

# PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## Livro Resumo

- XXIX - Seminário Anual PIBIC
- XX - Seminário Anual PROBIC
- XIII - Seminário Anual PIBITI

ANO 2023



Dias 23 e 24 de novembro  
Mais informações pelo site:  
<http://pibic.ipen.br>



Palestra de abertura :  
Dr. Jose Augusto Perrota  
Tema: “O papel do RMB para a Tecnologia Nuclear Brasileira.”



# Livro Resumo 2023

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**XXIX Seminário Anual PIBIC**  
**XX Seminário Anual PROBIC**  
**XIII Seminário Anual PIBITI**



**23 e 24 de novembro de 2023**

<b>Comitê Institucional - CNEN</b>	
Martha M. F. Vieira – <b>IPEN</b> (Coordenadora)	
Alexandro Nascimento	<b>CRCN-NE</b>
Antônio Carlos Mol	<b>IEN</b>
Kellen Milene Camargos	<b>CRCN-CO</b>
Heliana A. F. do Nascimento	<b>LAPOC</b>
Carolina Braccini Freire	<b>CDTN</b>
Thomas Riedel	<b>IRD</b>

<b>Comitê Local - IPEN</b>
Martha M. F. Vieira – <b>IPEN</b> (Coordenadora)
Cecília Chaves Guedes e Silva
Dolores Ribeiro R. Lazar
Larissa Otubo
Martha Simões Ribeiro
Nilce Ortiz

<b>Comissão Organizadora - IPEN</b>
Martha M. F. Vieira – <b>IPEN</b> (Coordenadora)
Calil Mohamed Farra Filho
Elsa Papp Pereira da Silva
Ilze Cristina Puglia
Luiz Carlos de Oliveira
Reinaldo Gomes

# Relação de Alunos (ordem Institutos)

SEQ.	Aluno	Instituição	Orientador
1	Ana Gabriela Fernandes Pereira	CDTN	Carolina Braccini Freire
2	Anna Carolina Almeida De Paula	CDTN	Clascídia Aparecida Furtado
3	Anna Clara Moreira Da Silva	CDTN	Andréa Vidal Ferreira
4	Caio Fabrini Rodrigues	CDTN	Maximiliano Delany Martins
5	Diego Raphael Lewer Silveira	CDTN	Clascídia Furtado
6	Gabriel Santos Almeida	CDTN	Carlos Antônio de Moraes
7	Geovana Loren Da Cruz	CDTN	Graiciany de Paula Barros
8	Hellen Késia Santos De Souza	CDTN	Carolina Braccini Freire
9	Ianara Pereira Silva	CDTN	Carlos Malamut
10	Igor Andrade Machado	CDTN	Marco Aurélio de Sousa Lacerda
11	Irene De Paula Freiheit Côrtes	CDTN	Marina Silveira Bicalho
12	Isabela Nicomedes Silva Ferreira	CDTN	Ricardo Gomes Passos
13	Jakeline Pereira De Carvalho	CDTN	Carolina Braccini Freire
14	Joana D'Arc Souza Rodrigues	CDTN	Bruno Melo Mendes
15	João Gabriel Acioli De Siqueira	CDTN	Tatiane Almeida, Maximiliano Delany Martins
16	João Vitor Reis Marques	CDTN	Carlos Malamut
17	Lorenzo Bellis Pujoni	CDTN	Clascídia Aparecida Furtado
18	Manuella Karoline Da Silva Riela De Carvalho Serrano	CDTN	Edésia Martins Barros de souza
19	Marcela Alves Magalhães	CDTN	Edésia Martins Barros de Sousa
20	Matheus Henrique Dos Santos Araujo	CDTN	Graiciany de Paula Barros
21	Pedro Augusto Possa Vicente Sacramento Ferreira	CDTN	Ana Cláudia Ladeira Queiroz
22	Rafael Dias De Brito Oliveira	CDTN	Carlos Malamut
23	Rafael Santos Oliveira	CDTN	Juliana Batista da Silva
24	Ruan Carlos Rocha Alves	CDTN	Carlos Alberto de Carvalho Filho
25	Tamires Estefane De Almeida Rocha	CDTN	Edésia Martins Barros de Sousa
26	Victória Moreira Garcia	CDTN	Andréa Vidal Ferreira
27	Yasmin Martelleto De Mello	CDTN	Ana Claudia Queiroz Ladeira
28	GUSTAVO LUIZ ARAUJO RIBEIRO	CDTN	André Augusto Campagnole dos Santos
29	ISABEL GARABINI MOURÃO	CDTN	Amir Zacarias Mesquita
30	ISABELLE PEREIRA DA SILVA	CDTN	Amir Zacarias Mesquita
31	JHENIFER KETELIN NEVES SOUZA	CDTN	Clédola Cássia Oliveira de Tello
32	MARIA JULIA SANTOS MATOS	CDTN	André Augusto Campagnole dos Santos
33	MARIANA ALONSO NATIVIDADE	CDTN	Amir Zacarias Mesquita
34	MATEUS BRITO CHALUB	CDTN	André Augusto Campagnole dos Santos
35	PEDRO HENRIQUE DO NASCIMENTO ALCÂNTARA	CDTN	Valeria Cuccia
36	YANN SANTOS TEIXEIRA	CDTN	Valeria Cuccia
37	Alessa Castro Da Silva Drewke	CRCN-NE	Fabiana Farias de Lima Guimarães
38	Andreza Lima Lourenço Da Silva	CRCN-NE	Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo
39	Ayrton Felipe Da Silva Serafim De Souza	CRCN-NE	Elvis Joacir de França
40	Caio Ferreira De Oliveira	CRCN-NE	Fabiana Farias de Lima Guimarães
41	Caio Victor Barros Gonçalves Da Silva	CRCN-NE	Fabiana Farias de Lima Guimarães
42	Karine Lafaiete De Carvalho	CRCN-NE	Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo

<b>SEQ.</b>	<b>Aluno</b>	<b>Instituição</b>	<b>Orientador</b>
43	Maria Gabriela Da Silva	<b>CRCN-NE</b>	Maíra de Vasconcelos Lima Sampaio
44	Matheus Antonio Melo Da Cunha	<b>CRCN-NE</b>	Prof. Dr. Gilberto Nascimento de Arruda
45	Nathália Virgínia Ferreira Pereira	<b>CRCN-NE</b>	Ana Claudia de Paiva
46	Rafael Lucas Barros Abreu Silva	<b>CRCN-NE</b>	Gilberto Nascimento de Arruda
47	Thaynara Maria Arantes	<b>CRCN-NE</b>	Ana Maria Mendonça de A. melo
48	Thiago Pettrus Maia De Medeiros	<b>CRCN-NE</b>	Ana Claudia de Paiva
49	AMANDA SILVA DE FRANÇA	<b>CRCN-NE</b>	Mariana Esposito Mendes
50	CARLOS HENRIQUE PEREIRA SANTIAGO	<b>CRCN-NE</b>	Maíra de Vasconcelos Lima Sampaio
51	EDUARDA SANTOS SILVA	<b>CRCN-NE</b>	Mariana Esposito Mendes
52	ENDREW FERREIRA RIBEIRO	<b>CRCN-NE</b>	DR. Fernando Roberto de Andrade Lima
53	GABRIELLA KALYNE DE SOUZA BRAZ	<b>CRCN-NE</b>	Vivianne Lúcia Bormann de Souza
54	LARISSA PEREIRA DE SOUZA MIRANDA	<b>CRCN-NE</b>	Fernando Roberto de Andrade Lima
55	LUANA CAROLINE DOMINGOS DA SILVA	<b>CRCN-NE</b>	Vivianne Lúcia Bormann de Souza
56	MARIA VICTÓRIA GERMANO DE ARAÚJO	<b>CRCN-NE</b>	Isabelle Viviane Batista de Lacerda
57	NATHALIA INGRID DE LIMA CONSTÂNCIO	<b>CRCN-NE</b>	Cláudio José Mesquita Menezes
58	VANY LEITE RIBEIRO	<b>CRCN-NE</b>	Elvis Joacir De França
59	VITORIA GABRIELA MARQUES VALENTIM	<b>CRCN-NE</b>	Isabelle Viviane Batista de Lacerda
60	Houemakou Rimaud Djidonou	<b>CRCN-NE</b>	Mariana Esposito Mendes
61	Ana Beatriz Alves Salvador	<b>IEN</b>	William Luna Salgado
62	Andressa Menezes Alves De Sousa	<b>IEN</b>	César Marques Salgado
63	Flávia Costa Castro Cruz	<b>IEN</b>	Luciana Carvalheira
64	Gustavo Almeida Wong	<b>IEN</b>	Marcos Santana Farias
65	Gustavo Náufel Claassen	<b>IEN</b>	Eara de Souza Luz Oliveira
66	João Paulo Vasconcelos de Almeida	<b>IEN</b>	
67	Juliana Campos Salgado	<b>IEN</b>	Marcos Bertrand de Azevedo
68	Laira Lopes Silva	<b>IEN</b>	José Luiz Horacio Faccini
69	Marcos Vinício Rangel Ferreira Tavares	<b>IEN</b>	CÉSAR MARQUES SALGADO
70	Ramon Matias Nunes Mendonça	<b>IEN</b>	Francisco Jose de Oliveira Ferreira
71	Samara Mendes Matos	<b>IEN</b>	Nathali Riccardo Barbosa de Lima
72	Vinicius Araújo Silva Marques	<b>IEN</b>	César Marques Salgado
73	ANDERSON DA SILVA NOGUEIRA JÚNIOR	<b>IEN</b>	Antônio Carlos de Abreu Mól
74	MATEUS LOPES DA SILVA	<b>IEN</b>	Antônio Carlos de Abreu Mól
75	Amanda Araujo Moraes	<b>IPEN</b>	Lucas Freitas de Freitas
76	Antony Alves De Oliveira	<b>IPEN</b>	Solange Kazumi Sakata
77	Beatriz Miquilino Neto	<b>IPEN</b>	Maria Helena Bellini Marumo
78	Beatriz Nascimento Silva	<b>IPEN</b>	Dr. Jesualdo Luiz Rossi
79	Beatriz Tossatto Pires Ruivo	<b>IPEN</b>	Dra. Regina Affonso
80	Bruna Martins Dos Santos	<b>IPEN</b>	Denise Maria Zzell
81	Carolina Fernanda Alvarinho Sepulbeda	<b>IPEN</b>	Elisabete Inácio Santiago
82	Fernanda Yuri Muta	<b>IPEN</b>	Barbara Paci Mazzilli
83	Gabriel Clem Albuquerque Sasdelli	<b>IPEN</b>	Ademar Benévolo Lugão
84	Gustavo Pires Bertaco	<b>IPEN</b>	Renato Semner
85	Gustavo Revoredo Braga	<b>IPEN</b>	Maurício David Martins das Neves
86	Isadora Lopes Rodrigues	<b>IPEN</b>	Aryel Heitor Ferreira
87	Janaina Rocha Ponciano	<b>IPEN</b>	Dra. Mitiki Saiki
88	Júlia Oliveira Castro	<b>IPEN</b>	Sandra Regina Damatto
89	Julia Ponchio Muraro	<b>IPEN</b>	Iberê Souza Ribeiro Junior

<b>SEQ.</b>	<b>Aluno</b>	<b>Instituição</b>	<b>Orientador</b>
90	Lara Vitória Santos Couto	<b>IPEN</b>	Barbara Paci Mazzilli
91	Larissa Sabino Dos Santos	<b>IPEN</b>	Ademar Benévolo Lugão
92	Laura Falcão Castro	<b>IPEN</b>	Dolores Ribeiro Ricci Lazar
93	Laura Nami Nakashima	<b>IPEN</b>	Yasko Kodama
94	Maysa Müller Ferreira Gesserame	<b>IPEN</b>	Maria Elisa Chuery Martins Rostelato
95	Pedro Henrique Silva Araujo	<b>IPEN</b>	Dr. Emerson Soares Bernardes
96	Regina Oliveira Da Silva	<b>IPEN</b>	Cecilia Chaves Guedes e Silva
97	Rennan De Almeida Franco	<b>IPEN</b>	Dr. Thadeus Neves Conti
98	Sabrina Gardiano Avelino	<b>IPEN</b>	Denise Maria Zzell
99	Thalita Alves Colofatti Barbosa	<b>IPEN</b>	Gaianê Sabundjian
100	Thiago Costa Silva	<b>IPEN</b>	Sandra Regina Damatto
101	Valentina Andreatta Dutton	<b>IPEN</b>	Dra. Cibele Nunes Peroni
102	Victoria Martins Alves	<b>IPEN</b>	Ademar B. Lugão
103	ERICK SYUFFI LAGEDO	<b>IPEN</b>	Artur Wilson Carbonari
104	GUILHERME DA ROCHA LOURENCO	<b>IPEN</b>	Julio Takehiro Marumo
105	ISADORA DE ALMEIDA CARDOSO	<b>IPEN</b>	Liliane Landini
106	KAILAINE ABREU SILVA ALEXANDRE	<b>IPEN</b>	Sabine Neusatz Guilhen
107	THALES ZANIN DOS SANTOS DE OLIVEIRA	<b>IPEN</b>	Cibele Bugno Zamboni
108	Anna Clara N. Gabriel	<b>IPEN</b>	Artur Wilson Carbonari
109	Stella Ros Blat Ferreira	<b>IPEN</b>	Marycel Elena Barboza Cotrim
110	Beatriz Soares Pereira	<b>IRD</b>	Simone Kodlulovich Renha
111	Beatriz Soares Pereira	<b>IRD</b>	Simone Kodlulovich Renha
112	Davi Dallapicola Coelho	<b>IRD</b>	Eduardo de Paiva
113	Elen Aparecida Silva Martins	<b>IRD</b>	EDUARDO DE PAIVA
114	Iris Arruda Silva	<b>IRD</b>	Dr. Eduardo de Paiva
115	Kelly Pinto De Oliveira	<b>IRD</b>	José Guilherme Pereira Peixoto
116	Matheus Rebello Do Nascimento	<b>IRD</b>	José Guilherme Pereira Peixoto
117	Thalys Matheus Gama De Oliveira	<b>IRD</b>	Denison de Souza-Santos
118	Wesley Ramos Barbosa	<b>IRD</b>	Simone Kodlulovich Renha
119	JOSSANA ALMEIDA DE OLIVEIRA	<b>IRD</b>	Eduardo de Paiva
120	ROBERTA FERREIRA DOS SANTOS	<b>IRD</b>	Carlos Eduardo Bonacossa de Almeida

# PALAVRA DA COORDENADORA



não consiga suprir.

A CNEN participa atualmente de dois Programas do CNPq voltados a alunos de graduação: o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC, desde 2003 e o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI, a partir de 2010. Além de participar desses programas, a CNEN promove o Programa de Bolsas de Iniciação Científica – PROBIC, com recursos próprios.

O acompanhamento dos bolsistas egressos dos Programas PIBIC/PROBIC e que ingressaram na pós-graduação comprova que a participação em Programas de Iniciação Científica se revela um diferencial no desenrolar da vida acadêmica desses alunos. Além disso, o processo de avaliação desses bolsistas, por meio dos Seminários Anuais, é uma ferramenta muito importante, uma vez que o formato adotado, que inclui a apresentação oral dos trabalhos e a elaboração de resumos estendidos para publicação no Livro de Resumos, contribui de forma incontestável na formação desses estudantes, e cumpre um dos objetivos primordiais desses Programas que é fomentar o ingresso na pós-graduação.

Devido à pandemia do Coronavírus (COVID-19), os Seminários dos anos de 2020 e 2021 foram realizados de forma remota. Em 2022 foi mantido o formato online, que possibilitou a participação de um maior número de estudantes dos vários institutos.

Nesta edição do Seminário Anual foram inscritos 122 trabalhos (resumos publicados) e 90 bolsistas participam do evento, com apresentação oral. Foi adotado o formato híbrido, com o evento presencial no IPEN, no dia 23, com a abertura pela manhã e apresentações orais, dos bolsistas do IPEN, no período da tarde. No dia 24 acontecem as apresentações online dos bolsistas do CDTN, CRCN-NE, IEN e IRD.

Agradeço aos Coordenadores e integrantes dos Comitês Locais PIBIC/PROBIC/PIBITI e à Comissão Organizadora, que contribuíram decisivamente para a realização deste evento, neste novo formato adotado, usufruindo do aprendizado dos eventos anteriores.

