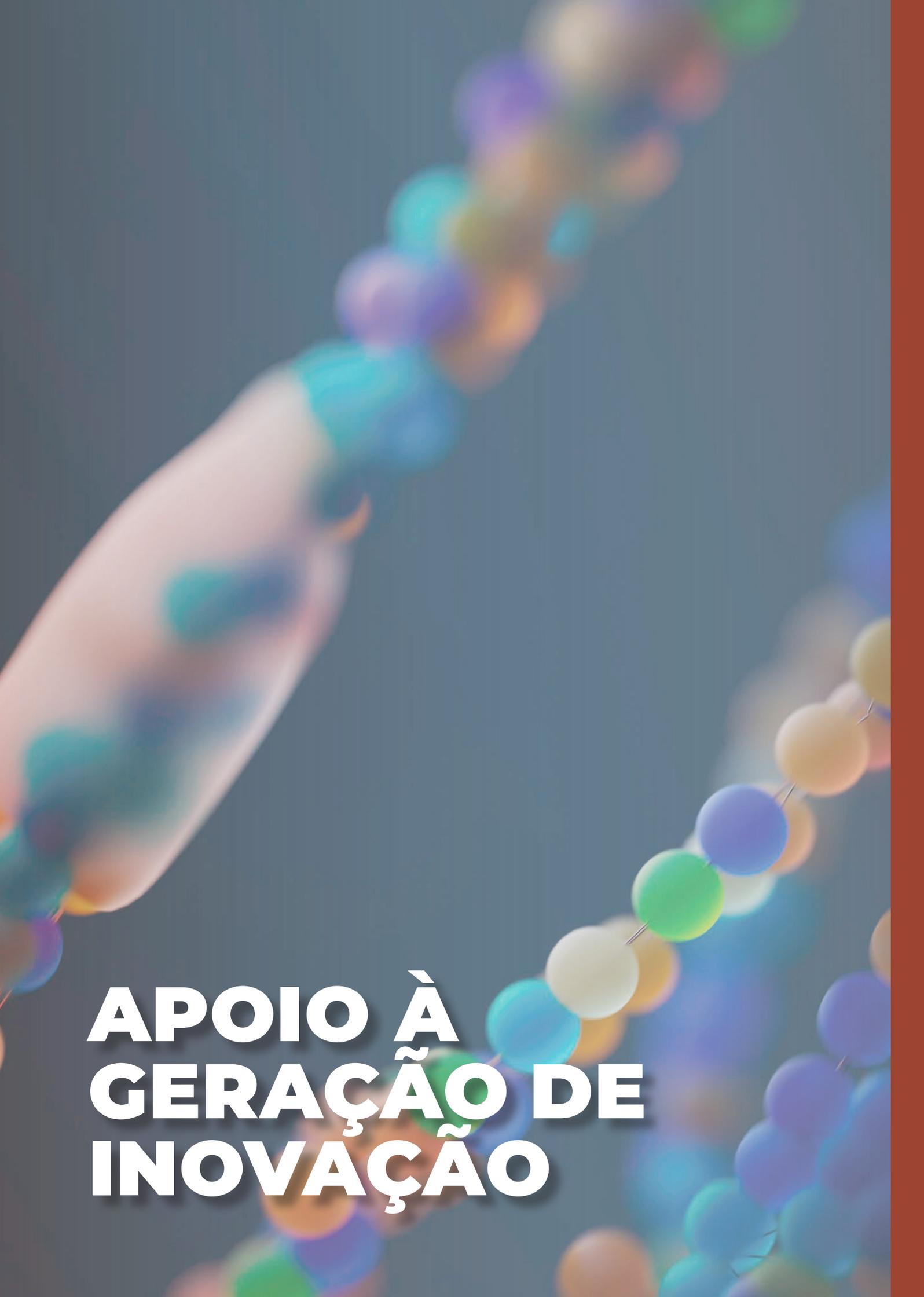


Figura 142. Fachada sugerida.

O anteprojeto de urbanização foi apresentado no início de junho, com definições de arruamento, arborização urbana, projeto viário, sinalização vertical e horizontal, terraplenagem, rede de drenagem, rede de esgoto, pavimentação, iluminação pública e rede de alta tensão.



A hand is shown holding a string of colorful beads. The beads are in various colors including blue, green, yellow, orange, and purple. The background is a soft, out-of-focus blue. On the right side of the image, there is a solid red vertical bar. The text 'APOIO À GERAÇÃO DE INOVAÇÃO' is overlaid in the lower-left quadrant in a bold, white, sans-serif font.

APOIO À GERAÇÃO DE INOVAÇÃO

Esse capítulo descreve as principais ações relacionadas à promoção da inovação por meio de parcerias em PD&I com empresas dos setores produtivos, transferência de tecnologias e prestação de serviço tecnológico de alta complexidade.



Saúde

Medicina regenerativa

Validação de equivalente de pele humana bioimpressa

Este projeto procura validar o modelo de Epiderme Humana Reconstruída (RHE) bioimpressa desenvolvido pela startup 3D *Biotechnology Solutions* (3DBS). A RHE é um equivalente epidérmico, produzido a partir de tecnologia automatizada de bioimpressão 3D. Diferentemente dos modelos manuais hoje comercializados, esse modelo tem maior reprodutibilidade e escalabilidade. No âmbito do projeto, serão avaliadas as questões relacionadas à melhor propriedade de barreira e função do modelo. O modelo passará também por uma validação interlaboratorial⁴², conforme regras estabelecidas pelo BraCVAM (Centro Brasileiro para Validação de Métodos Alternativos) e pelo CONCEA (Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal). O CNPEM auxiliou no desenvolvimento dos testes iniciais de corrosão e de irritação nas RHE's produzidas pela 3DBS. Os pilotos iniciais dos testes foram rodados e padronizados e será realizada uma etapa de validação final dos testes.

Fármacos e Biofármacos

Desenvolvimento de nova geração de moléculas com ação anticâncer a partir de produtos naturais

Em dezembro 2022, o CNPEM iniciou um segundo projeto voltado à pesquisa de moléculas com ação anticâncer a partir da biodiversidade brasileira, em parceria com o Aché e a Phytobios e com cofinanciamento da EMBRAPPII e do BNDES. Este projeto marca uma nova fase no desenvolvimento, usando como base as moléculas e os dados biológicos e estruturais obtidos no primeiro projeto realizado com esse objetivo e com os mesmos parceiros, que foi concluído em março de 2022. O projeto tem como foco a etapa hit2lead, tendo como marco de conclusão a prova de conceito em modelo animal, com previsão de execução em 30 meses. Nos últimos 12 meses, as equipes de química medicinal do Aché e do CNPEM trabalharam no planejamento racional e síntese de moléculas, visando otimizar as propriedades de fármaco das séries químicas priorizadas. Foi realizada uma bateria de ensaios celulares, ensaios AMDE-Tox, além dos ensaios primários de bioquímica e biologia estrutural com as novas moléculas geradas. Séries químicas vem sendo priorizadas, com o objetivo final do desenvolvimento de uma nova geração de fármacos para o tratamento de cânceres de difícil intervenção farmacológica, inspiradas em moléculas da biodiversidade brasileira.

Candidatos a fármacos alvo dirigidos para o tratamento de doenças cardíacas e hepáticas

Contando com financiamento da EMBRAPPII e do BNDES, este é o segundo projeto do CNPEM para o desenvolvimento de fármacos candidatos alvo dirigidos para o tratamento de doenças cardíacas e hepáticas, a partir de produtos naturais, em parceria com a startup Nintx. O primeiro projeto, iniciado em julho de 2022, partiu dos resultados da pesquisa interna do CNPEM, com um alvo proteico para estas doenças que já foi validado em modelos animais. Seguindo os métodos inovadores implementados na plataforma de descoberta de fármacos do CNPEM, o primeiro projeto triou e caracterizou moléculas da biodiversidade brasileira com ação neste alvo, encontrando novas estratégias moleculares para a inibição do alvo. Neste segundo projeto, iniciado no final de 2023, a equipe seguiu para a expansão das séries químicas, conhecimento e otimização de suas propriedades de fármaco. Para essa nova etapa, são utilizadas abordagens integradas, recorrendo a ferramentas *in silico*, síntese química, química de produtos naturais e testes bioquímicos e celulares. Até o momento, os resultados obtidos são promissores e há grande possibilidade de geração dos primeiros fármacos e/ou fitofármacos para esse mecanismo de ação direcionado a doenças tão prevalentes e com poucas opções de tratamento.

42. Um ensaio interlaboratorial consiste na avaliação de uma mesma amostra ou material por diversos laboratórios.

Candidatos a fármacos alvo dirigidos a potencializadores de imunoterapia para tratamento oncológico

Apelidado de NintxImuno, este projeto visa desenvolver fármacos potencializadores de imunoterapia para o tratamento de câncer, inspirados em produtos naturais, em parceria com a startup Nintx. Tal como os destaques anteriores, este projeto também conta com financiamento da EMBRAPPII e do BNDES. Iniciado no segundo semestre de 2022, este projeto partiu da pesquisa interna do CNPEM/LNBio em imuno-oncologia e triou bibliotecas inovadoras da biodiversidade brasileira, as quais formaram a base para a descoberta de imunopotencializadores. A terceira etapa do projeto foi concluída com sucesso, na qual, a partir da triagem de produtos naturais da biodiversidade brasileira com o bioensaio implementado no projeto, pôde-se encontrar as plantas brasileiras que produzem moléculas imunopotencializadoras. O projeto é altamente inovador e visa desenvolver o primeiro imunopotencializador para o tratamento de câncer.

Candidatos a fármacos alvo dirigidos para o tratamento de infecções virais por Coronavírus

Em parceria com a startup Nintx, e contando com financiamento da EMBRAPPII, este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de fármacos candidatos alvo dirigidos para o tratamento de infecções virais por Coronavírus, a partir de produtos naturais. O projeto partiu de protocolos desenvolvidos pela equipe do CNPEM na plataforma de Descoberta de Fármacos. O projeto será realizado em fases, e a primeira, iniciada em julho de 2022, teve sucesso na identificação de hits da biodiversidade brasileira para inibir as proteínas virais selecionadas. Dessa forma, o primeiro desafio do projeto foi superado. Com isto, algumas atividades previstas para início em outubro de 2023 foram antecipadas já no primeiro semestre de 2023, acelerando a descoberta e a caracterização dos hits da biodiversidade brasileira no contexto do desenvolvimento de antivirais para o tratamento de doenças causadas por Coronavírus.

Desenvolvimento de analgésico para o tratamento de dor neuropática a partir da biodiversidade brasileira

No segundo semestre de 2023, um novo projeto intitulado “Aliança Dor” foi firmado com financiamento EMBRAPPII, no âmbito do novo modelo *Basic Funding Alliance* de Bioeconomia. Esse projeto é realizado em consórcio formado com uma segunda Unidade EMBRAPPII, a Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP) – Unidade Integrada de Descoberta e Desenvolvimento de Fármacos, com a startup Nintx e com as empresas Phytobios (pertencente ao Grupo Centroflora) e o Laboratório Farmacêutico Cristália.

Essa aliança estratégica de ICTs, startups e empresas privadas está voltada para o combate da dor, uma necessidade médica ainda não atendida que afeta mais de 10% da população mundial. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de novos analgésicos não opioides a partir de moléculas da biodiversidade brasileira, obtidas por meio de extratos microbianos da biblioteca de microrganismos raros do Laboratório Cristália, e de extratos vegetais da Phytobios. A Nintx, com seu *know-how* em P&D, agrega ainda as tecnologias proprietárias no campo do microbioma humano, complementando perfeitamente a Plataforma de Descoberta do CNPEM para o desenvolvimento bem-sucedido de terapias inovadoras. Além da fonte química inovadora, a estratégia do projeto foca em novos mecanismos de ação para o tratamento da dor neuropática e considera a possibilidade da modulação da microbiota no contexto dessa doença crônica. O primeiro protótipo a ser gerado terá alto valor agregado e inserção no mercado mundial. Além disso, os resultados a serem derivados do projeto têm potencial de agregar valor aos biomas brasileiros, alavancando cadeias sustentáveis para a bioeconomia e inovação em fármacos no Brasil.

Nos primeiros meses de execução, a equipe focou na preparação de novas bibliotecas químicas da biodiversidade brasileira e na inclusão de metodologias voltadas para o tratamento da dor crônica e para a definição dos modelos experimentais e das assinaturas da microbiota. Em seguida, estas bibliotecas químicas foram triadas, resultando em novos hits para os alvos da dor, que serão trabalhados pela equipe nas próximas etapas do projeto, possibilitando o desenvolvimento de novos medicamentos para dor em curto espaço de tempo pelo Laboratório Cristália.

Descoberta de Fármacos para Doença de Chagas a partir de produtos naturais

No final de 2023, o CNPEM firmou um projeto com a DNDi (*Drugs for Neglected Diseases Initiative*), contando com financiamento EMBRAPPII, com objetivo de prospectar a biblioteca MPH (*Molecular Power House*) quanto à presença de inibidores do parasita *T. cruzi*, que não sejam citotóxicos para células de mamíferos e que possuam produtos naturais que representem novos esqueletos químicos. O projeto é realizado em colaboração entre DNDI, a Unidade Embrapii CNPEM, a unidade Embrapii do ICB-USP e a empresa Phytobios.

Tal esforço visa o desenvolvimento de fármacos para o tratamento da doença de Chagas. Este projeto tem grande potencial de impacto social, por se tratar do desenvolvimento de um possível fármaco para o tratamento de uma doença negligenciada, com base na biodiversidade brasileira. Apesar de iniciativas já terem sido testadas para o desenvolvimento de moléculas sintéticas, ainda persiste uma grande dificuldade na descoberta de entidades químicas capazes de superar tanto os desafios dos diversos estágios da doença quanto a resistência do parasita. Dessa forma, os produtos naturais, em particular da biodiversidade brasileira, podem representar novas fontes de moléculas para superar os gargalos no desenvolvimento de fármacos para essa doença.

Biossensores

Biossensor nanoestruturado para determinação da glicemia por método transdérmico não invasivo

Em parceria com a startup Se7e Digital, o CNPEM desenvolveu um protótipo de biossensor vestível e não-invasivo para a determinação glicêmica por via transdérmica, no âmbito do programa SibratecNano – Rede de Nanodispositivos. Seu princípio de funcionamento baseia-se na iontoforese reversa para a produção do fluido intersticial e detecção da molécula de glicose por métodos eletroquímicos. A execução do projeto terminou em junho de 2024 e resultou em um protótipo do biossensor vestível, com unidades sensoriais descartáveis e de baixo custo, e de um circuito eletrônico de controle compacto. As unidades sensoriais foram desenvolvidas por meio da combinação de diversos nanomateriais e de engenharia de superfície, a fim de viabilizar a detecção da glicose em concentrações clinicamente relevantes. O sistema eletrônico portátil possui dimensões de 35 mm x 39 mm e é composto por módulos para a promoção da iontoforese reversa e para a detecção eletroquímica da glicose, além de sistema de comunicação *bluetooth* para transferência de dados e bateria recarregável. O protótipo pode ser ainda otimizado em relação ao desempenho, consumo de energia, ou ao tamanho, mas já representa um fundamental avanço no desenvolvimento de novas tecnologias para saúde e bem-estar humano (Figura 143).

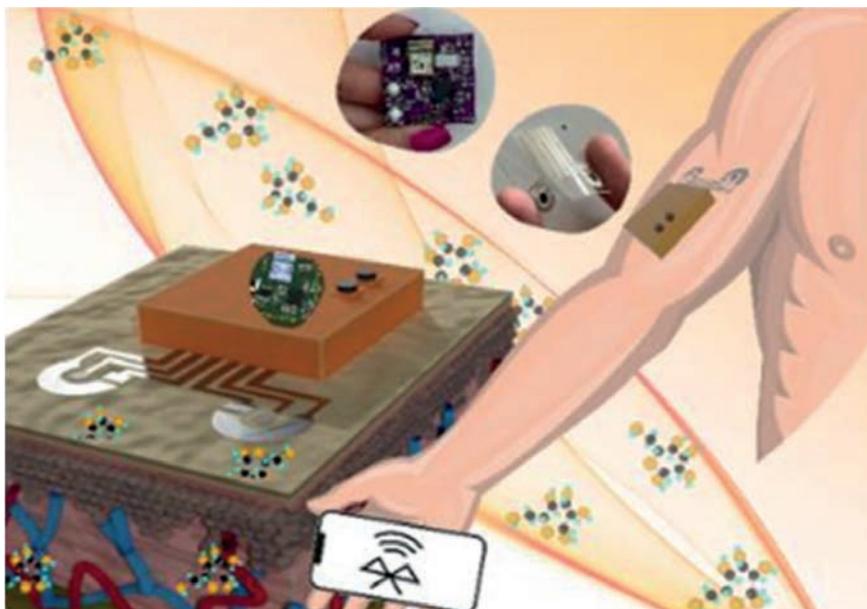


Figura 143 - Biossensor nanoestruturado para determinação de glicemia por método não-invasivo.

