

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.1	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Proteção da propriedade intelectual
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Régia Ruth Ramirez Guimarães

## Introdução

A transferência de tecnologia é consolidada pelas relações entre as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) e o setor produtivo, um dos principais meios para que a inovação aconteça de fato e para que o Sistema Nacional de Inovação evolua. A expectativa é que a estreita relação entre as ICT e as empresas alavancará o desenvolvimento do País, com geração de emprego e renda.

A Lei de Inovação (Lei n. 10.973/2004), apesar de ter estabelecido mecanismos de estímulo ao engajamento de entes públicos em atividades de inovação com empresas, não foi suficiente para promover a atividade inovativa no Brasil. Os incentivos da Lei não foram utilizados em sua plenitude e, como consequência, as parcerias com empresas não trouxeram os resultados esperados, não havendo mudanças substantivas na dinâmica do Sistema Nacional de Inovação. Neste período, o CDTN também encontrou dificuldades na consolidação de parcerias: os processos eram morosos, acarretando, muitas vezes, sua inviabilização.

O Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei n. 13.243/2016 e o Decreto n. 9.283/2018) explicitou novas formas para facilitar o sucesso dos processos que levam à inovação. A partir daí, o CDTN vem aumentando o número e as áreas de cooperação com empresas, estabelecendo parcerias de maior duração e consolidando seu papel e seu reconhecimento no sistema nacional de inovação.

A Política de Inovação do CDTN (<https://www.gov.br/cdtn/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>, 2020), tem como base a construção de ambientes especializados e cooperativos de inovação. Para atingir essa finalidade, o meio que mais chama atenção é o incentivo de alianças e parcerias entre instituições de Ciência e Tecnologia, universidades, empresas dos setores produtivos e órgãos de governo.

Estabelecida a Política, o CDTN decidiu apoiar, prioritariamente, startups de base tecnológica no desenvolvimento de produtos e processos inovadores e de novos negócios para a solução de desafios industriais, sociais ou ambientais. Para isso, busca-se a criação de espaços que agregam a infraestrutura laboratorial e competências técnicas do Centro de forma a propiciar o intercâmbio de experiências e a cooperação.

Já a prestação de serviços tecnológicos tem se mostrado, ao longo dos anos, uma ação estratégica para o CDTN, devido à sua importância para uma maior aproximação institucional com o setor produtivo. Isso porque, além de prover solução para problemas imediatos, a relação cria as bases da confiança necessária em parcerias duradouras para a inovação e melhora o reconhecimento social do Centro.

Por outro lado, a prestação de serviços precisa ser sustentável. O Plano de Orientações Estratégicas da CNEN se calca, também, neste princípio. Em 2021, a norma da CNEN que trata do relacionamento com as fundações de apoio foi adequada ao novo Marco Legal de C&T e I?. A partir de então, foi possível submeter

e aprovar projetos de prestação de serviços em diferentes áreas, todos envolvendo a participação da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep) como gestora.

Tais ações resultaram em uma sobrecarga de trabalho considerável para o NIT do CDTN que tem responsabilidade sobre atividades elencadas na Lei de Inovação, sendo necessária a complementação de competências para o desempenho das atividades.

Parte importante dessas atividades se referem à proteção da propriedade intelectual que requer o acompanhamento dos projetos de P&D&I para a orientação das equipes ~~des~~ quanto aos cuidados com a tecnologia em desenvolvimento. Trata, ainda, do apoio à decisão institucional para o investimeto e/ou prioridade para parcerias nos projetos onde há o interesse que avancem no nível de maturidade.

Este projeto visa obter uma metodologia de avaliação do potencial de transferência tecnologia dos projetos de P&D&I do CDTN.

### Objetivo Geral

Acompanhamento dos projetos de P&D ~~para~~ visando a orientação das equipes ~~des~~ quanto aos cuidados relacionados à ~~em~~ tecnologia em desenvolvimento.

### Objetivos específicos

1. Classificação das tecnologias em desenvolvimento (que tipo de classificação)
2. Proteção da propriedade intelectual

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Acompanhamento dos projetos de P&D	1	Número de projetos acompanhados		
2) Monitoração tecnológica	2			
3) Proteção da Propriedade Intelectual	2	Número de tecnologias protegidas		

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2			X	X		
Atividade 3					X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Classificação das tecnologias em desenvolvimento	1	Número de tecnologias selecionadas	2 tecnologias prioritizadas	2 tecnologias prioritizadas
Proteção da propriedade intelectual	2	Número de tecnologias protegidas	2 tecnologias protegidas	2 tecnologias protegidas

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Metodologia de priorização de tecnologias a serem protegidas no CDTN	1,2	Tecnologias protegidas	2	2
Tomada de decisão sobre o avanço de maturidade das tecnologias selecionadas	2			

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BGE Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Engenharia, Economia/Mestrado relacionado à Inovação	Gestão de C&T	1, 2	BGE-DB	12	1

BGE	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BGE	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

### Referências Bibliográficas

Etzkowitz, H.; Leydesdorff, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. v. 29, p. 109-123, 2000.

PIMENTEL, L. O. (2005). Propriedade Intelectual e universidade: aspectos legais. Florianópolis: Fundação Boiteux.

PIMENTEL, L. O.; BARRAL, W. (2006). Propriedade intelectual e desenvolvimento. Florianópolis: Fundação Boiteux.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (2005). Manual de Gestão Tecnológica/ Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico/ Escritório de Interação e Transferência de Tecnologia/; coord. Marli Elisabeth Ritter dos Santos – Porto Alegre: UFRGS.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.2	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Gestão do Portfólio de Projetos do CDTN
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

## Introdução

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é uma instituição de pesquisa multidisciplinar, criado em 1952, então vinculado à Universidade Federal de Minas Getribuições rais. Inicialmente com foco na compreensão da interação das radiações com a matéria e os seres vivos e nos estudos dos minerais radioativos, o CDTN desenvolveu competências num amplo espectro de assuntos correlacionados à indústria nuclear, ao uso das radiações ionizantes em áreas como a saúde, a indústria e o meio ambiente, e à proteção das pessoas e do meio ambiente dos seus efeitos deletérios.

Sua cultura organizacional e suas competências científicas e tecnológicas foram cunhadas pelas mudanças organizacionais pelas quais passou e pelas diferentes missões que recebeu ao longo da sua existência. Inicialmente, como como instituto ligado à universidade, esteve voltado para a compreensão dos fenômenos científicos e para a formação de pessoas, embora tenha já nessa época avançado para a aplicação tecnológica do conhecimento nuclear num projeto de reator a tório. Na fase seguinte, o CDTN foi vinculado a uma empresa estatal – a Nuclebrás – encarregada de implementar o ambicioso programa nuclear negociado com a Alemanha, que previa a instalação de 8 usinas nucleares até 1990 e todo o ciclo do combustível nuclear, da mineração do urânio ao gerenciamento dos rejeitos radioativos, passando pelo projeto das usinas de potência e pela fabricação dos elementos combustíveis. Nessa etapa cabia ao CDTN apoiar da Nuclebrás e suas subsidiárias na absorção da tecnologia transferida dos parceiros alemães. Foi nessa época que o CDTN expandiu suas áreas de competência, adquirindo as suas características atuais em termos do amplo espectro de atuação. Já nas últimas décadas, agora vinculado à Comissão Nacional de Energia Nuclear, a CNEN, autarquia vinculada ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, MCTI, volta a se dedicar à ciência e à formação de novas gerações de pesquisadores.

Além das diferentes missões institucionais, marcou profundamente o ambiente do CDTN e suas características a política nuclear nacional – ou a falta dela. No período em que esteve ligado à Nuclebrás, o País tinha um Programa Nuclear muito bem estabelecido e a missão do CDTN era essencialmente tecnológica, relacionada ao ciclo do combustível nuclear, com foco nos resultados e no treinamento *on-the-job* da força de trabalho, com nenhum incentivo à formação acadêmica de seu pessoal. Na fase seguinte, incorporado à CNEN, o CDTN recebeu uma missão mais difusa, passando a se dedicar às aplicações da tecnologia nuclear e das radiações, à difusão do conhecimento e à formação de alto nível de novas gerações de pesquisadores. Nessa fase, o Brasil deixou de contar com um programa nuclear bem estabelecido, cuidando apenas de levar adiante, em passos lentos, empreendimentos já iniciados anteriormente. Nas últimas décadas, a CNEN e seus institutos, ao lado dos institutos brasileiros de C&T, têm passado por um período perda acentuada de pessoal, com grande consequência sobre a sua capacidade de produzir resultados para a sociedade.

Inserido nesse contexto institucional e histórico, torna-se de grande relevância dispor de uma gestão eficaz, competente, de seus esforços na produção de pesquisa e tecnologia relevantes e em atividades técnicas/ tecnológicas especializadas. Afinal, o País empreende considerável esforço para manter um instituto como o CDTN e é preciso que os resultados entregues correspondam às expectativas da sociedade brasileira.

Duas tarefas se impõem, nesse aspecto, à Administração: manter um portfólio de projetos que atendam às orientações estratégicas emanadas da alta direção governamental e, no caso, da alta direção da CNEN, o que justificará os recursos alocados na instituição; e estabelecer um processo de gestão adequado dos projetos de pesquisa e desenvolvimento de seu portfólio, de forma a melhorar as chances de que resultados significativos sejam alcançados

O CDTN adotou para sua área finalística uma estrutura organizacional matricial mista, por macroprocessos, a saber: Pesquisa e Desenvolvimento; Formação Especializada; Gestão de Serviços e Inovação; e Segurança Radiológica e Nuclear. Esse tipo de gestão favorece a implantação de metodologias de gestão com foco nos resultados. No caso dos projetos de P&D, apesar de reconhecer a importância de sua estruturação, o CDTN ainda não logrou estruturá-la adequadamente às responsabilidades que assume. O CDTN dispõe de um sistema para gestão de projetos - o SIGERE – que atende parcialmente as necessidades de informações e organização dos projetos e atividades finalísticas. É um sistema consistente, robusto, mas evidentemente insuficiente para uma gestão de projetos de pesquisa. Falta, entre outros aspectos, juntar a ele uma equipe de gestão permanente, dedica a acompanhar os projetos de P&D em todas as suas fases, do planejamento à avaliação dos resultados, passando pela execução.

Esse projeto tem a expectativa de criar o embrião de um escritório de projetos de P&D para todo o CDTN, de forma a melhor apoiar os pesquisadores, fornecer informações consistentes aos gestores e facilitar a prestação de contas por parte da instituição.

### **Objetivo Geral**

Criar no CDTN uma cultura de gestão de projetos de P&D voltados para resultados, de forma a melhorar o atendimento às orientações estratégicas e aumentar o impacto do esforço de pesquisa

### **Objetivos específicos**

1. Mapeamento da situação atual e definição do modelo de gestão de projetos
2. Implementação de processo de gestão – piloto para um grupo selecionado de projetos de P&D
3. Monitoramento dos projetos selecionados e ajustes do modelo de gestão
4. Proposição do modelo ajustado para a gestão de projetos de P&D do CDTN

## Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Definição de escopo do escritório de gestão de projetos no CDTN	1	Diagnóstico da situação atual	X	
2) Definição de ferramentas de gestão e indicadores para etapa piloto	1	Plano piloto preparado	X	
3) Sensibilização de gerentes e pesquisadores	1	Número de pessoas alcançadas	X	X
4) Escolha dos projetos para a etapa piloto	2	Número de projetos selecionados	X	
5) Implementação da gestão para os projetos da etapa piloto	2	Número de projetos implementados	X	X
6) Acompanhamento dos projetos da etapa piloto	3	Número de projetos implementados		X
7) Feedback e avaliação da etapa piloto	3	Número de projetos avaliados		X
8) Revisão das ferramentas e do processo de gestão	3	Processo revisto		X
9) Planejamento e preparação de documentação para implantação em todos os projetos de P&D	3	Plano preparado		X

## Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X					
Atividade 2	X	X				
Atividade 3	X	X	X	X	X	
Atividade 4		X				

Atividade 5		X				
Atividade 6		X	X	X		
Atividade 7				X		
Atividade 8					X	
Atividade 9						X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Diagnóstico da situação atual da gestão de projetos de P&D n CDTN	1	Relatório de situação	X	
Plano de implantação da gestão de portfólio de P&D Fase Piloto	1, 2	Plano preparado	X	
Avaliação do processo de gestão de portfólio – ase Piloto	3	Relatório pronto		X
Proposição de procedimentos de gestão de projetos de P&D	3, 4	Proposta preparada		X

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Diagnóstico da situação atual da gestão de projetos de P&D no CDTN	1, 2	Relatório de situação	X	
Metodologia de gestão de projetos de P&D	3, 4	Plano de gestão de projetos proposto		X



## Bolsa

<b>Formação Acadêmica/ Titulação</b>	<b>Área de Experiência</b>	<b>Objetivo Específico</b>	<b>BGE Submodalidade/ Nível</b>	<b>Meses</b>	<b>Quantidade</b>
Engenharia, Economia ou Administração, com Mestrado relacionado à Gestão de C&T.	Coordenação de projetos de P&D; Experiência em gestão de C&T	1, 2, 3 e 4	BGE-DB	12	1

<b>BGE</b>	<b>Submodalidade/ Nível</b>	<b>Mensalidade (R\$)</b>	<b>Meses</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor(R\$)</b>
BGE	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.3	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Uso do radiofármaco PET/ [ <sup>18</sup> F]DPA-714 em estudo de inflamação do sistema nervoso central em modelo murino
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Carlos Malamut

### Introdução(até 5000 caracteres)

Estudos recentes têm demonstrado que além de afetar o sistema respiratório, o vírus SARS-COV-2, causador da COVID-19, pode provocar inflamação sistêmica. Em casos mais graves da doença, além de apresentar a síndrome respiratória aguda grave, foi observado em alguns pacientes a presença do vírus no SNC, o que pode provocar alterações cerebrais subjacentes à ativação glial e neuroinflamação (da Silva Chagas et al., 2021; Filgueira et al., 2021; Murta et al., 2020). Estudos tem revelado ainda que mesmo os indivíduos que tiveram a forma leve da COVID-19 podem apresentar alterações significativas na estrutura do córtex – região do cérebro mais rica em neurônios e responsável por funções complexas como memória, atenção, consciência e linguagem (Crunfli et al., 2020).

O processo inflamatório, de forma geral, é uma resposta complexa do organismo, desencadeada por um estímulo lesivo (químico, físico ou biológico). Este estímulo pode ser um dano tecidual ou a presença de um microrganismo patogênico, como um vírus por exemplo. É um mecanismo de proteção do organismo, mas, no entanto, quando não há um equilíbrio entre a presença de fatores pró-inflamatórios e pró-resolutivos, a inflamação pode se tornar causa de várias doenças, inclusive a neuroinflamação do Sistema Nervo Central (SNC) (Yang e Zhou, 2019).

Durante as reações inflamatórias no SNC ocorre ativação de células da linhagem de monócitos, chamadas de micróglia, que constitui uma das principais características da neuroinflamação. A neuroinflamação não é uma resposta simples; é altamente complexa e pode ser desencadeada por diferentes fatores pró-inflamatórios, como infecção, dano mecânico, metabólitos tóxicos e autoimunidade. Além disso, a ativação da micróglia e leucócitos levam a liberação de substâncias que podem se acumular em níveis tóxicos, promovendo estresse oxidativo e ativação de metaloproteinases (MMPs), que degradam a matriz extracelular, favorecendo o rompimento da barreira hematoencefálica e formação de edema, dentre outras consequências (Majid, 2014).

A tomografia por emissão de pósitrons (PET), técnica de imagem molecular que pode ser utilizada para caracterizar e mensurar inúmeros processos biológicos, tanto em modelos animais quanto em seres

humanos, pode ser utilizada para auxiliar no estudo da neuroinflamação. É uma das técnicas mais frequentemente utilizadas para estudo clínico de várias doenças inclusive com caráter inflamatório (Wu et al., 2013). Atualmente a Fludesoxiglicose 18F-FDG é o radiofármaco mais utilizado nos procedimentos de imagens PET, pois apresenta alta sensibilidade e especificidade para muitos tipos de câncer e outras doenças inflamatórias.

No entanto, a utilização do 18F-FDG possui algumas limitações. Casos de falsos positivos para tumores malignos têm sido associados a sítios de infecção e inflamação. Dessa forma, apenas com as imagens obtidas não é possível distinguir com acurácia um processo inflamatório focal de possíveis metástases. Apesar dessas limitações, o 18F-FDG é ainda o radiofármaco mais utilizado em estudos de inflamação.

A Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos (UPPR) do CDTN apresenta a certificação ISO e certificação de Boas Práticas de Fabricação (ANVISA) para produção de 18F-FDG. Porém, novos radiofármacos estão sendo avaliados para atender às necessidades da Medicina Nuclear brasileira, com a produção de radiofármacos mais específicos e seletivos para diagnóstico utilizando a tecnologia PET.

Dentre os novos radiofármacos produzidos e testados pelo CDTN podemos destacar o [18F]DPA-714. Este radiofármaco se liga especificamente a proteína TSPO – translocator protein (18kDa) ou receptores benzodiazepínicos periféricos. Altos níveis dessa proteína são expressos em macrófagos ativados por citocinas. Dessa forma, uma vez ativadas em processos inflamatórios, os macrófagos são potenciais alvo para a captação deste radiofármaco, o que permite a localização desses focos de inflamação por meio de imagens PET (Chauveau et al., 2008). Além disto, o [18F]DPA-714 apresenta alta ligação específica e boa penetração pela barreira hematoencefálica. Desta forma, o seu uso em imagens PET permite a visualização de processos neuroinflamatórios in vivo com uma maior resolução do que o 18F-FDG (Roeda et al., 2012).

Um modelo murino já utilizado pelo grupo de pesquisa para o estudo da neuroinflamação por meio de imagens PET é o modelo de isquemia e reperfusão cerebral em camundongos.

O modelo proposto, também conhecido como BCCAO ou oclusão de dois vasos, é um modelo de isquemia global transiente que tem sido descrito na literatura como eficiente em reproduzir as alterações neuronais da isquemia e reperfusão observadas em quadros de AVC isquêmico humano. Consiste na obstrução temporária do fluxo sanguíneo cerebral através da clipagem bilateral das artérias carótidas com posterior reperfusão. Foi demonstrado em estudos anteriores que a hipoperfusão cerebral provocada pelo modelo a partir de 15 minutos em camundongos C57BL/6 promove alterações em áreas do cérebro como córtex, estriado, hipocampo e tálamo, causando prejuízo de funções motoras e cognitivas. O modelo de isquemia global difere dos modelos focais, pois afeta o cérebro como um todo. É reprodutível e apresenta resultados morfológicos constantes, tornando o modelo adequado a essa finalidade (Wahul et al., 2018;

Wu et al., 2001; Zhao et al., 2013).

Os dados advindos deste projeto poderão vir a ser utilizados em outros estudos de doenças que acometem o SNC, tal como o SARS-COV-2.

### Objetivo Geral

Utilizar o radiofármaco [18F]DPA-714 para estudos de inflamação do sistema nervoso central mediante o uso de imagens PET em camundongos após isquemia e reperfusão cerebral

### Objetivos específicos

1. Realizar estudos de biodistribuição do radiofármaco [18F]DPA-714 em modelo animal através de ensaio *ex vivo* e por imagem PET em camundongos saudáveis;
2. Cirurgias, imagens e análise
  - 2.1. Realizar imagens PET em camundongos após isquemia e reperfusão cerebral com 1, 3 e 7 dias após a cirurgia
  - 2.2. Análise e quantificação das imagens obtidas verificando a capacidade de detecção e acompanhamento das lesões através do radiofármaco [18F]DPA-714 .
3. Relatório detalhado com as conclusões e recomendações do projeto

### Atividades e Produtos

Segue abaixo o detalhamento das atividades e produtos a serem realizados no escopo do projeto.