Agradeço também aos bolsistas e orientadores pela dedicação e empenho na condução de seus trabalhos.

**Martha Marques Ferreira Vieira**

Coordenadora dos Programas de Iniciação Científica e Tecnológica da CNEN

# INTRODUÇÃO

Criado em 1988, o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) foi o primeiro programa institucional estruturado para a iniciação científica nacional. Ele foi criado tendo os seguintes objetivos:

- Despertar vocação científica e incentivar novos talentos potenciais entre estudantes de graduação.
- Contribuir para reduzir o tempo médio de titulação de mestres e doutores.
- Propiciar à instituição um instrumento de formulação de política de iniciação à pesquisa para alunos de graduação.
- Estimular uma maior articulação entre a graduação e a pós-graduação.
- Contribuir para a formação de recursos humanos para a pesquisa.
- Contribuir de forma decisiva para reduzir o tempo médio de permanência dos alunos na pós-graduação.
- Estimular pesquisadores produtivos a envolverem alunos de graduação nas atividades científica, tecnológica e artístico-cultural.
- Proporcionar ao bolsista, orientado por pesquisador qualificado, a aprendizagem de técnicas e métodos de pesquisa, bem como estimular o desenvolvimento do pensar cientificamente e da criatividade, decorrentes das condições proporcionadas pelo contato direto com os problemas de pesquisa.

O Programa PIBIC no IPEN teve início em 1994 e, institucionalmente, como CNEN, a partir de 2003. Após todos esses anos de participação, pode-se observar a efetividade do Programa, pela concretização de vários dos objetivos expostos acima. Os alunos que passam pelos Programas de Iniciação Científica e ingressam em Programas de Pós-graduação, por exemplo, são alunos que se destacam tanto pelo desempenho nas atividades de laboratório quanto pela desenvoltura ao participar de eventos nos quais há apresentações orais, contribuindo para o bom êxito na conclusão dos trabalhos de mestrado e doutorado.

O Programa PROBIC – Programa de Bolsas de Iniciação Científica da CNEN representa a contrapartida da instituição e foi implantado em agosto de 2013, com uma quota inicial de 30 bolsas, e que hoje contempla 60 bolsistas.

A partir de agosto de 2010, a CNEN passou a participar também do Programa PIBITI - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, que tem por objetivo estimular os jovens do ensino superior nas atividades, metodologias, conhecimentos e práticas próprias ao desenvolvimento tecnológico e processos de inovação.

Neste ano, temos o evento no formato híbrido, com atividades presenciais no IPEN e apresentações online dos bolsistas dos outros institutos: CDTN, CRCN-NE, IEN e IRD.

Neste momento, em que houve um aporte significativo de recursos, a palestra de abertura será proferida pelo Dr. José Augusto Perrotta: “O papel do RMB para a tecnologia nuclear brasileira”.



**Comitê Institucional**  
**PIBIC – PROBIC – PIBITI**

**PIBIC-PROBIC-PIBITI - 2023**



**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA  
TECNOLOGIA NUCLEAR**



**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO  
DA TECNOLOGIA NUCLEAR**

# INVESTIGAÇÃO SOBRE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS PARA A SÍNTESE DE MATERIAIS ATIVADOS EM MEIO ALCALINO

Ana Gabriela Fernandes Pereira e Carolina Braccini Freire  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

Um dos desafios da sociedade atual é a utilização de materiais de construção de baixo impacto ambiental. Um dos mais conhecidos é o cimento Portland que apesar da alta resistência mecânica possui um alto consumo de matéria prima e emissão de dióxido de carbono na produção. A geopolimerização/ativação alcalina é uma forma de valorização dos rejeitos da mineração uma vez que os geopolímeros são uma alternativa ao cimento na indústria civil.

Os geopolímeros são polímeros no sentido específico do termo e, portanto, transformam-se, policondensam e adoptam forma, endurecendo rapidamente a temperatura ambiente (PINTO, 2006).

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é obter argamassas geopoliméricas utilizando resíduos industriais como materiais precursores e o rejeito da etapa de flotação do beneficiamento do minério de ferro como agregado miúdo.

## METODOLOGIA

Foi utilizado como agregado miúdo o rejeito arenoso de minério de ferro e os aluminossilicatos utilizados como precursores foram: metacaulim, escória de alto forno moída e argila calcinada. Também foram utilizados, como ativadores alcalinos, o hidróxido de sódio (NaOH) e o silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) podendo ser misturados com sílica ativa ou não.

A caracterização do rejeito foi realizada por meio de análise granulométrica,

determinação da massa específica dos sólidos, absorção de água, teor de umidade, massa unitária, inchamento e fluorescência de Raios X (FRX).

As caracterizações de todos os precursores foram feitas através das análises: Superfície específica (BET), distribuição granulométrica, fluorescência de raios x (FRX) e difração de raios x (DRX).

## RESULTADOS PRELIMINARES

A figura 1 apresenta o processo de produção dos monólitos.

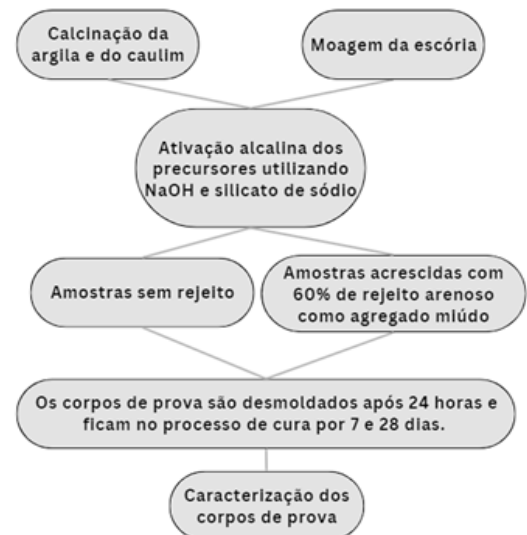


Figura 1 Fluxograma do processo de produção dos monólitos.

Os corpos de prova (Figura 2) são desmoldados após 24 horas e ficam no processo de cura durante 7 e 28 dias.



Figura 2 Corpos de prova.

Após o período de cura, as amostras serão submetidas as seguintes caracterizações:

1) Caracterizações físico-químicas dos corpos de prova:

- Difração de Raios X (DRX)
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)
- Porosidade
- Absorção de água
- Densidade
- Termogravimetria (TGA)

2) Caracterização mecânica:

- Resistência à compressão

Durante o processo de produção dos monólitos foi necessário a adição de água para melhorar a trabalhabilidade das amostras e facilitar na hora da moldagem. As corridas selecionadas para as caracterizações físico-químicas foram escolhidas utilizando o critério visual, ou seja, foram eliminadas as corridas com trincas e fissuras.

### Porosidade

A porosidade de argamassa está ligada à sua composição, a quantidade de água adicionada e ao processo de cura. A figura 4 apresenta a distribuição do tamanho dos poros das diferentes composições sem adição de rejeito.

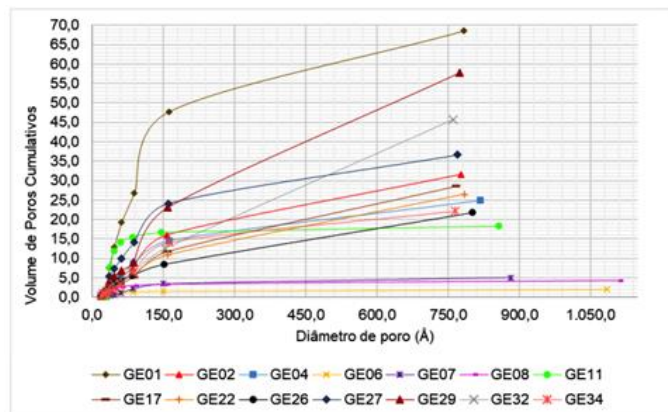


Figura 3 Distribuição do tamanho de poros das diferentes composições sem adição de rejeito, aos 28 dias de cura.

### Absorção de água e massa específica

A absorção de água foi realizada para cada composição, em três corpos de prova, sendo apresentada a média na Figura 5. A massa específica foi calculada pelo princípio de deslocamento de volume causado por determinada massa de corpo de prova.