Odontologia

Plataforma Automatizada para a Aplicação por Spray de Revestimento Nanoestruturado para Dispositivos de Corte e Erosão

Este projeto, iniciado em 2022, marca a segunda fase da cooperação entre o CNPEM e a empresa nChemi, para o desenvolvimento de uma plataforma automatizada para aplicação por spray de revestimento nanoestruturado. Nesta etapa, o foco foi na continuidade da avaliação dos instrumentos odontológicos com os revestimentos aplicados, utilizando um sistema automatizado de testes mecânicos. O equipamento construído permite o monitoramento de força exercida pela broca para perfurar o osso artificial, controlando simultaneamente a variação de temperatura local. Comparando as brocas virgens (enviadas pelo fornecedor) com as confeccionadas pela empresa nChemi, pelo novo sistema automatizado gerado neste projeto, a superioridade das brocas revestidas com o sistema automatizado é claramente demonstrada. Iniciou-se, também, a última etapa para avaliar se a concentração da solução de nanopartículas pode ser reduzida, bem como os tempos de preparo e o tratamento térmico. O novo forno de lâmpadas, acoplado ao sistema automatizado de deposição dos revestimentos, permite um controle muito preciso do gradiente de temperatura, resultando num tratamento térmico mais eficiente, rápido e reproduzível. Os testes iniciais foram realizados seguindo os parâmetros pré-determinados pela empresa em seu método artesanal. Com estes resultados, estima-se que os custos de produção serão reduzidos, tanto pela redução da concentração da solução quanto pela diminuição da temperatura e tempo de exposição para secagem e aderência. Os esforços, nesta última etapa do Projeto, têm sido direcionados para a integração, a automatização e o desenvolvimento do software de controle de operação da máquina. A Figura 144 ilustra o protótipo que está sendo construído para a demonstração ao final do projeto, e o objeto de estudo que são as brocas para tratamento de ortodontia.

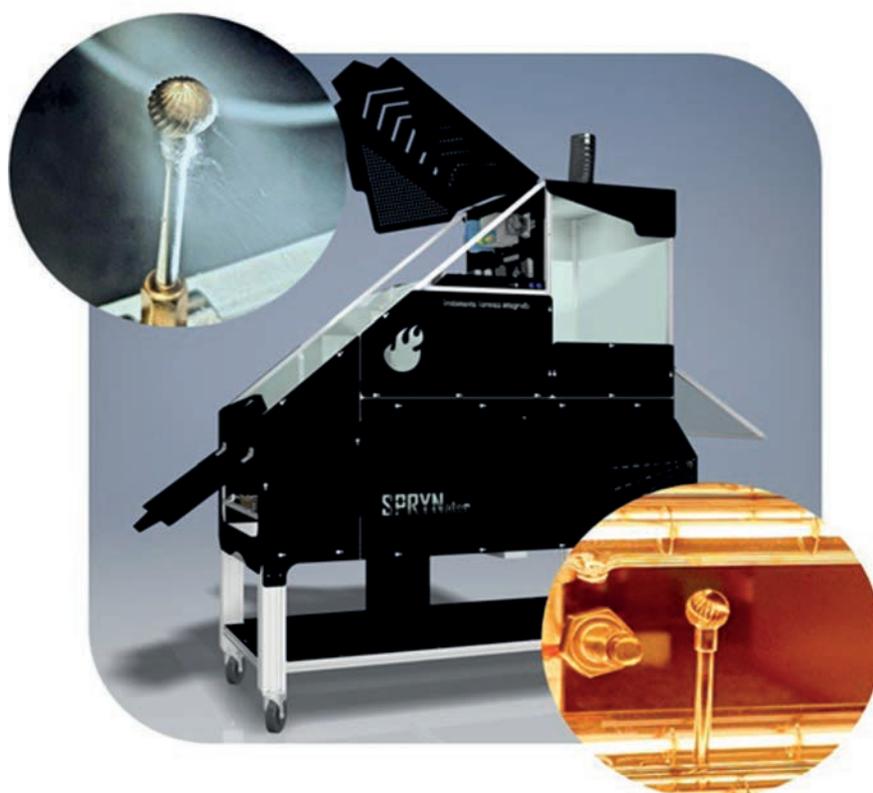


Figura 144- Foto ilustrativa do sistema integrado de deposição e tratamento térmico para aplicação de revestimentos aumento de resistência mecânica em instrumentos médicos e odontológicos.

Energia

Óleo e Gás

Desenvolvimento de métodos de preparo de amostra e sensores na área de petróleo e gás considerando a utilização e concepção de plataformas microfluídicas

Em parceria com a Petrobras, o CNPEM desenvolveu um projeto para utilizar plataformas microfabricadas na identificação de insumos químicos utilizados pela indústria do petróleo. Inicialmente, as atividades envolveram o desenvolvimento de dispositivos baseados em sistemas de língua eletrônica e com métodos não seletivos. No entanto, os resultados obtidos demonstraram que estes dispositivos não gerariam medidas com reprodutibilidade satisfatória, além de não serem capazes de determinar os grupos químicos dos princípios ativos dos insumos. A partir destes resultados, a equipe redirecionou os esforços para o desenvolvimento de um método eletroquímico seletivo para o controle de qualidade de inibidores de incrustação (com matéria ativa à base de fósforo), que possibilitou a obtenção de limites de detecção da ordem de parte por bilhão do teor de fósforo, e alta sensibilidade. Visando a utilização desse método em instalações *onshore* e *offshore*, a equipe buscou a portabilidade do sistema como um todo. Adicionalmente, as condições experimentais foram otimizadas, mantendo a eficiência do processo. Testes de reprodutibilidade com amostras cedidas pela Petrobras foram realizados num período de 6 meses, com êxito. Os avanços obtidos culminaram no depósito de um pedido de patente, contemplando o sistema e método desenvolvido, e na publicação de três artigos em revistas internacionais de alto fator de impacto. Um software foi desenvolvido em parceria com a Divisão de Automação e Software do CNPEM para facilitar a interface do sistema de detecção com o usuário, o qual está em fase de pedido de registro junto ao INPI. O protótipo do sistema (Figura 145) foi demonstrado à Petrobras, que irá implementar a tecnologia em seus laboratórios. Esse projeto foi finalizado em março de 2024 e um novo projeto para a determinação de residuais em amostras de água produzida foi aprovado e está em fase final de contratação.



Figura 145 - Imagem do sistema eletroquímico miniaturizado para determinação de matéria ativa de produtos inibidores de incrustação e determinação de residuais em amostras de água produzida.

Avaliação de estabilidade e desempenho de produtos químicos por sistemas micro/mesofluídico

Este projeto em parceria com a Petrobras foi iniciado em 2021 e possui término previsto para 2025. Atualmente, a plataforma impedimétrica está se destacando como um método promissor para sondar e entender a formação de incrustações, oferecendo a capacidade de monitorar a cinética de precipitação de sal desde seus estágios iniciais. A indústria petroquímica pode se beneficiar desta plataforma em sua tarefa desafiadora e de longa data para garantir condições ideais de escoamento. A detecção sensível da formação de incrustações é um atributo obrigatório para garantir a determinação precisa da concentração mínima inibitória (MIC). O método proporcionou o monitoramento contínuo da ação dos inibidores de incrustação e mostrou-se mais sensível que o sistema convencional (Figura 146). A abordagem desenvolvida é de baixo custo, requerendo, basicamente, um potenciostato portátil para ser acoplado ao aparelho usual e de fácil operação.

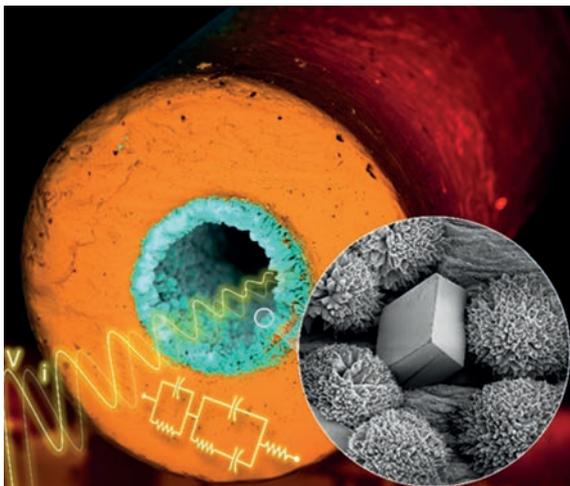


Figura 146 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do capilar com incrustações de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Sistema microfluídico do tipo "rock-on-a-chip" para estudo de injetividade

Também elaborado com a Petrobras desde 2022, este segundo projeto avançou no primeiro semestre de 2024 no desenvolvimento de outro método de preparo de emulsão, no qual o tamanho das gotas está mais próximo ao descrito na literatura relevante. Foi finalizado o procedimento experimental para os estudos de injetividade, e foram realizados vários testes, nos quais demonstraram uma clara diferença no perfil de injetividade entre salmoura (controle) e o surfactante. Adicionalmente, foram desenvolvidos chips impressos em 3D, que podem ser acoplados ao sistema de injeção, através de uma base projetada no CNPEM com estruturas internas tanto regulares como oriundas de uma microtomografia de rochas carbonáticas do pré-sal, fornecidas pelos operadores da linha MOGNO. Os próximos passos envolvem o estudo da concentração da emulsão ao longo do tempo, analisando os tensoativos comerciais utilizados pela Petrobras, e realizando testes de injetividade com os chips projetados no CNPEM.

Caracterização Ultrarrápida e Acurada de Reservatórios

No final de 2021, o CNPEM iniciou dois projetos em colaboração com a empresa Petrobras – um de Infraestrutura e outro de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) - ambos com duração inicial de 24 meses, que foram prorrogados por mais 18 meses. O objetivo do projeto de Infraestrutura é a construção de uma das estações experimentais da linha MOGNO do Sirius, na qual serão realizadas medidas de tomografia de raios X com resolução micro e sub-micrométricas. No ano de 2023, foi iniciada a instalação da microestação na linha MOGNO (Figura 147), com previsão de término e início do comissionamento no segundo semestre de 2024.



Figura 147 - Vista da microestação na cabana experimental da MOGNO, com o pórtico (estrutura azul) recém-instalado.

Com o comissionamento técnico da nanoestação da MOGNO, foram realizadas medidas de microtomografia de raios X com amostras cedidas pela Petrobras. As amostras estão no limite do campo de visão da nanoestação, e esses dados têm sido utilizados para testes de diferentes algoritmos de reconstrução. Durante a análise dos dados, concluiu-se que o nível de ruído da imagem estava superior ao tolerável pelos algoritmos utilizados. Esse ruído é criado por partículas de poeira na superfície do espelho da linha, criando um sinal capturado pelo detector de forma errônea. A geometria de feixe cônico da linha MOGNO permite a realização de tomografia em apenas uma pequena região no interior da amostra. Porém, parte da amostra fora do campo de visão também interage com o feixe de raios X, gerando ruído, sendo necessário o desenvolvimento de um algoritmo de correção para melhorar a qualidade dessas imagens. Esse algoritmo funcionou corretamente com amostras *phantom* e está em fase de teste com amostras reais.

Algoritmos para a segmentação automática têm sido desenvolvidos e testados. O objetivo é facilitar a identificação de regiões de interesse na amostra para a tomada de decisões durante os experimentos na linha (ex. identificação de regiões de microporosidade em rocha). Os novos algoritmos já apresentaram melhor desempenho em imagens que possuem maior contraste entre as fases da amostra. Neste período, também foram testadas novas técnicas para decomposição de materiais.

Por fim, iniciou-se o comissionamento do detector PiMega da microestação, em que os principais testes têm sido para tomografia em *dual energy* (DECT), o qual permite adquirir tomografias em diferentes energias ao mesmo tempo. Uma vez que as tomografias são separadas conforme a energia, é realizado o processo de restauração, a fim de reduzir o ruído introduzido na imagem. Esse algoritmo está em desenvolvimento, e testes de DECT foram feitos também com o detector PCO.edge, para comparação de resultados. Essas imagens têm apresentado melhor qualidade ajudam na melhoria do *pipeline* de processamento dos dados de DECT.

Tomografia de raios X para medidas *in situ* de amostras de rocha em condição de reservatório

O CNPEM possui dois projetos em colaboração com a empresa Equinor, envolvendo a linha MOGNO do Sirius, sendo um projeto de Infraestrutura e outro de P&D. Esses projetos consistem no desenvolvimento, instalação e comissionamento da infraestrutura necessária para estudar o fluxo multifásico de fluidos em rochas reservatório, por meio de imageamento de raios X em condições experimentais inéditas em linhas de luz de tomografia. A infraestrutura a ser instalada na microestação da linha de luz MOGNO validará o uso de células de fluxo para ensaios *in situ*, sob condições controladas de pressão e temperatura, com rochas reservatório de diferentes tamanhos, possibilitando avanços na investigação de fenômenos na escala de poros, a fim de ampliar o entendimento da dinâmica do escoamento de fluidos em meios porosos.

Serão realizados experimentos com a injeção de diferentes fluidos através do meio poroso, utilizando protocolos validados em parceria com a Equinor, a UNICAMP e o time do CNPEM. Esses experimentos permitirão avaliar, por meio da dinâmica do processo, como os fluidos são mobilizados no meio poroso em função de diversas condições de escoamento. A nova infraestrutura

permitirá a execução de testes 4D únicos na Linha de Luz MOGNO.

No primeiro ano de projeto, foi realizado um mapeamento dos diferentes sistemas de injeção e dos protocolos utilizados em instituições parceiras. Como resultado desse mapeamento, o esquemático e o desenho mecânico do sistema de injeção a ser instalado na microestação estão em sua fase final, na qual foram definidos os principais componentes do sistema, incluindo o conjunto de bombas de alta pressão, acumuladores, válvulas automáticas e manuais, sensores térmicos e de segurança, bem como dois dos *coreholders* previstos no projeto.

A interação com as instituições parceiras deverá se manter no decorrer do desenvolvimento do projeto. No último ano, foram organizados pequenos *workshops* para discussões com os pesquisadores e empresas envolvidas no desenvolvimento de equipamentos customizados para o projeto, incluindo a *Equinor Research Center* (Trondheim/Noruega), o Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas – LMPT da UFSC, o Laboratório de Reservatórios de Petróleo – LABORE da UNICAMP, o CENPES da Petrobras, entre outras instituições.

Petrofísica 4D de alta frequência, P&D

No final de 2023, o CNPEM/LNLS submeteu dois novos projetos a Petrobras, um de Infraestrutura e outro de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), ambos com duração prevista de 4 anos. Os dois projetos foram aprovados no primeiro semestre deste ano.

O objetivo geral dos projetos é a instalação e comissionamento científico de uma infraestrutura que permita realizar simultaneamente experimentos de fluxo em meio poroso, com óleo vivo e gás, e medidas de tomografia de raios X na linha de luz MOGNO.

Adicionalmente, pretende-se viabilizar a realização de experimentos de longo prazo de envelhecimento de óleo e de recuperação da molhabilidade original do reservatório no Sirius. O *setup* experimental possibilitará experimentos sob condições de alta pressão e alta temperatura para ensaios em condições de laboratório (Labcon), semi-reservatório (Semirescon) e reservatório (Rescon), além de viabilizar experimentos de captura e armazenamento de carbono (CCS) na linha de luz MOGNO.

Biocombustíveis líquidos

BioValue - Valorização da cadeia produtiva descentralizada de biomassa visando a produção de biocombustíveis avançados: desenvolvimento e avaliação de rotas termoquímicas integradas à produção de biomassas e a rotas bioquímicas.

Iniciado em 2019 e concluído em 2024, o projeto BioValue⁴³ envolveu um consórcio de 20⁴⁴ instituições, com o objetivo de explorar sinergias entre a produção de biomassas, diversificação e aspectos logísticos das cadeias de valor da produção de biocombustíveis avançados. O foco do projeto foram os biocombustíveis de aviação, utilizando rotas de conversão termoquímicas e bioquímicas integradas. Os principais estudos desenvolvidos pelo CNPEM, por meio da equipe do LNBR, foram:

(1) Na produção de biomassa: avaliação da disponibilidade das principais biomassas (e resíduos) no Brasil (CNPEM e UFV); caracterização e avaliação do potencial da cana energia (CNPEM e UFV); avaliação dos impactos da reciclagem de biochar nas emissões de N₂O de solos agrícolas e na produção de biomassas.