Atividade	Objetivo	Indicador	Cronograma
Estudos de biodistribuição In Vivo e Ex-vivo	1	Atividade concluída	2023
Imagens PET em camundongos após isquemia e reperfusão cerebral com 1, 3 e 7 dias após a cirurgia	2.1	Atividade concluída	2023/2024
Análise e quantificação das imagens obtidas	2.2	Atividade concluída	2024
Relatório detalhado com as conclusões e recomendações do projeto	3	Atividade concluída	2024

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico
Documento especificando a biodistribuição In Vivo e Ex-vivo do radiofármaco [18F]DPA-714	1
Catálogo de Imagens PET em camundongos após isquemia e reperfusão cerebral com 1, 3 e 7 dias após a cirurgia, com quantificação	2
Relatório detalhado com as conclusões e recomendações do projeto	3

### Perfil do candidato para bolsa

Projeto ou Atividade	Modalidade e da Bolsa	Submodalidade / Nível	Formação	Experiência
Uso do radiofármaco PET / [18F]DPA-714 em estudo de inflamação do sistema nervoso central em modelo murino	BCI	DB	Doutorado em Biologia, Farmácia, Biomedicina, Tecnólogo em Radiologia, Veterinário.	Experiência em experimentação animal. Desejável conhecimento de uso de fármacos/radiofármacos

### Bolsa

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

### Referências Bibliográficas

da Silva Chagas, L., Sandre, P. C., de Velasco, P. C., Marcondes, H., e Ribeiro, N. C. A.

R., Barreto, A. L., ... & Serfaty, C. A. (2021). Neuroinflammation and Brain Development: Possible Risk Factors in COVID-19-Infected Children. *Neuroimmunomodulation*, 1-7.

Filgueira, L., Larionov, A., & Lannes, N. (2021). The Influence of Virus Infection on Microglia and Accelerated Brain Aging. *Cells*, 10(7), 1836.

Murta, V., Villarreal, A., & Ramos, A. J. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 impact on the central nervous system: are astrocytes and microglia main players or merely bystanders?. *ASN neuro*, 12, 1759091420954960.

Yang, Q. Q., & Zhou, J. W. (2019). Neuroinflammation in the central nervous system: Symphony of glial cells. *Glia*, 67(6), 1017-1035.

MAJID, A. Neuroprotection in Stroke: Past, Present, and Future. *ISRN Neurology*, v. 2014, p. 1–17, jan. 2014.

Crunfli, F., Carregari, V. C., Veras, F. P., Vendramini, P. H., Valença, A. G. F., Antunes, A. S. L. M., ... & Martins-de-Souza, D. (2021). SARS-CoV-2 infects brain astrocytes of COVID-19 patients and impairs neuronal viability. *MedRxiv*, 2020-10.

Roeda, D., Kuhnast, B., Damont, A., & Dollé, F. (2012). Synthesis of fluorine-18-labelled TSPO ligands for imaging neuroinflammation with positron emission tomography. *Journal of Fluorine Chemistry*, 134, 107-114.

Chauveau, Fabien, et al. "Nuclear imaging of neuroinflammation: a comprehensive review of [11C] PK11195 challengers." *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 35.12 (2008): 2304-2319.

WAHUL, A. B. et al. Transient global cerebral ischemia differentially affects cortex, striatum and hippocampus in Bilateral Common Carotid Arterial occlusion (BCCAO) mouse model. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, v. 92, p. 1–15, out. 2018.

WU, C. et al. A forebrain ischemic preconditioning model established in C57Black/Crj6 mice. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 107, n. 1–2, p. 101–106, maio 2001.

ZHAO, X. et al. The effects of bilateral common carotid artery occlusion on expression of peripherin and choline acetyltransferase activity in C57BL/6 mice. *Brain Research*, v. 1491, p. 167–175, 2013.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.4	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> P&D em metodologias e técnicas de caracterização de grafeno e outros nanomateriais de carbono quimicamente processados
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Adelina Pinheiro Santos

### Introdução

Desde a descoberta dos fulerenos em 1985, seguidos pelos nanotubos de carbono em 1991 e 1993, e mais tarde pelo grafeno em 2004, os nanomateriais de carbono constituem uma das classes de nanomateriais mais estudadas, envolvendo grandes investimentos público-privados de vários países. O interesse advém tanto das propriedades inusitadas e únicas apresentadas por estas nanoestruturas, quanto pela possibilidade de empregá-las em áreas diversas de grande interesse econômico, como microeletrônica, dispositivos fotovoltaicos, tintas e compósitos condutores, revestimentos anticorrosivos, indústria automobilística e aeroespacial, indústria de fármacos e cosméticos, em vestuários, dentre outros. É uma área do conhecimento, portanto, na qual a ciência básica e a tecnologia caminham lado a lado [Tománek, 2008].

De forma pioneira no Brasil, o Grupo de Pesquisa “Manipulação Química de Nanotubos de Carbono e Grafenos”, desde 2002, estuda a química de nanoestruturas de carbono, em especial de nanotubos de carbono e grafenos, tendo contribuído ativamente para a nucleação da competência nacional, centrada no estado de Minas Gerais, em nanomateriais de carbono. O foco das pesquisas envolve a síntese e estudos sobre purificação e interações covalentes e não-covalentes de grupos e moléculas à superfície e bordas de nanomateriais de carbono visando à modificação de propriedades, tais como propriedades eletrônicas e ópticas, dispersabilidade, reatividade química e biocompatibilidade, que possibilitem seu uso em diversas aplicações tecnológicas. Desde a sua criação, o Grupo tem participado de projetos e redes cooperativas de pesquisa que foram cruciais na implantação de uma infraestrutura avançada e diferenciada voltada à manipulação química e à caracterização de sistemas nanoscópicos, que constitui hoje o Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono (LQN) do CDTN.

Para a utilização dos nanomateriais de carbono nas pesquisas acadêmicas e tecnológicas é imprescindível que sejam realizadas caracterizações adequadas de suas propriedades e morfologias, com rigor metrológico e confiabilidade dos resultados [López-Sanz, 2019]. Nesse contexto, grande esforço vem sendo dedicado pelo LQN ao aprimoramento de técnicas analíticas de caracterização imprescindíveis para monitorar as mudanças estruturais durante os diferentes processamentos químicos, bem como para o entendimento da interação destas nanoestruturas com diferentes meios. Vale ressaltar que o LQN integrou a Rede SisNANO no período de 2013-2018 (como laboratório estratégico) e participou ativamente das atividades do projeto Modernit/SisNANO (FINEP) que culminou na implantação do

Sistema de Gestão da Qualidade no LQN em 2016 e na implementação das exigências da norma ABNT/ISO/IEC 17025 para dois ensaios, passíveis de acreditação, envolvendo as técnicas de termogravimetria e FTIR (macroanálise), com o objetivo de consolidar a competência desenvolvida na caracterização de nanomateriais de carbono, com o devido rigor metrológico.

Nesse contexto, o presente projeto tem como objetivo organizar o conhecimento em caracterização de nanomateriais do LQN visando à disponibilização de serviços de caracterização de grafeno e nanomateriais de carbono quimicamente processados. A documentação e infraestrutura referentes às metodologias analíticas em uso serão revisadas e atualizadas e novas metodologias analíticas serão desenvolvidas e implementadas. Dentre as diferentes técnicas analíticas, destacamos como as mais importantes: espectroscopias Raman, no infravermelho e de absorção ótica no UV-vis-NIR, microscopias eletrônicas, análises térmicas (TGA, DTA), titulação potenciométrica, medidas de distribuição de tamanho e potencial zeta, microscopia de força atômica (AFM) e espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS).

### **Objetivo Geral**

Organizar e complementar o conhecimento em caracterização de nanomateriais do LQN e o portfólio de técnicas analíticas visando à disponibilização de serviços de caracterização de grafeno e nanomateriais de carbono quimicamente processados.

### **Objetivos específicos**

1. Reunir, para cada técnica analítica em uso no LQN, a documentação pertinente, contendo itens tais como: protocolos analíticos, planilhas de controle de insumos básicos e acessórios, dados referentes aos equipamentos e plano de manutenção dos mesmos, dentre outros;
2. Revisar e padronizar os protocolos analíticos em uso no LQN, bem como os POPs de operação dos respectivos equipamentos, fazendo as atualizações e validações necessárias;
3. Identificar e desenvolver metodologias analíticas ainda não implementadas no LQN que complementem o portfólio de técnicas básicas para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados;
4. Elaborar, validar e divulgar um protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados que possa ser disponibilizado para usuários internos e externos.
5. Elaborar, validar e divulgar um protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados que possa ser disponibilizado para usuários internos e externos.

### **Atividades**

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.



Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Reunir e organizar, para cada técnica analítica em uso no LQN, a documentação pertinente	1	Banco de dados de cada técnica analítica concluído e disponibilizado	X	
2) Revisar e padronizar os protocolos analíticos em uso no LQN	2	Protocolos analíticos revisados e padronizados	X	
3) Executar as calibrações necessárias e atender as solicitações de análises demandadas por usuários internos e externos ao CDTN	3	Número de calibrações e solicitações de análises realizadas	X	X
4) Identificar e desenvolver metodologias analíticas ainda não implementadas no LQN	4	Relatório detalhado para cada metodologia analítica desenvolvida		X
5) Elaborar e validar um protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados que possa ser disponibilizado para usuários internos e externos	5	Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado e divulgado		X

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X					
Atividade 2	X	X				
Atividade 3		X	X	X	X	X
Atividade 4			X	X	X	X
Atividade 5				X	X	X

## Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Relatório descrevendo o processo de identificação e organização da documentação referente às técnicas analíticas em uso no LQN	1	Banco de dados de cada técnica analítica concluído e disponibilizado	X	
Relatório descrevendo o processo de revisão e padronização dos protocolos analíticos em uso no LQN	2	Protocolos analíticos revisados e padronizados	X	
Relatório semestral descrevendo as calibrações e as solicitações de análise realizadas	3	Número de calibrações e solicitações de análises realizadas	x	x
Relatório descrevendo as metodologias analíticas que foram identificadas e as metodologias desenvolvidas	4	Relatório detalhado para cada metodologia analítica desenvolvida	X	X
Relatório descrevendo a proposição de um protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados baseado nas técnicas analíticas disponíveis no LQN e Centro de Microscopia da UFMG	5	Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado e divulgado		X

## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Portfólio de técnicas analíticas e protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados validado, disponibilizado e divulgado	1, 2, 3, 4, 5	Protocolos analíticos de técnicas em uso no LQN revisados e padronizados	X	
		Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado e divulgado		X

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivos Específicos	BCI Categoria/ Nível	Meses	Quantidade
Graduado Química, Engenharias, Física ou Biologia.	Atividades de P&D em pelo menos uma das seguintes áreas: (i) ciência e engenharia de materiais, em especial de nanomateriais; (ii) desenvolvimento e/ou execução de técnicas analíticas, em especial, voltadas à caracterização de nanomateriais; (iii) experiência em P&D na área de grafeno e outros materiais de carbono.	1, 2, 3, 4, 5	BCI-DB	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

### Referências:

[López-Sanz, 2019] S. López-Sanz, F. J. G. Bernardo, R. C. R. Martín-Doimeadios, A. Ríos, Analytical metrology for nanomaterials: Present achievements and future challenges, Anal. Chim. Acta., 1059, 1-15, 2019.



[Tománek, 2008] D. Tománek, A. Jorio, M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, “Introduction to the Important and Exciting Aspects of Carbon-Nanotube Science and Technology”. In: Jorio, A.; Dresselhaus, M.; Dresselhaus, G. (Eds.) Carbon Nanotubes: Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 2008.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.5	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Desenvolvimentos em dosimetria computacional e em dosimetria interna
	<b>Título do plano de Trabalho:</b> Projetos em dosimetria interna.
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Bruno Melo Mendes

### Introdução

O Laboratório de Dosimetria Interna (LDI) do CDTN foi criado no início da década de 90 do século XX. Desde então tem prestado relevantes serviços para a proteção radiológica de diversos setores do CDTN. Além disso, este laboratório faz parte da Rede de Laboratórios de Monitoração In Vivo brasileiros. Contudo, o LDI não passou por nenhuma atualização significativa desde sua criação. Sua modernização é de extrema importância para que esse laboratório possa expandir seu campo de atuação, prestar melhores serviços e expandir seu universo de potenciais usuários.

Atualmente, o LDI conta com contador de corpo inteiro (CCI) com a cama blindada (tipo *shadow shield*). Esse tipo de blindagem atenua parcialmente as radiações de fundo (Background - BG) (Mendes *et al.*, 2019). Quanto melhor a blindagem do BG, menor o ruído nos espectros adquiridos e maior a capacidade de detecção do sistema (Glenn Frederick Knoll, 2010; Tsoulfanidis e Landsberger, 2015). Nesse sentido, a construção de uma sala blindada deve melhorar consideravelmente a capacidade de detecção do CCI do LDI.

O objetivo deste projeto será projetar uma sala blindada para o LDI. Para esse fim, inicialmente, as radiações de fundo (especialmente o espectro de fótons) do LDI devem ser caracterizadas experimentalmente com um detector NaI(Tl). Testes computacionais utilizando códigos de Monte Carlo (Goorley *et al.*, 2013; Pelowitz, 2011) simulando diferentes materiais e geometrias de atenuadores serão utilizados para determinar a melhor configuração de blindagem para a sala de monitoração do LDI.

Um dos produtos esperados deste trabalho será o suporte para a elaboração de projetos para órgãos de fomento nacionais e internacionais para obtenção de recursos para construção da sala blindada no LDI e para a aquisição de um detector HPGe.

### Objetivo Geral

O objetivo geral será elaborar um projeto para a construção de uma sala blindada no LDI.

### Objetivos específicos

1. Estudar o BG de fótons do LDI;
2. Simular diferentes materiais e configurações de salas blindadas para o LDI para determinar a melhor configuração com aceitáveis parâmetros radio-dosimétricos;
3. Preparação de um projeto para órgão de fomento para a obtenção de recursos para construção da sala blindada no LDI;

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Estudo do BG do LDI	1	Nota interna demonstrando a composição direcional do espectro de fótons no LDI	x	
2) Simulação de diferentes materiais e configurações de ambientes com blindagem para o LDI	2	Nota interna demonstrando o potencial de blindagem das diferentes configurações de ambientes blindados projetados para o LDI; a validação da metodologia e a determinação da melhor configuração	x	
3) Validação da modelagem computacional	2		x	x
4) Determinação dos parâmetros e configurações aceitabilidade.	2			x
5) Elaboração de projeto para órgão de fomento para obtenção de recursos para a construção da sala blindada do LDI	3	Projeto elaborado		x
6) Elaboração de relatório de atividades desenvolvidas	1, 2 e 3	Relatório elaborado		x

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	x					
Atividade 2		x	x			

Atividade 3			X	X		
Atividade 4				X	X	
Atividade 5					X	X
Atividade 6						X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Nota Interna sobre a caracterização do espectro do LDI	1	Nota Interna	X	
Nota interna sobre o estudo computacional da sala blindada projetada para o LDI	2	Nota Interna		X
Projeto para órgão de Fomento	3	Projeto elaborado		X
Relatório final de projeto	1, 2 e 3	Relatório		X

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Nota Interna sobre a caracterização do espectro do LDI	1	A nota interna gerada garantirá a preservação do conhecimento obtido relativo aos campos de fótons do LDI	X	
Nota interna sobre o estudo computacional da sala blindada projetada para o LDI	2	A nota interna gerada garantirá a preservação do conhecimento relativo à configuração da sala Blindada do LDI		X

Projeto para órgão de Fomento	3	O projeto elaborado permitirá a obtenção de recursos de fomento para construção da sala blindada do LDI		
Relatório final de projeto	1, 2 e 3	O relatório elaborado garantirá a preservação do conhecimento gerado nesse projeto.		x

### Bolsa

Considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico-científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica /Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	Bolsa BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Doutor	Engenharia, Física e Ciências Nucleares	1, 2 e 3	BCI-DB	12	1

Bolsa	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

### Referências Bibliográficas

GLENN FREDERICK KNOLL. **Radiation Detection and Measurement**. 4th. ed. Michigan: [s.n.].

GOORLEY, J. T. *et al.* **MCNP6 User's Manual, Version 1.0, LA-CP-13-00634** Los Alamos National Laboratory, 2013.

MENDES, B. M. *et al.* Monitoring internal contamination from Occupationally Exposed Workers of an 18 F-FDG production plant : Whole Body Counter or Head Counting setup ? **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 07, n. 03A, p. 1–12, 2019.

PELOWITZ, D. B. **Mcnpx User's Manual - Version 2.7.0**. [s.l.: s.n.].

TSOULFANIDIS, N.; LANDSBERGER, S. **Measurement & Detection of Radiation**. 4th. ed. New York, USA: CRC Press, 215AD.



CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.6	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b> <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Desenvolvimento da Revisão Periódica de Segurança do reator Triga IPR-R1.
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Daniel de Almeida Magalhães Campolina

## Introdução

O reator nuclear TRIGA IPR-R1, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é utilizado para pesquisas, treinamento, produção de isótopos radiativos e irradiação de amostras para análise química de ativação. Está explícito no plano estratégico do CDTN, o objetivo de garantir o atendimento às suas exigências de licenciamento, assim como “promover o reator como uma ferramenta de pesquisa, prestação de serviços e formação especializada”. Publicado no Diário Oficial da União, no dia 6 de fevereiro de 2018, pela CNEN, o TRIGA IPR-R1 conseguiu a Autorização para Operação Permanente (AOP), tornando-se o primeiro reator de pesquisa licenciado no Brasil. Entre as condicionantes da autorização está a apresentação de um Programa de Gestão do Envelhecimento em conformidade com normas internacionais. Em atividade há quase 60 anos, é um dos reatores mais antigos do mundo em operação. Seu tempo prolongado de vida desafia a utilização do mesmo. Atualmente, seu envelhecimento acontece de forma irrestrita onde se coloca em risco a continuidade da operação.

Ao longo da utilização do reator, a gestão do envelhecimento e a revisão da segurança se tornam mais desafiadoras, sendo necessários procedimentos como a Revisão Periódica de Segurança, especialmente em situações em que o licenciamento do reator, após a vida útil inicial da instalação, é atingido.

A Revisão Periódica de Segurança (RPS) proposta pela CNEN, deve seguir o documento-guia "Periodic Safety Review for Research Reactors" (IAEA, 2020), criado pela Agência Internacional de Energia Atômica. O documento conta com 14 pontos de revisão que devem ser pesquisados de forma sistemática para garantir a segurança da instalação. Segundo o documento, os pontos positivos equivalem às boas práticas estabelecidas nos padrões atuais e os pontos negativos são as práticas não equivalentes aos padrões atuais de segurança ou incompatíveis com a documentação operacional.

A necessidade da revisão periódica ocorre devido às modificações das recomendações de segurança que podem ocorrer pela IAEA e pelo órgão regulador; devido às mudanças das práticas operacionais e tecnológicas; devido aos efeitos cumulativos que podem agravar a segurança e a obsolescência dos documentos referentes à segurança e operação. O intervalo proposto de 10 anos para realização da RPS, busca englobar qualquer mudança que possa ocorrer na instalação e dar continuidade ao reconhecimento de questões ligadas à segurança.

O RPS é um trabalho não rotineiro que necessita de organização operacional e um plano de qualidade. O plano de qualidade deve ser utilizado para alinhar os requisitos de preparo e revisão do RPS, de modo que toda a equipe revisora esteja com a mesma consistência. Os

pontos de revisão são separados em 5 grupos para melhor análise do conjunto. O fator de segurança relacionado à instalação, que avalia o design da instalação, a condição atual das Estruturas, Sistemas e Componentes (ESCs) importantes para a segurança, a qualificação do equipamento, o envelhecimento e a utilização do reator. O fator de segurança relacionado à análise de segurança. O fator de segurança relacionado à experiência operacional, que avalia a experiência operacional e o uso da experiência de outras instalações e resultados de pesquisas. O fator de segurança relacionado à eficácia organizacional, que avalia a organização, gestão de sistemas e cultura de segurança, o gerenciamento de procedimentos, os fatores humanos e o planejamento de emergência. O fator de segurança relacionado a segurança radiológica, que avalia a proteção operacional contra radiação e o impacto radiológico no meio ambiente.