Composição	Densidade	Absorção de água
GE01	0,8679	24,89
GE02	0,9191	35,06
GE04	0,8363	33,07
GE06	0,8864	11,34
GE07	0,7927	8,48
GE08	0,8951	8,13
GE11	0,8755	17,45
GE17	0,6302	27,24
GE22	0,8232	21,06
GE26	0,6378	27,45
GE27	0,6951	35,20
GE29	0,7023	39,71
GE32	0,7281	28,46
GE34	0,7302	27,84

Figura 4 Absorção de água e massa específica dos corpos de prova com sete dias de cura.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]PINTO, Amândio Teixeira. Introdução ao estudo dos geopolímeros. Universidade De Trás-Os-Montes E Alto Douro: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2006.

### APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Meus agradecimentos ao apoio financeiro do CNPq, por meio da bolsa de Iniciação Científica, e ao CDTN pela orientação supervisionada por Carolina Braccini Freire e Glaucia Marcossi Cardoso Duarte.

# **Caracterização da frequência e do perfil imunofenotípico de microvesículas circulantes do sangue periférico e na urina de pacientes com câncer de colorretal**

**Anna Carolina Almeida de Paula<sup>1</sup>, Clascídia Aparecida Furtado<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> FAMINAS-BH**

**<sup>2</sup>Centro de Desenvolvimento da Energia Nuclear - CDTN**

## **INTRODUÇÃO**

O câncer colorretal (CCR) é o segundo câncer mais frequente e o terceiro mais letal em homens e mulheres no Brasil (Viswanath et al., 2016; Inca, 2020; OMS, 2020). Os sintomas do CCR são facilmente confundidos com outras doenças intestinais e com distúrbios passageiros, tendo como consequência o prejuízo do seu diagnóstico. O diagnóstico precoce do câncer é essencial para garantir uma maior qualidade de vida e taxa de sobrevivência ao paciente (Inca, 2020). Os exames clínicos atuais mais eficientes para o diagnóstico de CCR são baseados principalmente na biópsia do tecido lesado e na colonoscopia, uma estratégia invasiva e com baixa adesão dos pacientes acometidos e de grupo de risco. Dessa forma, a realização desses exames é feita após avaliação prévia por outros exames menos sensíveis, como a pesquisa de sangue oculto nas fezes. Assim, atualmente não existe uma metodologia de rastreamento efetiva para o CCR. O rastreamento do câncer é uma metodologia onde se aplicam exames de rotina na população (preferencialmente nos grupos de riscos) e busca-se encontrar pacientes acometidos pela doença. O grupo de risco do CCR são pessoas com histórico familiar de doenças inflamatórias do

intestino, sedentárias, tabagistas, idosos e com alimentação de baixa qualidade (excesso de alimentos processados). Por apresentar um grupo de risco heterogêneo e numeroso, a estratégia de rastreamento ideal para o CCR seria exames menos invasivos do que a biópsia, como por exemplo, exames de sangue ou urina, mas que possuíssem elevada sensibilidade. Para tal, apresentamos dois desenvolvimentos: 1) biossensores capazes de quantificar o biomarcador CEA (antígeno carcinoembrionário), correlacionado à presença do CCR no organismo; 2) uma metodologia de biópsia líquida, avaliando em citometria de fluxo o fenótipo de microvesículas circulantes provenientes de células malignas do CCR. Dessa forma, com o objetivo de avaliar a capacidade diagnóstica das metodologias apresentadas, o presente projeto propõe utilizar amostras de pacientes com CCR e pessoas saudáveis para validar a capacidade dos biossensores em quantificar os biomarcadores tumorais nessas amostras, contribuindo com a elaboração de uma nova estratégia de rastreamento e diagnóstico do CCR.

## **OBJETIVO**

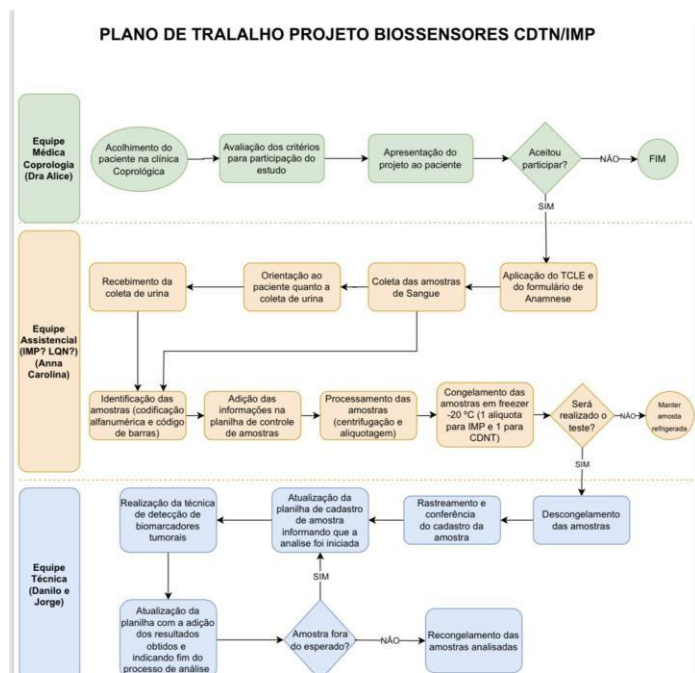
Colher as amostras de sangue e de urina de participantes de pesquisa voluntários atendidos pelo Instituto Mario Penna e que

apresentarem primo diagnóstico de câncer colorretal. Logo após, realizar a purificação e a imunofenotipagem de microvesículas no sangue periférico de pacientes com câncer de colorretal e também realizar a purificação e a imunofenotipagem da urina de pacientes com câncer de colorretal. E por fim, correlacionar o perfil de microvesículas de pacientes com câncer de colorretal com o perfil clínico apresentado nas amostras de pacientes.

## METODOLOGIA

Em preparação

## RESULTADOS



## CONCLUSÕES

Os critérios de inclusão e exclusão dos pacientes e o procedimento de coleta e processamento das amostras foi aprovado pelo comitê de ética do Instituto Mario Penna, estando permitindo o início do projeto a partir do mês de setembro de 2023.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

APOIO FINANCEIRO AO PROJETO CNPQ, CNEN, FINEP, INSTITUTO MARIO PENNA e, CDTN

# Desenvolvimento de metodologia alternativa para normalização do tomógrafo PET dedicado a pequenos animais do LIM/CDTN

Anna Clara Moreira da Silva, Andrea Vidal Ferreira  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

A aquisição de imagens PET no equipamento LabPET SOLO 4 PET é feita por meio de 1536 canais de detecção independentes [1]. A natureza física dos canais aliada à sua alta sensibilidade causa diferenças expressivas entre as taxas de contagens de cada canal, que comprometem fortemente a qualidade da imagem se não corrigidas. A etapa de correção da variação das taxas de contagem entre os canais é conhecida como Normalização. A normalização da eficiência de contagem dos canais de detecção deve ser realizada frequentemente, sendo necessária sempre que houver mudanças na instrumentação. Para a realização da Normalização, o fabricante recomenda o uso de uma fonte cilíndrica de Germânio-68 ( $T_{1/2} = 228$  dias).

## OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma fonte preenchível recarregável cilíndrica e verificar a aplicabilidade - ao tomógrafo PET para pequenos animais do LIM/CDTN - da substituição da fonte de Germânio-68 pela fonte preenchível recarregável com  $^{18}\text{F}$ -FDG.

## METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados: o tomógrafo PET para pequenos animais LabPET SOLO 4 do LIM/CDTN; simuladores para testes de Qualidade da Imagem; e fonte comercial de Ge-68.

Os materiais utilizados estão apresentados nas figuras seguintes.



Figura 1. Tomógrafo GE LabPET SOLO 4



Figura 2. Simulador Qualidade da Imagem e Camundongo

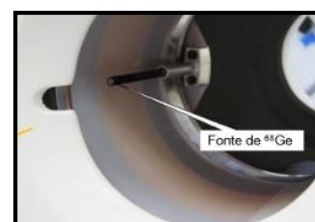


Figura 3. Fonte de Ge-68

Neste trabalho, uma fonte alternativa preenchível recarregável foi desenvolvida em substituição à fonte comercial de Ge-68. Trata-se de um cilíndrico de plástico com dimensões aproximadas da fonte comercial.