(2) Avaliação de estudos de sistemas logísticos completos, considerando os custos e impacto ambiental para produção, transporte e conversão de biomassa em dois cenários: expansão da produção de etanol integrada à implantação do RenovaBio e demanda de SAF dos três principais aeroportos brasileiros.

(3) Modelagem, simulação e avaliações de rotas bioquímicas e termoquímicas integradas para produção de SAF incluindo: pré-tratamento de biomassa, conversão bioquímica a etanol, biodigestão de vinhaça, pirólise, gaseificação, limpeza de gases e síntese de Fischer-Tropsch e conversão catalítica de etanol a bioquerosene de aviação (CNPEM, UNICAMP e UFPE).

Estudos laboratoriais e pilotos foram realizados no CNPEM para o processamento bioquímico e termoquímico de diferentes biomassas e resíduos, sempre com ênfase na produção de SAF. Estes desenvolvimentos incluíram:

(1) Rotas bioquímicas: estudos de pré-tratamento da matéria-prima pelo método hidrotérmico (UFV) e por ultrassom (UFSM).

(2) Rotas termoquímicas: estudos de processos de pirólise, gaseificação de biomassa e de bio-óleo, limpeza e adequação de gás de síntese e síntese Fischer-Tropsch (UFU, IPT, FEI, UNIFEI, UFRJ e INT), além da liquefação hidrotérmica de resíduos lignocelulósicos (UNICAMP e UFPE).

(3) A avaliação dos produtos, a caracterização e determinação da fração de C renovável em mistura com C fóssil (UNICAMP).

O projeto BioValue avançou na P&D de biocombustíveis para aviação, promovendo diversificação energética e sustentabilidade ambiental. Unindo diferentes áreas do conhecimento, o projeto enfrentou desafios da transição para fontes renováveis e apoiou o desenvolvimento econômico. Os resultados oferecem insights para a produção eficiente de biocombustíveis, alinhando-se às metas globais de redução de emissões e fortalecendo a posição do Brasil como líder em energia renovável.

43. Inserido no Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) da FAPESP, em convênio com o programa Horizon 2020, da União Europeia, com o apoio da FAPEMIG, FACEPE e FAPERGS, além da FUNARBE no gerenciamento dos recursos das empresas participantes do financiamento do projeto.

44. Empresas envolvidas: Petrobras, Embraer, Suzano (após fusão com a Fibria) e Klabin. Instituições de ciência e tecnologia envolvidas: IPT, FEI, UNICAMP, UFRJ, INT, UFU, UFV, UNIFEI, UFPE e UFSM, além do LNBR/CNPEM. Fundações de Amparo à Pesquisa: FAPESP, FAPEMIG, FACEPE e FAPERGS.

Biorrefinaria agroindustrial: rotas tecnológicas para valorização de subprodutos via geração de açúcares avançados e produção de biocombustíveis e bioquímicos

Uma biorrefinaria é uma planta industrial capaz de produzir uma variedade de produtos substituintes de petroquímicos a partir da biomassa, como biocombustíveis e bioquímicos. O projeto, decorrente de uma iniciativa anterior bem-sucedida entre o CNPEM e a Sinochem Petróleo Brasil Ltda., cofinanciado pela EMBRAPPII e pelo BNDES, visa resolver entraves para a produção de biocombustíveis (etanol, diesel verde e bioquerosene de aviação) e de bioquímicos (olefinas) a partir de materiais lignocelulósicos provenientes do milho e materiais residuais lipídicos ácidos.

Até o momento, as condições de pré-tratamento foram estabelecidas em planta-piloto.

Um chassi fúngico está sendo customizado para a sacarificação eficiente dos resíduos de milho. O sistema enzimático está sendo otimizado para a produção *cell free* de olefinas. No caso do sistema *in vivo*, quatro modificações genéticas já foram inseridas em uma levedura laboratorial com ganho significativo do produto desejado. Avaliações técnico-econômica estão em andamento e, até o momento, todos os cenários já foram desenhados para a produção de olefinas por meio do uso dos resíduos industriais da refinaria produtora de etanol de milho. Neste período, ainda, deu-se início à avaliação de eventual possibilidade de proteção de uma das tecnologias já desenvolvida pelo projeto por patente de invenção.

Rota biotecnológica para aproveitamento de resíduos agroflorestais

Este projeto realizado em parceria com a Equinor no Brasil, no âmbito da obrigatoriedade da empresa com Agência Nacional de Petróleo (ANP), e cofinanciado pela EMBRAPPII e pelo BNDES, visa o enfrentamento dos desafios na produção de biohidrocarbonetos a partir de resíduos lignocelulósicos florestais, contribuindo com a agenda global para a sustentabilidade pela aplicação do produto como biocombustíveis *drop in*. O projeto está caminhando para terminar a segunda macro-entrega, na qual uma cepa fúngica está sendo customizada para a sacarificação do resíduo de eucalipto. Uma das modificações genéticas

já foi realizada e validada na etapa de hidrólise enzimática, obtendo uma melhora significativa na liberação de açúcar. Adicionalmente, cepas de leveduras oleaginosas isoladas foram sequenciadas e estão sendo avaliadas quanto aos protocolos genéticos visando a produção de hidrocarbonetos. Objetivando a produção desses compostos, diferentes classes de descarboxilases também foram prospectadas por ferramentas de bioinformática e genômica. Avaliações técnico-econômica iniciais já foram capazes de predizer valores e potenciais desafios do processo, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Materiais

Químicos renováveis

Desenvolvimento de biorreagente seletivo para flotação reversa de minério de ferro

No beneficiamento do minério de ferro, reagentes químicos sintéticos costumam ser utilizados para modificar a superfície mineral e facilitar a separação de contaminantes por flotação. Visando a sustentabilidade desse processo, a empresa Vale e o Instituto Tecnológico Vale (ITV) firmaram uma colaboração em P&D com o CNPEM, cofinanciada pela EMBRAPPII, para desenvolver um biorreagente coletor de quartzo que

proporcione baixo impacto ao meio ambiente. No primeiro semestre de 2024, foram realizados experimentos para a produção do biorreagente que apresentou melhor resultado na flotação do quartzo em sistema mineral por meio de biorreatores de bancada com enzimas imobilizadas. Nesse período, também foi avaliada uma estratégia de *downstream* para a purificação/recuperação deste biorreagente selecionado.

Engenharia e Instrumentação Científica

Aceleradores de Partículas

Sistema de Radiofrequência do Sirius

O Acordo de Cooperação Técnica entre o CNPEM e a PITEC foi firmado no início de abril de 2022 com o objetivo de desenvolver e construir um conjunto de 4 torres de amplificadores de radiofrequência (RF) de alta potência, cada um deles capaz de fornecer 65 kW de potência na frequência de operação de 500 MHz. Essas torres de amplificadores fornecem potência para as cavidades aceleradoras do sistema de radiofrequência do anel de armazenamento do Sirius.

Após uma reavaliação do cronograma e do orçamento do projeto, o acordo foi revisado em fevereiro de 2023 e a data de entrega das torres de amplificadores foi prorrogada para janeiro de 2024. Em setembro de 2023, foi realizada uma nova adequação do escopo, após revisão das demandas de potência de RF para operar os dispositivos de inserção (IDs) atualmente instalados na fonte de luz, os quais são provisórios e menos potentes que os dispositivos finais. A constatação de que metade da potência de RF final é suficiente para a operação da Fase 1 do Sirius com o cenário atual de IDs levou à decisão estratégica de postergar a

capacidade de potência total de RF para a Fase 2 do Sirius. Com isso, houve a redução dos entregáveis inicialmente acordados, procurando-se manter apenas a entrega do lote de amplificadores que já estavam em produção. No entanto, o tempo necessário para os testes e ajustes dos parâmetros dos módulos amplificadores foi maior que o estimado e, em 12 de março de 2024, houve a última readequação do acordo para o aceite dos módulos amplificadores que não satisfizeram todos os critérios de aceitação, mas que ainda poderiam ser aproveitados para a produção final das torres amplificadoras da Fase 2. Nessa última etapa, os entregáveis foram alterados para 102 unidades de módulos amplificadores montados e testados, com relatório de testes demonstrando aceitação conforme especificação, e 74 unidades de módulos amplificadores montados e testados, porém sem necessidade de satisfazer todos os critérios de aceitação. No final de março de 2024, esta colaboração entre CNPEM e PITEC foi encerrada com o recebimento no CNPEM de todos os entregáveis acordados na última revisão do plano de trabalho.

Tecnologias Supercondutoras

Prospecção de Projetos em Propulsão Elétrica com uso de Supercondutividade

O projeto de cooperação em PD&I do CNPEM com a Embraer, a terceira maior fabricante de jatos comerciais do mundo, foi realizado entre agosto de 2023 e maio de 2024 e teve por objetivo avaliar a aplicação de tecnologias supercondutoras na aviação, focando na propulsão elétrica com uso de materiais supercondutores. Essas tecnologias são consideradas promissoras para que o setor de aviação atinja as metas futuras de emissões de CO₂ e NO_x, contribuindo para a construção de um futuro mais sustentável. Foram realizados estudos através da busca em bases científicas sobre diversos tópicos na área de supercondutividade aplicada à aviação, dentre eles: topologias de máquinas rotativas supercondutoras e as tecnologias associadas, como *flux pumps* e juntas rotativas; levantamento sobre sistemas de armazenamento de energia magnética supercondutores (SMES, *Superconducting Magnetic Energy Storage*) e sua potencial aplicação na aviação; características, aplicação e fabricação dos diferentes materiais

supercondutores; detecção e proteção de *quench* em supercondutores de alta temperatura. Por meio da análise de mercado e bases patentárias, neste semestre foram identificados os grandes players do mercado de SMES e materiais supercondutores de alta temperatura com as tecnologias protegidas até o momento, tanto em produtos quanto processos. Como última etapa, a equipe elaborou propostas de projetos com enfoque nas competências do CNPEM, abordando as áreas de materiais, eletrônica de potência e engenharia de sistemas. Tais projetos podem ser abordados em paralelo ou potencialmente contribuir para desenvolvimentos futuros em supercondutividade. As entregas finais do projeto incluíram relatórios de pesquisa em propriedade intelectual e relatórios técnicos. Dentre eles, o relatório técnico final conta com 118 páginas e inclui 113 referências, abrangendo todo o levantamento técnico do estado da arte da aplicação de tecnologia supercondutora na aviação.





TREINAMENTO, EDUCAÇÃO E EXTENSÃO

Neste capítulo são descritos os eventos promovidos pelo CNPEM no primeiro semestre, os eventos que estão agendados para os próximos meses e os destaques do segundo ano de atividades da Ilum Escola de Ciência. Por fim, são apresentados os números associados aos jovens bolsistas que desenvolvem suas pesquisas no Centro por meio de estágio, bolsas de iniciação científica e de pós-graduação.



Eventos científicos e de capacitação

Uma das frentes de atuação do CNPEM é a capacitação e qualificação de recursos humanos em áreas científicas e tecnológicas de fronteira, através de eventos científicos, cursos de capacitação, treinamentos e ações de divulgação para o público amplo. No primeiro semestre deste ano, foram realizados 9 eventos, sendo 6 de capacitação, com 163 participantes externos, e 3 científicos, totalizando 159 participantes externos. Além disso, o CNPEM sediou em abril a Conferência Livre - “Conferência Livre: Grandes Projetos Brasileiros Intensivos em CT&I” com representantes de distintas instituições para discutir as estratégias nacionais da execução de projetos científicos de alta complexidade.

Para o segundo semestre de 2024, está prevista a realização de 15 eventos de capacitação e 12 científicos. A seguir, são listados os eventos agendados para o próximo semestre.

Acesse o QR code e assista a Conferência Grandes Projetos Brasileiros Intensivos em CT&I



Tabela 23 - Eventos de capacitação programados para o segundo semestre de 2024

Tecnologia de edição genômica CRISPR/Cas9: da pesquisa biomédica às terapias avançadas
Minicurso Gwyddion: Treinamento em software de tratamento de imagens de AFM (2 edições)
Escola Ricardo Rodrigues de Luz Síncrotron (ER2LS)
II Fundamentos em Microscopia Eletrônica de transmissão
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3 (3 edições)
II SEM-FIB Workshop
Curso de Caracterização Química de Bagaço e Palha de Cana-de-açúcar
9º Curso para Operação de Biorreatores de Bancada
Escola São Paulo de Ciência Avançada em Técnicas de Luz Síncrotron de 4ª Geração
Curso de capacitação hands-on em sequenciamento de alto desempenho e análises de bioinformática
Workshop em Criotomografia Eletrônica

Tabela 24 - Eventos científicos programados para o segundo semestre de 2024

VII AFM Workshop
21st Brazilian Workshop on Semiconductor Physics (BWSP)
3º Workshop de Hidrogênio Sustentável
4th AgroEnviro Workshop – Connecting Synchrotron Research to Higher-Scale Problem Solving in AgroEnviroSystems
Simpósio em Pesquisa Cardiovascular (SPC)
VIII Curso de Introdução - Nanotecnologia & Nanotoxicologia (Intronanotox)
VII IBSB - Bioinformática e sequenciamento
34th LNLS Annual Users' Meeting (RAU)
International Sirius Workshop on Heterogeneous and Hierarchical Materials (H2Mat)
XIII Proteomics Workshop
Crystallographic Fragment Screening Workshop
Synchrotron Techniques Under High Pressure (PRESSYNC)

Linha do tempo dos eventos de capacitação e científicos de 2024

6ª Escola Sirius para Professores de Ensino Médio (ESPEM)



15-19 de janeiro



Presencial



60 participantes externos



40 horas

Capacitação

Realizada entre os dias 15 e 19 de janeiro de 2024, a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM) é voltada para professores de Física, Química e Biologia que atuam no Ensino Médio das redes pública ou privada de ensino. Neste ano, a ESPEM ampliou o seu alcance e recebeu professores de todo o Brasil e demais países da América Latina e Caribe. Com aulas teóricas e práticas, ministradas pelos profissionais do CNPEM, e palestras de convidados das áreas de educação e ciências, o principal objetivo da escola é estimular os professores a levarem ideias da ciência moderna para as salas de aula onde atuam. A Escola é um espaço para discussões entre os professores e potencializa a troca de experiências entre colegas de todo Brasil e demais países da América Latina.

V IBSB: Brazilian Czyme Research Meeting



23 de janeiro



Presencial



28 participantes externos

Científico

No dia 23 de janeiro, sob a organização do Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), a quinta edição do IBSB abordou como a biotecnologia industrial e biologia sintética podem contribuir para a bioeconomia circular. Este workshop faz parte de uma rede de colaboração entre investigadores do LNBR e da Chalmers University of Technology, ambos com uma vasta competência em biotecnologia industrial e SynBio.

Programa CNPEM de capacitação para trabalho em Laboratório NB3 – 3ª e 4ª edição



26-29 de fevereiro e 22-25 de abril



Presencial



14 participantes externos



56 horas

Capacitação

Em fevereiro e abril deste ano, foram realizadas duas edições do programa CNPEM de capacitação para trabalho em Laboratórios de Nível de Biossegurança 3 (NB3). Durante as horas de capacitação, os profissionais foram treinados no correto uso das instalações, equipamentos e procedimentos relacionados às estrutura NB3. O treinamento teórico e prático em biossegurança desses profissionais é uma das principais ações na prevenção de acidentes.





Minicurso Gwyddion: Treinamento em software de tratamento de imagens de AFM



Capacitação

Em 2024, o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) promove mais uma edição do minicurso Gwyddion para o Tratamento de Imagens de AFM. O minicurso seguiu o mesmo conteúdo programático de outras edições, abordando noções básicas do software para tratamento de imagens microscopia de força atômica.



Seminário de Insumos Farmacêuticos Ativos (IFAs): Edição Acadêmica



Científico

No dia 27 de março, a Associação Brasileira da Indústria de Insumos Farmacêuticos (Abiquifi) e o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) promoveram o Seminário: “IFA – Academia”, Biodiversidade Brasileira e Inovação Farmacêutica: um seminário sobre cooperação e desenvolvimento”. Por meio de diálogos entre academia, setor produtivo e governo, o evento discutiu a translação do conhecimento como catalisador do processo de inovação em IFAs e os diferenciais competitivos da biodiversidade brasileira neste tema.



8ª edição do Curso para Operações de Biorreatores de Bancada



Capacitação

Promovido pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), o CNPEM sediou em 2024 a oitava edição do Curso para Operação de Biorreatores de Bancada. O curso apresentou conceitos teóricos envolvendo o tipo e a classificação dos biorreatores, com ênfase em biorreatores agitados mecanicamente (*Stirred Tank Reactor* - STR). Em sua dimensão prática, o curso abordou a calibração, configuração, montagem, monitoramento e operação de biorreatores.