Além de gerar e difundir conhecimentos em benefício da sociedade por meio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear, os resultados deste projeto são importantes para o cumprimento de uma das condicionantes da concessão da Autorização para Operação Permanente – AOP para o reator TRIGA IPR-R1. As lições aprendidas no projeto serão divulgadas para a comunidade científica e sociedade através publicações em revistas científicas, jornais de grande abrangência e matérias no site do CDTN. A experiência adquirida no projeto será de grande valor para gestão do envelhecimento e revisão de segurança desta instalação e de outras similares. O tema descrito aqui é contemporâneo e de extrema importância para operação confiável dos reatores nucleares, tanto os de pesquisa, quanto os de potência.

## Objetivo Geral

Desenvolver metodologias para avaliação de procedimentos, realização de ensaios e análises de segurança de sistemas, estruturas e componentes do reator TRIGA IPR-R1, para dar suporte à primeira Revisão Periódica de Segurança do reator.

## Objetivos específicos

1. Aplicar o guia da AIEA para avaliar o impacto das recentes modernizações implementadas no reator com relação aos fatores de segurança.
2. Pesquisar e desenvolver e aplicar técnicas para o desenvolvimento dos fatores de segurança.

## Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024

1. Revisão bibliográfica e estudo das alterações realizadas e por realizar no reator;	1	-Revisão do documento base da RPS;	1	
2. Avaliação de segurança dos fatores relacionados à instalação.	2	-Relatório de revisão dos fatores de segurança relacionados à instalação. -Revisão do RFAS;		1
3. Avaliação de segurança dos fatores relacionados à análise de segurança ( <i>safety</i> ).	2	-Relatório de revisão dos fatores de segurança relacionados à análise de segurança ( <i>safety</i> ). -Resultado de cálculos;		1
4. Avaliação de segurança dos fatores relacionados à experiência operacional.	2	-Relatório de revisão dos fatores de segurança relacionados à experiência operacional. -Atualização do Programa de Gestão da Qualidade da instalação.		1
5. Avaliação de segurança dos fatores relacionados à segurança radiológica.	2	-Relatório de revisão dos fatores de segurança relacionados à segurança radiológica. -Revisão de procedimentos.		1
6. Um trabalho científico com procedimentos operacionais de análise de segurança	2	Escrita de Artigo.		1

## Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	x					
Atividade 2		x				
Atividade 3			x			
Atividade 4				x		
Atividade 5					x	
Atividade 6						x

## Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Identificação e documentação de impacto das recentes modernizações implementadas no reator com relação aos fatores de segurança.;	1	Nova versão do documento base da RPS.	1	
Desenvolvimento de estrutura de suporte no reator para realização de pesquisa relacionada à Revisão periódica de Segurança do reator;	1 e 2	Relatório de melhorias e análises necessárias identificadas.		1
Um trabalho científico com lições aprendidas sobre implementação ra RPS no reator Triga IPR-R1.	1 e 2	Artigo publicado.		1

## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Desenvolvimento de metodologias para avaliação de procedimentos, realização de ensaios e análises de segurança de sistemas, estruturas e componentes do reator TRIGA IPR-R1.	1 e 2	Procedimento Operacional	1	4
		Revisão do documento base da RPS.	1	0
		Resultados de ensaios.	2	4
		Artigos Científicos Publicados ou patentes depositadas.		1

## Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Física ou Engenharias; e Mestrado em Engenharia Nuclear.	Procedimentos operacionais, manutenção preventiva, ensaios mecânicos e elétricos, simulação, análise de segurança.	1 e 2	DB	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

## Referências Bibliográficas

[1] Periodic Safety Review for Research Reactors, "Safety Reports Series N° 99", IAEA 20- 01330, International Atomic Energy Agency, Vienna (2020).

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.7	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b> <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Estudo de recuperação de elementos terras raras, urânio e tório com a obtenção dos respectivos óxidos individuais a partir de minérios diversos pelas técnicas de lixiviação e de extração por solventes.
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Carlos Antônio de Moraes

### Introdução

Geralmente, fontes naturais de elementos terras raras (ETR) apresentam o urânio e o tório como elementos associados. Os ETR são um grupo de elementos químicos que inclui a família dos lantanídeos, que vai do lantânio ao lutécio, mais o ítrio e o escândio. Estes elementos têm várias aplicações industriais, podendo citar: catálise, indústria de vidro, ímãs permanentes, laser; fabricação de baterias recarregáveis, acessórios para carros elétricos e turbinas eólicas, indústrias petroquímica e bélica, fósforos usados em dispositivos eletrônicos, como televisores a cores, monitores de painel plano, dispositivos electro-ópticos, dispositivos médicos além das biológicas: imunologia (fluoroimunoensaios) e medicina: diagnóstico não invasivo (agentes de contraste) [1,2,3].

O urânio é aplicado na indústria nuclear, para geração de energia nuclear; o zircônio é um metal de grande importância tecnológica, principalmente para o setor nuclear, por apresentar baixa seção de choque de absorção de nêutrons térmicos e elevada resistência mecânica e a corrosão.

O tório, como o urânio, tem um papel estratégico na geração da energia nuclear. Embora não possua grandes aplicações no momento pode ser estocado para futuras aplicações, visto que já há bastante tempo vem sendo realizados estudos de seu uso em reatores a base de tório.

Devido à semelhança das propriedades químicas e físicas, os ETR ocorrem juntos nas fontes naturais, comportando-se como único elemento e apresentam grande complexidade na separação e obtenção dos mesmos de alta pureza. Suas aplicações mais nobres estão ligadas à pureza dos respectivos óxidos ou metais individuais [2].

As principais fontes de ETR são a monazita, a xenotima e a bastnasita, minerais estes, principalmente a monazita, encontrados em abundância no Brasil [4,5,6].

Este plano de trabalho contempla o estudo de recuperação dos ETR da mina Morro do Ferro, localizada em Caldas, MG. O mineral portador dos ETR presentes neste minério trata-se da bastnasita, e apresenta um teor médio de óxido de terras raras de 4,5%. A metodologia validada poderá servir de base em estudos de recuperação dos ETR, urânio e tório contidos em outras matrizes minerais, como monazita, xenotima

e outros.

A amostra a ser estudada foi fornecida pela Mineração Terras Raras Ltda. O trabalho constituirá do estudo das principais variáveis de processos hidrometalúrgicos, como lixiviação, digestão ácida e fusão, assim como tipo e concentração dos reagentes, temperatura e tempo de reação, relação reagente/minério, relação sólido/líquido, entre outras.

### Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para a recuperação dos elementos terras raras, urânio e tório presentes no minério de bastnasita da mina Morro do Ferro localizada no município de Caldas, MG.

### Objetivos específicos

1. Estudo das principais variáveis dos processos hidrometalúrgicos investigados visando maximizar o rendimento e minimizar impactos ambientais.
2. Estudo da remoção de impurezas presentes no licor gerado na etapa de abertura química do minério;
3. Estudar a separação dos elementos terras raras, urânio e tório pela técnica de extração por solventes;
4. Estudo da obtenção do óxido misto de terras raras;
5. Estudo da obtenção do óxido de urânio;
6. Estudo da obtenção do óxido ou do fluoreto de tório;
7. Elaboração da versão final do modelo e de artigo para divulgação dos resultados.

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Preparo da amostra e execução de testes em bancada para a solubilização dos elementos terras raras, purificação do licor, precipitação dos elementos terras raras e recuperação do urânio e tório presentes no licor gerado na solubilização dos ETR	1, 2, 3, 4, 5 e 6	Variáveis dos processos otimizados; Licor obtido e purificado; Óxido de terras raras misto; Concentrado de urânio e tório	1	1



2) Caracterização da amostra e produtos, análise de acompanhamento de processo, tratamento e interpretação dos resultados fornecidos pelas várias metodologias	1, 2, 3, 4, 5 e 6	Laudos analíticos, produtos caracterizados e metodologia desenvolvida	1	1
3) Elaborar relatório e redigir artigo para revista internacional	7	Relatório consolidado e artigos científicos para revistas indexadas QUALIS e trabalhos de conresso elaborados.		1

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X	X	X	
Atividade 2	X	X	X	X	X	X
Atividade 3			X	X	X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Licor contendo os elementos terras raras	1 e 2	Metodologia validada	1	
Óxido de ETR mistas	3	Metodologia validada	1	
Concentrado de Th e U	4, 6	Metodologia validada	1	
Artigos científicos submetido	5, 7	Artigo submetido		1



## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Desenvolvimento de processo de recuperação dos ETR do minério de bastnasita estudado	1, 2, 3, 4, 5 e 6	Metodologia otimizada		1
		Artigos Científicos submetidos		1

## Bolsa

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da qualidade dos níveis dos estudos realizados pelo SEMAV – Tecnologia Mineral do CDTN, considerando a redução no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico-científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia Química  Mestrado em C&T das Radiações, Minerais e Materiais	Desenvolvimento e otimização de processos hidrometalúrgicos utilizando técnicas de Lixiviação e extração por solventes.	1, 2, 3, 4, 5 e 6	BCI-DC	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
PCI	DC	3.380,00	12	1	40.560,00
Total (R\$)					40.560,00

## Referências Bibliográficas

[1] MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C., Terras raras: aplicações industriais e biológicas. Química nova, vol. 28, n.1, p.111-117, 2005.

[2] MAESTRO, P.; HUGUENIN, D., Industrial applications of rare earths: which way for the end of the

Century. J. Alloys Comp. 225, 520-528 (1995)

[3] FORMOSO, M. L. L. et al. Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios. In: 14 Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios. 1. ed. Rio de Janeiro: p. 420. 2016.

[4] GECHNEIDNER JR., K. A., Rare earth speciality inorganic chemicals. In: SYMPOSIUM ON SPECIALITY INORGANIC CHEMICALS, 1980, salford. Proceedings... London: The Royal Society of Chemistry, 1980. P. 403-443.

[5] MORAIS, C.A.; CIMINELLI, V.S.T., Process development for the recovery of high-grade lanthanum by solvent extraction, Hydrometallurgy 73, 237-244 (2004)

[6] GUPTA, C.K.; KRISHNAMURTH, N., "Extractive Metallurgy of Rare Earths", International Materials Reviews, 37 (5), 197-210 (1992).

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.8	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b> <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto</b> Metalogênese de elementos estratégicos (REEs, U, Th) em anomalias de Lagoa Real
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Francisco Javier Rios

## Introdução

A Província Uranífera de Lagoa Real (PULR) está situada no centro-sul do estado da Bahia, na parte central do Cratón São Francisco. Atualmente, junto com Itabira no Ceará, constituem as maiores reservas de urânio do Brasil. Entretanto, Lagoa Real é a única a ser explorada no país, e na América do Sul. Ocupa uma área de 35 km de extensão e 5 km de largura, contendo 38 anomalias uraníferas. Oito dessas anomalias, com suas pesquisas parcialmente concluídas, evoluíram para a categoria de jazidas (Matos, 2016). Na PULR, atualmente, existe potencial para retirar 300 ton por ano de concentrado de urânio, produzidos na nova, a enorme mina do Engenho (AN 09). Essa jazida está localizada logo ao sul da mina da Cachoeira, em fase de descomissionamento onde foram extraídas 3700 ton a partir de sete corpos de minério, e que ainda possui reservas em profundidade de mais de 15000 ton de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Matos, 2016). As reservas totais da PULR extrapolam as 100.000 ton de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, que deve ser considerado um valor mínimo.

Esses depósitos de urânio são associados a rochas dominadas por plagioclásio, denominadas “albitos”, produtos de extensiva alteração metassomática de rochas granítico-gnáissicas, que originaram nestas rochas enriquecimento em sódio e lixiviação de sílica (Lobato & Fyfe, 1990; Maruejol, 1989). O metassomatismo sódico, somado à mineralização de urânio, caracterizam depósitos que, mundialmente, são denominados “tipo albitito” (Wilde, 2013) ou “tipo metassomático” (Cuney & Kyser, 2008). Interessante observar que vários modelos genéticos foram propostos para essa tipologia, e ainda não existe consenso. No caso das jazidas de U de Lagoa Real, a situação não é diferente. Por esse motivo, o aprofundamento da discussão sobre sua metalogênese é tema prioritário da nossa pesquisa.

A região noroeste da PULR tem sido nos últimos anos alvo de grande interesse geológico, principalmente pela possível (em parte constatada) presença de jazidas “cegas”, parcialmente recobertas por sedimentos

tercio-quaternários (Matos, 2016). A AN35 (Jazida das Mangabeiras), que não aflora, é um claro exemplo disso. Desde a sua descoberta, há cerca de oito anos, e por causa das suas grandes reservas uraníferas, esta sendo considerada como um dos alvos principais para futuras minas de urânio. Por esse motivo foi escolhida pela nossa equipe para um detalhado estudo geoquímico, que gerou uma tese de doutorado e publicações em andamento (Marques, 2020; Marques et al., 2021 e 2023). Além desta, outras anomalias uraníferas (26, 27, 30, 31, 36, 37, e a 34 mais ao sul) distribuem-se ao longo de lineamentos semiarqueados orientados na direção NW, nessa mesma porção da província.

Rigorosos estudos mineralógicos, metalogenéticos, geocronológicos e estruturais desenvolvidos na PULR nos últimos 40 anos (Maruejol et al. 1989, Lobato & Fyfe, 1990; Cordani et al, 1992; Cruz et al 2007; Lobato, 2015, dentre outros), afirmam que os albitos, estéreis ou mineralizados com U, derivam das rochas granitoides São Timóteo (ST), gnaissificadas durante o Neoproterozoico. Entretanto, Chaves (2013), com base numa ampla revisão mineralógica e química, propõe que os albitos não apresentam relação genética com os granitoides gnaissificados ST. Segundo esse autor, sua origem estaria relacionada com rochas sieníticas transamazônicas, ricas em urânio. Contudo, os trabalhos recentes de Marques (2020 e 2021) nos albitos e encaixantes da anomalia 35 confirmaram o link genético entre alguns tipos de albitos e os metagranitoides.

Além disso, dados publicados recentemente pela nossa equipe comprovam que o magmatismo ST é de idade Stateriana, apresentando uma evolução complexa, com diferentes fácies posicionadas ao longo de 40 Ma (Amorim et al., 2022). A suíte é bimodal, incluindo a presença de rochas vulcânicas (metariolíticas) que afloram à oeste da PULR, e que apresentam notável enriquecimento em U nos zircões.

Entretanto, embora o notável avanço dos estudos, algumas questões chamam nossa atenção. Por exemplo:

(A) todos os tipos de albitos seriam derivados da mesma rocha fonte?; (B) Qual seria a origem, e a relação, entre as mineralizações de U e REEs?

No intuito de esclarecer essas incognitas propõe-se desenvolver um estudo metalogenético aprofundado em duas anomalias representativas: (a) anomalia 03 (jazida da Rabicha), considerada como um dos principais depósitos de urânio da PULR; e (b) anomalia 34, que apresenta alguns dos maiores teores de REEs dessa província.

### **Objetivo Geral**

O objetivo principal deste projeto é consolidar o modelo evolutivo e a gênese e/ou proveniência das mineralizações de urânio e REEs nas variedades de albitos das anomalias 3 e 34 da PULR. No estágio atual

de conhecimento resulta prioritário determinar a gênese e confirmar o tempo relativo e absoluto da mineralização, contrastando a natureza e origem dos fluidos em equilíbrio com a paragéneses mineral através da geoquímica, isótopos estáveis e a composição químico-microquímica. Os resultados obtidos serão utilizados para determinar os fatores-chave que controlaram a deposição de urânio e REEs nos setores mencionados os quais, aliados aos dados já disponíveis, permitirão a elaboração de um modelo genético mais abrangente para a PULR. Espera-se que esse novo modelo fortaleça o entendimento da deposição de urânio e ETR's na PULR através do tempo geológico.

### Objetivos específicos

1. Caracterizar a diversidade mineralógica, química, micro-química e geoquímica, das anomalias 03 e 34. As pesquisas deverão incluir estudos de química e micro-química mineral, química de rocha total, caracterização petrográfica e inclusões fluidas. Ao mesmo tempo, serão feitas pesquisas isotópicas (C, O, H, S), em minerais das rochas mencionadas
2. Elaborar relatório e um artigo a ser submetido em revista internacional

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	x	x	x	
Atividade 2				x	x	x

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Modelo metalogenético na geração de mineralizações de urânio	1	Sistema validado	1	1
Artigos científicos submetido	2	Artigo submetido	1	1

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Aplicação do Modelo metalogenético na geração de mineralizações de urânio em Lagoa Real	1, 2	Sistema disponibilizado e testado	1	1
		Artigos Científicos submetido	1	1

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Mestrado ou Doutorado em Geologia	Metalogenia, Alteração hidrotermal, Mineralogia	1,2	BCI-DB	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
PCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

## Referências Bibliográficas

- Amorim, L. E. D. (2016) Microquímica, geoquímica e geocronologia da associação magmática da PULR, BA: significado petrológico e evolutivo. Tese de Doutorado, 140. Programa de Pós-Graduação em Cs das Radiações, Minerais e Materiais do CDTN
- ARCANJO J.B., MARQUES-MARTINS A.A., LOUREIRO H.S.C. & VARELA P.H.L. (2000). Projeto vale do Paramirim, escala 1:100.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. CD-ROOM.
- AVELAR, S. C. P.(2008). Datação química U-Th-Pb de minerais dos albitos uraníferos da região de Lagoa Real (Ba) por microsonda eletrônica. 2005. CDTN-CNEN/BH. Dissertação (Mestrado). Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, BH.
- BARBOSA, J. S. F., P. SABATÉ, AND C. M. M. LEITE. (2001) "Os quatro blocos arqueanos do embasamento do Cráton do São Francisco na Bahia e a colisão no paleoproterozóico." *SBG/NNE, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos 8* (2001): 131-133.
- Ballouard, 2016. Origine, évolution et exhumation des leucogranites peralumineux de la chaîne hercynienne armoricaine: implication sur la métallogénie de l'uranium. *Sciences de la Terre. Université Rennes 1*, 309 p.
- BRITO W., RAPOSO C. & MATOS E.C. (1984). Os albitos uraníferos de Lagoa Real. In: *SBG, Cong. Bras.Geol.*, 33, Anais, p. 1475-1488
- CHAVES, A. O.; TUBRETT, M.; RIOS, F. J.; OLIVEIRA, L. A. R.; ALVES. J. V.; FUJIKAWA, K.; CORREIA NEVES, J. M.; MATOS, E. C. de; CHAVES, A. M. D. V.; PRATES, S. P. (2007) U-Pb ages related to uranium mineralization of Lagoa Real, Bahia – Brazil: tectonic implications, *Revista de Geologia, Fortaleza*, v. 20, n. 2, p. 141-156, 2007.
- Chaves, A.O. (2013). New geological model of the Lagoa Real uranium albitites from Bahia (Brazil). *Central European Journal of Geosciences*, 5(3), 354-373
- CORDANI U.G., IYER S.S., TAYLOR P.N., KAWASHITA K., SATO K. & McCreath I. (1992). Pb-Pb, Rb-Sr, and K-Ar systematic of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5-1.0 Ga). *J. South Am. Earth Sci.*, 1:33-46.
- CRUZ, S. C. P. (2004) A interação entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-Oeste Congo. 2004. 503p. Tese (Doutorado em Geologia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.
- CRUZ S.C.P. & ALKMIM F.F. (2006). The tectonic interaction between the Paramirim Aulacogen and the Araçuaí Belt, São Francisco Craton region, Easter Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 1:151-173.
- CRUZ, S. C. P., ALKMIM, F. F. D., LEITE, C. M. M., EVANGELISTA, H. J., CUNHA, J. C., MATOS, E. C., ... & MARINHO, M. M. (2007). Geologia e arcabouço estrutural do Complexo Lagoa Real, vale do Paramirim, centro-oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. 37(4 - suplemento): 128-146.
- CUNEY, M.; KYSER, K. (2008) Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration. *Mineralogical Association of Canada, Short Courses Series*, n 39, p. 97-116, 2008
- CUNEY, Michel et al. (2012) Uranium deposits associated with Na-metasomatism from central Ukraine: a review of some of the major deposits and genetic constraints. *Ore Geology Reviews*, v. 44, p. 82-106, 2012.
- DEFERREIRA, TIAGO HENRIQUE ; DE OLIVEIRA, LUCILIA APARECIDA RAMOS ; AMORIM, LUCAS EUSTÁQUIO DIAS ; PEDROSA, TÉRCIO ASSUNÇÃO ; RIOS, FRANCISCO JAVIER . Rare earth element (REE)-enriched granitic pegmatite pockets of Lagoa Real Uranium Province, Brazil. *CHEMIE DER ERDE-GEOCHEMISTRY*, v. 1, p. 125810-125810, 2021



FUZIKAWA, K., ET AL. (1988) "The Lagoa Real Uranium Province, Bahia state, Brazil: some petrographic aspects and fluid inclusion studies." *Geochimica Brasiliensis* 1.2 (1988): 109-118.