Na realização do estudo, a fonte foi preenchida com o radiofármaco Radioglic® ( $^{18}\text{F}$ -FDG). Deste modo, foram adquiridos dois arquivos de Normalização: (i) com a fonte de Ge-68 e (ii) com a fonte alternativa.

Para verificar a viabilidade de utilização da fonte alternativa, foram adquiridas imagens relativas ao teste de Qualidade da Imagem

(QI) do documento NEMA NU-4/2008 [2]. O teste QI foi realizado em triplicata: ENSAIO 1, ENSAIO 2 e ENSAIO 3.

As imagens resultantes dos testes de Qualidade da Imagem foram reconstruídas duas vezes cada, usando as normalizações previamente adquiridas, com a fonte de Ge-68 e a fonte alternativa.

Após as reconstruções, as imagens foram analisadas no *software* AMIDE utilizando os testes de QI da publicação NEMA NU-4/2008: Uniformidade; Razão *SpillOver* e Coeficientes de Recuperação.

Os resultados dos testes IQ das imagens reconstruídas com as duas normalizações de interesse foram avaliados através do teste *t de Student* para verificar se eram estatisticamente iguais ou não. Nesta etapa, foi utilizado o *software* MiniTab. Foi considerado o nível de significância  $\alpha=95\%$  ( $P > 0,05$ ). A hipótese nula adotada considerou que as médias analisadas eram iguais.

## RESULTADOS

A Figura 4 apresenta imagens PET reconstruídas com as duas normalizações de interesse.

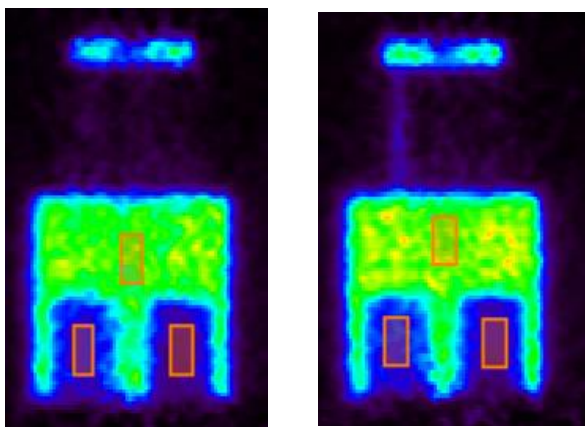


Figura 4. Imagens PET do simulador QI NEMA em duas reconstruções. Esquerda: normalização com fonte de Ge-68. Direita:

normalização com fonte com fonte alternativa.

A análise estatística (usando o teste *t de Student*) dos resultados (em triplicata) dos testes NEMA de uniformidade, razão *SpillOver* e coeficiente de recuperação revelou que para ambas as reconstruções – com a normalização usando a fonte de Ge-68 e a normalização usando a fonte alternativa – são estatisticamente iguais.

Assim, a viabilidade da substituição da fonte comercial de Ge-68 por uma fonte alternativa preenchível recarregável ficou demonstrada.

## CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu desenvolver uma fonte radiativa preenchível recarregável para a realização da rotina de Normalização no equipamento LabPET SOLO 4 PET do LIM/CDTN.

A análise estatística dos ensaios realizados, permiti concluir que a substituição da fonte comercial de Ge-68 pela fonte alternativa é viável.

Este resultado permitirá uma significativa economia de recursos financeiros ao LIM/CDTN, ao dispensar a compra regular de fontes comerciais para a normalização do tomógrafo PET dedicado a pequenos animais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GE Healthcare Technologies, Triumph Service Guide Technical Publication, 2011

[2] NEMA - National Electrical Manufacturers Association. Performance Measurements of Small Animal Positron Emission Tomographs, 2008

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq, CDTN/CNEN, IAEA.

# DESENVOLVIMENTO DE UMA SUPERFÍCIE NANOESTRUTURADA DE TITÂNIA RECOBERTA COM COLÁGENO TIPO I

Caio Fabrini Rodrigues, Tatiane Cristine Silva de Almeida e Maximiliano Delany Martins  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

O implante ósseo odontológico expressa grande demanda na clínica atualmente. Em sua maioria, feito de titânio (Ti), devido às suas propriedades biocompatíveis e sua capacidade de osseointegração [1], as superfícies dos implantes podem ser modificadas de diversas maneiras para que haja uma melhora no processo de osseointegração.

A anodização é uma técnica utilizada com a finalidade de formar uma camada nanotubular na superfície do Ti. Uma camada de óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) se forma espontaneamente na superfície do Ti, conferindo uma maior biocompatibilidade à superfície nanotubular.

O modelo de implante mais utilizado atualmente é conhecido como SLA (jateada seguida por ataque ácido). Entretanto, outras técnicas de modificação físico-químicas e revestimentos bioquímicos estão sendo estudados com o objetivo de desenvolvimento e aperfeiçoamento da integração óssea dos implantes.

O colágeno tipo I (Col I) é o principal componente orgânico da matriz extracelular óssea que quando usado como revestimento das superfícies de implantes ósseos é capaz de aprimorar a osseointegração, uma vez que estimula e acelera a diferenciação e mineralização dos osteoblastos [2].

Funcionalizar implantes de Ti com Col I tem o propósito de estimular a formação óssea à vista de aumentar a taxa de sucesso da cirurgia de implante, comparado à superfície comercial.

## OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o efeito da funcionalização com Col I de superfícies nanotubulares de TiO<sub>2</sub> em células osteoblásticas, comparando com superfícies SLA, objetivando a melhora da osseointegração.

## METODOLOGIA

### 1. Preparação das amostras

Duas superfícies foram utilizadas nesta proposta: superfície lisa de Ti que passou pelo procedimento de anodização [3] e SLA, ambas fornecidas pela empresa PecLab Ltda. As amostras foram preparadas na forma de discos.

### 2. Ensaio *in vitro*

Para os ensaios *in vitro*, foram utilizadas amostras com superfície SLA, nanotubular de 20 nm e nanotubular de 20 nm/Col I.

#### 2.1 Cultura Celular

Foi utilizado a linhagem celular de pré-osteoblastos imortalizados MC3T3-E1 subclone 14 (Manassas, Virginia; www.atcc.org). As células foram mantidas de acordo com o protocolo da ATCC. Para os ensaios foram semeadas com 3x10<sup>4</sup> células por poço e realizados em triplicatas.

#### 2.2 Avaliação da viabilidade celular – MTT

A avaliação de viabilidade celular (3 e 7 dias) foi realizada através do ensaio de 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide (MTT) (Life Technologies).



### 2.3 Atividade de fosfatase alcalina (FA)

A atividade da FA foi avaliada (7 dias), mediante ensaio colorimétrico utilizando kit de ensaio de fosfatase alcalina (Colorimetric, Abcam), seguindo as orientações do fabricante.

### 2.4 Análise do potencial de deposição mineral

Foi utilizado (21 dias) uma solução de vermelho de alizarina (Sigma–Aldrich®) na concentração de 40 mmol/L, pH 4,2.

### 3. Análise estatística

Foi utilizando o software *GraphPad Prism* versão 8.0. Os dados foram apresentados como média  $\pm$  desvio padrão e comparados estatisticamente com  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

A superfície 20nm/Col I apresentou uma maior viabilidade quando comparado a superfície 20 nm (3 dias) e em relação a superfície SLA no período de 7 dias.

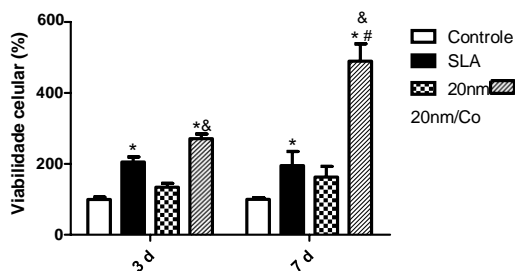


Figura 1: Viabilidade celular (%) MTT

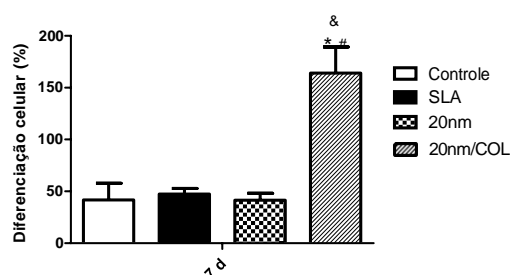


Figura 2: Diferenciação celular

A produção da FA dos osteoblastos em contato com a superfície 20 nm/Col I, foi maior quando comparado às demais superfícies avaliadas (Fig. 2), indicando uma satisfatória diferenciação celular

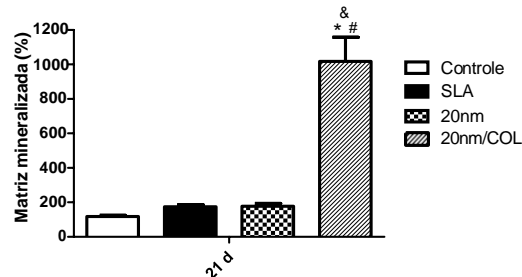


Figura 3: Mineralização celular (%)

Foi observado um aumento da porcentagem de mineralização para a superfície 20 nm/Col I, quando comparado às demais superfícies.