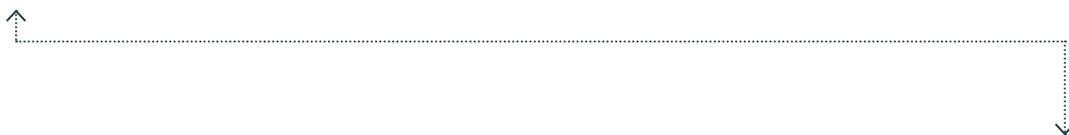


XIV Encontro da Regional 3 de Catálise



22-23 de abril
 Presencial
 75 participantes externos
 Científico

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em parceria com a Regional 3 da Sociedade Brasileira de Catálise (SBCat), promoveu o 14º Encontro Regional de Catálise (ERCAT) entre 22 e 23 de abril de 2024. O evento teve como tema “Da bancada à indústria: os desafios da catálise moderna”, o principal objetivo foi reunir estudantes da graduação a pós-graduação, acadêmicos, pesquisadores e empresas da área de catálise para debater desenvolvimentos científicos e tecnológicos na área de catálise, com avanços na busca por processos sustentáveis, química verde, entre outros.



I Curso de Espectroscopia de Fotoelétrons



22-24 de maio
 Presencial
 64 participantes externos
 16 horas
 Capacitação

Entre os dias 22 e 24 de maio de 2024, o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) realizou a primeira edição do curso em Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios X (XPS) e Ultravioleta (UPS). O objetivo do evento foi oferecer uma introdução às técnicas de espectroscopia de fotoemissão (XPS e UPS) e destacar as capacidades dos equipamentos disponíveis no LNNano. A programação contou com aulas expositivas e práticas, oferecendo treinamento nos principais softwares de análise de dados, oportunidades para apresentações de pôsteres e visitas guiadas ao Sirius e às instalações do laboratório.





Processo seletivo 2024

A procura de estudantes pelo bacharelado em Ciência, Tecnologia e Inovação da Ilum Escola de Ciência mais que triplicou no processo seletivo de 2024, registrando mais de 3,9 mil inscritos, o equivalente a 97,5 candidatos por vaga, um recorde para a terceira turma de graduação. Com esse feito, o ingresso no bacharelado da Ilum se destacou como um dos processos seletivos mais concorridos do Brasil em comparação com diversas áreas de ciências. Para o processo seletivo 2024, a Ilum recebeu uma ampla distribuição regional de inscrições. Do total de inscritos, 2.232 candidatos são da região Sudeste, 734 do Nordeste, 327 do Norte, 261 do Centro-Oeste e 256 do Sul do Brasil. A turma de 2024 é formada por 40 alunos, dos quais metade concluíram o ensino médio em escolas públicas, representando 18 estados das cinco regiões do Brasil, da seguinte forma: 7,5% do Norte, 12,5% do Centro-Oeste, 15% do Sul, 25% do Nordeste e 40% do Sudeste.



Figura 148 – Alunos ingressantes do processo seletivo de 2024 da Ilum

Oficinas de conhecimento

Em 2024, a Ilum realizou a segunda edição das atividades de extensão dos alunos, conforme previsto na Integração Curricular da Extensão, que, por lei, deve corresponder a 10% do total da carga horária curricular estudantil dos cursos de graduação. Neste projeto, denominado Oficinas do Conhecimento, os alunos da Ilum recebem estudantes de escolas públicas aos sábados, das 9h às 12h, para a realização de atividades científicas. Neste ano, a novidade foi a abertura de chamada para o público geral, resultando na seleção de alunos de diversas instituições. No total, 30 participantes de 12 instituições públicas da região foram selecionados, incluindo escolas estaduais, municipais, técnicas e um instituto federal. Todas as atividades são coordenadas e conduzidas pelos alunos do segundo ano da Ilum e constituem situações de aprendizagem dinâmicas que envolvem também atividades práticas nos laboratórios. Os temas abordados englobam assuntos estudados pelos alunos da Ilum e variam desde sistemas biológicos, como cristalização de proteínas, clonagem e microbiologia, até técnicas de caracterização, como microscopia de força atômica e espectroscopia, síntese de *quantum dots* e lógica computacional.



Figura 149: Estudantes de escola pública participam das Oficinas do Conhecimento 2024 na Ilum aos sábados. À esquerda, estudantes participantes da edição de 2024 juntamente com alunos da Ilum e o Coordenador Acadêmico da Ilum, prof. Nelson Studart. À direita: alunos.

Iniciação Científica

A grade curricular da Ilum contempla 5 disciplinas de Iniciação à Pesquisa, nas quais os alunos desenvolvem pesquisas científicas nos laboratórios do CNPEM sob orientação de seus pesquisadores. Além dessas atividades, durante o primeiro semestre de 2024, um total de 24 estudantes desenvolveu atividades de Iniciação Científica, sendo que 12 destes alunos iniciaram suas pesquisas no ano de 2024. Ao todo, 12 alunos foram contemplados com bolsas de agências de fomento à pesquisa, sendo 5 advindas da FAPESP e 7 do projeto INCT/CNPq *Materials Informatics*. Outros 3 alunos estão escrevendo o projeto ou aguardando a resposta das agências de fomento.

Os temas de pesquisa são bastante variados, permeando síntese, modelagem e caracterização de materiais (incluindo projetos com o uso de ferramentas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina), modelos epidemiológicos, segmentação de imagens, lógica *fuzzy*, sequenciamento de

ácidos nucleicos e projeção dos conhecimentos de Inteligência Artificial nas artes.

Quatro alunos da Ilum também realizaram estágio de pesquisa na Espanha no início de 2024, durante o período de férias. Dois destes alunos realizaram seus estágios na Universidade de Jaume I (em Castellón de la Plana), pesquisando sobre formação de partículas no vácuo a partir de cálculos de primeiros princípios junto ao grupo de química teórica e computacional. Atualmente, eles estão redigindo dois artigos científicos nos quais reportarão os resultados obtidos. Já os outros dois alunos realizaram seus estágios no Instituto Catalão de Nanociências e Nanotecnologia (ICN2), localizado no campus da Universidade Autônoma de Barcelona, na região da Catalunha, onde contribuíram com projetos focados em Aprendizado de Máquina no contexto de MOFs (*Metal-organic Frameworks*) e de biossensores.

Intercâmbio Acadêmico

No segundo semestre de 2024, a Ilum receberá pelo menos dois alunos da Universidade Federal do ABC (UFABC) para um intercâmbio acadêmico, marcando o início de um acordo de cooperação entre as duas instituições e abrindo novas oportunidades para os alunos. No mês de maio de 2024, a Ilum publicou o edital, que foi divulgado nos sites das duas instituições acadêmicas, além das mídias sociais. O processo seletivo foi dividido em duas etapas: a primeira consistiu na análise do currículo, histórico escolar e manifestação de interesse do candidato, seguida de entrevistas online com professores da Ilum.

Os alunos selecionados da UFABC terão oportunidade de participar do sexto semestre (último semestre) do curso na Ilum. Durante esse período,

eles deverão cursar uma disciplina de tópicos avançados, podendo escolher entre as áreas de ciências de dados, ciências da matéria e ciências da vida, além de dedicarem-se à realização do projeto final. O acordo com a UFABC é bilateral e prevê a possibilidade dos alunos graduados da Ilum darem continuidade aos seus estudos na UFABC em áreas como física, química, biologia e engenharia.

Além da UFABC, a Ilum também está estabelecendo acordos de parceria com outras instituições, como a Unicamp, oferecendo aos seus alunos a oportunidade de dar continuidade aos estudos na renomada instituição. A proposta é que os graduandos da Ilum realizem dois anos adicionais de estudos nos cursos de engenharia, com a possibilidade de obterem um duplo diploma.

31º Programa Bolsas de Verão

Realizado desde 1992, o Programa Bolsas de Verão (PBV) procura difundir ciência e estimular jovens estudantes a seguirem carreiras científicas e de desenvolvimento tecnológico. O evento é voltado para graduandos das áreas de Ciências Exatas e da Terra (incluindo Engenharias e Tecnologias) e Ciências Biológicas e da Saúde de instituições universitárias localizadas em países da América Latina

e Caribe. Durante o programa, os estudantes desenvolvem um projeto de pesquisa multidisciplinar proposta pelos pesquisadores do CNPEM e, ao final, apresentam os resultados em formato de seminário e de um relatório final de pesquisa. Entre 5 de janeiro e 1 de março, o PBV recebeu 31 estudantes oriundos da Argentina, Colômbia, Equador, Guatemala e de todas as regiões do Brasil.



Programa Unificado de Estágios (PUE)

O Programa Unificado de Estágios do CNPEM (PUE) é voltado para estudantes de cursos técnicos e universitários que procuram oportunidades em áreas científicas, tecnológicas e administrativas. O desenvolvimento dos estagiários ao longo do PUE ocorre por meio de atividades de alta

complexidade, orientadas à solução de verdadeiros desafios científicos. No primeiro semestre de 2024, 174 jovens estudantes realizaram atividades de apoio em diversas áreas do CNPEM, concentrando-se em mecatrônica e eletroeletrônica (nível técnico) e engenharias e física (nível superior).

Tabela 25 - Quadro de estagiários do primeiro semestre de 2024

Estagiário N. Superior	150
Estagiário N. Técnico	24
TOTAL GERAL	174

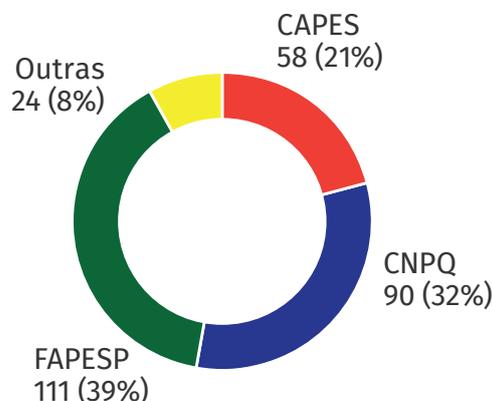
Pesquisadores colaboradores

O CNPEM, por meio de seu conjunto de instalações e competências singulares, também atua em atividades de apoio aos programas de pós-graduação nas mais diversas áreas temáticas, por meio de orientações e supervisões realizadas pelos pesquisadores do Centro em temas pertinentes aos programas científicos e tecnológicos desenvolvidos nos Laboratórios Nacionais. No primeiro semestre de 2024, o CNPEM contribuiu para a formação

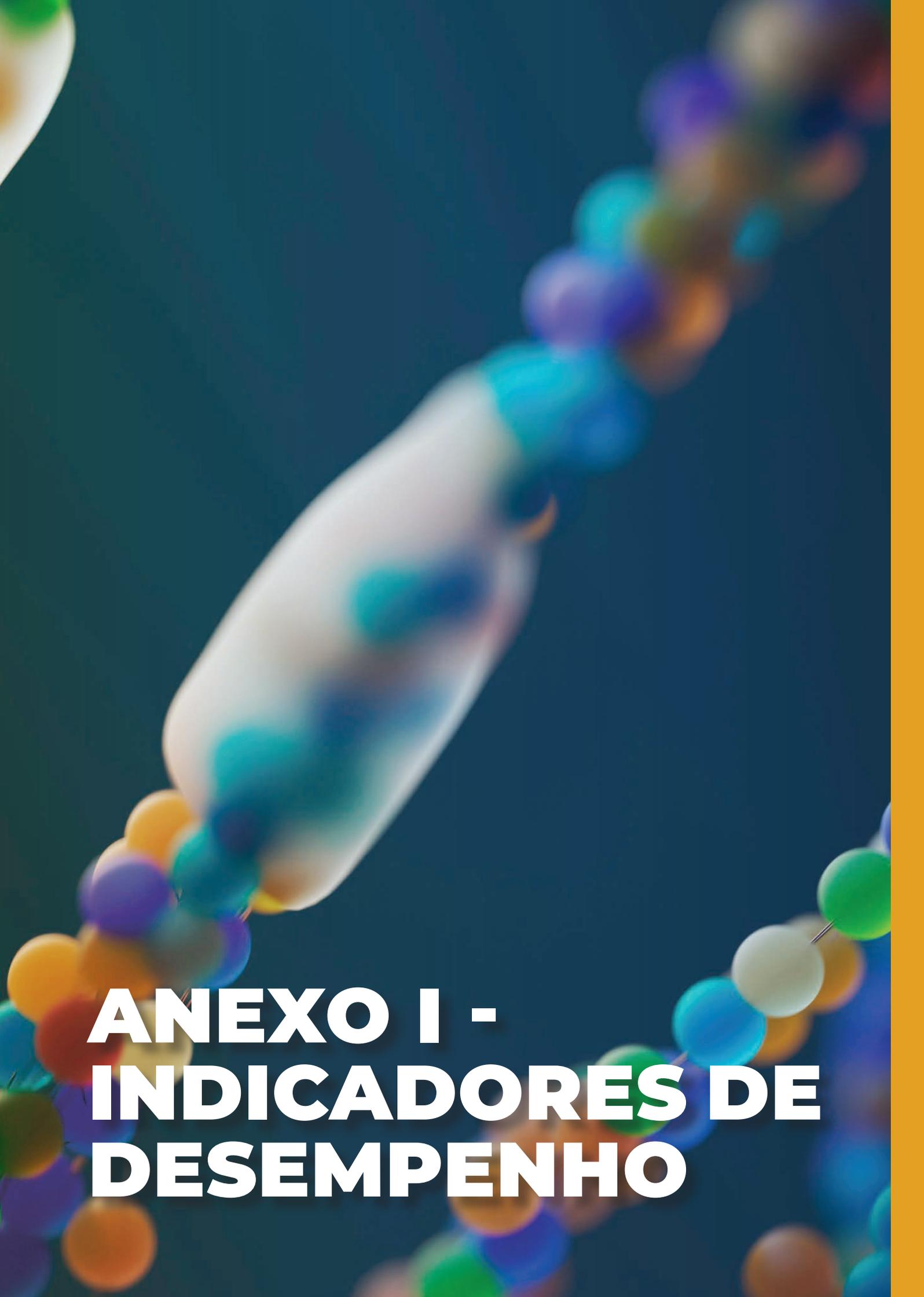
e desenvolvimento de 315 pesquisadores colaboradores distintos que atuaram em projetos de diferentes níveis. Os projetos contaram 283 bolsas de pesquisa, distribuídas nas modalidades a seguir. O número de pesquisadores colaboradores, projetos e bolsas diferem entre si pois, além de alterações de modalidade ou agência de fomento por um mesmo pesquisador, houve 46 projetos sem bolsa concedida por agências.