Lobato, L. M., Forman, J. M. A., Fyfe, W. S., Kerrich, R., & BARNETT, R. L. (1983). Uranium enrichment in Archaean crustal basement associated with overthrusting. *Atom*;\*, 303:235-237.

LOBATO, LM. (1985) Metamorphism, metassomatism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. PhD dissertation, University of Western Ontario, 1985

Lobato, L., & Fyfe, W. (1990). Metamorphism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brasil. *Econ. Geol*, 5, 968-989.

Lobato, L. M., Pimentel, M. M., Cruz, S. C., Machado, N., Noce, C. M., & Alkmim, F. F. (2015). U–Pb geochronology of the Lagoa Real uranium district, Brazil: Implications for the age of the uranium mineralization. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 129-140.

Marques, C. S. (2020). Origem e evolução de depósitos de U (com ETR) na porção noroeste da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia: Estudos de isótopos estáveis, microquímica mineral e geocronologia. Tese PPG CDTN e Universidade de Salamanca.

MARQUES, CAMILA ; CABRAL, ALEXANDRE RAPHAEL ; RIOS, FRANCISCO JAVIER . Whole-rock chemistry of the Gameleira I uranium deposit, Lagoa Real, Brazil. *CHEMIE DER ERDE-GEOCHEMISTRY JCR*, v. 81, p. 125677, 2020.

MATOS, E. C. de; SILVA, J. R. A. E.; RUBINI, L. A. (2003). Província Uranífera de Lagoa Real – Garantia de Fornecimento de Concentrado de Urânio (DUA) para as Necessidades Brasileiras, *Revista de Geologia, Fortaleza*, v. 16, nº 2, p.111-120, 2003.

MATOS, E. C. de (2016) Elemento combustível nuclear: Urânio. In: Melfi, Misi, Campos & Cordani (eds) *Recursos Minerais no Brasil: problemas e Desafios*. Academia Brasileira de Ciências e Vale S.A., pp:340-349

MARUEJOL, P.; CUNEY, M.; FUZIKAWA, K.; NETTO, A.M.; POTY, B. (1987) The Lagoa Real subalkaline granitic complex (south Bahia, Brazil): A source for uranium mineralizations associated with Na-Ca metasomatism, *Revista Brasileira Geociências*, v. 17, p. 578-594, 1987.

Maruéjol, P. (1989) Métasomatose alcaline et minéralisation uranifères: les albitites du gisement de Lagoa Real (Bahia, Brésil) et exemples complémentaires de Xihuashan (SE Chine), Zheltorechensk (Ukraine) e Chuling Khola (Népal central). 1989. 428p. Tese (Doutorado) - Centre du Recherche sur la Geologie de l'uranium, Nancy, 1989.

Oliveira, L.A.R.; Souza, A; Rios, F.J.; Chaves, A.; Amortim, L; Yardley, B; Banks, D. (2013) Estudo de IF em minerais associados a mineralização uranífera de três jazidas da Província Uranífera de Lagoa Real. *Geonomos*, 20(2), 68-78, 2013

Prates, S; Freitas, M.; Carele, E.; Alves, J.V.; Garcia, L. (2011) A garnet and uraninite rich rock found in the Lagoa Real Uranium Province: preliminary studies. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011 Belo Horizonte, MG, Brazil, 24 to 28 October, 2011 Associação Brasileira de Energia Nuclear - ABEN*

RAPOSO, C., & MATOS, E. D. (1982). Distrito uranífero de Lagoa Real. A história de um exemplo. *SBG, Cong. Bras. Geol*, 32, 2035-2047.

SOUZA, A. S. (2009). Inclusões Fluidas nos Minerais Associados à Mineralização Uranífera da Jazida do Engenho (Anomalia 09), Província Uranífera de Lagoa Real-Bahia. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte

TURPIN, L., LEROY, J.L., SHEPPARD, S.M.F., (1990) .Isotopic systematics (O, H, C, Sr, Nd) of superimposed barren U-bearing hydrothermal systems in a Hercynian granite, Massif Central, France. *Chemical Geology* 88, 85–98.



CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.9	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Caracterização metrológica de radiações de referências X, beta e gama em conformidade com as normas ISO4037:2019 e ISO6980:2022
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Marco Aurélio de Sousa Lacerda

## Introdução

Para garantir a confiabilidade metrológica para proteção radiológica, a ISO estabeleceu as normas ISO 4037-1, 2 e 3 aplicadas à produção dos campos de radiação X e gama de referência, dosimetria dos campos e calibração e testes de dependência energética de dosímetros usados na proteção radiológica. A versão de 2019, que substituiu a de 1996, introduziu mudanças conceituais campos correspondentes e campos caracterizados e estabeleceu novos requisitos para os diversos parâmetros que definem uma radiação de referência (International Organization for Standardization, 2019a, 2019b, 2019c).

Novas mudanças estenderam-se aos campos de referência de radiação beta na revisão das normas ISO 6980-1, 2 e 3 aplicadas à produção dos campos de radiação beta de referência, dosimetria dos campos e calibração e testes de dependência energética de dosímetros usados na proteção radiológica. A versão 2022, que substitui a de 2003, introduz também novos parâmetros para alcançar a conformidade metrológica (International Organization for Standardization, 2022, 2022b, 2022c).

O Laboratório de Calibração de Dosímetro (LCD) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LCD/CDTN), desde a sua fundação em 1996, realiza P&D&I visando a implantação de procedimentos de calibração de dosímetros utilizados em proteção radiológica, radioterapia, radiologia diagnóstica e medicina nuclear.

O LCD/CDTN é um Laboratório autorizado pelo Comitê de Avaliação dos Serviços de Calibração e Ensaios (CASEC), do IRD/CNEN para fornecer serviços de calibração de dosímetros. Desde 2017, o LCD/CDTN é acreditado pelo INMETRO em conformidade com os requisitos da NBR ISO/IEC17025 (International Organization for Standardization, 2017), no escopo de calibração de dosímetros individuais em termos de Equivalente de Dose Individual.

Para ofertar os serviços de calibração, o LCD/CDTN dispõe e mantém dois irradiadores de feixe gama de  $^{137}\text{Cs}$ , dois aparelhos de raios X de potencial máximo de 160 kV e de 320 kV, respectivamente e um sistema padrão secundário beta com fontes de  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  e  $^{85}\text{Kr}$ . Sistemas de posicionamento de alta precisão são utilizados para o procedimento de calibração, bem como dosímetros padrões de alta confiabilidade metrológica são mantidos para estabelecer a rastreabilidade ao sistema internacional de metrologia.

Os novos métodos propostos, os requisitos estabelecidos, os valores dos limites para os diversos parâmetros associados aos feixes de raios X, gama e beta e a incerteza total aceitável para a grandeza de calibração sugerem que os laboratórios de metrologia terão muitas dificuldades de produzirem campos

de radiação em conformidade com a ISO 4037:2019 e ISO6980:2022.

A modelagem computacional de campos, feixes e dosímetros de radiação utilizando códigos baseados no método de Monte Carlo (MMC) contribuiu para o aumento da confiabilidade metrológica das medições realizadas. Esta confiabilidade pode ser alcançada a partir da validação dos modelos simulados com medidas experimentais e/ou dados disponíveis na literatura. Uma vez validados, esses modelos computacionais podem ser utilizados para avaliar a influência de diferentes parâmetros nas medições, fornecendo, também, suporte ao design, otimização e análise de experimentos. A disponibilidade de códigos modernos e computadores poderosos tornaram o MMC dominante em linhas de pesquisa na área de proteção radiológica e dosimetria (Harrison et al., 2021).

Vários códigos computacionais baseados no método de Monte Carlo (MMC) têm sido usados em aplicações de dosimetria, podendo-se destacar: o MCNP (Monte Carlo N-Particle) (Briesmeister, 2000), 2000), o EGSnrc (Electron-Gamma-Shower) (Kawrakow, 2001), PENELOPE (Penetration and Energy Loss of Positrons and Electrons) (Baró et al., 1995), GEANT4 (Geometry and tracking) (Agostinelli et al., 2003), PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) (Sato et al., 2018).

Laboratórios primários de metrologia das radiações, como NIST (National Institute of Standards and Technology), NPL (National Physical Laboratory) e PTB (PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT), também possuem projetos e programas que encorajam o uso do método de Monte Carlo para o melhor entendimento e refinamento / otimização dos seus padrões de medidas. É importante que o LCD/CDTN acompanhe esse desenvolvimento e atue tanto no desenvolvimento de metodologias, quanto no treinamento de profissionais para atuarem nessa área.

As alterações decorrentes da atualização das normas ISO4037 e ISO6980 requerem uma análise crítica e estudo de exequibilidade, a fim de verificar se são realizáveis nos laboratórios de metrologia das radiações ionizantes do Brasil e, caso contrário, buscar soluções alternativas, já que nem todos os laboratórios possuem condições de demonstrar ou obter os novos parâmetros requeridos pelas normas ISO.

### **Objetivos Gerais**

Dois objetivos gerais são propostos:

- (a) Analisar a exequibilidade dos requisitos da norma ISO4037:2019 e ISO6980:2022, para produção de campos de radiação X, gama e beta de referência no Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, LCD/CDTN e;
- (b) Desenvolver e validar modelos computacionais de campos, feixes e dosímetros de radiação do LCD/CDTN.

Os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

1. Verificação da conformidade à ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de radiação gama produzidos no irradiador Buchler;

2. Implantação e verificação da conformidade à ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de radiação gama produzidos no irradiador Hopewell;
3. Desenvolver e validar modelos computacionais dos irradiadores gama, com os respectivos dispositivos de calibração, estudando os campos de radiação produzidos e as respostas dos dosímetros padrões submetidos aos campos gama dos irradiadores;
4. Verificação da conformidade à ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de raios X produzidos na máquina Agfa-Seifert 160;
5. Desenvolver e validar modelos computacionais da máquina Agfa-Seifert 160, com os respectivos dispositivos de calibração, estudando os campos de radiação produzidos e as respostas dos dosímetros padrões submetidos aos campos de raios X do equipamento;
6. Instalação da máquina de raios X Agfa-Pantak 320 no sistema de posicionamento apropriado e verificação da conformidade a ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de raios X produzidos na máquina Agfa-Pantak 320;
7. Desenvolver e validar modelos computacionais da máquina Agfa-Pantak 320, com os respectivos dispositivos de calibração, estudando os campos de radiação produzidos e as respostas dos dosímetros padrões submetidos aos campos de raios X do equipamento;
8. Verificação da conformidade a ISO6980:2022 do sistema de calibração de dosímetros para campos de radiação beta;
9. Desenvolver e validar modelos computacionais do irradiador beta, com os respectivos dispositivos de calibração, estudando os campos de radiação produzidos e as respostas dos dosímetros padrões submetidos aos campos beta do irradiador;
10. Propor soluções alternativas nos casos de requisitos cuja conformidades à normas ISO não seja factível.

### Atividades

O plano de trabalho é amplo e deve ser plenamente executado em 5 anos. Abaixo, segue o detalhamento das atividades a serem realizadas, no escopo do projeto, nos próximos 2 anos.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) atividades citadas nos objetivos específicos (1), (2) e (10)	1, 2 e 10	Elaboração de Relatório e Procedimentos Internos Operacionais	X	

2) atividades citadas nos objetivos específicos (1), (2), (3) e (10)	1, 2, 3 e 10	Artigos científicos para revista indexada QUALISE/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área.	X	X
3) atividades citadas nos objetivos específicos (4), (5) e (10)	4, 5 e 10	Elaboração de Relatório e Procedimentos Internos Operacionais		X
4) atividades citadas nos objetivos específicos (4), (5) e (10)	4, 5 e 10	Artigos científicos para revista indexada QUALISE/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área.		X
5) atividade citada no objetivo específico (6)	6	Instalação do Equipamento e elaboração de relatório dos testes iniciais realizados no equipamento		X

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Quadrimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2	X	X	X			
Atividade 3			X	X	X	
Atividade 4				X	X	X
Atividade 5						X

## Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Relatório com os Procedimentos Internos Operacionais finalizados	1, 2 e 10	Relatório concluído	1	
Artigos científicos submetidos para revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área	1, 2, 3 e 10	Artigos submetidos	1	1
Artigos científicos publicados em revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais	1, 2, 3 e 10	Artigo publicado		1
Relatório com os Procedimentos Internos Operacionais finalizados	4, 5 e 10	Relatório concluído		1
Artigos científicos submetidos para revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área	4, 5 e 10	Artigos submetidos		2
Artigo científico publicado em revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais.	4, 5 e 10	Artigo publicado		1
Relatório dos testes iniciais realizados no equipamento	6	Relatório concluído		1
Relatório com os Procedimentos Internos Operacionais finalizados	1, 2 e 10	Relatório concluído	1	

## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Sistemas de calibração de dosímetros em feixes de radiação gama produzidos nos irradiadores Buchler e Hopewell em conformidade à ISO4037:2019.	1, 2	Disponibilização do serviço para a comunidade	2	
Sistema de calibração de dosímetros em feixes de raios X produzidos na máquina Agfa-Seifert 160, em conformidade à ISO4037:2019	4	Disponibilização do serviço para a comunidade		1
Modelos computacionais dos irradiadores gama, com os respectivos dispositivos de calibração e dosímetros padrões	3	Modelos computacionais validados e disponibilizados		2
Modelos computacionais da máquina Agfa-Seifert 160, com os respectivos dispositivos de calibração e dosímetros padrões	5	Modelos computacionais validados e disponibilizados		1
Artigos científicos publicados em revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais.	1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10	Artigos científicos publicados		2
Apresentação de trabalhos em Congressos ou Conferências ou Simpósios da área	1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10	Trabalhos apresentados		2

### Bolsa

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da confiabilidade dos padrões fornecidos pelo LNMRI, considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico- científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1 (uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Engenharia ou Física, ou Curso Superior de Tecnologia em Radiologia. Doutorado na área nuclear.	Experiência na área nuclear e/ou física das radiações	1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10	BCI-DB	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

## Referências Bibliográficas

- Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K. al, Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Asai, M., Axen, D., Banerjee, S., Barrand, G., 2003. GEANT4—a simulation toolkit. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip. 506, 250–303.
- Andreo, P., 1991. Monte Carlo techniques in medical radiation physics. Phys. Med. Biol. 36, 861.
- Antoni, R., Bourgois, L., 2017. Applied Physics of External Radiation Exposure. Springer.
- Baró, J., Sempau, J., Fernández-Varea, J., Salvat, F., 1995. PENELOPE: an algorithm for Monte Carlo simulation of the penetration and energy loss of electrons and positrons in matter. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. 100, 31–46.
- Barthe, J., Gouriou, J., Daures, J., Ostrowsky, A., Bordy, J., 2003. Utilisation de codes de Monte Carlo en métrologie des rayonnements ionisants. Congrès SFRP Sur Codes Calc. Appliqués À Radioprot. Radiophysique Dosimétrie.
- Bielajew, A., Rogers, D., Nahum, A., 1985. The Monte Carlo simulation of ion chamber response to  $^{60}\text{Co}$ -resolution of anomalies associated with interfaces. Phys. Med. Biol. 30, 419.
- Briesmeister, J.F., 2000. MCNPTM-A general Monte Carlo N-particle transport code. Version 4C -13709-M Los Alamos Natl. Lab. 2.
- Fei, G., Xue-fu, X., Ning, N., Li, Z., 2013. Monte Carlo Simulation of Scattered Radiation of Free-Field Geometries Gama Reference Radiation Field. J. Isot. 26, 110.
- Gao, F., 2015. Monte Carlo Study of a  $^{137}\text{Cs}$  calibration field of the China institute of atomic energy. ArXiv Prepr. ArXiv150202794.
- Harrison, R., Ainsbury, E., Alves, J., Bottollier-Depois, J.-F., Breustedt, B., Caresana, M., Clairand, I., Fantuzzi, E., Fattibene, P., Gilvin, P., 2021. EURADOS strategic research agenda 2020: vision for the dosimetry of ionising radiation. Radiat. Prot. Dosimetry 194, 42–56.
- Hranitzky, C., Stadtmann, H., 2007. Monte Carlo study of a  $^{60}\text{Co}$  calibration field of the Dosimetry Laboratory Seibersdorf. Radiat. Prot. Dosimetry 125, 153–156.
- International Organization for Standardization, 2022. Nuclear energy — Reference beta-particle radiation — Part 1: Methods of production. ISO 6980–1.



- International Organization for Standardization, 2022b. Nuclear energy — Reference beta-particle radiation — Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field. ISO 6980–2.
- International Organization for Standardization, 2022c. Nuclear energy — Reference beta-particle radiation — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle of incidence. ISO 6980–3.
- International Organization for Standardization, 2019a. Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods. ISO 4037–1.
- International Organization for Standardization, 2019b. Radiological protection—X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV. ISO 4037–2.
- International Organization for Standardization, 2019c. Radiological protection—X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. ISO 4037–3.
- International Organization for Standardization, 2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/IEC 17025.
- Kawrakow, I., 2001. The EGSnrc code system, Monte Carlo simulation of electron and photon transport. NRCC Rep. Pirs-701.
- Mainegra-Hing, E., Kawrakow, I., Rogers, D., 2003. Calculations for plane-parallel ion chambers in beams using the EGSnrc Monte Carlo code. *Med. Phys.* 30, 179–189.
- Rogers, D., 2006. Fifty years of Monte Carlo simulations for medical physics. *Phys. Med. Biol.* 51, R287.
- Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S., Kai, T., Tsai, P.-E., Matsuda, N., Iwase, H., 2018. Features of particle and heavy ion transport code system (PHITS) version 3.02. *J. Nucl. Sci. Technol.* 55, 684–690.



CÓDIGO DO PROJETO:  1.1.10	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> P&D em metodologias e técnicas radioquímicas aplicadas ao meio ambiente, indústria e mineração.
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Roberto Pellacani Guedes Monteiro

### Introdução

A caracterização radioquímica de amostras ambientais, rejeitos radioativos e produtos de processos industriais tem um caráter bem relevante no meio ambiente e na indústria em geral. Neste projeto, pretende-se desenvolver metodologias analíticas para a determinação de radionuclídeos diversos em matrizes ambientais complexas, rejeitos de baixo e médio níveis de atividade, por espectrometria gama espectrometria de cintilação em meio líquido (LSC) e contagem proporcional para medidas de radioatividade alfa e beta total, incluindo ensaios de separação radioquímica utilizando resinas extrativas, extração com solventes dentre outros. Em paralelo serão consultados artigos da literatura especializada para o desenvolvimento das metodologias de preparo das amostras com o propósito de se obter condições adequadas para aplicação dos processos de separação e análise.

### Objetivo Geral

Estabelecimento de protocolos analíticos para a caracterização radioquímica de matrizes ambientais, rejeitos radioativos e produtos de processos industriais.

### Objetivos específicos

1. Realização de abertura de padrões para a calibração dos equipamentos e teste de performance;
2. Realização de separações seletivas para diversos radionuclídeos de interesse;
3. Realização de abertura e preparo de amostras sólidas, líquidas, inorgânicas e orgânicas, ambientais, de rejeitos de baixo e médio níveis de atividade e de produtos industriais;
4. Elaboração de procedimentos analíticos e publicação de artigos em periódicos.