## CONCLUSÕES

A superfície 20 nm/Col I, apresentou resultados promissores *in vitro* em relação as superfícies SLA e 20 nm não funcionalizadas com Col I.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Shibata, Y. A. *et al.* Review of improved fixation methods for dental implants. Part I: Surface optimization for rapid osseointegration. *J. Prosthodont. Res*, v. 59, p. 20-33, 2015.

[2] Ao, H. Y. *et al.* Covalently immobilised type I collagen facilitates osteoconduction and osseointegration of titanium coated implants. *J. Orthop. Translat.*, v. 5, p.16–25,2015.

[3] Marchezini, E. *et al.* Controlling morphological parameters of a nanotubular TiO<sub>2</sub> coating layer prepared by anodic oxidation. *Mater. Res. Express*, v. 7, p. 025017, 2020.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CDTN/CNEN, CAPES, FINEP e FAPEMIG

# Nanoplateformas grafeno/ouro-biomoléculas para o biossensoriamento da Paracoccidioidomicose

Diego Raphael Lewer Silveira e Clascídia Aparacida Furtado  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

A paracoccidioidomicose (PCM) é uma das principais doenças fúngicas sistêmicas da América Latina. No Brasil, como a doença não é de notificação compulsória pelos órgãos de saúde pública, é difícil estimar a sua incidência.

A adesão dos propágulos infecciosos de *P. brasiliensis* durante a infecção das células hospedeiras é o passo inicial para a subsequente invasão, colonização e multiplicação fúngica. Quando inalados, os propágulos migram até os alvéolos onde sofrem a transformação da fase micelial para leveduriforme. Esses propágulos podem ser disseminados, por via hematogênica ou linfática, para os demais órgãos, permanecerem no local ou serem eliminados pelo sistema imune do hospedeiro.

Diante a importância da detecção dessa doença, os biossensores óticos representam uma boa alternativa de sistemas de detecção simples, de baixo custo, sensíveis, reprodutíveis e rápidos, podendo ser implantados como dispositivos do tipo point of care para diagnóstico e tratamento precoce, os quais podem ser utilizados sem a necessidade de estrutura laboratorial em qualquer região, mesmo as mais distantes das grandes cidades, e serem conduzidos por equipes de saúde locais treinadas.

## OBJETIVO

Desenvolver sistemas biossensor baseadas em grafenos e/ou nanobastões de ouro e peptídeos da proteína Pb27r de *Paracoccidioides brasiliensis*.

## METODOLOGIA

A manutenção dos fungos foi realizada por repique semanal em meio de cultura YPD Agar, mantido em estufa à 36°C, e em meio de cultura YPD em caldo, mantido sob agitação em shaker (150 rpm) à 37°C.

Nanobastões de ouro foram funcionalizados com diferentes concentrações de ácido lipóico e incubados por 30 minutos em banho ultrassônico a 55°C. Em seguida, a temperatura do banho foi abaixada para 30°C e o sistema foi incubado nessa condição por mais duas horas. Após esse tempo, os nanobastões foram centrifugados a 4.000g por 10 minutos e ressuspensos em água do tipo I para leitura em espectrofotômetro.

## RESULTADOS

Para dar início ao estabelecimento da cultura, o fungo foi inoculado em meio de cultura YPD-ágar fazendo estrias na superfície do ágar. Após 7 dias do inóculo foi possível perceber o crescimento de colônias através de sua forma característica parecida com “couve-flor” somente para o fungo *P. lutzii*. Já para o estabelecimento da cultura do fungo em meio YPD-caldo, uma alça contendo inóculo do *P. lutzii* foi transferida para o meio em caldo e nos 7 dias subsequentes foi observado a turvação do meio e células características, com formato de roda de Leme, na câmara de Neubauer (Figura 2 A e B). Esses resultados mostram o sucesso do estabelecimento da cultura do fungo *P. lutzii*.

Inicialmente, os GNRs passaram por uma funcionalização com ácido lipóico com o objetivo de adicionar um grupo carboxila, ao qual a proteína (Pb27r) se ligará na

superfície dos nanobastões. Nessa etapa, foi realizada uma curva de saturação da solução de ácido lipóico na superfície dos GNRs com diferentes concentrações e submetidos a ciclos de ultra-sonicação. A efetiva ligação do ácido à superfície dos GNRs pode ser confirmada através de espectroscopia UV-visível, onde a observação do deslocamento (maior que 3 nm) da banda longitudinal para a direita do espectro evidencia a interação ocorrida. Foi observado deslocamento da para todas as concentrações testadas do agente funcionalizante. O desvio aumentou gradualmente até atingir a concentração de 8 mM (Tabela 1). Após esse ponto, houve apenas diferença de 1 nm no deslocamento, indicando que o sistema alcançou a saturação. Assim, para a construção da nanoplataforma, os GNRs devem ser funcionalizados com 8mM de ácido lipóico.

## CONCLUSÕES

Com esse trabalho foi possível estabelecer a melhor concentração do agente funcionalizante na superfície dos GNRs e estabelecer a cultura do fungo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]Goes, 2014] GÓES, A. M. de; SILVA, L. da S. S.; ARAÚJO, S. de A.; CRUZ, S. G. da; SIQUEIRA, W. C.; PEDROSO, E. R. P. Paracoccidioidomicose (doença de LutzSplendoreAlmeida): etiologia, epidemiologia e patogênese. Revista Medica de Minas Gerais, v. 24(1), p. 61-66, 2014.

[2][COITINHO, 2019] COITINHO, J. B.; COSTA, M.A.F.; MELO, E. M.; MORAIS, E. A.; DE ANDRADE, L. G.A.; DA ROCHA, A. M.; DE MAGALHÃES, M.A T.Q.; FAVARO, D. C.; BLEICHER, L.; PEDROSO, E. R.P.; GOES, A. M.; NAGEM, R. A.P. Structural and immunological characterization of a new nucleotidyltransferase-like antigen from

Paracoccidioides brasiliensis. Molecular immunology, v. 112, p. 151-162, 2019.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq, FAPEMIG, CDTN.

# Estudo de lixiviação de elementos terras raras do minério da mina Morro do Ferro - Caldas, MG

Gabriel Santos Almeida e Carlos Antônio de Moraes  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

As terras raras (TR) são um grupo de 17 elementos químicos, conhecida por sua crescente relevância tecnológica em diversas indústrias modernas. Suas aplicações abrangem desde eletrônicos avançados, como smartphones e computadores, até tecnologias de energia renovável e sistemas de defesa. [1,2]

A lixiviação é uma das etapas-chave no processo de extração de elementos de terras raras de seus minérios e resíduos. Esse processo envolve a dissolução seletiva dos elementos de interesse, permitindo a sua separação e posterior recuperação. No entanto, a lixiviação de terras raras é um desafio complexo devido à sua baixa concentração nos minerais, bem como à presença de outros elementos e impurezas. [3]

O trabalho realizado contempla o estudo de lixiviação dos elementos terras raras (ETR) da Mina Morro do Ferro, localizada em Caldas, MG. O mineral portador dos elementos terras raro presentes neste minério trata-se da bastnazita. A amostra a ser estudada foi fornecida pela Mineração Terras Raras Ltda.

## OBJETIVO

Investigar as melhores condições para lixiviação dos elementos de terras raras presentes no minério de bastnazita investigado.