Modalidades	
Pós-doutorado	71
Doutorado	86
Mestrado	39
Iniciação científica	51
Treinamento técnico	19
DTI	3
PCI	8
Outras	6
Total	283

Agências de Fomento das Bolsas de Pesquisa







ANEXO I - INDICADORES DE DESEMPENHO

ANEXO 1 - Indicadores de Desempenho

ID	Indicador	Eixos de Atuação	Peso	Qualificação	Meta	Resultado 2024 (1º sem.)
01	Taxa geral de ocupação das instalações	Todos	01	Eficácia	70%	43%
02	Taxa de ocupação das instalações por usuários	Eixo 1	01	Eficácia	20%	16,3%
03	Beneficiários externos das instalações abertas	Eixo 1	01	Eficácia	900	792
04	Propostas realizadas por usuários externos nas instalações abertas	Eixo 1	03	Eficácia	500	385
05	Índice de satisfação dos usuários externos	Eixo 1	02	Efetividade	85%	100%
06	Artigos publicados de pesquisadores externos	Eixo 1	04	Efetividade	0,75	0,51
07	Taxa de publicação da pesquisa interna	Eixo 2	04	Efetividade	2	0,96
08	Qualidade da produção científica interna	Eixo 2	01	Efetividade	50%	52%
09	Taxa de coautoria internacional	Eixo 2	01	Efetividade	30%	41%
10	Parcerias em projetos de P&D com instituições de ensino e pesquisa	Eixo 2	02	Eficiência	20	29
11	Parcerias em projetos de PD&I	Eixo 3	02	Eficiência	30	30
12	Recursos associados à inovação	Eixo 3	02	Eficiência	8%	63%
13	Tecnologias protegidas	Eixos 2 e 3	01	Efetividade	8	3
14	Horas de capacitação de pesquisadores externos	Eixo 4	02	Eficácia	200	150
15	Número de pesquisadores externos capacitados	Eixo 4	02	Eficácia	270	163
16	Eventos científicos	Eixo 4	02	Eficácia	8	3
17	Pesquisadores de outras regiões capacitados pelo CNPEM	Eixo 4	01	Eficácia	80	63
18	Propostas realizadas por usuários externos nas linhas de luz do Sirius	Eixo 1	1	Eficácia	200	217
19	Confiabilidade da nova Fonte de Luz Síncrotron (Sirius)	Todos	1	Eficácia	90%	99%

Indicador 1:																													
Taxa geral de ocupação das instalações																													
Eixos de Atuação: Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i> Eixo 3 – Apoio à geração de inovação Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão																													
Objetivo Estratégico do CG: Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																													
Finalidade: Medir a taxa de ocupação das instalações dos Laboratórios Nacionais do CNPEM, no ano de referência, por usuários externos, P&D <i>in-house</i> , interação com empresas e atividades de treinamento, educação e difusão.																													
Descrição: Razão entre o número total de horas efetivamente utilizadas nas atividades mencionadas e o número total de horas planejadas para utilização, sendo retiradas as horas de manutenção e paradas programadas das instalações. Consideram-se no cálculo todos os usuários (internos e externos) em atividades relacionadas aos quatro eixos de atuação do CNPEM.																													
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Número de horas efetivamente utilizadas no período}}{\text{Horas previstas de disponibilidade para uso das instalações no período}}$																													
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Percentual	Qualificação: Eficácia																										
Meta 2024:			70%																										
Resultado 2024 (1º sem):			43%																										
Histórico:																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Taxa de Ocupação (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2013</td><td>68%</td></tr> <tr><td>2014</td><td>81%</td></tr> <tr><td>2015</td><td>73%</td></tr> <tr><td>2016</td><td>73%</td></tr> <tr><td>2017</td><td>83%</td></tr> <tr><td>2018</td><td>89%</td></tr> <tr><td>2019</td><td>83%</td></tr> <tr><td>2020</td><td>50%</td></tr> <tr><td>2021</td><td>72%</td></tr> <tr><td>2022</td><td>70%</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80%</td></tr> <tr><td>2024</td><td>43%</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Taxa de Ocupação (%)	2013	68%	2014	81%	2015	73%	2016	73%	2017	83%	2018	89%	2019	83%	2020	50%	2021	72%	2022	70%	2023	80%	2024	43%
Ano	Taxa de Ocupação (%)																												
2013	68%																												
2014	81%																												
2015	73%																												
2016	73%																												
2017	83%																												
2018	89%																												
2019	83%																												
2020	50%																												
2021	72%																												
2022	70%																												
2023	80%																												
2024	43%																												
Comentário: O número de horas disponíveis para uso das instalações é estimado no início do ano e considera as agendas de todas as instalações abertas no portal SAU Online do CNPEM. As horas disponibilizadas para uso das instalações abertas, denominador do indicador, é o produto dos dias úteis pelo número de horas dos turnos diários da instalação, menos a previsão de horas de manutenção e paradas programadas. As horas efetivamente utilizadas são aquelas associadas às propostas de pesquisa externas e internas																													

agendadas e realizadas e a registros do tempo utilizado na execução de projetos em parceria com empresas, prestações de serviços, treinamento, entre outros eventos especiais.

Em 2024 foram disponibilizadas aproximadamente 86 mil horas para uso das instalações. No primeiro semestre foram contabilizadas cerca de 36 mil horas de uso, o que corresponde a uma taxa de ocupação de 43%.

Este indicador não inclui o Sirius

Indicador 2:																																										
Taxa de ocupação das instalações por usuários externos																																										
Eixos de Atuação:																																										
Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos																																										
Objetivo Estratégico do CG:																																										
Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																																										
Finalidade:																																										
Medir a ocupação dos Laboratórios Nacionais do CNPEM por usuários externos no período de referência																																										
Descrição:																																										
Razão entre o número de horas efetivamente utilizadas por usuários externos e o número de horas totais disponibilizadas para todos os eixos de atuação																																										
Fórmula de cálculo:																																										
$\frac{\text{Número de horas efetivamente utilizadas por usuários externos no período}}{\text{Horas previstas de disponibilidade para uso das instalações no período}}$																																										
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Percentual	Qualificação: Eficácia																																							
Meta 2024:			20%																																							
Resultado 2024 (1º sem.):			16,3%																																							
Histórico:																																										
<table border="1"> <caption>Dados do Histórico de Taxa de Ocupação</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado (%)</th> <th>Meta (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2013</td><td>48%</td><td>48%</td></tr> <tr><td>2014</td><td>47%</td><td>47%</td></tr> <tr><td>2015</td><td>45%</td><td>45%</td></tr> <tr><td>2016</td><td>42%</td><td>42%</td></tr> <tr><td>2017</td><td>43%</td><td>43%</td></tr> <tr><td>2018</td><td>51%</td><td>43%</td></tr> <tr><td>2019</td><td>38%</td><td>40%</td></tr> <tr><td>2020</td><td>6%</td><td>40%</td></tr> <tr><td>2021</td><td>13%</td><td>40%</td></tr> <tr><td>2022</td><td>22%</td><td>15%</td></tr> <tr><td>2023</td><td>28%</td><td>20%</td></tr> <tr><td>2024</td><td>16%</td><td>20%</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado (%)	Meta (%)	2013	48%	48%	2014	47%	47%	2015	45%	45%	2016	42%	42%	2017	43%	43%	2018	51%	43%	2019	38%	40%	2020	6%	40%	2021	13%	40%	2022	22%	15%	2023	28%	20%	2024	16%	20%
Ano	Resultado (%)	Meta (%)																																								
2013	48%	48%																																								
2014	47%	47%																																								
2015	45%	45%																																								
2016	42%	42%																																								
2017	43%	43%																																								
2018	51%	43%																																								
2019	38%	40%																																								
2020	6%	40%																																								
2021	13%	40%																																								
2022	22%	15%																																								
2023	28%	20%																																								
2024	16%	20%																																								
Comentário:																																										
<p>As horas disponibilizadas para uso das instalações no período, denominador do indicador, é o produto dos dias úteis pelo número de horas dos turnos diários da instalação, menos a previsão de horas de manutenção e de paradas programadas. O número de horas de uso das instalações para atendimento de propostas externas de pesquisa é medido por meio das horas agendadas com essa finalidade no Portal SAU Online do CNPEM. No cálculo do indicador são consideradas apenas as propostas realizadas. No primeiro semestre de 2024, foram utilizadas cerca de 14 mil horas de equipamentos por pesquisadores externos, resultando numa taxa de ocupação de 16% neste eixo de atuação.</p>																																										

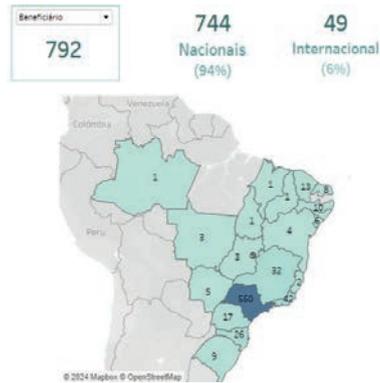
	Eixo 1	Horas Disponíveis	Taxa de Ocupação de 2022
LNLS			
LN BIO	4.373	25.450	17%
LN BR	689	11.723	6%
LNNANO	9.022	49.044	18%
CNPEM	14.084	86.217	16%

Este indicador não inclui o Sirius

Indicador 3:																																													
Beneficiários externos das instalações abertas																																													
Eixo de Atuação:																																													
Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos																																													
Objetivo Estratégico do CG:																																													
Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																																													
Finalidade:																																													
Medir o universo de pesquisadores externos beneficiados pelo uso das instalações abertas do CNPEM, no ano de referência.																																													
Descrição:																																													
Número de beneficiários externos identificados nas propostas de pesquisa realizadas nas instalações abertas do CNPEM. Para esse cálculo, são considerados os pesquisadores que utilizaram diretamente as instalações e/ou integraram o grupo de pesquisa que realizou a proposta.																																													
Fórmula de cálculo:																																													
<i>Número total de beneficiários externos das instalações abertas do CNPEM no período</i>																																													
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia																																										
Meta 2024:			900																																										
Resultado 2024 (1º sem.):			792																																										
Histórico:																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2012</td><td>1812</td><td>1600</td></tr> <tr><td>2013</td><td>1894</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2014</td><td>1865</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2015</td><td>1911</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2016</td><td>2122</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2017</td><td>2246</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2018</td><td>2503</td><td>1700</td></tr> <tr><td>2019</td><td>1554</td><td>1800</td></tr> <tr><td>2020</td><td>353</td><td>1600</td></tr> <tr><td>2021</td><td>515</td><td>1600</td></tr> <tr><td>2022</td><td>888</td><td>750</td></tr> <tr><td>2023</td><td>1032</td><td>800</td></tr> <tr><td>2024</td><td>792</td><td>900</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2012	1812	1600	2013	1894	1700	2014	1865	1700	2015	1911	1700	2016	2122	1700	2017	2246	1700	2018	2503	1700	2019	1554	1800	2020	353	1600	2021	515	1600	2022	888	750	2023	1032	800	2024	792	900
Ano	Resultado	Meta																																											
2012	1812	1600																																											
2013	1894	1700																																											
2014	1865	1700																																											
2015	1911	1700																																											
2016	2122	1700																																											
2017	2246	1700																																											
2018	2503	1700																																											
2019	1554	1800																																											
2020	353	1600																																											
2021	515	1600																																											
2022	888	750																																											
2023	1032	800																																											
2024	792	900																																											

Comentário:

A metodologia de cálculo deste indicador prevê a contabilização do número de pesquisadores externos beneficiados com a realização das propostas de pesquisa no CNPEM. Considera-se cada pesquisador uma única vez, ainda que ele tenha utilizado mais de uma instalação ou que esteja envolvido em mais de uma proposta de pesquisa. Assim, a somatória dos beneficiários por instalação é superior ao número total de pesquisadores beneficiados contabilizado no indicador.



Instituições Brasileiras

- BLAU FARMACÊUTICA S/A
- CBPF - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
- CCSNano-Centro de Componentes Semicondutores e Nanotecnologias
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CPS - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
- Cristália Produtos Químico Farmacêutico Ltda.
- CT Vacinas
- CTEx - Centro Tecnológico do Exército
- CTI Renato Archer - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
- DEPART. DE PARASITOLOGIA, INST. DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS, UNIV. SÃO PAULO
- DetectaCyn
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto
- Faculdade de Engenharia de Alimentos-UNICAMP
- Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
- Faculdade de Medicina de Botucatu
- Fundação Pio XII
- FURB - Universidade Regional de Blumenau
- Hospital Pequeno Príncipe
- IFSP - Instituto Federal de São Paulo
- Instituto Butantan
- Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo
- Instituto de Pesquisa Pelé Pequeno Príncipe
- Instituto de Pesquisas Eldorado - Campinas (SP)
- Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
- Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias
- Instituto Penido Burnier
- Instituto SENAI de Inovação em Sist. de Manufatura e Proc. a Laser
- IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Instituições de outros países

- CNRS - Centre National de la Recherche Scientifique
- CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
- Cornell University
- CSIR-Indian Institute of Petroleum
- ESRF - ID02 Beamline
- Fundación Instituto Leloir
- Ghent University
- IBR - Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario
- Joint Institute for Nuclear Research
- Kansas State University
- Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT)
- NTNU - Norwegian University of Science and Technology
- Polish Academy of Sciences, Institute of Physical Chemistry
- San Diego State University
- Technical University of Dresden
- UBA - Universidad de Buenos Aires
- UNC - Universidad Nacional de Córdoba
- UNESP - Universidade Estadual Paulista
- Universidad de Chile
- Universidad Nacional de Ingeniería
- University of Bari Aldo Moro
- University of Chicago
- University of Southern California
- University of Texas Southwestern Medical Center
- UNL - Universidad Nacional del Litoral
- UNSAM - Universidad Nacional de General San Martin

ITP - Instituto de Tecnologia e Pesquisa
Laboratório de Dispositivos e Materiais
Natura Inovação e Tecnologia de Produtos
PUC Rio de Janeiro - Pontifícia Universidade Católica
RAÍZEN Energia
SECRETARIA DA SAÚDE DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria de Educação e Cultura
SENAI - Departamento Regional da Bahia
UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
UECE - Universidade Estadual do Ceará
UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais
UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense
UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFABC - Universidade Federal do ABC
UFAL - Universidade Federal de Alagoas
UFC - Universidade Federal do Ceará
UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFES - Universidade Federal do Espírito Santo
UFG - Universidade Federal de Goiás
UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados
UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora
UFLA - Universidade Federal de Lavras
UFMA - Universidade Federal do Maranhão
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
UFPEL - Universidade Federal de Pelotas
UFPI - Universidade Federal do Piauí
UFPR - Universidade Federal do Paraná
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFS - Universidade Federal de Sergipe
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos
UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei
UFT - Universidade Federal do Tocantins
UFU - Universidade Federal de Uberlândia
UFV - Universidade Federal de Viçosa
UnB - Universidade de Brasília
UNESP - Universidade Estadual Paulista
UNG - Universidade de Guarulhos
UNIARA - Universidade de Araraquara
UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas
UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro-Oeste

UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas

UNIFESP - Universidade Federal de São Paulo

UNIP - Universidade Paulista

UNISO - Universidade de Sorocaba

Universidade de São Paulo

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Universidade Cruzeiro do Sul

Universidade de Santo Amaro

Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas

Universidade do Estado do Amazonas

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Universidade Federal de Santa Catarina

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Universidade de São Paulo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Este indicador não inclui o Sirius

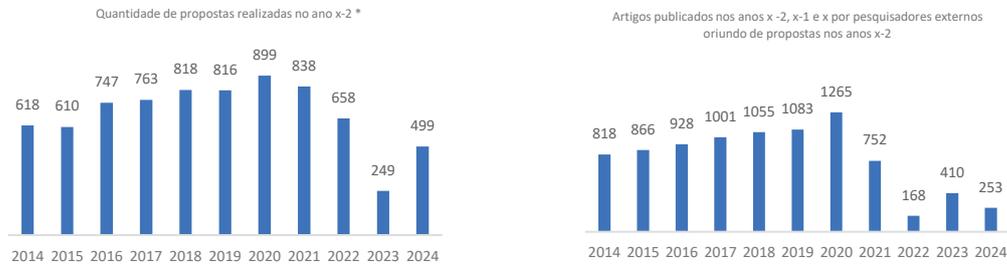
Indicador 4:																																																
Propostas realizadas por usuários externos nas instalações abertas																																																
Eixo de Atuação: Eixo 1 - Instalações abertas a usuários externos																																																
Objetivo Estratégico do CG: Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																																																
Finalidade: Medir o número de propostas realizadas nas instalações abertas do CNPEM.																																																
Descrição: Propostas realizadas por usuários externos nas instalações abertas do CNPEM, no ano de referência.																																																
Fórmula de cálculo: <i>Número total de propostas externas realizadas no período</i>																																																
Tipo: Uso	Peso: 3	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia																																													
Meta 2024:			500																																													
Resultado 2024 (1º sem.):			385																																													
Histórico:																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2011</td><td>917</td><td>850</td></tr> <tr><td>2012</td><td>906</td><td>850</td></tr> <tr><td>2013</td><td>937</td><td>850</td></tr> <tr><td>2014</td><td>949</td><td>850</td></tr> <tr><td>2015</td><td>991</td><td>850</td></tr> <tr><td>2016</td><td>1069</td><td>850</td></tr> <tr><td>2017</td><td>1086</td><td>850</td></tr> <tr><td>2018</td><td>1265</td><td>850</td></tr> <tr><td>2019</td><td>752</td><td>900</td></tr> <tr><td>2020</td><td>168</td><td>870</td></tr> <tr><td>2021</td><td>249</td><td>870</td></tr> <tr><td>2022</td><td>499</td><td>870</td></tr> <tr><td>2023</td><td>598</td><td>870</td></tr> <tr><td>2024</td><td>385</td><td>500</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2011	917	850	2012	906	850	2013	937	850	2014	949	850	2015	991	850	2016	1069	850	2017	1086	850	2018	1265	850	2019	752	900	2020	168	870	2021	249	870	2022	499	870	2023	598	870	2024	385	500
Ano	Resultado	Meta																																														
2011	917	850																																														
2012	906	850																																														
2013	937	850																																														
2014	949	850																																														
2015	991	850																																														
2016	1069	850																																														
2017	1086	850																																														
2018	1265	850																																														
2019	752	900																																														
2020	168	870																																														
2021	249	870																																														
2022	499	870																																														
2023	598	870																																														
2024	385	500																																														
Comentário: No período foram computadas 385 propostas de pesquisa externas realizadas nas instalações abertas do CNPEM.																																																
Este indicador não inclui o Sirius																																																