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Seleção e preparo de padrões certificados para calibração e análise	1	Validação de metodologias de preparo de soluções padronizadas	x	
2) Preparo de amostras e separações seletivas	2 e 3	Estabelecimento de protocolo de separações radioquímicas	x	x
3) Elaborar protocolos analíticos e redigir artigo para periódico internacional	4	Estabelecimento de protocolos analíticos Publicação em periódico internacional		x

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Seleção e preparo de padrões certificados para calibração e análise	x	x				
Preparo de amostras e separações seletivas		x	x	x		
Elaborar protocolos analíticos e redigir artigo para periódico internacional				x	x	x

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Procedimentos analíticos desenvolvidos	1,2 e 3	Protocolos analíticos estabelecidos	1	
Artigo científico	2	Artigo publicado em periódico internacional		1

## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Validação e aplicação dos protocolos analíticos estabelecidos	1, 2, 3 e 4	Validação concluída	X	
		Publicação científica		X

## Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Química. Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares	Experiência igual ou superior a 5 anos em análises radioquímicas. Experiência em laboratório de radioquímica com ênfase em técnicas de separações radioquímicas.	1, 2 ,3 e 4	BCI-DB	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
PCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

## Referências Bibliográficas

1. Goddard, C. C. & Jupp, B.P., The Radionuclide Content of Seaweeds and Seagrasses Around the Coast of Oman and the United Arab Emirates, Marine Pollution Bulletin, January 2002.

2. Godoy, G.M. and Cruz, R. P., 226Ra and 228Ra in scale and sludge samples and their correlation with the chemical composition, *Journal of Environmental Radioactivity* 70 (2003) 199–206.
3. IAEA/AQ/25, Worldwide Laboratory Comparison of the Determination of Radionuclides in IAEA-446 Baltic Sea Seaweed (*fucus vesiculosus*)
4. R. García-Tenorio, J. Mantero, G. Manjón, I. Vioque, Radioactivity Levels in Scales Generated from Crude Oil Production in Ghana.
5. Esquivel, A.D. et al., Berillium-7 soil content by wet deposition and its use for soil erosion quantification at a steep slope micro watershed used for cattle raising in Brazil, *Isotopes in Environmental & Health Studies*.
6. Optimal methods for preparation, separation, and determination of radium isotopes in environmental and biological samples, Punam Thakur et. al, *Journal of Environmental Radioactivity* 228 (2021).
7. Espinosa, G. et al, “Analysis of 40K concentrations in coffees and their infusions using gamma spectrometry with HPGE detector”, *ResearchGate*, 2009.
8. José Araújo dos Santos Júnior et al, “Analysis of the 40K Levels in Soil using Gamma Spectrometry”, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2005.
9. P. N. Yadav et al, “Estimation of Concentration of K-40 by Gamma Spectroscopy and Atomic Emission Spectroscopy in the Environmental Samples of Northern Kathmandu Valley”, *J. Nepal Chem. Soc.*, vol. 29, 2012.

CÓDIGO DO PROJETO:  1.1.11	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>  <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Identificação de fontes de poluição atmosférica e suas rotas de dispersão e deposição
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Ricardo Gomes Passos

### Introdução

A poluição do ar representa hoje um dos maiores problemas ambientais e de saúde pública. O avanço tecnológico do mundo contemporâneo, as queimadas, as atividades agrícolas e de mineração descontroladas, os meios de transporte movidos a combustíveis fósseis e a industrialização das atividades e serviços tem contribuído para aumentar a quantidade e variedade de poluentes emitidos para a atmosfera, prejudicando seriamente a qualidade do ar. Em muitas regiões do planeta, a poluição do ar permanece com índices inaceitáveis para o bem-estar da população e preservação do meio ambiente. A mais recente atualização das diretrizes de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) fornece evidências claras dos danos que a poluição do ar inflige à saúde humana, em concentrações ainda mais baixas do que as anteriormente reconhecidas (WHO, 2023).

Estudos mostram que o material particulado (MP), presente nos aerossóis, apresenta relação significativa com internações hospitalares e mortes prematuras, já que serve de transporte a uma série de elementos (metais tóxicos, por exemplo) que, uma vez dentro do corpo humano, podem causar doenças graves - principalmente cardiorrespiratórias - e diversos tipos de câncer. Poluentes gasosos diversos, presentes na atmosfera, também são associados a doenças na população e impactos ambientais, como o aquecimento global, efeito estufa, deterioração de áreas preservadas e poluição de corpos d'água. Além dos impactos diretos decorrentes de elevadas concentrações de gases e particulados poluentes na atmosfera, há ainda impactos associados à deposição úmida desses poluentes, que ocorrem, principalmente, por meio da contaminação das águas atmosféricas (chuvas) e sua precipitação em ecossistemas mais sensíveis (Passos et al., 2022; Schraufnagel et al., 2019; Thurston et al., 2017; Wei et al., 2020).

Aerossóis também podem conter elementos radioativos naturais ou produzidos pelo homem, que, dependendo das concentrações e atividades no ambiente, podem ser responsáveis por doses significativas de radiação em um indivíduo exposto. Destaca-se nesse cenário o gás radônio, que, segundo a OMS, provoca mais de 15% do câncer de pulmão no mundo; sendo então classificada como a segunda maior causa dessa doença no mundo (WHO, 2009). Por sua vez, a International Agency for Research on Cancer (IARC) classificou o radônio como um fator carcinogênico de classe I para a saúde humana (IARC, 1988). Além do radônio, há outros radionuclídeos associados a aerossóis; e esses podem ter origem

geogênica (como isótopos do urânio e tório) e industrial (isótopos radioativos do flúor, nitrogênio etc.).

Além da natureza física, radiológica e química, os aerossóis também podem ser compostos por microrganismos, tais como vírus, bactérias e fungos, constituindo o que se conhece como bioaerossóis, capazes de causar enfermidades ou mesmo desencadear pandemias, tais como visto recentemente com a Covid-19 (Passos et al., 2021). Processos industriais, de produção e saneamento também podem gerar bioaerossóis em suas operações, o que pode vir a representar riscos à saúde de trabalhadores e comunidades próximas.

Portanto, conhecer a composição dos aerossóis, as concentrações de MP, suas características físicas, químicas, radiológicas e/ou biológicas, e identificar suas fontes e mecanismos de geração e dispersão, é tarefa de grande importância para controle, prevenção e mitigação dos seus impactos no meio ambiente e na saúde da população. Por outro lado, é possível explorar a função de determinados aerossóis e gases (exemplo: radônio, torônio) como traçadores de processos ambientais atmosféricos e hidrológicos, com o intuito de utilizar essas informações como ferramentas de preservação dos próprios ambientes.

Diante do contexto geral, acima apresentado, do Projeto 614.10, o objetivo deste Plano de Trabalho é contribuir com a avaliação da qualidade do ar em ambientes potencialmente contaminados, ou com risco radiológico associado ao ar, por meio de técnicas de modelagem matemática e monitoramento químico e isotópico com vistas à identificação das fontes de poluição e suas rotas de dispersão e deposição.

### **Objetivo Geral**

Utilização de modelos matemáticos, dados meteorológicos e dados de monitoramento químico e isotópico para identificação de fontes de poluição atmosférica e suas rotas de dispersão e deposição em ambientes potencialmente poluídos ou com risco radiológico associado ao ambiente atmosférico

### **Objetivos específicos**

1. Utilização de ferramentas matemáticas e técnicas nucleares e convencionais para identificação das fontes de poluição do ar e águas atmosféricas
2. Estudo da aerossolização e dispersão de poluentes provenientes de solos contaminados em áreas de mineração
3. Avaliação do uso de isótopos do radônio como traçadores de processos atmosféricos
4. Estudo da dinâmica do radônio atmosférico em ambientes internos e dos possíveis métodos de mitigação

### **Atividades**

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Monitoramento de campo (coleta de particulados no ar, gases e precipitação)	1	Campanhas de campo concluída Planilha de dados de monitoramento	2	4
2) Tratamento de dados de monitoramento atmosférico já existentes	1	Planilha de dados	1	
3) Modelagem com PMF (USEPA) e ACP	1	Modelo elaborado, calibrado e validado	1	1
4) Monitoramento de campo (coleta de particulados no ar e gases, amostragem de solos)	2	Campanhas de campo concluída Planilha de dados de monitoramento	2	4
5) Modelagem matemática de fenômenos atmosféricos e interações com as partículas do solo	2	Modelo elaborado, calibrado e validado		1
6) Ensaios laboratoriais e de bancada com isótopos de radônio (RAD7, ALPHAGUARD)	3 e 4	Ensaios laboratoriais concluídos Planilha de dados com os resultados	2	10
7) Monitoramento de campo (RAD7, ALPHAGUARD, RAD7 SOLO)	3	Campanhas de campo concluída Planilha de dados de monitoramento	1	10
8) Monitoramento de campo (RAD7, ALPHAGUARD, CR-39, Electrets)	4	Campanhas de campo concluída Planilha de dados de monitoramento	1	10
9) Modelagem matemática e atmosférica do radônio em ambientes abertos	3	Modelo elaborado, calibrado e validado		1
10) Modelagem matemática e computacional (em CFD – Computational Fluid Dynamics) do radônio em ambientes fechados	4	Modelo elaborado, calibrado e validado		1
11) Auxílio geral nas atividades do Laboratório de Radioatividade Natural do CDTN (LRN) e Laboratório de Aerossóis	1, 2, 3 e 4	Atividade executada, conforme planejamento do Coordenador	4	8

## Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X			X	X
Atividade 2	X					
Atividade 3	X	X			X	X
Atividade 4	X	X	X	X	X	X
Atividade 5					X	
Atividade 6	X	X	X	X	X	X
Atividade 7	X	X	X	X	X	X
Atividade 8	X	X	X	X	X	X
Atividade 9				X	X	X
Atividade 10				X	X	X
Atividade 11	X	X	X	X	X	X

## Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Modelo PMF e ACP	1	Modelo calibrado e validado na plataforma utilizada	1	1
Modelo Matemático de fenômenos atmosféricos e interações com as partículas do solo	2	Planilha com modelo calibrado e validado ou em software específico		1
Modelo matemático e atmosférico do radônio em ambientes abertos	3	Planilha com modelo calibrado e validado ou em software específico		1



Modelo em CFD do radônio em ambientes fechados	4	Modelo calibrado e validado na plataforma utilizada		1
Relatórios de campo	1, 2, 3 e 4	Relatório completo entregue e dados do monitoramento formatados em planilha	6	28
Relatórios de laboratório	1, 2, 3 e 4	Relatório completo entregue e dados formatados em planilha	4	8
Artigos científicos	1, 2, 3 e 4	Artigo submetido	1	2

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Disponibilização de modelos matemáticos e computacionais, a serem aplicados nas pesquisas em andamento e futuras	1, 2, 3 e 4	Modelo calibrado e validado	1	3
Melhoria nos índices de publicações científica	1, 2, 3 e 4	Artigos publicados	1	3
Melhorias no desempenho do Laboratório de Radioatividade Natural do CDTN (LRN) e Laboratório de Aerossóis	1, 2, 3 e 4	Ensaio concluídos, intervenções realizadas e serviços prestados	4	8

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia / Mestrado com mais de 4 anos de experiência em	Experiência com modelagem matemática/	1, 2, 3 e 4	BCI-DB	12	1

projetos de C&T	computacional				
-----------------	---------------	--	--	--	--

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

### Referências Bibliográficas

- IARC, 1988. Man-made mineral fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 43rd ed. International Agency for Research on Cancer.
- Passos, R.G., Matiatos, I., Monteiro, L.R., Almeida, R.S.S.P., Lopes, N.P., Carvalho Filho, C.A., Cota, S.D.S., 2022. Imprints of anthropogenic air pollution sources on nitrate isotopes in precipitation in a tropical metropolitan area. Atmos. Environ. 288, 119300. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119300>
- Passos, R.G., Silveira, M.B., Abrahão, J.S., 2021. Exploratory assessment of the occurrence of sars-Cov-2 in aerosols in hospital facilities and public spaces of a metropolitan center in Brazil. Environ. Res. 110808. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110808>
- Schraufnagel, D.E., Balmes, J.R., Cowl, C.T., Matteis, S. De, Jung, S., Mortimer, K., Perez-padilla, R., Rice, M.B., Riojas-rodriguez, H., Sood, A., Thurston, G.D., To, T., Vanker, A., Wuebbles, D.J., 2019. Air Pollution and Noncommunicable Diseases A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2 : Air Pollution and Organ Systems. Chest 155, 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>
- Thurston, G.D., Kipen, H., Annesi-maesano, I., Balmes, J., Brook, R.D., Cromar, K., Matteis, S. De, Forastiere, F., Forsberg, B., Frampton, M.W., Grigg, J., Heederik, D., Kelly, F.J., Kuenzli, N., 2017. ERS / ATS STATEMENT A joint ERS / ATS policy statement : what constitutes an adverse health effect of air pollution ? An analytical framework. Eur Resp J.
- Wei, Y., Wang, Yan, Di, Q., Choirat, C., Wang, Yun, Koutrakis, P., Zanobetti, A., Dominici, F., Schwartz, J.D., 2020. Short term exposure to fine particulate matter and hospital admission risks and costs in the Medicare population : time stratified , case crossover study. BMJ. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6258>
- WHO, 2023. WHO ambient air quality database, 2022 update : status report. Geneva, Switzerland.
- WHO, 2009. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.11	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Execução do PMRA (Programa de Monitoração Radiológica e Ambiental) do CDTN
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Ricardo Gomes Passos

### Introdução

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN é uma instituição de pesquisa Desenvolve pesquisa e projetos na área nuclear e outras correlatas. o CDTN está vinculado à Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que tem sede e foro no Rio de Janeiro e é vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações. O CDTN está localizado na região da Pampulha do município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais (MG).

O CDTN tem como missão: “Gerar e difundir conhecimentos, disponibilizar produtos e serviços em benefício da sociedade por meio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear e em áreas correlatas” e como visão “Contribuir para o desenvolvimento regional e nacional por meio do uso seguro e sustentável da tecnologia nuclear”. No cumprimento da sua missão, o Centro desenvolve atividades que envolvem a aplicação de técnicas de cunho estritamente nuclear e outras convencionais, derivadas da aplicação das técnicas nucleares. O CDTN tem como atividades fim: Pesquisa e Desenvolvimento; Produtos e Serviços; Ensino (programa de pós-graduação strictu sensu credenciado pela CAPES, nos níveis de mestrado e doutorado, e programa de pós-doutorado). As instalações de maior porte do Centro são: Reator nuclear de Pesquisa (TRIGA - Training, Research, Isotopes, General Atomic, com potência de 100 kW - ferramenta multiuso, com aplicações em educação e treinamento, pesquisa e produção de radioisótopos); Laboratório de Irradiação Gama (LIG) - classificado como Irradiador Panorâmico Multipropósito de Categoria II, equipado com uma fonte de Cobalto-60 estocada a seco, com atividade máxima de 2.200 TBq ou 60.000 Ci); Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos (UPPR) - instalação de alto nível tecnológico, idealizada para produzir radiofármacos com aplicações em medicina nuclear. Para poder operar essas instalações e demais laboratórios, o CDTN possui uma licença ambiental de operação junto ao IBAMA (LO), renovada em 2022.

O Centro estabelece, em suas prioridades, o compromisso de dar continuidade ao cumprimento das atividades estabelecidas na referida LO. Dentre os programas ambientais em execução, destaca-se o Programa de Monitoração Radiológica e Ambiental (PMRA), que tem como objetivo a avaliação do impacto ambiental na área do próprio Centro e nas circunvizinhanças em decorrência das atividades desenvolvidas, tanto para os aspectos radioativos como para os não radioativos, seguindo as normas estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Esse Programa teve início no ano de 1985 e vem sendo executado pelo atual Serviço de Análise e Meio Ambiente do CDTN – SEAMA, em parceria com o Serviço de Tecnologia de Reatores; a Seção de Dosimetria das Radiações – SECDOS (que

participa do monitoramento radiológico) e o Serviço de Engenharia e Manutenção – SEENG (que presta apoio logístico e na manutenção da infraestrutura necessária para operacionalização do programa). Os principais objetivos do Programa de Monitoração Radiológica e Ambiental do CDTN são: manter um registro contínuo dos efeitos da instalação sobre os níveis de radioatividade natural da região sob influência do CDTN; demonstrar a conformidade dos procedimentos adotados na liberação de efluentes com os limites autorizados e exigências legais; avaliar a dose real ou potencial de radiação para os grupos críticos e populações nas vizinhanças da Instalação; detectar eventuais falhas e implementar medidas corretivas; prestar informações ao público em geral.

O presente Plano de Trabalho tem por objetivo definir as atividades de um profissional que ficará responsável pela atualização, execução e acompanhamento do PMRA do CDTN.

### Objetivo Geral

Atualização e execução do PMRA (Programa de Monitoração Radiológica e Ambiental) do CDTN

### Objetivos específicos

1. Revisão Bibliográfica e atualização do PMRA do CDTN
2. Execução e acompanhamento do PMRA do CDTN
3. Avaliação de desempenho dos programas ambientais do CDTN, execução e eventuais atualizações

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Revisão bibliográfica e análise crítica de programas de monitoração radiológica ambiental de instituições do setor nuclear/radioativo	1	Relatório elaborado	1	
2) Atualização do PMRA do CDTN	1	Programa elaborado	1	
3) Execução e acompanhamento do PMRA do CDTN, com elaboração de relatórios anuais contendo os resultados do programa (para encaminhamento ao IBAMA e CNEN)	2	Relatório de Resultados elaborado	1	1
4) Monitoramento de campo e coleta de amostra das matrizes ambientais do PMRA	2	Campanhas de campo concluídas	24	24

5) Avaliação de desempenho dos programas ambientais do CDTN	3	Relatório elaborado	1	1
6) Elaboração/revisão/atualização dos programas ambientais do CDTN	3	Programa elaborado	2	2

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2	X	X				
Atividade 3	X	X	X	X	X	X
Atividade 4	X	X	X	X	X	X
Atividade 5			X	X	X	X
Atividade 6	X	X	X	X	X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Relatórios	1, 2, 3	Relatório elaborado	3	2
Programas ambientais	1, 3	Programa elaborado	3	2
Artigos científicos	1, 2, 3	Artigo submetido	1	1

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Atualização do PMRA do CDTN e regularização perante o IBAMA e CNEN	1, 2, 3	Relatórios e programas elaborados	6	4
Melhoria nos índices de publicações científica	1, 2, 3	Artigos publicados	1	1

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Engenharia Ambiental, Engenharia Química, Química ou Física. Mestrado na área de Engenharia Ambiental, Engenharia Química, Química, Física ou nuclear	Experiência com programas ambientais ou pesquisa na área ambiental	1, 2, 3	DB	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
PCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.13	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Desenvolvimento de um novo sistema de aquisição e supervisão para Espectroscopia Mössbauer
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> José Domingos Ardisson

## Introdução

Em 1958, *Rudolf Mössbauer* publicou os resultados de seus estudos sobre a absorção de radiação  $\gamma$  (129 keV) por núcleos de irídio metálico,  $^{191}\text{Ir}$ . Ele observou que a absorção ressonante poderia existir em temperatura ambiente, e aumentar quando a temperatura da amostra era diminuída no intervalo de 300 K a 88 K. Observou também que, nessa região de temperatura, a absorção  $\gamma$  ressonante inexistia se a fonte fosse movimentada em relação ao absorvedor com uma determinada velocidade. A explicação para tal fenômeno, ficou conhecido como efeito *Mössbauer* [1].

Atualmente, o efeito *Mössbauer* é observado em mais de 100 transições nucleares, sendo que o núcleo mais utilizado é o  $^{57}\text{Fe}$ , isótopo que representa apenas 2% do Fe natural. Para a *espectroscopia Mössbauer* de  $^{57}\text{Fe}$  são utilizadas fontes radioativas de  $^{57}\text{Co}$ , uma vez que  $^{57}\text{Co}$  decai para  $^{57}\text{Fe}$  excitado por meio de captura de elétrons, produzindo raio  $x$  de 6.5 keV, e raios  $\gamma$  de 14.4 keV, 122 keV e 136 keV ao passar para seu estado fundamental [2]. O raio  $\gamma$  de 14.4 keV é necessário para o experimento *Mössbauer* e deve ser distinguido dos outros raios  $\gamma$  [3, 4].

Na *espectroscopia Mössbauer*, o princípio do efeito *Mössbauer* é utilizado para se comparar os níveis nucleares de energia presentes nos núcleos de um mesmo isótopo em uma fonte radioativa e em uma amostra. Tal técnica espectroscópica permite a determinação das propriedades químicas, estruturais e magnéticas de sólidos contendo isótopos *Mössbauer* por absorção nuclear ressonante.