## METODOLOGIA

Primeiramente a amostra foi peneirada utilizando as seguintes malhas: 20# - 0,841mm, 100# - 0,149mm e 150# - 0,066mm). Em seguida, foi homogeneizada

e quarteada em amostras de 20 gramas e enviadas para caracterização química e mineralógica. Posteriormente foram realizados os testes em bancada com diferentes condições (granulométrica agente extratante e razão ácido/amostra). O estudo compreendeu-se de digestão sulfúrica da amostra utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% a 200°C para a sulfatação dos elementos de interesse e posterior dissolução destes mediante lixiviação clorídrica.

Os testes de lixiviação clorídrica foram realizados em béquer com agitação mecânica em banho maria à 70°C, por 2 horas e em seguida filtrado á vácuo. Posteriormente, o licor gerado teve seu volume medido e, após lavado, o resíduo foi seco em estufa a 100oC, pesado, pulverizado e enviado para caracterização química.

**Caracterização da amostra:** Segue a baixo a caracterização química (EDX - % em peso) da amostra:

Óxidos	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Composição	1,2	2,5	0,250	0,450

Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 1 – 3. A figura 1 apresenta o efeito da temperatura nas faixas granulométricas investigadas, na dissolução dos ETR. Considerando que o Nd é o elemento de maior valor econômico entre os ETR presentes na amostra, a dissolução do mesmo está apresentada na Figura 2. A Figura 3 apresenta a dissolução de outros metais presentes na amostra, como U, Th, Fe e Al e a dissolução do Ce e Nd para a granulometria <150# (0,06mm). Nos gráficos, pode-se observar um aumento da dissolução com

o aumento da RAM e da redução da granulometria da amostra.

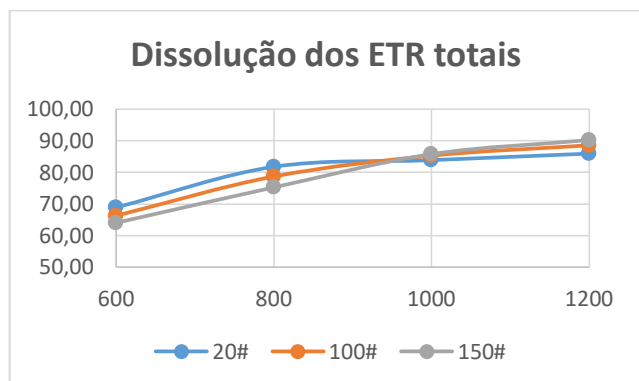


Figura 1 - Efeito da porcentagem de dissolução das terras raras com razão ácido/minério (kg/t) das granulometrias 20#, 100# e 150#.

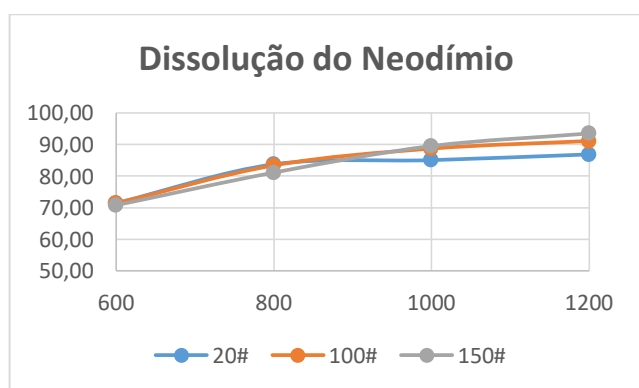


Figura 2 - Efeito da porcentagem de dissolução de Neodímio com razão ácido/minério (kg/t) das granulometrias 20#, 100# e 150#.

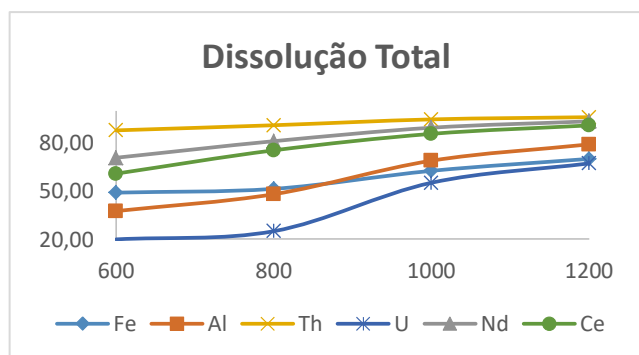


Figura 3 - Efeito da porcentagem de dissolução dos principais elementos com razão ácido/minério (kg/t) na granulometria de 150#.

A figura 3 mostra a dissolução de vários elementos de não interesse. A remo-

ção do ferro, tório e urânio do licor é realizada por extração por solvente utilizando-se uma mistura de extratantes que também co-extrai outros elementos como o titânio, vanádio e o nióbio. Em seguida pode ser realizada a etapa de precipitação com cal até o pH 10 para remover o alumínio. Acima do pH 10 o alumínio é solúvel formando o complexo  $Al_2(OH)_4^-$ .

## CONCLUSÕES

O uso das técnicas de digestão sulfúrica seguida da lixiviação clorídrica da bastnazita foram demonstradas nesse trabalho. Os melhores resultados se deram para minério <150 mesh (#) ou 0,06mm nas condições de digestão sulfúrica a 200°C por 4 horas e relação ácido/minério de aproximadamente 1200 kg/t, seguida de lixiviação com HCl (70°C) por 2 horas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

# Simulação neutrônica de um Accelerator Driven System (ads) para regeneração de tório

Geovana Loren da Cruz e Graiciany de Paula Barros.  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Os Accelerator Driven Systems (ADS) são sistemas híbridos subcríticos em que partículas carregadas produzidas por um acelerador são usadas para induzir reações de spallation em algum material alvo, resultando na produção de nêutrons que são usados em um núcleo de reator subcrítico para manutenção das fissões em cadeia.

O sistema deste conceito de reator é formado por um núcleo subcrítico e um acelerador de prótons externo. Algumas das vantagens do ADS são: ausência de acidentes de reatividade, alta capacidade de transmutação, baixa produção de resíduos radioativos e melhor utilização dos recursos naturais em longo prazo [1].

## OBJETIVO

Adequar a geometria do núcleo do ADS para as dimensões axiais do SMR NuScale [2] e as dimensões radiais das barras de combustível baseadas no benchmark BEAVRS [3].

## METODOLOGIA

As simulações neutrônicas foram realizadas utilizando o código SERPENT Monte Carlo versão 2.1.32 [4] e a biblioteca de dados nucleares ENDF / B-VII [5]. A geometria padrão do ADS desenvolvida por [1] é mostrada na Fig. 1.

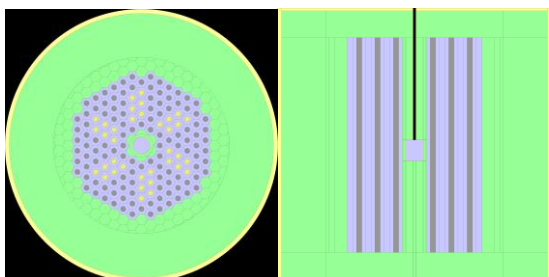


Figura 1. Configuração padrão do ADS.

Foram feitas modificações na geometria das barras de combustível do núcleo do reator

mencionado. As mudanças visaram ajustar as dimensões do núcleo para se adequarem ao NuScale e ao BEAVRS. As alterações incluíram a redução do raio das barras de combustível de 3 cm para 0,39218 cm e a diminuição do comprimento de 402 cm para 200 cm.

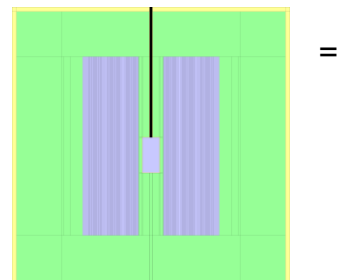
A segunda alteração realizada na geometria padrão do ADS corresponde à adição de mais barras de combustível na rede hexagonal do núcleo padrão. Após a adição das barras de combustível, foram realizadas análises da subcriticalidade do ADS com duas técnicas diferentes de reprocessamento [6].

Para a técnica GANEX, foram avaliados combustíveis diluídos com concentrações de 50% e 51% de tório, assim como concentrações de 50% e 51% de urânio. De maneira similar, a técnica UREX+ foi testada com diluições de 50% e 51% de tório, além de diluições de 50% e 51% de urânio.