Indicador 5:																																																
Índice de satisfação dos usuários externos																																																
Eixo de Atuação: Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos																																																
Objetivo Estratégico do CG: Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																																																
Finalidade: Medir a satisfação dos usuários das instalações abertas de modo sistemático e periódico.																																																
Descrição: O indicador mede o índice de satisfação dos usuários externos com a utilização das instalações abertas do CNPEM, no ano de referência, com base em questão específica do formulário aplicado na realização da proposta de pesquisa.																																																
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Número de respostas "muito satisfeito" e "satisfeito" no período}}{\text{Número total de respostas no período}}$																																																
Tipo: Desempenho e Uso	Peso: 2	Unidade: Percentual	Qualificação: Efetividade																																													
Meta 2024:			85%																																													
Resultado 2024 (1º sem.):			100%																																													
Histórico:																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado (%)</th> <th>Meta (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2011</td><td>85%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2012</td><td>94%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2013</td><td>95,2%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2014</td><td>95%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2015</td><td>97%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2016</td><td>92%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2017</td><td>95,2%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2018</td><td>96,1%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2019</td><td>99%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2020</td><td>100%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2021</td><td>96%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2022</td><td>92%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2023</td><td>99%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>2024</td><td>100%</td><td>85%</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado (%)	Meta (%)	2011	85%	85%	2012	94%	85%	2013	95,2%	85%	2014	95%	85%	2015	97%	85%	2016	92%	85%	2017	95,2%	85%	2018	96,1%	85%	2019	99%	85%	2020	100%	85%	2021	96%	85%	2022	92%	85%	2023	99%	85%	2024	100%	85%
Ano	Resultado (%)	Meta (%)																																														
2011	85%	85%																																														
2012	94%	85%																																														
2013	95,2%	85%																																														
2014	95%	85%																																														
2015	97%	85%																																														
2016	92%	85%																																														
2017	95,2%	85%																																														
2018	96,1%	85%																																														
2019	99%	85%																																														
2020	100%	85%																																														
2021	96%	85%																																														
2022	92%	85%																																														
2023	99%	85%																																														
2024	100%	85%																																														
Comentário: No primeiro semestre de 2024, 24 pesquisadores externos responsáveis pela execução de propostas de pesquisa preencheram o formulário de satisfação e todos escolheram as opções de resposta “muito satisfeito” ou “satisfeito” com o uso das instalações, resultando em índice de satisfação de 100%.																																																
Este indicador não inclui o Sirius																																																

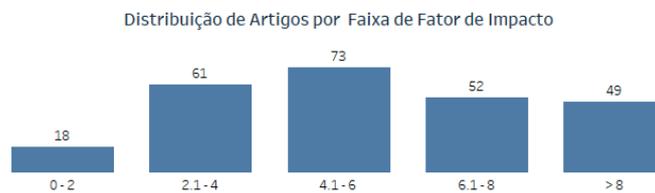
Indicador 6:																																										
Artigos publicados por pesquisadores externos																																										
Eixo de Atuação: Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos																																										
Objetivo Estratégico do CG: Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.																																										
Finalidade: Aferir resultados das atividades de pesquisa realizadas por pesquisadores externos, decorrentes do uso das instalações abertas do CNPEM, no ano de referência.																																										
Descrição: Razão entre o número de artigos de pesquisadores externos ao CNPEM que decorreu do uso das instalações no ano X, indexados na base <i>Web of Science</i> nos anos x, x+1, x+2, e o número de propostas realizadas no ano X.																																										
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Número de artigos de pesq. externos na base WoS nos anos } x, x + 1, x + 2}{\text{Número de propostas realizadas no ano } X}$																																										
Tipo: Uso	Peso: 4	Unidade: Razão	Qualificação: Efetividade																																							
Meta 2024:			0,75																																							
Resultado 2024 (1º sem.):			0,51																																							
Histórico:																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2013</td><td>0,69</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2014</td><td>0,82</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2015</td><td>0,79</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2016</td><td>0,79</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2017</td><td>0,77</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2018</td><td>0,77</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2019</td><td>0,75</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2020</td><td>0,71</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2021</td><td>1,11</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2022</td><td>3,9</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2023</td><td>1,65</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>2024</td><td>0,51</td><td>0,75</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2013	0,69	0,75	2014	0,82	0,75	2015	0,79	0,75	2016	0,79	0,75	2017	0,77	0,75	2018	0,77	0,75	2019	0,75	0,75	2020	0,71	0,75	2021	1,11	0,75	2022	3,9	0,75	2023	1,65	0,75	2024	0,51	0,75
Ano	Resultado	Meta																																								
2013	0,69	0,75																																								
2014	0,82	0,75																																								
2015	0,79	0,75																																								
2016	0,79	0,75																																								
2017	0,77	0,75																																								
2018	0,77	0,75																																								
2019	0,75	0,75																																								
2020	0,71	0,75																																								
2021	1,11	0,75																																								
2022	3,9	0,75																																								
2023	1,65	0,75																																								
2024	0,51	0,75																																								
Comentário:																																										
<p>Para o ano de 2024, o indicador mede a produtividade científica dos beneficiários das propostas externas realizadas no CNPEM em 2022. Foram considerados todos os artigos publicados em 2022, 2023 e 2024 por pesquisadores envolvidos nas propostas de pesquisa externas a partir do uso das instalações do CNPEM em 2022. Na contabilização das publicações são incluídas apenas aquelas que fazem citação ao uso de instalações dos Laboratórios Nacionais.</p> <p>Vale observar que ao contrário de outras instituições de pesquisa que medem exclusivamente a produção científica de seus próprios funcionários, o Laboratório Nacional aberto deve aferir também os resultados obtidos por seus usuários externos, impondo desafios à metodologia de busca. O CNPEM recebe diretamente de seus beneficiários a relação de artigos publicados a partir do uso das instalações,</p>																																										

via portal SAU Online e/ou diretamente pela biblioteca. Contudo, como o número de beneficiários que reporta suas publicações não é totalmente satisfatório, essas informações são utilizadas para checagem no processo de busca. É possível que o número total de artigos reportado esteja subestimado devido à ausência de citações diretas ao CNPEM, impossibilitando a contabilização.

O número total de artigos computados entre 2022 e 2024 é 253 e o número de propostas realizadas em 2022, 499. O resultado apurado para o indicador totaliza taxa de 0,51.



*O ano do gráfico corresponde ao ano em que o indicador foi calculado



Indicador 7:																																																
Artigos publicados por pesquisadores internos																																																
Eixo de Atuação: Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>																																																
Objetivo Estratégico do CG: Realizar e difundir pesquisa própria, desenvolvimento e inovação em nível dos melhores laboratórios similares no mundo, em áreas previstas na Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.																																																
Finalidade: Aferir resultados das atividades de pesquisa interna realizadas por pesquisadores e especialistas do CNPEM envolvidos com essas atividades.																																																
Descrição: Razão entre o número de artigos publicados por pesquisadores e especialistas do CNPEM em periódicos indexados na base <i>Web of Science</i> , no ano de referência, e o número de pesquisadores e especialistas considerados.																																																
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Número de artigos de pesq. e especialistas internos na base WoS no período}}{\text{Número de pesquisadores e especialistas internos no período}}$																																																
Tipo: Uso	Peso: 4	Unidade: Razão	Qualificação: Efetividade																																													
Meta 2024:			2																																													
Resultado 2024 (1º sem.):			0,96																																													
Histórico:																																																
<table border="1"> <caption>Histórico do Indicador</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2011</td><td>2,1</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2012</td><td>2,34</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2013</td><td>2,1</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2014</td><td>1,95</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2015</td><td>1,9</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2016</td><td>2,2</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>2017</td><td>2,1</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2018</td><td>2,5</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2019</td><td>2,5</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2020</td><td>2,4</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2021</td><td>2,3</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2022</td><td>1,8</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2023</td><td>1,9</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>2024</td><td>0,96</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2011	2,1	2,1	2012	2,34	2,1	2013	2,1	2,1	2014	1,95	2,1	2015	1,9	2,1	2016	2,2	2,1	2017	2,1	2,5	2018	2,5	2,5	2019	2,5	2,5	2020	2,4	2,5	2021	2,3	2,5	2022	1,8	2,5	2023	1,9	2,5	2024	0,96	2
Ano	Resultado	Meta																																														
2011	2,1	2,1																																														
2012	2,34	2,1																																														
2013	2,1	2,1																																														
2014	1,95	2,1																																														
2015	1,9	2,1																																														
2016	2,2	2,1																																														
2017	2,1	2,5																																														
2018	2,5	2,5																																														
2019	2,5	2,5																																														
2020	2,4	2,5																																														
2021	2,3	2,5																																														
2022	1,8	2,5																																														
2023	1,9	2,5																																														
2024	0,96	2																																														
Comentário: Para efeito de apuração do indicador, considera-se uma lista de 93 pesquisadores internos que, no primeiro semestre de 2024, foram responsáveis pela publicação de 88 artigos científicos indexados na base <i>Web of Science</i> , o que levou ao resultado de 0,96 artigos por pesquisador.																																																
<p>Distribuição de Artigos por Faixa de Fator de Impacto</p> <table border="1"> <caption>Distribuição de Artigos por Faixa de Fator de Impacto</caption> <thead> <tr> <th>Faixa de Fator de Impacto</th> <th>Número de Artigos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-2</td><td>3</td></tr> <tr><td>2.1-4</td><td>32</td></tr> <tr><td>4.1-6</td><td>22</td></tr> <tr><td>6.1-8</td><td>12</td></tr> <tr><td>>8</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>				Faixa de Fator de Impacto	Número de Artigos	0-2	3	2.1-4	32	4.1-6	22	6.1-8	12	>8	20																																	
Faixa de Fator de Impacto	Número de Artigos																																															
0-2	3																																															
2.1-4	32																																															
4.1-6	22																																															
6.1-8	12																																															
>8	20																																															



Indicador 8:																														
Qualidade da produção científica interna																														
Eixo de Atuação: Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>																														
Objetivo Estratégico do CG: Realizar e difundir pesquisa própria, desenvolvimento e inovação em nível dos melhores laboratórios similares no mundo, em áreas previstas na Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.																														
Finalidade: Aferir resultados das atividades de pesquisa interna realizadas por pesquisadores e especialistas do CNPEM envolvidos com essas atividades.																														
Descrição: Razão entre número de artigos publicados por pesquisadores/especialistas internos classificados no Quartil 1 e número total de artigos publicados (indexados na base WoS).																														
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Número de artigos de pesq. e especialistas internos classificados no Quartil 1}}{\text{Número total de artigos publicados}}$																														
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Razão	Qualificação: Efetividade																											
Meta 2024:			50%																											
Resultado 2024 (1º sem.):			52%																											
Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2017.																														
<table border="1"> <caption>Histórico do Indicador (2017-2024)</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado (%)</th> <th>Meta (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2017</td> <td>53%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>53%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>44%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>50%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>57%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2022</td> <td>55%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>49%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>2024</td> <td>52%</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado (%)	Meta (%)	2017	53%	50%	2018	53%	50%	2019	44%	50%	2020	50%	50%	2021	57%	50%	2022	55%	50%	2023	49%	50%	2024	52%	50%
Ano	Resultado (%)	Meta (%)																												
2017	53%	50%																												
2018	53%	50%																												
2019	44%	50%																												
2020	50%	50%																												
2021	57%	50%																												
2022	55%	50%																												
2023	49%	50%																												
2024	52%	50%																												
Comentário:																														
<p>A medida utilizada afere a qualidade da produção científica interna, por meio do padrão de quartis do <i>Journal of Citation Report (JCR)</i>. Vale ressaltar que a classificação por quartis é realizada a partir dos fatores de impacto das revistas, respeitando as diferenças entre áreas do conhecimento. Em 2024, 45 dos 88 artigos publicados, por pesquisadores internos, foram classificados no primeiro quartil, correspondendo a 51% da produção científica total. Artigos em periódicos que não estão</p>			<p>Quartil artigos internos</p> <table border="1"> <caption>Distribuição de Quartis em 2024</caption> <thead> <tr> <th>Quartil</th> <th>Quantidade</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Q1</td> <td>45</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>Q2</td> <td>29</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q3</td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Indefinido</td> <td>2</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Quartil	Quantidade	Porcentagem	Q1	45	51%	Q2	29		Q3	12		Indefinido	2													
Quartil	Quantidade	Porcentagem																												
Q1	45	51%																												
Q2	29																													
Q3	12																													
Indefinido	2																													

cadastrados na base JCR, ou que não apresentam o valor de fator de impacto têm quartil indefinido

Indicador 9:																														
Taxa de coautoria internacional																														
Eixo de Atuação:																														
Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>																														
Objetivo Estratégico do CG:																														
Realizar e difundir pesquisa própria, desenvolvimento e inovação em nível dos melhores laboratórios similares no mundo, em áreas previstas na Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.																														
Finalidade:																														
Medir o esforço de cooperação dos Laboratórios Nacionais com instituições de ensino e pesquisa, voltado ao fortalecimento da capacidade mútua de solução de problemas científicos e tecnológicos.																														
Descrição:																														
Razão entre o número de artigos publicado por pesquisadores internos (indexados na base WoS) com coautor filiado a instituições internacionais e o número total de artigos publicado por pesquisadores internos (indexados na base WoS).																														
Fórmula de cálculo:																														
$\frac{\text{Número de artigos de pesq. e especialistas internos com coautoria internacional}}{\text{Número total de artigos publicados}}$																														
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Razão	Qualificação: Efetividade																											
Meta 2024:			30%																											
Resultado 2024 (1º sem.):			41%																											
Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2017.																														
<table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado (%)</th> <th>Meta (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>41%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2018</td><td>34%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2019</td><td>41%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2020</td><td>42%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2021</td><td>33%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2022</td><td>44%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2023</td><td>49%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>2024</td><td>41%</td><td>30%</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado (%)	Meta (%)	2017	41%	30%	2018	34%	30%	2019	41%	30%	2020	42%	30%	2021	33%	30%	2022	44%	30%	2023	49%	30%	2024	41%	30%
Ano	Resultado (%)	Meta (%)																												
2017	41%	30%																												
2018	34%	30%																												
2019	41%	30%																												
2020	42%	30%																												
2021	33%	30%																												
2022	44%	30%																												
2023	49%	30%																												
2024	41%	30%																												
Comentário:																														
O indicador mede o número total de artigos publicados por pesquisadores internos que apresenta coautores vinculados a organizações internacionais. No primeiro semestre de 2024, 36 publicações contaram com autores internacionais, envolvendo 118 instituições estrangeiras de 27 países.																														