Absorção ressonante de radiação eletromagnética é o fenômeno físico fundamental para se entender a *espectroscopia Mössbauer*. Essencialmente, o processo ressonante consiste na emissão de radiação gama **Erro! Indicador não definido.** por um núcleo excitado e na absorção dessa radiação por um outro núcleo idêntico, sem perda de energia pelo recuo dos núcleos, se o emissor ou o absorvedor estiverem incorporados a um corpo sólido [5].

Alterações na estrutura eletrônica de um sólido provocam perturbações em seus níveis nucleares de energia. Na *espectroscopia Mössbauer*, o efeito *doppler* é utilizado para medir tais perturbações, isto é, para medir a quantidade de alteração de energia necessária para que seja estabelecida a condição de ressonância entre fonte e absorvedor.



A instrumentação necessária para obter um espectro *Mössbauer* é chamado *Sistema de Espectroscopia Mössbauer* (Figura 1). O objetivo principal desse sistema é controlar o movimento relativo entre a fonte radioativa e amostra, medir a taxa de absorção ressonante de radiação  $\gamma$  de modo sincronizado com esse movimento relativo, e armazenar os dados da aquisição em um banco de dados.

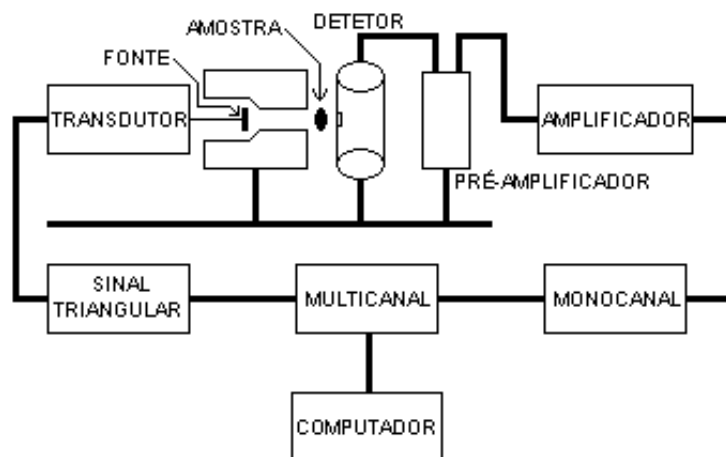


Figura 1 – Modelo esquemático do *Sistema de Espectroscopia Mössbauer* na geometria de transmissão.

O transdutor tem o objetivo de modular a energia da fonte radioativa. Um módulo eletrônico formado por um gerador de onda triangular movimenta a fonte radioativa a uma velocidade que varia linearmente entre os extremos  $+V_{\text{máx}}$  e  $-V_{\text{máx}}$ , a cada meio ciclo, de forma repetida, suficiente para oferecer uma boa estatística no número de contagens que compõem o espectro de transmissão.

Na geometria de transmissão, a amostra é colocada entre a fonte de radiação  $\gamma$  e o detector. Assim, quando algum raio  $\gamma$  é absorvido, tem-se uma diminuição na taxa da contagem registrada pelo detector. O detector escolhido deve captar apenas às radiações  $\gamma$  que saem da fonte radioativa, e para tal artifício é usado um filtro para barrar as radiações  $\alpha$  e  $\beta$ , que possuem baixo poder de penetração [6].

Os pulsos gerados pelos fótons absorvidos no detector são amplificados pelo circuito pré-amplificador de modo que o valor do pulso é proporcional à energia do fóton detetado.

A radiação  $\gamma$  de interesse ( $\gamma$  *Mössbauer*) é selecionada utilizando-se um detector proporcional, um analisador de altura de pulso e um analisador monocanal. São definidos dois níveis de discriminação superior e inferior que definem a janela de detecção dos pulsos elétricos a serem contados como pulsos de eventos *Mössbauer*.

A quantidade de radiação  $\gamma$  transmitida pela fonte radioativa, absorvida pela amostra em função da velocidade *doppler*, e medida por uma cadeia de detecção nuclear, é armazenada em uma memória. O módulo de contagem e armazenamento de dados (multicanal) e a velocidade do transdutor são sincronizados pelo gerador de sinal triangular citado anteriormente.

O multicanal do *espectrômetro Mössbauer* possui uma interface padrão GPIB (*General Purpose Interface Bus*) de comunicação. O hardware do aparelho é composto por uma placa



principal, que é composta pelo microprocessador Z80, 8k de memória ROM, 8k de memória RAM, porta paralela de 8 bits e um conector de expansão. Uma outra placa de tratamento de dados possui basicamente 2 conversores DAC de 8 bits para controle da janela (*upper level* e *lower level*), um conversor ADC de 8 bits para leitura de entrada analógica (INPUT), um conversor DAC de 10 bits para gerar o sinal de saída analógico e um contador programável para contagem dos pulsos.

Por meio da interface GPIB o multicanal envia os dados para um microcomputador para análise e ajuste dos dados. Existe um programa responsável por fornecer estas informações além de outros parâmetros de configuração.

### Objetivo Geral

Neste trabalho se propõe desenvolver um novo multicanal para aquisição de dados a partir de componentes eletrônicos atuais e disponíveis no mercado, tendo em vista que o projeto atual já está datado, pois foi desenvolvida com as tecnologias desenvolvidas na década de 90. Além disso é necessário propor novas interfaces de comunicação utilizados atualmente, como os padrões USB e *ethernet*. Por fim, será necessário construir um novo programa de supervisão de processo, compatível com os sistemas operacionais disponíveis como Windows 11.

### Objetivos específicos

1. Desenvolver o manual descritivo das funcionalidades do novo sistema.
2. Desenvolver o manual descritivo do projeto eletrônico desenvolvido.
3. Desenvolver uma nova placa eletrônica de controle para o multicanal.
4. Desenvolver uma nova estrutura com conexões e conectores similares aos existentes no projeto em funcionamento, mas com os recursos atualizados.
5. Desenvolver um novo programa de controle e monitoramento do multicanal para ser instalado nos computadores e aplicativos para serem instalados para monitoramento remoto.
6. Validar o funcionamento do projeto em teste local, de forma a preservar toda a funcionalidade atual.

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Desenvolvimento do manual descritivo das funcionalidades do novo sistema.	1		x	

2) Desenvolvimento do manual descritivo do projeto eletrônico desenvolvido.	2		x	
3) Desenvolvimento de uma nova placa eletrônica de controle para o multicanal.	3		x	
4) Desenvolvimento de uma estrutura com conexões e conectores.	4		x	
5) Desenvolvimento de um programa de controle e monitoramento do multicanal.	5		x	
6) Validação.	6		x	

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1			x			
Atividade 2			x			
Atividade 3	x	x				
Atividade 4	x	x				
Atividade 5	x	x				
Atividade 6			x	x		

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Eletrônica de Controle Multicanal para o Sistema de Espectroscopia Mössbauer	3, 4	Sistema validado	x	

Software de controle e monitoramento do multicanal	5	Sistema validado	x	x
--	---	------------------	---	---

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Manual Técnico descritivo de todo o projeto desenvolvido	1, 2	Manual Técnico		x

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Técnico em Automação, Mecatrônica ou Eletrônica	Graduando nas áreas de Automação, Mecatrônica ou Eletrônica; Experiência no desenvolvimento de projetos de hardware, firmware e software.	1, 2, 3 e 4	BCI-DE	12	1

Bolsa	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DE	1.950,00	12	1	23.400,00
Total (R\$)					23.400,00

### Referências Bibliográficas

- [1] Goldanskii, V. I. and Herber, R. H.; Cap. 3 em “**Chemical Applications of Mössbauer Spectroscopy**”; Academic Press; New York; 1968.
- [2] Gutlich, P., Link, R., Trawtwein, A.; “**Mössbauer Spectroscopy and Transition Metal Chemistry**”; Springer-Verlag New York; New York; ISBN: 0-387-08671-4; 1978.
- [3] Frank J. Berry and David J. Vaughan; “**Chemical Bonding and Spectroscopy in Mineral Chemistry**”; Chapman and Hall Ltd; ISBN: 0-412-25270-8; 1985.
- [4] Bancroft, G. M.; “**Mössbauer Spectroscopy, an Introduction for inorganic Chemists and**



**geochemists**"; John Wiley & Sons; ISBN: 0-470-04665-1; London; 1973.

[5] L. May; "**An Introduction to Mössbauer Spectroscopy**"; Adam Hilger, London + Plenum Press New York; ISBN: 85274-184-7; 1971.

[6] Fausto M. Junior (organizador); "**Curso de Introdução à Energia Nuclear**". Apostila destinada ao treinamento dos funcionários do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear em proteção radiológica, segurança e aspectos referentes à energia nuclear; Out 1997.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.14	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Apoio à pesquisa, inovação e prestação de serviços tecnológicos do Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Adelina Pinheiro Santos

### Introdução

As atividades do Grupo de Pesquisa “Manipulação Química de Nanotubos de Carbono e Grafenos” iniciaram-se em 2002, no âmbito do Instituto do Milênio de Nanociências (Coordenador: Prof. Alaor Chaves, UFMG). Desde então, o grupo tem participado de projetos e redes cooperativas de pesquisa, cruciais na implantação de uma infraestrutura avançada e diferenciada voltada à manipulação química e à caracterização de sistemas nanoscópicos, que constitui hoje o Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono (LQN) do CDTN, inaugurado em 2006. Além do Instituto de Nanociências, o Grupo integrou o Instituto de Nanotecnologia (Coord.: Prof. Belita Köiller, UFRJ), Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono (Coord.: Prof. Marcos A. Pimenta, Física-UFMG), Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados (Coord.: Dr. Daniel Ugarte, UNICAMP), Pronex/Fapemig (Coord.: Prof. Hélio Chacham, UFMG), CT-Energ (Coord.: Prof. Marcos Pimenta, UFMG), Rede de Nanotoxicologia (Coord.: Prof. José Monserrat, FURG). Atualmente, o Grupo participa do INCT de Nanomateriais de Carbono (Coord.: Prof. Marcos Pimenta, UFMG) e da Rede Mineira de Nanomedicina Teranóstica (Coord.: Prof. Guilherme Mattos Jardim Costa, ICB-UFMG).

O grupo é pioneiro no Brasil na química de nanotubos de carbono e grafenos, tendo contribuído ativamente para a nucleação da competência nacional, centrada no estado de Minas Gerais, em nanomateriais de carbono. O foco das pesquisas envolve a síntese e estudos sobre purificação e interações covalentes e não-covalentes de grupos e moléculas à superfície de nanomateriais de carbono visando à modificação de propriedades, tais como propriedades eletrônicas e ópticas, dispersabilidade, reatividade química e biocompatibilidade. Desde sua criação, o LQN vem funcionando como laboratório aberto, apoiando trabalhos científicos e tecnológicos, em Minas Gerais e no país, contribuindo de forma efetiva para a formação de recursos humanos em diversos programas de IC, pós-graduação, pós-doutoramento e intercâmbios internacionais. Vale ressaltar que o LQN integrou a Rede SisNANO no período de 2013-2018 (como laboratório estratégico) e participou ativamente das atividades do projeto Modernit/SisNANO (FINEP) que culminou na implantação do Sistema de Gestão da Qualidade no LQN. Além da contribuição científica, o grupo tem histórico de atuação e coordenação de projetos tecnológicos em cooperação com empresas sediadas em Minas Gerais como Nacional de Grafite Ltda, Magnesita Refratários S. A. (hoje RHI-Magnesita) e Vale S.A.. Destaque para a atuação do LQN no projeto MGgrafeno (2016-2022), parceria entre CDTN, UFMG e Codemge (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais),

que teve como um dos objetivos desenvolver uma tecnologia brasileira para a produção em larga escala de grafeno a partir da esfoliação do grafite natural. A partir do know-how desenvolvido no Projeto MGgrafeno, é possível construir plantas industriais de produção de nanomateriais grafênicos, como grafeno de poucas camadas, nanoplacas de grafeno e nanografites.

Nos últimos 05 anos, o Grupo tem focado suas atividades nos seguintes temas: 1) Processamento químico e caracterização de nanomateriais de carbono, especialmente nanotubos de carbono (NTC) e grafenos, e nanomateriais de ouro, especialmente nanobastões, visando à modificação de diversas de suas propriedades mediante a modificação superficial dos nanomateriais, formação de sistemas híbridos ou sua incorporação em outros meios. A modificação da superfície destina-se a suprir estudos de ciência básica e de ciência aplicada; 2) Desenvolvimento de sistemas híbridos baseados em biomoléculas e nanocarbonos (NTC, óxido de grafeno (GO) e grafenos) ou nanobastões de ouro para estudos de nanotoxicologia e aplicações na área da saúde (biossensoramento de cânceres e de doenças fúngicas, engenharia de tecidos); 3) Desenvolvimento e estudos de toxicidade de NTC PEGuilados para bioaplicações; 4) Avaliação da aplicabilidade dos materiais produzidos na planta piloto do Projeto MGgrafeno para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras; 5) Estudos de proteção anticorrosiva; 6) Nanometrologia de nanomateriais de carbono: desenvolvimento de um material de controle de qualidade baseado em grafeno funcionalizado e desenvolvimento de métodos de análise de nanomateriais de carbono por FTIR; 7) Prestação de serviços tecnológicos de caracterização e processamento.

Os trabalhos DE P&D&I e de prestação de serviços são desenvolvidos no Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono - LQN/CDTN e nos laboratórios do Projeto MGgrafeno, no âmbito de vários trabalhos de pós-graduação, pós-doutorado e de 5 (cinco) grandes projetos na área de biossensores baseados em nanoplataformas de carbono e ouro. A equipe em 2023 é composta por 3 pesquisadoras do CDTN, 2 pós-doutores e 16 colaboradores bolsistas.

Frente à diversidade de trabalhos e ao número elevado de estudantes e bolsistas, o Grupo “Manipulação Química de Nanotubos de Carbono e Grafenos” necessita de um profissional para auxiliar na gestão do LQN/CDTN, executar atividades laboratoriais rotineiras, operar alguns equipamentos sensíveis e dar apoio às demais atividades relacionadas à pesquisa, à inovação e à prestação de serviços tecnológicos.

As atividades previstas para o bolsista de apoio técnico encontram-se detalhadas a seguir, distribuídas por tipos.

## **Atividades**

### **1. Rotina do laboratório**

- a) Fazer a gestão do Sistema de Gestão de Laboratórios CDTN (sistema automatizado que permite fazer o cadastro de usuários internos e externos e o agendamento para o uso dos equipamentos que compõem a infraestrutura do LQN);
- b) Executar atividades laboratoriais rotineiras, tais como: calibração de pHmetros; verificação da qualidade da água purificada; verificação dos equipamentos e respectivos cadernos de uso; verificação regular do funcionamento de tomadas, manômetros, torneiras, lâmpadas, etc.;

- verificação e regeneração, quando necessário, da sílica dos dessecadores; manutenção de pissetas limpas e cheias; dentre outras;
- c) Fazer o controle e a reposição de consumíveis (ponteiras, luvas, etc), solventes e reagentes básicos; providenciar a aquisição de itens, quando necessário, mantendo as planilhas atualizadas;
  - d) Monitorar o uso do laboratório pelos colaboradores (limpeza da bancada, vidrarias e demais utensílios, anotações diversas);
  - e) Monitorar o descarte de resíduos e providenciar a coleta dos mesmos;
  - f) Providenciar e acompanhar as manutenções técnicas preventivas e corretivas;
  - g) Revisar e redigir Procedimentos Operacionais Padrão (PIO's) dos equipamentos quando necessário;
  - h) Executar atividades de organização, tais como: limpeza e organização semestral dos armários dos; gestão das planilhas de estoque; gestão dos almoxarifados; controle de empréstimos; gestão de itens guardados na geladeira e na amostragem; solicitar a limpeza e as manutenções gerais dos laboratórios.

## **2. Gestão de Pessoas**

- a) Cadastro de colaboradores e demais formulários: auxiliar no preenchimento, assinatura e publicação no SEI; manter arquivos organizados por colaborador;
- b) Manter a lista de colaboradores atualizada com dados pessoais (e-mail e telefone), tipo de vínculo, orientador/supervisor, tipo e fonte da bolsa, grade de horários; ter um controle de chaves e EPI's de cada colaborador;
- c) Manter a equipe informada sobre informações relevantes;
- d) Recepcionar os novos colaboradores (kits, palestra introdutória, acesso e local de permanência).

## **3. Apoio às aquisições**

- a) Fazer um levantamento constante de demandas de itens que precisam ser adquiridos;
- b) Fazer as cotações necessárias e manter a lista de fornecedores atualizada;
- c) Apoiar a emissão das solicitações de despesas, mediante a execução de atividades como: elaboração de justificativas técnicas; encaminhamento e acompanhamento do trâmite das aquisições; recebimento dos itens adquiridos.

## **4. Prestação de Serviços – LQN**

- a) Apoiar a prestação de serviços do LQN, mediante a execução de atividades como: agendamento de horários junto aos clientes; execução/acompanhamento dos serviços; emissão e encaminhamento da documentação para faturamento pela Fundep; dentre outras.

## **5. Gestão de Inventário Laboratório**

- a) Fazer a gestão do inventário da infraestrutura laboratorial: equipamentos de grande porte; pequenos equipamentos, reagentes, solventes e demais itens e utensílios.

- b) Fazer a gestão do inventário da infraestrutura de escritório: computadores; impressoras; consumíveis de eletrônica e informática; discos rígidos; multimídia.

**Bolsa**

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Atividades	BCI Categoria/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Química, Engenharias, Física ou Biologia	Execução e/ou gestão de atividades rotineiras de laboratórios em química; execução e treinamento de técnicas analíticas para a caracterização de materiais e nanomateriais.	1 a 5	BCI-DD	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DD	2.860,00	12	1	34.320,00
Total (R\$)					34.320,00



CÓDIGO DO PROJETO:  1.1.15	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b> <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Estudos para a melhoria da avaliação dosimétrica em exames mamográficos
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Maria do Socorro Nogueira

## Introdução

Segundo as estimativas do Global Cancer Observatory (GLOBOCAN), elaboradas pela International Agency for Research on Cancer (IARC), apontam que o câncer de mama feminina foi o mais incidente no mundo em 2020, com 2,3 milhões de casos novos. Se forem excluídos os casos de câncer de pele não melanoma, esse número representa 11,7% de todos os novos casos de câncer em toda a população e 24,5% dos novos casos de câncer para a população feminina. Tanto em países com alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), como em países com baixo IDH, as taxas de câncer de mama são as maiores para a população feminina, comparando com outros tipos de câncer (SUNG et al., 2021). Para o Brasil, a estimativa para o triênio de 2023 a 2025 aponta que ocorrerão 74 mil novos casos de câncer de mama, correspondendo a um risco estimado de 66,54 casos novos a cada 100 mil mulheres (INCA, 2023).

Atualmente o exame de mamografia é o exame utilizado mundialmente para o rastreamento ao câncer de mama e é indicado para o recorte de mulheres entre 50 – 69 anos (ALTAF, 2014). Existem dois tipos de rastreamento para o câncer de mama, o rastreamento sistemático e o rastreamento oportunista. (LUND, NAKAMURA e THALABARD, 2018). O rastreamento sistemático é o que convida rotineiramente as mulheres para fazerem os exames mamográficos. Este apresenta ter maior impacto na sobrevivência das mulheres. A prevalência das evidências a respeito da eficácia do rastreamento por mamografia na redução da mortalidade por câncer de mama vem de programas sistemáticos (SIMBRICH et al., 2016). O programa de rastreamento oportunista, é quando a própria paciente busca o serviço de saúde para realizar o exame. No Brasil, devido à ausência de um banco de dados conciso a respeito das características das mulheres brasileiras para identificá-las individualmente e convidá-las para o rastreamento, o serviço é oportunista. Já em países da Europa, como Portugal, por exemplo, o programa de rastreamento é sistemático, no qual, são enviadas cartas-convites para as mulheres.