Indicador 10:																																													
Parcerias em projetos de P&D com instituições de ensino e pesquisa																																													
Eixo de Atuação: Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>																																													
Objetivo Estratégico do CG: Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão.																																													
Finalidade: Medir o esforço de cooperação dos Laboratórios Nacionais com instituições de ensino e pesquisa, voltado ao fortalecimento da capacidade mútua de solução de problemas científicos e tecnológicos.																																													
Descrição: Para a apuração deste indicador são contabilizados acordos de cooperação e contratos formalizados com instituições de ensino e pesquisa, vigentes no ano de referência.																																													
Fórmula de cálculo: <i>Número total de acordos e contratos com instituições de ensino e pesquisas vigentes no período</i>																																													
Tipo: Desempenho	Peso: 2	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficiência																																										
Meta 2024:			20																																										
Resultado 2024 (1º sem.):			29																																										
Histórico:																																													
<table border="1"> <caption>Histórico do Indicador</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2012</td><td>14</td><td>12</td></tr> <tr><td>2013</td><td>16</td><td>12</td></tr> <tr><td>2014</td><td>23</td><td>12</td></tr> <tr><td>2015</td><td>32</td><td>12</td></tr> <tr><td>2016</td><td>34</td><td>12</td></tr> <tr><td>2017</td><td>29</td><td>12</td></tr> <tr><td>2018</td><td>27</td><td>12</td></tr> <tr><td>2019</td><td>26</td><td>12</td></tr> <tr><td>2020</td><td>26</td><td>12</td></tr> <tr><td>2021</td><td>22</td><td>12</td></tr> <tr><td>2022</td><td>22</td><td>12</td></tr> <tr><td>2023</td><td>24</td><td>12</td></tr> <tr><td>2024</td><td>29</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2012	14	12	2013	16	12	2014	23	12	2015	32	12	2016	34	12	2017	29	12	2018	27	12	2019	26	12	2020	26	12	2021	22	12	2022	22	12	2023	24	12	2024	29	20
Ano	Resultado	Meta																																											
2012	14	12																																											
2013	16	12																																											
2014	23	12																																											
2015	32	12																																											
2016	34	12																																											
2017	29	12																																											
2018	27	12																																											
2019	26	12																																											
2020	26	12																																											
2021	22	12																																											
2022	22	12																																											
2023	24	12																																											
2024	29	20																																											
Comentário:																																													
O resultado do indicador supera a meta pactuada. No período, o CNPEM teve 29 acordos com instituições de ensino e pesquisa, no Brasil e no exterior.																																													
LN	Instituicao_Parceira	Início de Vigência	Fim de Vigência																																										
LN BIO	FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos	Nov/2022	Nov/2025																																										
LN BIO	FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos	Dez/2023	Dez/2026																																										
LN BIO	FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz	Jun/2024	Jun/2028																																										

LNNANO	SMSE - School of Materials Science and Engineering	Ago/2023	Ago/2028
	NPU - Northwestern Polytechnical University		
LNLS	IHEP - Institute of High Energy Physucs (Instituto de física de Alta Tecnologia)	Mai/2023	Mai/2028
DAT	UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas	Abr/2024	Abr/2029
LNLS	CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Técnicas	Out/2012	Out/2027
LNLS	CERN - European Organization for Nuclear Research	Jan/2013	Jan/2033
LN BIO	MS - Ministério da Saúde	Mar/2019	Abr/2024
LNLS	MPG - Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften	Mai/2019	Abr/2024
LNNANO	MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações	Mar/2020	Mar/2024
LNLS	GSI - Helmholtzzentrum fur Schwerionenforschung GmbH	Fev/2020	Fev/2025
LN BIO	IDPC - Instituto Dante Pazzanese Cardiologia	Jun/2020	Jun/2025
	FAJ - Fundação Adib Jatene		
LN BIO	MS - Ministério da Saúde	Out/2021	Dez/2024
LN BIO	MS - Ministério da Saúde	Out/2021	Dez/2024
LN BIO	MS - Ministério da Saúde	Fev/2022	Fev/2025
LNLS	FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos	Mai/2022	Mai/2025
	UFV - Universidade Federal de Viçosa		
CNPEM	FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos	Nov/2022	Nov/2025
	FUSP - Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo		
	USP - Universidade de São Paulo		
	Instituto Presbiteriano Mackenzie		
CNPEM	Silicon Valley - Silicon Valley Community Foundation	Dez/2021	Nov/2024
LNNANO	CSIC - Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas M.P.	Fev/2023	Fev/2026
	IPM - Institut Pasteur de Montevideo		
	UPCH - Universidad Peruana Cayetano Heredia		
	UNL - Universidade Nova de Lisboa		
	IBS - Instituto de Investigação e Inovação em Saúde da Universidade do Porto		
	UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro		
CNR - Consiglio Nazionale Delle Ricerche			
LN BIO	MS - Ministério da Saúde	Abr/2022	Abr/2025
LN BIO	IAEA - International Atomic Energy Agency	Jun/2023	Jul/2028
LNNANO	ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos	Set/2023	Set/2028
CNPEM	Instituto Robert Koch - RKI / Ministério Federal da Saúde da República Federal da Alemanha	Dez/2023	Dez/2028
LNNANO	Instituto Presbiteriano Mackenzie	Nov/2023	Nov/2028
CNPEM	CETENE - Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste	Dez/2023	Dez/2024
LNLS	CLSI - Canadian Light Source Inc	Abr/2024	Mar/2027
LNLS	CNNC - Center for Nanotubes and Nanostructured Composites	Mar/2024	Mar/2029
	SKKU - Sungkyunkwan University		
LNLS	SLAC - National Accelerator Laboratory	Fev/2024	Fev/2029

Indicador 11:																																																
Parcerias em projetos PD&I																																																
Eixo de Atuação:																																																
Eixo 3 – Apoio à geração de inovação																																																
Objetivo Estratégico do CG:																																																
Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão.																																																
Finalidade:																																																
Medir o esforço de cooperação dos Laboratórios Nacionais com empresas para o fortalecimento da capacidade de inovação no País.																																																
Descrição:																																																
Para a apuração deste indicador serão contabilizados acordos de cooperação formalizados com empresas, vigentes no ano de referência.																																																
Fórmula de cálculo:																																																
<i>Número total de acordo com empresas vigentes no período</i>																																																
Tipo: Desempenho	Peso: 2	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficiência																																													
Meta 2024:			30																																													
Resultado 2024 (1º sem.):			30																																													
Histórico:																																																
<table border="1" style="margin: 10px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2011</td><td>23</td><td>16</td></tr> <tr><td>2012</td><td>24</td><td>16</td></tr> <tr><td>2013</td><td>32</td><td>24</td></tr> <tr><td>2014</td><td>39</td><td>39</td></tr> <tr><td>2015</td><td>42</td><td>39</td></tr> <tr><td>2016</td><td>45</td><td>39</td></tr> <tr><td>2017</td><td>45</td><td>39</td></tr> <tr><td>2018</td><td>40</td><td>39</td></tr> <tr><td>2019</td><td>43</td><td>39</td></tr> <tr><td>2020</td><td>34</td><td>35</td></tr> <tr><td>2021</td><td>34</td><td>35</td></tr> <tr><td>2022</td><td>40</td><td>35</td></tr> <tr><td>2023</td><td>33</td><td>35</td></tr> <tr><td>2024</td><td>30</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2011	23	16	2012	24	16	2013	32	24	2014	39	39	2015	42	39	2016	45	39	2017	45	39	2018	40	39	2019	43	39	2020	34	35	2021	34	35	2022	40	35	2023	33	35	2024	30	30
Ano	Resultado	Meta																																														
2011	23	16																																														
2012	24	16																																														
2013	32	24																																														
2014	39	39																																														
2015	42	39																																														
2016	45	39																																														
2017	45	39																																														
2018	40	39																																														
2019	43	39																																														
2020	34	35																																														
2021	34	35																																														
2022	40	35																																														
2023	33	35																																														
2024	30	30																																														
Comentário:																																																
<p>O resultado do indicador supera a meta pactuada. No período, o CNPEM teve 30 projetos vigentes em parceria com empresas de diversos portes e setores de aplicação.</p>		<p>30 Projetos vigentes e 3 Novos Projetos</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Setor</th> <th>Quantidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Petróleo e Gás</td><td>9</td></tr> <tr><td>Energias Renováveis</td><td>6</td></tr> <tr><td>Fármacos e Medicamentos</td><td>6</td></tr> <tr><td>Química Verde</td><td>3</td></tr> <tr><td>Instrumentação Avançada</td><td>2</td></tr> <tr><td>Materiais Avançados</td><td>2</td></tr> <tr><td>Agricultura e Agropecuária</td><td>1</td></tr> <tr><td>Métodos e Dispositivos para a Área da Saúde</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>		Setor	Quantidade	Petróleo e Gás	9	Energias Renováveis	6	Fármacos e Medicamentos	6	Química Verde	3	Instrumentação Avançada	2	Materiais Avançados	2	Agricultura e Agropecuária	1	Métodos e Dispositivos para a Área da Saúde	1																											
Setor	Quantidade																																															
Petróleo e Gás	9																																															
Energias Renováveis	6																																															
Fármacos e Medicamentos	6																																															
Química Verde	3																																															
Instrumentação Avançada	2																																															
Materiais Avançados	2																																															
Agricultura e Agropecuária	1																																															
Métodos e Dispositivos para a Área da Saúde	1																																															
LN	Nome da instituição/empresa	Setor_Aplicação	Início da Vigência	Fim da Vigência																																												
LNLS	ADEST Técnicas para soldagem de Metais Ltda	Petróleo e Gás	Jun/2007	Nov/2027																																												
LNBR	Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda	Química Verde	Out/2011	Out/2024																																												
LNBR	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Agricultura e Agropecuária	Dez/2016	Jun/2024																																												

LNBIO	Phytobios Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Ltda	Química Verde	Set/2017	Set/2032
LNNANO	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Mar/2019	Mar/2024
LNBR	Petróleo Brasileiro S.A.	Energias Renováveis	Abr/2019	Abr/2024
	EMBRAER S.A.			
	Fibria Celulose S.A.			
	Klabin S.A.			
	IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.			
	FEI - Fundação Educacional Inaciana Padre Sabóia de Medeiros			
	UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas			
	UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro			
	INT - Instituto Nacional De Tecnologia			
	UFU - Universidade Federal de Uberlândia			
	UFV - Universidade Federal de Viçosa			
	FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo			
	UFPE - Universidade Federal de Pernambuco			
	UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá			
	UFSM – Universidade Federal de Santa Maria			
	FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais			
	FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco			
FAPERGS - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul				
FUNARBE - Fundação Arthur Bernardes				
LNNANO	FUNDEP - Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa SE7E Digital Sistema e Tecnologia Ltda	Materiais Avançados	Jun/2020	Jun/2024
LNBR	Vale S.A.	Química Verde	Dez/2020	Jul/2024
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
	ITV - Associação Instituto Tecnológico Vale			
LNNANO	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Set/2021	Mar/2025
LNLS	Petróleo Brasileiro S.A.	Instrumentação Avançada	Set/2021	Mar/2025
LNLS	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Out/2021	Abr/2025
LNBIO	3D Biotechnology Solutions - 3DBS	Métodos e Dispositivos para a Área da Saúde	Nov/2021	Mar/2024
LNBIO	Nintx Pesquisa e Desenvolvimento LTDA	Fármacos e Medicamentos	Jun/2022	Mar/2024
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNNANO	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Jul/2022	Jul/2025
LNBIO	Nintx Pesquisa e Desenvolvimento LTDA	Fármacos e Medicamentos	Jul/2022	Abr/2024
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNBR	Sinochem Petróleo Brasil Ltda	Energias Renováveis	Ago/2022	Fev/2025
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNBR	EQUINOR BRASIL ENERGIA LTDA.	Energias Renováveis	Jul/2022	Jul/2026
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
CNPEM	PI-TECNOLOGIA LTDA	Instrumentação Avançada	Abr/2022	Set/2024

	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNNANO	FUNDEP - Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa	Materiais Avançados	Out/2022	Out/2024
	NCHEMI Engenharia de Materiais Ltda			
LNBIO	Phytobios Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Ltda	Fármacos e Medicamentos	Out/2022	Mar/2025
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
	Aché Laboratórios Farmacêuticos S.A.			
LNLS	EQUINOR BRASIL ENERGIA LTDA.	Energias Renováveis	Dez/2022	Dez/2026
LNLS	EQUINOR BRASIL ENERGIA LTDA.	Energias Renováveis	Dez/2022	Dez/2026
LNBIO	CRISTÁLIA PRODUTOS QUÍMICOS FARMACÊUTICAS LTDA	Fármacos e Medicamentos	Jun/2023	Jun/2026
	Phytobios Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Ltda			
	Nintx Pesquisa e Desenvolvimento LTDA			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
	USP - Universidade de São Paulo			
	Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Assistência do HCFMRP-USP			
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
DAT	EMBRAER S.A.	Energias Renováveis	Jul/2023	Mar/2024
LNBIO	DNDi América Latina	Fármacos e Medicamentos	Dez/2023	Mar/2028
	Phytobios Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Ltda			
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNBIO	Nintx Pesquisa e Desenvolvimento LTDA	Fármacos e Medicamentos	Dez/2023	Fev/2026
	EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial			
	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais			
LNLS	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Dez/2023	Dez/2027
LNNANO	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Jun/2024	Jun/2026
LNNANO	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Jun/2024	Jun/2026
LNLS	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	Jun/2024	Jun/2028

Indicador 12:																																										
Recursos associados à inovação																																										
Eixo de Atuação: Eixo 3 – Apoio à geração de inovação																																										
Objetivo Estratégico do CG: Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão.																																										
Finalidade: Aferir o volume de recursos associados a projetos de parceria e contratos de prestação de serviços envolvendo empresas dos setores de agricultura, indústria e serviços.																																										
Descrição: Razão entre o volume de recursos associados a projetos de parceria e contratos de prestação de serviços diretamente relacionados à inovação e o volume de recursos recebidos, no ano de referência.																																										
Fórmula de cálculo: $\frac{\text{Recursos de projetos e contratos com empresas recebidos no período}}{\text{Recursos totais recebidos no período}}$																																										
Tipo: Desempenho	Peso: 2	Unidade: Percentual	Qualificação: Eficiência																																							
Meta 2024:			8%																																							
Resultado 2024 (1º sem.):			63%																																							
Histórico:																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado (%)</th> <th>Meta (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2013</td><td>12%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2014</td><td>16%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2015</td><td>25%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2016</td><td>13%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2017</td><td>16%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2018</td><td>11%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2019</td><td>18%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2020</td><td>10%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2021</td><td>28%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2022</td><td>14%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2023</td><td>12%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>2024</td><td>63%</td><td>8%</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado (%)	Meta (%)	2013	12%	8%	2014	16%	8%	2015	25%	8%	2016	13%	8%	2017	16%	8%	2018	11%	8%	2019	18%	8%	2020	10%	8%	2021	28%	8%	2022	14%	8%	2023	12%	8%	2024	63%	8%
Ano	Resultado (%)	Meta (%)																																								
2013	12%	8%																																								
2014	16%	8%																																								
2015	25%	8%																																								
2016	13%	8%																																								
2017	16%	8%																																								
2018	11%	8%																																								
2019	18%	8%																																								
2020	10%	8%																																								
2021	28%	8%																																								
2022	14%	8%																																								
2023	12%	8%																																								
2024	63%	8%																																								
Comentário: No primeiro semestre de 2024, foram recebidos R\$ 13,9 milhões provenientes de projetos em parceria com empresas e de contratos de prestação de serviços voltados à inovação. No mesmo ano, o CNPEM recebeu um volume de R\$ 22 milhões de todas as fontes, tendo um resultado de 63%. O alto cômputo do indicador no primeiro semestre se deve a não transferência de recursos oriundos do Contrato de Gestão até 30/06/2024.																																										

Indicador 12	
Data base: 30/06/2024	
Recursos de Projetos e Contratos com empresas	13.894
Convênios com Inovação	14.287
Devolução de Convênios e Projetos	-659
Prestação de Serviços	266
Recursos Totais Recebidos	21.959
Contrato de Gestão - 2024	-
Convênios e Projetos	14.652
Devolução de Convênios e Projetos	- 2.992
Prestação de Serviço	266
Rendimento Financeiro	6.922
Outras Receitas	1.016
Auxílios Individuais (Recursos executados)	2.096
Indicador 12:	63%

Indicador 13:																																													
Tecnologias protegidas																																													
Eixo de Atuação:																																													
Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>																																													
Eixo 3 – Apoio à geração de inovação																																													
Objetivo Estratégico do CG:																																													
Realizar e difundir pesquisa própria, desenvolvimento e inovação em nível dos melhores laboratórios similares no mundo, em áreas previstas na Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.																																													
Finalidade:																																													
Aferir resultados das atividades de pesquisa e desenvolvimento próprias dos Laboratórios Nacionais do CNPEM.																																													
Descrição:																																													
Para a apuração deste indicador são contabilizados pedidos de patentes, registros de <i>software</i> e modelos de utilidade depositados no Instituto Nacional de Propriedade industrial ou em outros escritórios de patentes, no ano de referência.																																													
Fórmula de cálculo:																																													
<i>Número total de pedidos de propriedade intelectual depositados no período</i>																																													
Tipo: Desempenho	Peso: 1	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Efetividade																																										
Meta 2024:			8																																										
Resultado 2024 (1º sem.):			3																																										
Histórico:																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2012</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>2013</td><td>10</td><td>6</td></tr> <tr><td>2014</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>2015</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>2016</td><td>5</td><td>9</td></tr> <tr><td>2017</td><td>11</td><td>9</td></tr> <tr><td>2018</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>2019</td><td>16</td><td>9</td></tr> <tr><td>2020</td><td>18</td><td>9</td></tr> <tr><td>2021</td><td>23</td><td>9</td></tr> <tr><td>2022</td><td>16</td><td>9</td></tr> <tr><td>2023</td><td>14</td><td>9</td></tr> <tr><td>2024</td><td>3</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2012	6	6	2013	10	6	2014	9	9	2015	9	9	2016	5	9	2017	11	9	2018	8	9	2019	16	9	2020	18	9	2021	23	9	2022	16	9	2023	14	9	2024	3	8
Ano	Resultado	Meta																																											
2012	6	6																																											
2013	10	6																																											
2014	9	9																																											
2015	9	9																																											
2016	5	9																																											
2017	11	9																																											
2018	8	9																																											
2019	16	9																																											
2020	18	9																																											
2021	23	9																																											
2022	16	9																																											
2023	14	9																																											
2024	3	8																																											
Comentário:																																													
No primeiro semestre de 2024 o CNPEM depositou 3 novos pedidos de propriedade intelectual, sendo 3 patentes.																																													

Processo	Título_PI	Data de Solicitação de registro	LN
BR102024005001-0	SISTEMA E PROCESSO INTEGRADO DE DEPOSIÇÃO DE FILMES FINOS SOBRE PEÇAS	Mar/2024	LNNANO
BR 10 2024 004986 1	MÉTODO E KIT DE ENSAIO COLORIMÉTRICO PARA DETERMINAR A EFICIÊNCIA DE UM CANDIDATO A INIBIDOR DE ENZIMA	Mar/2024	LN BIO
BR102024007259-6	Partícula para Indução de Pluripotência Celular	Abr/2024	LN BIO

Ressalta-se que em julho de 2024 três depósitos foram realizados, além de outros que estão em processo de redação. Portanto, espera-se que a meta seja atingida integralmente em 2024.

Depósitos realizados em julho de 2024:

Processo	Título_PI	Data de Solicitação de registro
BR 10 2024 014815 0	DISPOSITIVO FOTOELETROQUÍMICO PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO E FOTOELETROLISADOR MODULAR COMPREENDENDO MÚLTIPLOS DISPOSITIVOS	19/07/2024
BR 10 2024 014836 3	COQUETEL ENZIMÁTICO, MÉTODO PARA A DESCONSTRUÇÃO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA E MICRORGANISMO GENETICAMENTE MODIFICADO PARA A PRODUÇÃO DO COQUETEL	19/07/2024
BR 10 2024 015528 9	MASTERBATCH, PROCESSO DE FORMAÇÃO DE FILME DE POLÍMEROS HIDROFÓBICOS COM REFORÇO NANOESTRUTURADO E FILME DE POLÍMERO HIDROFÓBICO	29/07/2024

Indicador 14:																														
Horas de capacitação de pesquisadores externos																														
Eixo de Atuação: Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão																														
Objetivo Estratégico do CG: Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão.																														
Finalidade: Medir o esforço dos Laboratórios Nacionais na capacitação de pesquisadores da comunidade científica e tecnológica brasileira.																														
Descrição: Número total de horas de eventos de capacitação organizados pelo CNPEM																														
Fórmula de cálculo: <i>Número total horas de eventos de capacitação organizados pelo CNPEM</i>																														
Tipo: Uso	Peso: 2	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia																											
Meta 2024:			200																											
Resultado 2024 (1º sem.):			150																											
Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2017.																														
<table border="1"> <caption>Histórico de Horas de Capacitação de Pesquisadores Externos</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2017</td> <td>239</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>442</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>372</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>60</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>176</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2022</td> <td>242</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>486</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>2024</td> <td>150</td> <td>200</td> </tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2017	239	300	2018	442	300	2019	372	300	2020	60	300	2021	176	300	2022	242	200	2023	486	200	2024	150	200
Ano	Resultado	Meta																												
2017	239	300																												
2018	442	300																												
2019	372	300																												
2020	60	300																												
2021	176	300																												
2022	242	200																												
2023	486	200																												
2024	150	200																												

Comentário:

No primeiro semestre de 2024, o CNPEM promoveu 6 eventos de capacitação, somando 150 horas de atividades.

Título	LN	
Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM) 2024	CNPEM	40h
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3 3ª edição	CNPEM	28h
Minicurso Gwyddion: Treinamento em software de tratamento de imagens de AFM	LNNano	6h
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3 4ª edição	CNPEM	28h
I Curso de Espectroscopia de Fotoelétrons	LNNano	16h
8º Curso para Operação de Biorreatores de Bancada	LNBR	32h

Outros 14 eventos de capacitação estão programados para o segundo semestre:

Eventos de capacitação programados para o segundo semestre de 2024

Tecnologia de edição genômica CRISPR/Cas9: da pesquisa biomédica às terapias avançadas
Minicurso Gwyddion: Treinamento em software de tratamento de imagens de AFM (2 edições)
Escola Ricardo Rodrigues de Luz Síncrotron (ER2LS)
II Fundamentos em Microscopia Eletrônica de transmissão
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3 (3 edições)
II SEM-FIB Workshop
Curso de Caracterização Química de Bagaço e Palha de Cana-de-açúcar
9º Curso para Operação de Biorreatores de Bancada
Escola São Paulo de Ciência Avançada em Técnicas de Luz Síncrotron de 4ª Geração
Curso de capacitação hands-on em sequenciamento de alto desempenho e análises de bioinformática
Workshop em Criotomografia Eletrônica

Indicador 15:																														
Número de pesquisadores externos capacitados																														
Eixo de Atuação: Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão																														
Objetivo Estratégico do CG: Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão.																														
Finalidade: Medir o esforço dos Laboratórios Nacionais na capacitação de pesquisadores da comunidade científica e tecnológica brasileira.																														
Descrição: Número total pesquisadores externos capacitados em eventos organizados pelo CNPEM																														
Fórmula de cálculo: <i>Número total de pesquisadores externos capacitados em eventos de capacitação organizados pelo CNPEM</i>																														
Tipo: Uso	Peso: 2	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia																											
Meta 2024:			270																											
Resultado 2024 (1º sem.):			163																											
Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2017.																														
<table border="1"> <caption>Dados do Gráfico de Histórico</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2017</td> <td>296</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>613</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>559</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>42</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>1149</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2022</td> <td>324</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>581</td> <td>270</td> </tr> <tr> <td>2024</td> <td>163</td> <td>270</td> </tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2017	296	270	2018	613	270	2019	559	270	2020	42	270	2021	1149	0	2022	324	270	2023	581	270	2024	163	270
Ano	Resultado	Meta																												
2017	296	270																												
2018	613	270																												
2019	559	270																												
2020	42	270																												
2021	1149	0																												
2022	324	270																												
2023	581	270																												
2024	163	270																												
Comentário: No primeiro semestre de 2024, o CNPEM promoveu 6 eventos de capacitação com o envolvimento de 163 pesquisadores externos. Com a realização dos eventos do segundo semestre, espera-se o atingimento integral da meta.																														
Título	LN	Horas	Participantes Externos																											
Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEN) 2024	CNPEM	40	60																											
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3	CNPEM	28	7																											
Minicurso Gwyddion: Treinamento em software de tratamento de imagens de AFM	LNNano	6	15																											
Treinamento de biossegurança para trabalho em laboratório NB3	CNPEM	28	7																											
I Curso de Espectroscopia de Fotoelétrons	LNNano	15,5	64																											
8º Curso para Operação de Biorreatores de Bancada	LNBR	32	10																											

Indicador 16:																																							
Eventos científicos																																							
Eixo de Atuação: Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão																																							
Objetivo Estratégico do CG: Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão																																							
Finalidade: Medir o número de eventos científicos promovidos pelo CNPEM direcionados à comunidade científica e tecnológica brasileira.																																							
Descrição: Para a apuração deste indicador é contabilizado o número de eventos de grande porte (acima de 50 participantes), de caráter científico, realizados pelo CNPEM no ano de referência - exceto cursos de capacitação envolvendo participantes externos.																																							
Fórmula de cálculo: <i>Número de eventos científicos do período</i>																																							
Tipo: Uso	Peso: 2	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia																																				
Meta 2024:			8																																				
Resultado 2024 (1º sem.):			3																																				
Histórico:																																							
<table border="1"> <caption>Dados do Gráfico de Histórico</caption> <thead> <tr> <th>Ano</th> <th>Resultado</th> <th>Meta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2014</td><td>9</td><td>4</td></tr> <tr><td>2015</td><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>2016</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>2017</td><td>9</td><td>4</td></tr> <tr><td>2018</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>2019</td><td>15</td><td>4</td></tr> <tr><td>2020</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>2021</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>2022</td><td>11</td><td>8</td></tr> <tr><td>2023</td><td>11</td><td>8</td></tr> <tr><td>2024</td><td>3</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>				Ano	Resultado	Meta	2014	9	4	2015	6	4	2016	8	4	2017	9	4	2018	8	4	2019	15	4	2020	4	4	2021	8	4	2022	11	8	2023	11	8	2024	3	8
Ano	Resultado	Meta																																					
2014	9	4																																					
2015	6	4																																					
2016	8	4																																					
2017	9	4																																					
2018	8	4																																					
2019	15	4																																					
2020	4	4																																					
2021	8	4																																					
2022	11	8																																					
2023	11	8																																					
2024	3	8																																					
Comentário: No primeiro semestre de 2024 o CNPEM realizou 3 eventos científicos.																																							
Título			LN																																				
V Industrial Biotechnology & Synthetic Biology (IBSB): Chalmers and LNBR cooperation on circular bioeconomy			LNBR																																				
Seminário Internacional de Insumos Farmacêuticos Ativos (IFAs) - Edição acadêmica			LNBio																																				

XIV Encontro da Regional 3 de Catalise

LNLS

Para o segundo semestre, estão programados outros 11 eventos científicos:

Eventos científicos programados para o segundo semestre de 2024

VII AFM Workshop
21 st Brazilian Workshop on Semiconductor Physics (BWSP)
3 ^o Workshop de Hidrogênio Sustentável
4th AgroEnviro Workshop – Connecting Synchrotron Research to Higher-Scale Problem Solving in AgroEnviroSystems
Simpósio em Pesquisa Cardiovascular (SPC)
VII IBSB - Bioinformatica e sequenciamento
34th LNLS Annual Users' Meeting (RAU)
International Sirius Workshop on Heterogeneous and Hierarchical Materials (H2Mat)
XIII Proteomics Workshop
Crystallographic Fragment Screening Workshop
Synchrotron Techniques Under High Pressure (PRESSYNC)

Indicador 17:
Pesquisadores de outras regiões do país capacitados pelo CNPEM

Eixo de Atuação:
 Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão

Objetivo Estratégico do CG:
 Implantar e gerir a infraestrutura do CNPEM, visando ganhos de eficiência e eficácia mediante mecanismos de gestão, informação e difusão

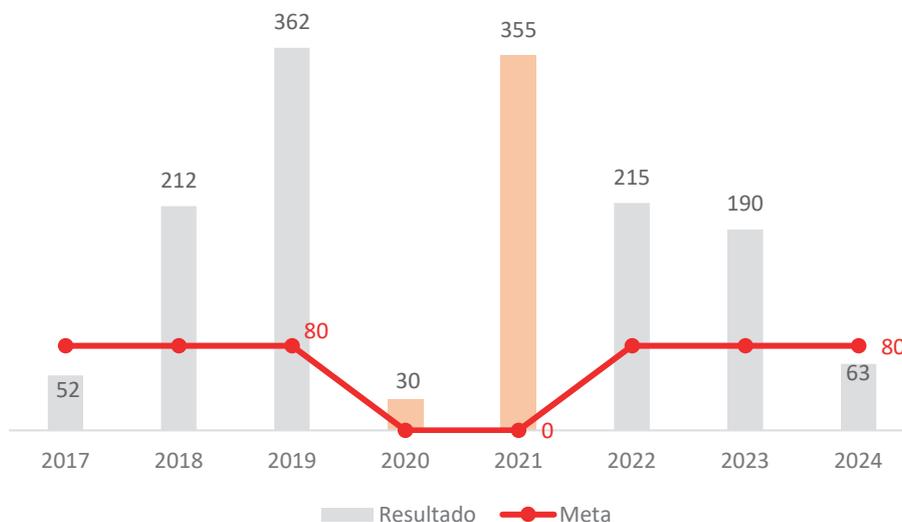
Finalidade:
 Medir o número de participantes em eventos de capacitação do CNPEM provenientes das regiões norte, nordeste, sul e centro-oeste.

Descrição:
 Número total pesquisadores externos provenientes das regiões norte, nordeste, sul e centro-oeste capacitados em eventos (cursos, seminários e workshops) realizados no Campus do CNPEM ou em outras regiões (fora da região sudeste).

Fórmula de cálculo:
Número total de pesquisadores externos capacitados em eventos organizados pelo CNPEM fora da região Sudeste.

Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia
Meta 2024:			80
Resultado 2024 (1º sem.):			63

Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2017.



Comentário:

Em 2024 os eventos de capacitação foram responsáveis pelo treinamento de 63 pesquisadores externos que não pertencem à região Sudeste. Com a realização dos eventos do segundo semestre, espera-se o atingimento integral da meta deste indicador.

Participantes por regiões do Brasil

Centro-Oeste	Nordeste	Norte	Sul	Outras regiões (N, NE, CO e S)
14	20	13	16	63
8,9%	12,7%	8,2%	10,1%	38,65%

Distribuição por estados brasileiros



Indicador 18:
Propostas realizadas por usuários externos nas linhas de luz do Sirius

Eixo de Atuação:
 Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos

Objetivo Estratégico do CG:
 Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.

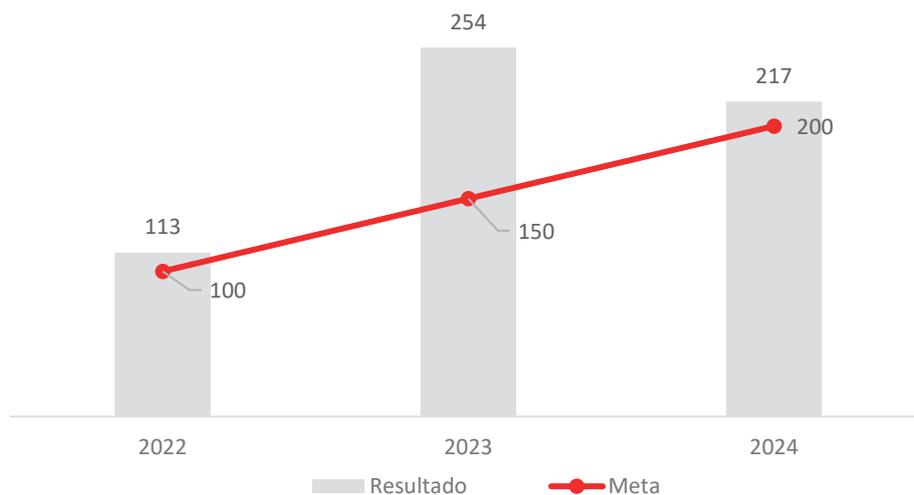
Finalidade:
 Medir o número de propostas realizadas nas linhas de luz do Sirius.

Descrição:
 Propostas realizadas por usuários externos nas linhas de luz do Sirius, no ano de referência.

Fórmula de cálculo:
Número total de propostas externas realizadas no período

Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Número Absoluto	Qualificação: Eficácia
Meta 2024:			200
Resultado 1º sem. de 2024 (1º sem.):			217

Histórico: Este indicador passou a compor o Quadro de Indicadores e Metas do Contrato de Gestão em 2022.



Comentário:
 Este indicador foi incluído para relatar os primeiros resultados do Sirius no atendimento de usuários externos. Como as linhas do Sirius estão em fase inicial de operação, além de outras que estão em comissionamento científico e montagem, optou-se por um indicador separado para o acompanhamento do Projeto. Portanto, os resultados do Sirius não são contabilizados nos demais indicadores associados ao Eixo 1. A meta pactuada para o ano de 2024 é o atendimento de 200 propostas de usuário externos nas linhas de luz do Sirius. Neste terceiro ano de operação Sirius foram realizadas 217 propostas externas nas linhas de luz Carnáúba, Cateretê, Cedro, Ema, Mogno, Manacá, Ipê, Imbuia, Paineira e Sapê.

Indicador 19:			
Confiabilidade da nova Fonte de Luz Síncrotron (Sirius)			
Eixo de Atuação:			
Eixo 1 – Instalações abertas a usuários externos			
Eixo 2 – Pesquisa e desenvolvimento <i>in-house</i>			
Eixo 3 – Apoio à geração de inovação			
Eixo 4 – Treinamento, educação e extensão			
Objetivo Estratégico do CG:			
Prover e manter infraestrutura nacional de classe mundial para pesquisa, desenvolvimento e inovação nas suas áreas de atuação disponibilizada à comunidade de pesquisa acadêmica e industrial.			
Finalidade:			
Aferir a capacidade do atendimento técnico da fonte de luz síncrotron aos usuários externos, dentro dos prazos e períodos programados nos agendamentos de realização dos experimentos, estabelecendo padrão de comparação internacional.			
Descrição:			
Razão entre as horas de luz síncrotron entregues aos usuários no tempo programado e as horas previstas na programação de operação da fonte de luz síncrotron.			
Fórmula de cálculo:			
<i>Horas entregues no período / Horas previstas no período</i>			
Tipo: Uso	Peso: 1	Unidade: Percentual	Qualificação: Eficácia
Meta 2024:			90%
Resultado 1º sem. de 2024 (1º sem.):			99%
Histórico:			
Comentário:			
Em 2014 a 2019, este indicador era empregado para a fonte de luz UVX, o qual foi descontinuado em 2019 com o descomissionamento do antigo acelerador.			
Com o início da operação da nova fonte de luz, esta métrica volta ao quadro de indicadores, porém calculando a confiabilidade da nova fonte de luz Sirius. Em 2024, dentre 2712 horas programadas, foram entregues 2679,6 horas dentro do prazo no primeiro semestre do ano, o que representa uma confiabilidade de 99%.			

**CENTRO NACIONAL
DE PESQUISA EM
ENERGIA E MATERIAIS**