Em Minas Gerais, o Programa Estadual de Controle de Qualidade em Mamografia (PECQMamo) monitora a qualidade dos serviços de mamografia públicos e privados do estado por meio da avaliação da imagem radiográfica de fantasmas. O programa é uma atividade da Superintendência de Vigilância Sanitária (Visa-MG) da Secretaria de Estado de Saúde e foi criado em 2004 juntamente com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). O sistema Atalanta é utilizado para o gerenciamento e divulgação das informações do PECQMamo (Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, 2008).

A avaliação da dosimétrica dos exames é uma importante etapa da monitoração da qualidade dos

serviços de mamografia, pois almeja-se conseguir uma imagem de boa qualidade com a menor dose absorvida na paciente possível. A obtenção de espectros de fluência em função da energia dos fótons gerados pelos mamógrafos permite a estimativa das doses nos exames. Tais espectros devem ser corrigidos antes de sejam utilizados nos cálculos, visto que os equipamentos de aquisição produzem certas distorções.

Em trabalhos anteriores, nosso grupo criou um programa em C++ para correção de espectros baseado nas curvas de resposta simuladas por métodos de Monte Carlo para um espectrômetro CdTe. Tal programa apresentou bons resultados corrigindo efeitos indesejáveis das interações das radiações ionizantes com a estrutura do detector e do kit de colimação (Antunes, 2021). Contudo, outras causas de distorção nos espectros como o empilhamento de pulsos e a coleta incompleta de cargas não foram abordadas no algoritmo de correção.

Neste contexto, este plano de trabalho propõe a realização de estudos para melhoria do programa de correção de espectros melhorando as curvas de resposta simuladas já obtidas por métodos de Monte Carlo e a implementação matemática/computacional de algoritmos para correção de outros efeitos que causam distorção nos espectros adquiridos com o detector CdTe.

## Objetivo Geral

A proposta deste plano de trabalho implementar melhorias no programa em C++ para correção de espectros desenvolvido no CDTN. Tal avanço permitirá uma melhor avaliação dosimétrica dos exames mamográficos.

## Objetivos específicos

1. Melhorar a estatística das curvas de dose resposta obtidas para o detector CdTe, ampliando o número de partículas simuladas nos casos;
2. Estudo de algoritmos para correção de efeitos de empilhamento de pulsos no CdTe;
3. Estudo de metodologias para correção do efeito de coleta incompleta de cargas em detectores CdTe;
4. Aquisição de espectros de fótons com o detector CdTe para teste e validação dos algoritmos de correção estudados;

## Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024

1) Obtenção da curva de resposta do CdTe com uma melhor estatística de contagem.	1	Nova matriz de resposta melhorada para detectores CdTe.	x	x
2) Avaliação dos algoritmos para correção de efeitos de empilhamento de pulsos no CdTe disponíveis na literatura.	2	Estudo bibliográfico realizado e, se disponível, definição da metodologia de correção	x	
3) Avaliação das metodologias de correção do efeito da coleta incompleta de cargas em detectores CdTe	3	Estudo bibliográfico realizado e, se disponível, definição da metodologia de correção		x
4) Aquisição de espectros de fótons com o detector CdTe para teste e validação dos algoritmos de correção estudados	4	Nota técnica publicada com a validação das metodologias de correção implementadas		x

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X	X		
Atividade 2		X	X			
Atividade 3				X	X	
Atividade 4					X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Nota técnica publicada com a validação das metodologias de correção implementadas	1, 2, 3 e 4	Metodologias de correção validadas para a implementação no programa de correção de espectros do CDTN.		1

## Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas a curto e longo prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Nota técnica contendo metodologias de correção de espectros de detectores CdTe definidas e validadas para aprimoramento do programa de correções desenvolvido no CDTN.	1, 2, 3 e 4	Nota técnica elaborada	1	1

## Bolsa

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da confiabilidade dos estudos realizados pelo LARAM/CDTN, considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico- científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Matemática ou Física	Experiência com simulações de Monte Carlo. Domínio da prática experimental com detectores de radiações. Capacidade em métodos matemáticos/ computacionais para correção de espectros.	1, 2, 3 e 4	BCI-DD	12	1

Bolsa	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
BCI	DD	2.860,00	12	1	34.320,00
Total (R\$)					34.320,00

## Referências Bibliográficas

SUNG, H. et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence

and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: Cancer Journal for Clinicians*, Hoboken, v. 71, n. 3, p. 209-249, Feb. 2021. DOI 10.3322/caac.21660.

INCA. Estimativa 2023 - Incidência de Câncer no Brasil. Rio de Janeiro. 202.

ALTAF, F. J. Breast cancer screening. *Saudi Medical Journal*, v. 25, n. 8, p. 991–997, 2014.

LUND, E.; NAKAMURA, A.; THALABARD, J. C. No over diagnosis in the Norwegian Breast Cancer Screening Program estimated by combining record linkage and questionnaire information in the Norwegian Women and Cancer study. *European Journal of Cancer*, v. 89, p. 102–112, 2018.

SIMBRICH, A. et al. Trends in advanced breast cancer incidence rates after implementation of a mammography-screening program in a German population. *Cancer Epidemiology*, v. 44, p. 44–51, 2016.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.16	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b> <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Operacionalização dos laboratórios de análise química em apoio à pesquisa e serviços tecnológicos do Serviço de Análise e Meio Ambiente (SEAMA)
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Helena Eugênia Leonhardt Palmieri

### Introdução

O CDTN possui competência reconhecida em análises químicas e radioquímicas, atendendo a projetos de pesquisas desenvolvidos no Centro ou em parceria com outras instituições e a diversas empresas. Atualmente, o Centro dispõe de técnicas para análise de isótopos estáveis e radioativos, assim como um corpo técnico altamente qualificado para execução das análises. Há, também, uma demanda crescente por técnicas/métodos de análise que atendam às exigências das áreas nuclear, saúde e principalmente da área de meio ambiente. A diversidade de matrizes (solo, sedimento, água, plantas, tecidos biológicos, alimentos, aerossol, rejeitos radioativos, etc.), o número crescente de analitos a serem avaliados e os baixos teores (traços e ultratraços) presentes nas amostras requerem a constante pesquisa, desenvolvimento, implantação e validação de novos métodos e técnicas analíticas.

A validação de métodos analíticos é um requisito técnico da norma NBR ISO/IEC 17025 que é uma norma técnica internacional que define os pilares para a implementação de sistemas de gestão da qualidade para laboratórios de ensaio e calibração. O CDTN segue esta norma para a implantação de seus procedimentos analíticos. A validação de um método é um importante requisito para suporte na geração de resultados confiáveis, além de permitir demonstrar que o método é "adequado ao uso" pretendido.

Em 2022 foi aprovada a participação do CDTN no Acordo Regional de Cooperação para a Promoção da Ciência e Tecnologia Nucleares da América Latina e Caribe (ARCAL 2022–2025) /Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Projeto 5089 “Avaliação do Impacto dos Metais Pesados e Outros Contaminantes em Solos Contaminados por Atividades Antropogênicas e de Origem Natural”. O objetivo deste projeto é avaliar o impacto de contaminantes, gerando informações sobre níveis, tipo, distribuição e dispersão destes elementos em regiões contaminadas. Grande parte desses elementos, mesmo em baixos níveis de concentrações, é considerada poluente em potencial e preocupa as organizações nacionais e internacionais de controle e preservação do meio ambiente e da saúde humana. Estudos detalhados do teor desses elementos em vários compartimentos ambientais têm-se tornado um contínuo desafio para pesquisadores da área do meio ambiente. Este estudo será de grande relevância, pois dará suporte aos órgãos governamentais competentes a planejarem futuras ações em benefício da população que vive nestas áreas contaminadas e geralmente degradadas.

Dentre os projetos estabelecidos pelo SEAMA/CDTN com empresas destaca-se o firmado com a INB. O objetivo principal deste projeto está na realização de estudos de caráter hidrológico, hidrogeológicos e isotópico que possam subsidiar a tomada de decisões quanto ao processo de descomissionamento de sua Unidade em Descomissionamento de Caldas (UDC/Caldas). Para o alcance deste objetivo serão necessárias determinações de vários parâmetros físico-químicos: Determinação dos teores de Na, K, NH<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>4</sub> por cromatografia por troca iônica em sistema de cromatografia líquida e determinação dos teores de Sr, Rb, Mn, Cu, Cr, Ba, Zn, As, Cd, Pb, Th e U utilizando o espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

Serão também atendidas demandas relacionadas a outros projetos de pesquisa como a otimização e estudo de extração de cátions e ânions em de amostras de filtros PM<sub>10</sub> e análise por Espectrometria de Massas (ICP-MS) e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

Com a redução dos recursos humanos altamente especializados, devido as aposentadorias e também ao incremento de prestação de serviços do SEAMA, torna-se necessário a contratação de colaboradores para dar suporte analítico às atividades principalmente dos laboratórios de Cromatografia Líquida (LCL), Espectrometria de Massas (LEM), e Absorção Atômica (LAA).

### Objetivo Geral

Dar suporte analítico às atividades laboratoriais de rotina e de pesquisa em atendimento aos projetos e serviços do Serviço de Análise e Meio Ambiente (SEAMA).

### Objetivos específicos

1. Executar as atividades de rotina dos laboratórios de Cromatografia Líquida (LCL), Espectrometria de Massas (LEM), e Absorção Atômica (LAA);
2. Participar das atividades de pesquisa e validação de novos métodos de análise usando as técnicas de espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS).

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024



1) Realizar as análises de rotina dos dos laboratórios de Cromatografia Líquida (LCL) e Espectrometria de Massas (LEM).	1	Resultados de Ensaio (REN)	X	X
2) Apoio na otimização das condições operacionais do sistema de preparação de amostras por microondas Multiwave 3000, Anton Paar, para a decomposição das amostras de solo, projeto ARCAL	2	Metodologia de digestão por MW otimizada	X	
3) Apoio na otimização das condições operacionais do sistema de preparação de amostras usando Bloco digestor Paar, para a decomposição das amostras de solo, projeto ARCAL	2	Metodologia de digestão por Bloco digestor otimizada	X	
4) Apoio na avaliação do desempenho analítico do ICP-MS para a quantificação de Pb, As, Cd, Zn, Va, Ni, Cu e Cr em amostras de solo, projeto ARCAL, a partir dos materiais de referência: SPS-SW1 Batch 116 o San Joaquim Soil, e dos parâmetros de mérito: limites de detecção e quantificação, precisão e exatidão.	2	Validação da metodologia	X	
5) Aplicar o procedimento proposto para a quantificação de Pb, As, Cd, Zn, Va, Ni, Cu e Cr em amostras de solo, coletadas em áreas contaminadas por metais tóxicos no estado de Minas Gerais	2	Publicação de resultados em anais de Congressos		X

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X	X	X	X



Atividade 2		X				
Atividade 3		X	X			
Atividade 4			X	X		
Atividade 5				X	X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Relatório de Ensaio (REN) liberados	1	Número de RENS	X	X
Metodologia de digestão de amostras de solo otimizada.	2	Procedimento de digestão consolidado		
Metodologia de análise de amostras de solo por ICP-MS validada.	2	Metodologia validada		x
Relatório e Procedimento de análise de solo por ICP-MS	1 e 2	Relatório e Procedimento de Análise consolidados		x

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Procedimento de Análise Consolidado e Publicação de resultados em Anais de Congressos.	2	Artigo submetido		x
		Procedimento de análise consolidado.		
Relatórios de Ensaio (REN)	1	RENS liberados	x	x

### Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalida de/ Nível	Meses	Quantidade
Bacharel em Química ou Química Ambiental	Química Analítica	1 e 2	BCI-DD	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DD	2.860,00	12	1	34.320,00
Total (R\$)					34.320,00

#### Referências Bibliográficas

ANTON PAAR. Application not EPA: 3015 A, 3051A, 3052. São Paulo. 3p.

ARDINI, Francisco; SOGGIA, Francesco; RUGI, Francesco; UDISTI, Roberto; GROTTI, Marco. Analytica Chimica Acta. Vol. 678. Pág. 18-25, 2010.

SKOOG, A.D; WEST, D.M; HOLLER, F.J; CROUCH, R.S; Fundamentos de Química Analítica, Thonson, Learning, 2006.

Microwave Digestion-EPA Method 3052 On the Multiwave 3000-Anton Paar;

EPA Method 3052- Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices

C

CÓDIGO DO PROJETO:  1.1.17	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>  <b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b>  Otimização dos parâmetros de processamento por irradiação gama em escala industrial tendo em conta fatores operacionais
	<b>Supervisor:</b> Thessa Cristina Alonso

### Introdução

O processamento por radiação gama de produtos é uma tecnologia aceita mundialmente. Tem como aplicações a esterilização de produtos médicos e farmacêuticos, a irradiação de alimentos e produtos agrícolas, a modificação de materiais poliméricos e biomateriais, a preservação de objetos de patrimônio cultural, a esterilização de tecidos humanos para transplante, a mudança de cor em gemas, dentre outros. Desde 2002, o Laboratório de Irradiação Gama - LIG do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear-CDTN tem instalado um Irradiador Panorâmico Múltipropósito de Categoria II, fabricado pela MDS Nordion no Canadá, Modelo/número de série IR-214 e tipo GB-127, equipado com uma fonte de Cobalto-60 estocada a seco com atividade máxima de 2.200 TBq ou 60.000 Ci, vem sendo utilizado no estudo e aperfeiçoamento dessas aplicações.

O irradiador é instalado em uma casamata de concreto construída de acordo com especificações do fornecedor, MDS Nordion. As paredes e teto constituem a principal blindagem biológica com o concreto na densidade mínima de 2,33 g/cm<sup>3</sup>. A fonte de Cobalto-60 fica armazenada, quando fora de utilização, dentro da própria blindagem utilizada para o seu transporte, em um poço seco no interior da casamata, em condição referida como situação de repouso. O acesso à câmara de irradiação, tanto de produtos quanto de pessoal é feito através de um corredor em forma de labirinto com paredes que não prejudicam o efeito desejado de blindagem do feixe direto. A casamata de concreto foi projetada para que, com a fonte em operação, a radiação externa seja limitada a 2,5µSv/h, conforme as especificações da CNEN, para pessoas que trabalham fora do edifício. O sistema de exposição utiliza uma fonte de Co-60 duplamente encapsulada em tubo de aço inoxidável. Durante a operação a fonte é elevada até a posição de irradiação. Na situação de repouso a dose no interior da câmara a um metro da blindagem de transporte não deve exceder a 20 µSv/h.

A irradiação constitui uma maneira efetiva de tratar diferentes problemas relativos ao nosso suprimento alimentar tais como a infestação de grãos por insetos, o rápido apodrecimento de frutas e o crescimento bacteriológico. O banimento de fumegantes químicos, a tendência a normas de tolerância zero a patogênicos, acordos sanitários e fitossanitários internacionais e o aval de organizações internacionais como a Organização Mundial da Saúde, a Agência Internacional de Energia Atômica e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, são fatos que indicam uma tendência crescente do uso desta tecnologia. Atualmente existem mais de 200 irradiadores em funcionamento no mundo e é permitida a irradiação de mais de quarenta tipos distintos de alimentos, o que é aprovado em mais de quarenta países, inclusive no Brasil, cuja legislação foi atualizada em 2001.

C

A instalação se classifica considerando as características de seus equipamentos, das fontes radioativas e de acordo com a classificação de áreas da POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01/004:2011, norma CNEN NN 3.01, Resolução 164/14, a mesma foi classificada como Área Controlada. O Laboratório de Irradiação Gama (LIG) é classificado como sendo uma instalação do Grupo 1, de acordo com a Norma CNEN NN 6.02 - Resolução CNEN No 261/20, de 29 de Maio de 2020. O LIG tem a sua função básica centrada no irradiador gama GB-127, IR-214 da MDS Nordion com carga inicial de 2.200 TBq (60.000 Ci) de Co-60. Esta classificação em Grupo 1 corresponde à Classe II segundo a Agência Internacional de Energia Atômica Specific Safety Guide, No. SSG-8, "Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities", e atende às exigências da Agência Internacional de Energia Atômica para a sua categoria, quanto ao projeto, controle e operação.

O LIG tem contribuído para o desenvolvimento de vários setores vinculados à produção e pesquisa. Não somente dentro do nosso Centro, mas também no âmbito nacional, chegando até à inovação de produtos, tais como a esterilização por radiação de embalados para transplante de órgãos; em projetos em parceria com a Universidade Federal de MG na esterilização por radiação de kits diagnósticos e equipamentos de proteção individual, na época da pandemia. Destaca-se também a irradiação de mais de 20 mil de bolsas anuais de sangue e seus hemocomponentes, para humanos transplantados. As atividades realizadas no Irradiador Multipropósito são de caráter multidisciplinar, e variam de operações rotineiras ao desenvolvimento de processos detalhados específicos para cada tipo de necessidade. Sem contar com as tarefas relacionadas a manutenção, garantia da qualidade, dosimetria rotineira e segurança individual e radiológica dos IOEs.

Para garantir a qualidade dos serviços torna-se necessário um programa de qualificação da instalação do irradiador, juntamente com os procedimentos dosimétricos a serem seguidos durante a qualificação operacional e de desempenho do irradiador. Baseados em procedimentos de rotina de irradiação em produtos diferenciados. A conformidade com esses procedimentos garantirá que esses produtos a serem expostos à radiação gama recebam doses absorvidas dentro de um intervalo recomendado. Para garantir a qualidade do processo de irradiação é realizado inicialmente o mapeamento do campo de radiação da instalação onde se encontra o irradiador. Após conhecer o campo de radiação é possível conhecer e mapear os pontos de interesse. Serão utilizados na rotina da prestação do serviço os dosímetros Fricke (absoluto), filmes radiocrômicos, dosímetros PMMA e dosímetros TL 100. A validação e controle dos processos de irradiação devem ser estabelecidos, executados e documentados de forma a garantir que a dose estabelecida foi entregue de maneira eficaz em todos os pontos do produto. A efetividade do processo de irradiação depende da adequada entrega da dose absorvida e, para isso, de um sistema de dosimetria confiável para sua verificação. O sistema dosimétrico deve ser estabelecido com rastreabilidade ao padrão nacional ou internacional, de forma a garantir a confiabilidade das medidas visando fortalecer a credibilidade dos processos realizados.

### **Objetivo Geral**

O objetivo principal do projeto é otimizar, validar e avaliar os procedimentos operacionais relacionados ao processamento por irradiação gama na Instalação Radiativa do Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 do laboratório de irradiação gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, levando-

C se em consideração as diretrizes de boas práticas no processo de irradiação. Desta forma, parâmetros envolvidos no processo, tais como medição da dose de radiação absorvida, distribuição da dose nos produtos, condições de operação e custos do processamento serão considerados.

### Objetivos específicos

- Descrever os recursos de proteção integrados do irradiador Gama Gb127, instalado no laboratório, realizando testes descritos no RFAS;
- Introduzir a metodologia utilizada para realização da curva de calibração utilizando dosímetros absolutos Frick;
- Introduzir a metodologia utilizada para implantar a curva de calibração utilizando filmes radiocrômicos e dosímetros PMMA;
- Mapear as doses absorvidas do irradiador do laboratório de irradiação gama determinando a confiabilidade do processo de irradiação;
- Programar no laboratório de Irradiação Gama uma rotina referente ao sistema dosimétrico para garantir a dose absorvida entregue.

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Realizar os testes de Intertravamento do sistema de controle (MDS Nordion), como Chave da máquina; Medidor de radiação portátil; Monitor fixo de radiação; Fechadura da porta de acesso pessoal; Controle de acesso de backup (alarme de intrusão); Temporizador de atraso de segurança; Cabos de parada de emergência; Válvula de Intertravamento do elevador da fonte; Alarmes do movimento da fonte; Sondas de detecção de temperatura elevada; Detector de fumaça; Controlador de tempo de trânsito da fonte; Indicador de rotação das mesas giratórias; Cronômetro de movimentação de produtos; Indicador de fluxo de ar no	1	Laudos mensais , semestrais e anuais		

C

duto de exaustão; Segunda válvula de intertravamento do sistema de elevação da fonte; Chave de teste do monitor fixo L118; Envoltório da fonte; Detector de terremoto; Monitor da tensão mecânica do cabo do sistema de elevação da fonte; Sistema de Ventilação.				
2) realizar medidas no irradiador gama com dosímetros fricke para fazer a curva de clibração das doses absorvidas; Introduzir a metodologia utilizada para implantar a curva de calibração utilizando filmes radiocrômicos e dosímetros PMMA.	2	Equação da curva de calibração da nova fonte instalada com os dosímetros a serem utilizados na rotina		
3) Mapear as doses absorvidas do irradiador do laboratório de irradiação gama determinando a confiabilidade do processo de irradiação.	3	Nota técnica		
4) Implantar a dosimetria de rotina no laboratório.	4	Escrever os procedimentos (4) utilizados para produtos diferentes.		

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X					
Atividade 2	X	X	X		X	
Atividade 3		X	X	X		
Atividade 4				X	X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues

C  
imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Revisão do modelo de segurança do Laboratório	1	Relatórios mensais, semestrais e anuais de segurança e proteção radiológica	1	
Implantação das curvas de dose absorvida no sistema	2	Descrição de tres notas técnicas	2	
Conhecimento e apoio na irradiação dos produtos	3,4	Numero de produtos irradiados anualmente	3,4	

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Implantação sistema de dosimetria rotineira no LIG, recomendado pela aquisição da nova fonte de Cobalto-60	1, 2	Sistema disponibilizado e testado	1, 2	
		Notas técnicas	2	
Aumento representativo na irradiação dos produtos	3,4	Numero de produtos irradiados	3, 4	

### Bolsa

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas, manter a prestação do serviço e garantir a qualidade do sistema, considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico-científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.



C

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Engenharia; Ciências Exatas e Tecnológico em Radiologia		1,2, 3 e 4	BCI-DD	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DD	2.860,00	12	1	34.320,00
Total (R\$)					34.320,00

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM E1026-04e1, 2005, *Standard Practice for Using the Fricke Reference-Standard Dosimetry System*, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E1026-04E01, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM, 2004, *Standard on Dosimetry for Radiation Processing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, second edition, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM E1261-00, 2002, *Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E1261-00, [www.astm.org](http://www.astm.org).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro, 2014. (CNEN-NN-3.01).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Crítérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro, 2011. (Posição Regulatória PR-3.01/001: 2011).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Posição Regulatória 3.01/004:2011 - **Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas**.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Posição Regulatória 3.01/007:2005 – **Níveis de Intervenção e de Ação para Exposição Crônica**.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NN-6.02 - Resolução CNEN nº 261/20: **Licenciamento de Instalações Radioativas**. Rio de Janeiro, 2020.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency**. General Safety Guide No. GSG-2. IAEA, Vienna, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Specific Safety Guide, No. SSG-8, "Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities"**. IAEA, Vienna, 2010.

IAEA, International Atomic Energy Agency, **International Basic Safety Standards for Protection Against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources**. Safety Series Nº 115, Vienna, 335 p, 1996.

ICRU 34 – *The Dosimetry of Pulsed Radiation*, International Commission on Radiation Units and Measurements - report 34, Bethesda: ICRU, 1982.





C

ICRU 35 – *Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies between 1 and 50 MeV*, International Commission on Radiation Units and Measurements - report 35, Bethesda: ICRU, 1984.

MCLAUGHLIN, W. L., BOYD, A. W., CHADWICK, K. H., MCDONALD, J. C., MILLER, A., **Dosimetry for Radiation Processing**, London: Taylor & Francis, 1989.

NI-SERAS 001 – MEIRA-BELO L.C., KONZEN C., Rodriguez M. L., Nota Interna, CDTN/Cnen, *Efeito do Envelhecimento em Soluções Fricke Irradiadas*, 2013.

VALVERDE, Nelson et al. **Manual de Ações Médicas em Emergências Radiológicas**. Capax Dei editora, Rio de Janeiro, 2010.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.18	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Corrosão eletroquímica a alta temperatura em aços inoxidáveis
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Wagner Reis da Costa Campos

### Introdução

Aços inoxidáveis, devido a seu elevado teor de Cr, têm elevada resistência a corrosão em temperatura elevada, por isto, são utilizados em plantas de indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, papel e celulose, alimentícias, usinas termoeletrônica nucleares ou de combustível fóssil. Vários dos componentes existentes nestas plantas muitas vezes podem ser soldados à linhas de condução de água, vapor ou outros produtos químicos a altas temperaturas. A integridade estrutural destes componentes é essencial a uma operação segura e continuada das plantas, impedindo a liberação de água, vapor, produtos químicos e produtos de fissão em usinas nucleares (Modenesi, 2011; Silva, 2006).

A avaliação do desempenho dos aços inoxidáveis frente à corrosão, se dá principalmente por meio de ensaios eletroquímicos em ambiente que simulem as condições de operação. Para estudar ou avaliar o comportamento dos aços inoxidáveis frente a corrosão eletroquímica, são utilizados ensaios eletroquímicos de polarização anódica potenciodinâmica e de espectroscopia de impedância eletroquímica (Roberge, 1999, Gentil, 2003; Silva, 2012).

O ensaio de polarização anódica potenciodinâmica permite conhecer o comportamento de um metal se houver uma variação do seu potencial em um determinado meio como variação na temperatura, contaminações, variações de pH, etc, mostrando quanto a corrosão irá aumentar. As curvas de polarização também são utilizadas para avaliar a eficiência de inibidores de corrosão, que podem reduzir de forma considerável a velocidade de corrosão dos metais, além de avaliar o efeito de tratamentos superficiais sobre o comportamento de corrosão de um metal (Magnabosco, 2001; Gentil, 2003).

A espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) é uma técnica que trabalha no domínio de frequência. O seu conceito básico é que uma interface metal/meio pode ser vista como uma combinação de elementos de circuito elétricos passivos, isto é, resistência, capacitância e indutância. Quando uma corrente alternada é aplicada a esses elementos, a corrente resultante é obtida usando a lei de Ohm. A técnica de EIE consiste na aplicação de uma tensão variável em frequência e medida da impedância do sistema. O sistema eletroquímico é modelado como um conjunto capacitor/indutor/resistor em função da frequência revelando os mecanismos eletroquímicos (Ribeiro et al., 2015).

O aumento da temperatura do ambiente provoca a diminuição do potencial de formação de pite, diminuindo a resistência à corrosão de um material metálico. A temperatura aumenta o coeficiente de difusão dos íons metálicos, favorecendo a cinética da corrosão. O aumento da corrosão localizada ou propriamente a facilidade de sua ocorrência pode ser explicada devido o aumento da mobilidade dos íons

envolvidos nas reações eletroquímicas. (Netto, 2009)

Os estudos de corrosão em ambientes aquosos de alta temperatura e alta pressão e, em particular, as medições de corrosão eletroquímica nesses ambientes estão se tornando cada vez mais importantes para várias aplicações industriais. Porém, medições eletroquímicas confiáveis e precisas em sistemas aquosos de alta temperatura e alta pressão, acima de 80°C, não são, no entanto, diretas e simples (Bogaerts, 2016).

Em geral, as dificuldades experimentais estão relacionadas à presença combinada de alta temperatura e pressão, o que produz problemas significativos associados às informações eletroquímicas obtidas através dos limites de pressão, enquanto dificuldades adicionais incluem segurança e vazamentos de pressão. Mais fundamentalmente importante, no entanto, são as incertezas sobre eletrodos de referência e constantes termodinâmicas relacionadas, que dificultaram em muito a ampla aplicação de técnicas eletroquímicas para estudos de corrosão em altas temperaturas (Bogaerts, 2016).

O eletrodo de referência de Ag/AgCl é provavelmente um dos eletrodos de referência mais utilizados. Infelizmente, o par redox Ag/AgCl não pode ser usado em altas temperaturas devido à instabilidade da camada de AgCl. Portanto, para a utilização de um eletrodo de referência Ag/AgCl para medidas à temperaturas elevadas, é necessário que ele fique colocado externamente à instalação, conectado por meio de uma ponte salina. Para sistemas que trabalham com altas temperaturas e pressão, as pontes salinas devem ser desenvolvidas para cada tipo de sistema de alta pressão (Bosch & van Dyck, 2003; Sedriks, 1996; Huang et al., 2009).

Este trabalho se propõe desenvolver e aplicar um sistema para a realização de ensaios eletroquímicos em altas temperaturas, acima de 80°C até cerca de 300°C, utilizando as autoclaves existentes no Laboratório de Corrosão. Com o sistema em operação deve-se analisar o comportamento de diversos aços inoxidáveis, desde a temperatura ambiente até cerca de 300°C em ambientes contendo cloreto. Assim qualificando o Laboratório de Corrosão do CDTN para a realização de ensaios de polarização anódica potenciodinâmica e de espectroscopia de impedância eletroquímica.

### **Objetivo Geral**

O objetivo deste projeto é dar apoio operacional no desenvolvimento e avaliação de um sistema para a realização de ensaios eletroquímicos em altas temperaturas, acima de 80°C até cerca de 300°C, utilizando as autoclaves e os potenciostatos/galvanostatos existentes no Laboratório de Corrosão, e avaliar a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos, ferríticos, duplex e supermartensíticos, por meio de ensaios eletroquímicos, em diferentes meios contendo cloreto, vinculados a dissertações de mestrado e teses de doutorado em desenvolvimento no Laboratório de Corrosão do CDTN.

### **Objetivos específicos**

1. Apoiar no desenvolvimento de eletrodos de referência, a base de prata / cloreto de prata, para realização de ensaios eletroquímicos, desenvolvendo critérios operacionais de deposição de AgCl por meio de galvanização eletroquímica;

2. Comparar o eletrodo desenvolvido com eletrodos comerciais até a temperatura de 80°C;
3. Desenvolver e adaptar um sistema de ponte salina para a realização de ensaios de corrosão eletroquímica, em autoclave, em ambiente contendo cloretos;
4. Avaliar a resistência à corrosão dos diferentes aços inoxidáveis, em meio contendo cloreto, por meio do ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, com variação da temperatura;
5. Apoiar no desenvolvimento de dissertações de mestrado na área de corrosão de aços inoxidáveis a alta temperatura e pressão, em ambiente contendo cloretos;
6. Elaboração de um relatório atividades e de artigo para divulgação dos resultados.

### Atividades

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1) Apoiar no desenvolvimento de eletrodos de referência, a base de prata / cloreto de prata, para realização de ensaios eletroquímicos, desenvolvendo critérios operacionais de deposição de AgCl por meio de galvanização eletroquímica;	1	Eletrodo de referência a base de prata/cloreto de prata desenvolvido e testado	X	
2) Comparar o eletrodo desenvolvido com eletrodos comerciais até a temperatura de 80°C	2	Eletrodos de referência desenvolvidos comparados com eletrodos comerciais até 80°C	X	
3) Desenvolver e adaptar um sistema de ponte salina para a realização de ensaios de corrosão eletroquímica para ensaios de até 80°C	3	Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas de até 80°C	X	
4) Desenvolver e adaptar um sistema de ponte salina para a realização de ensaios de corrosão eletroquímica para ensaios acima de 80°C	3	Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas acima de 80°C		X

5) Avaliar a resistência à corrosão dos diferentes aços inoxidáveis, em meio contendo cloreto, por meio do ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, com variação da temperatura;	4	Ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, com variação da temperatura realizados		X
6) Apoiar no desenvolvimento de dissertações de mestrado na área de corrosão de aços inoxidáveis a alta temperatura e pressão, em ambiente contendo cloretos;	5	Apoio na realização dos ensaios eletroquímicos a altas temperaturas das dissertações de mestrado em desenvolvimento no Laboratório de Corrosão do CDTN		X
7) Elaboração de um relatório interno e de artigo para divulgação dos resultados	6	Relatório de atividades e elaboração de um artigo para divulgação		X

### Cronograma de Atividades

Atividades	2023 / 2024					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2		X	X			
Atividade 3		X	X			
Atividade 4				X	X	
Atividade 5				X	X	X
Atividade 6				X	X	X
Atividade 7				X	X	X

### Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Eletrodo de referência a base de prata/cloreto de prata desenvolvido e testado até 80°C	1	Eletrodo de referência a base de prata/cloreto de prata desenvolvido e testado para temperatura de até 80°C	X	

Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas de até 80°C	2	Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas de até 80°C testado e em funcionamento	X	
Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas acima de 80°C	2	Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para medidas eletroquímicas em temperaturas acima de 80°C testado e em funcionamento		X
Ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, com variação da temperatura realizados em aços inoxidáveis	3	Ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, com variação da temperatura realizados		X
Apoio na realização dos ensaios eletroquímicos a altas temperaturas das dissertações de mestrado em desenvolvimento no Laboratório de Corrosão do CDTN	4	Ensaio eletroquímico a altas temperaturas das dissertações de mestrado realizados		X
Relatório de atividades e elaboração de um artigo para divulgação	5	Relatório de atividades e elaboração de um artigo para divulgação concluídos		X

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Eletrodo de referência a base de prata/cloreto de prata desenvolvido e testado para temperatura de até 80°C	1	Eletrodo de referência desenvolvido	X	
		Eletrodo de referência desenvolvido testado até 80°C	X	
Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado	2	Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para a temperatura de até 80°C	X	
		Sistema de ponte salina desenvolvido e adaptado para temperatura acima de 80°C		X
Ensaio de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica realizados em temperaturas acima de 80°C	3/4	Análises eletroquímicas em aços inoxidáveis em temperaturas acima de 80°C		X
Relatório de atividades e elaboração de um artigo para divulgação	5	Relatório de atividades elaborado e um artigo para divulgação		X

		preparado		
--	--	-----------	--	--

## Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia de Materiais, Engenharia Metalúrgica ou Engenharia Química	Conhecimentos básicos de corrosão e eletroquímica	1, 2, 3, 4, 5	DD	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade(R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DD	2.850,00	12	1	34.200,00
Total (R\$)					34.200,00

## Referências Bibliográficas

Bogaerts, W. F., Reference Electrodes for electrochemical measurements in high-temperature high-pressure aqueous environments—Review of potential corrections for ‘external’ reference systems. *Electrochimica Acta*. N. 212 pp. 102–112. 2016

Bosch, R. W. and Dyck, S. V., High Temperature Electrochemical Corrosion Testing in a Hot Cell Environment – Problems and Pitfalls. Conference: 41. Plenary Meeting of European Working Group 'Hot Laboratories and Remote Handling', Saclay (France), 2003.

Gentil, V., *Corrosão*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

Huang J, Wu X, Han E. H. Influence of pH on electrochemical properties of passive films formed on alloy 690 in high temperature aqueous environments. *Corros Sci*. N. 51, pp. 2976–2982, 2009

Magnabosco, R., *Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205)*. 2011. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Modenesi, P. J., *Soldabilidade de algumas ligas metálicas, (Apostila)*, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de materiais, UFMG-MG, 2011.

Netto, H. V. C., *Influência da Temperatura de Ensaio e de Tratamento Térmico na Resistência à Corrosão por Pite dos Aços*. Projeto de Graduação. Departamento de Eng Mecânica. UFES. 2009.

Ribeiro, D. V., Souza, C. A. C., Abrantes, J. C. C., *Uso da Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) para monitoramento da corrosão em concreto armado*. IBRACON, V. 8 N.





4 pp. 529-546. Agosto 2015.

Roberge, P. R., Handbook of Corrosion Engineering, 1st ed. McGraw-Hill, New York, NY. 1999.

Sedriks AJ. Corrosion of stainless steels. New York (NY): John Wiley & Sons; 1996.

Silva, André Luiz da Costa e, Mei, Paulo Roberto. Aços e Ligas Especiais. 2. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 2006.

Silva, V. G., Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Sob Tensão do Aço Inoxidável Superduplex UNS S32750 Soldado pelo Processo TIG Orbital em Meios Contendo Cl<sup>-</sup>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S. Tese de doutorado. Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense. 2012.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.19	<b>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear</b>
	<b>CDTN</b>
	<b>Título do Projeto:</b> Modificação do sistema TracerLab FX-C Pro para síntese e purificação de radiofármacos marcados com flúor-18
	<b>Supervisor do Bolsista:</b> Marina Bicalho Silveira

## Introdução

A Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos (UPPR) do CDTN apresenta a certificação ISO e certificação de Boas Práticas de Fabricação (ANVISA) para produção de radiofármacos destinados à tomografia por emissão de pósitrons (PET).

A produção de radiofármaco começa com a produção do radionuclídeo, que na UPPR tem sido majoritariamente o Flúor-18. Este é feito a partir do bombardeamento com prótons em um alvo contendo água enriquecida, num processo denominado irradiação, seguido da transferência deste material para o módulo de síntese. Após o recebimento do Flúor-18, inicia-se a síntese dos radiofármacos marcados com flúor-18 no módulo de síntese, instalado em célula quente, por um processo automatizado. O acompanhamento é feito por sistema computadorizado e ao final dessa etapa é emitido um relatório da síntese. Os módulos de síntese são sistemas compactos automatizados que executam a produção destes radiofármacos. O módulo de síntese TRACERlab MXFDG foi descontinuado pela empresa General Electric Healthcare, que passou a comercializar o novo módulo de síntese FASTlab 2. Este novo módulo permite produzir, por exemplo, a fludesoxiglicose (18 F) de maneira mais eficiente, com rendimentos superiores e com reprodutibilidade consistentemente maior.

Além da produção de Flúor-18, a UPPR também produz radiofármacos marcados com o radionuclídeo Carbono-11, sendo utilizado outro modelo de módulo automatizado, o Tracerlab FX C<sub>Pro</sub>. Este último, diferentemente dos demais mencionados acima, permite que as purificações possam ser automatizadas em um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (da sigla em inglês HPLC), aumentando a flexibilidade para obter novos radiofármacos, sejam já conhecidos na literatura, bem como outros inéditos.

Esta diferença levantou uma questão na possibilidade de adaptação do módulo TracerLab FX-C Pro, para a síntese de radiofármacos marcados com Flúor-18 (18 F), afim de se utilizar o método de purificação por HPLC deste módulo para síntese de novos radiofármacos, como por exemplo o <sup>18</sup>F-DPA, o qual necessita de purificação pelo HPLC ao invés dos métodos tradicionais.

## Objetivo Geral

Executar modificações estruturais e operacionais no módulo de síntese TracerLab FX-C Pro, de forma a permitir a utilização do mesmo para síntese e purificação de radiofármacos marcados com flúor-18.

## Objetivos específicos

1. Executar, juntamente com o técnico da GE, as manutenções no módulo TracerLab FX-C Pro;
2. Estudar detalhadamente a rota de marcação com flúor-18
3. Elaborar um plano de modificações nos sistemas
4. Definir sequências no software adaptadas para as rotas de marcação com flúor-18
5. Executar a síntese de FDG para avaliar as primeiras etapas

## Atividades e Produtos

Segue abaixo o detalhamento das atividades e produtos a serem realizados no escopo do projeto.

Atividade	Objetivo	Indicador	Cronograma
Estudo do manual do módulo TracerLab FX-C Pro	1	Atividade concluída	2023
Detalhamento das rotas de marcação com flúor-18	2	Atividade concluída	2023
Proposta de modificações por sistemas: módulo, HPLC, software	3	Atividade concluída	2023/2024
Construção da programação de síntese utilizando o software	4	Uma sequencia elaborada	2024
Testes de síntese para um radiofármaco marcado com flúor-18	5	Uma síntese com produto final	2024
Relatório detalhado com as conclusões e recomendações do projeto	1-5	Um relatório elaborado	2024

### Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico
Uma programação de síntese elaborada	1 - 4
Uma síntese com produto final	4, 5
Relatório detalhado com as conclusões e recomendações do projeto	1 - 5

### Perfil do candidato para bolsa

Projeto ou Atividade	Modalidade da Bolsa	Submodalidade/ Nível	Formação	Experiência
Modificação do sistema TracerLab FX-C Pro para síntese e purificação de radiofármacos marcados com flúor-18	BCI	DD	Tecnólogo em Radiologia	Experiência com produção de radiofármacos, operação de módulos de síntese

### Bolsa

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI	DD	2.860,00	12	1	34.320,00
Total (R\$)					34.320,00

### Referências Bibliográficas

GE Healthcare, manual dos módulos de síntese Fastlab 2, Tracerlab MX<sub>FDG</sub> e Tracerlab FX C<sub>Pro</sub>.