## RESULTADOS

Após a redução do raio de 3 cm para 0,39218 cm e do comprimento de 402 cm para 200 cm, para o sistema atingir a subcriticalidade foi preciso adicionar mais varetas de combustível. Utilizou-se como parâmetro inicial o valor do  $k_{\text{eff}}$  obtido com a geometria padrão do núcleo apresentado na figura 1.

O valor do fator de multiplicação da geometria padrão simulada foi de  $k_{\text{eff}} = 0,958 \pm 0,00029$ . Portanto, a quantidade de barras de combustível foi estimada



realizando diversas simulações neutrônicas. Foram utilizadas 73 barras de combustível inseridas na rede hexagonal do núcleo, totalizando 11.388 barras de combustível, como é mostrada na Fig. 2.

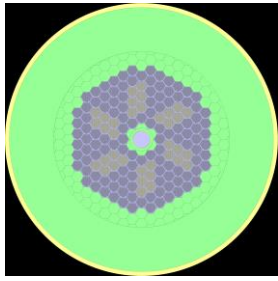


Figura 2.  
Configuração  
modificada do ADS

Após a definição da geometria do núcleo do reator, avaliou-se a criticidade do sistema com as duas técnicas de reprocessamento, GANEX e UREX+. Os valores obtidos para cada técnica são apresentados na tabela 1 e 2.

REPROCESSAMENTO GANEX			
Diluição Tório		Diluição Urânio	
%	$k_{eff}$	%	$k_{eff}$
51	$0,940412 \pm 0,00039$	51	$0,977134 \pm 0,00013$
50	$0,953757 \pm 0,00080$	50	$0,986631 \pm 0,00015$

TABELA 1. Fatores de Multiplicação

TABELA 1. Fatores de Multiplicação

REPROCESSAMENTO UREX+			
Diluição Tório		Diluição Urânio	
%	$k_{eff}$	%	$k_{eff}$
51	$0,936944 \pm 0,00030$	51	$0,970904 \pm 0,00021$
50	$0,949573 \pm 0,00026$	50	$0,983462 \pm 0,00015$

GANEX.

TABELA 2. Fatores de Multiplicação UREX+.

Ao avaliar os valores de criticidade para as mesmas concentrações de diluição em tório e urânio apresentadas na tabela 1 e 2, observa-se um maior fator de multiplicação para as diluições em urânio. Esse fato justifica-se devido a maior concentração de material físsil, sendo eles o  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{239}\text{Pu}$  presente na diluição em urânio pelo reprocessamento GANEX e UREX+.

## CONCLUSÕES

Os resultados das simulações neutrônicas mostraram que a criticidade

diminui mais suavemente para as técnicas de reprocessamento GANEX e UREX+. A suavidade na redução da criticidade para diluição em urânio é caracterizada pela presença em maior quantidade de isótopos físséis ( $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{239}\text{Pu}$ ) na composição destes combustíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Barros, G. P., "Combustíveis para ADS", Tese de Doutorado, 2014.

[2] Fridman, E., Bilodid, Y., Valtavirta, V., "Definition of the neutronics benchmark of the NuScale-like core", Nuclear Engineering and Technology, 2023.

[3] N. Horelik, B. Herman, B. Forget, and K. Smith. "Benchmark for Evaluation and Validation of Reactor Simulations (BEAVRS), v1.0.1." In. Proc.M&C 2013. Sun Valley, ID (2013)

[4] Leppanen, J., Pusa, M. Viitanen, T., Valtavirta, V., Kaltiaisenaho, T., "The Serpent Monte Carlo Code: Status, Development and Applications in 2013", Ann. Nucl. Energy, Vol 82.

[5] M. e. a. Chadwick, "ENDF/B-VII.1 nuclear data for science and technology: Cross sections, covariances, fission product yields and decay data," Nuclear Data Sheets, vol. 112, pp.2887–2996, 2011.

[6] Aruquipa, W., Velasquez, C. E., Barros, G. P., Pereira, C., Veloso, M. A. F., Costa, A., "Reprocessing Techniques of LWR spent fuel for reutilization in hybrid systems and IV generation reactors", 2017 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2017, 2017.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

# Medida do perfil de velocidade de escoamento de saída em placas perfuradas impressas

Gustavo Luiz Araújo Ribeiro e André Augusto Campagnole dos Santos  
Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

As placas perfuradas são componentes cruciais dos reatores nucleares, pois desempenham várias funções importantes. Elas são usadas para estruturar os feixes de varetas, filtrar impurezas de maior dimensão e equalizar a distribuição do fluido de resfriamento do reator.[1][2] Essas placas são fabricadas com materiais resistentes à corrosão e à alta temperatura, como aço inoxidável ou titânio. Além disso, elas são perfuradas com orifícios de tamanho e forma específicos para acomodar as varetas de combustível e o fluido de resfriamento.

Para entender um pouco dos processos termo hidráulicos de reatores nucleares podemos utilizar placas perfuradas impressas (em analogia às presentes em reatores) e medir o perfil de velocidade da água que a atravessa. Uma forma de se medir a velocidade de escoamento da água é através do processo de Laser Doppler Anemometry (LDV). Esse processo consiste em medir, através de um laser conectado a um software, a reflexão do feixe em partículas suspensas no fluido, e, a partir do efeito doppler obter suas velocidades.

## OBJETIVO

Medir experimentalmente o perfil de velocidade de diferentes placas impressas por meio da técnica de Laser Doppler Anemometry (LDV) e gerar gráficos com os

dados obtidos por meio da linguagem de programação python.

## METODOLOGIA

Inicialmente é necessário realizar o alinhamento da seção de testes e da placa com o laser. Isso é feito medindo o perfil de velocidade do sistema com o laser se movendo para frente (eixo x) e com o laser se movendo para o lado (eixo y). Como a placa é simétrica, os dados obtidos pelos dois processos devem bater. Fazendo um gráfico com todos os dados, sabemos que a seção está alinhada quando não são obtidos pontos dispersos.

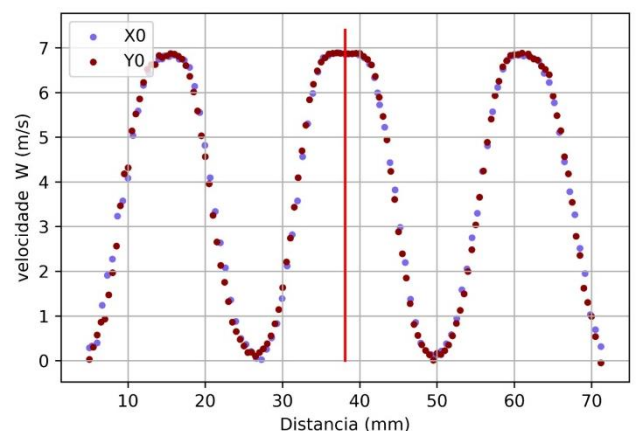


Figura 1. Perfil obtido com o alinhamento do laser.

Em seguida, é necessário criar uma matriz com as coordenadas de todos os pontos em que se deseja medir a velocidade, e enviá-



la para o software que controla uma mesa que movimenta o laser. O software do laser é conectado ao da mesa, desse modo, ao iniciar a captura de dados, a mesa movimenta o laser e ele coletará dados para cada coordenada especificada. Por fim, é preciso fazer o tratamento dos dados e produzir os gráficos por meio de códigos em Python.

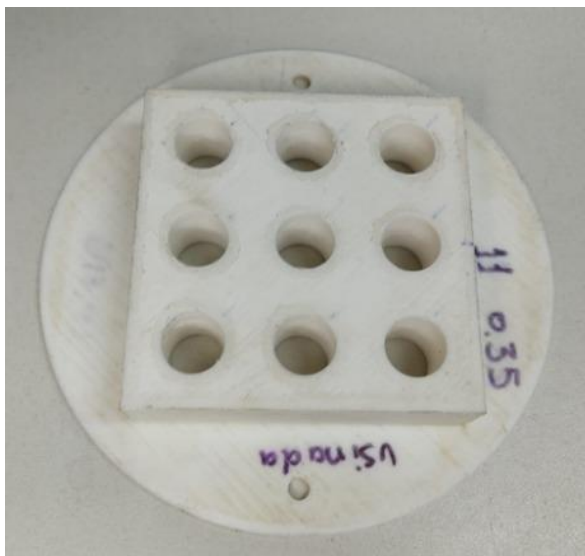


Figura 2. Placa perfurada utilizada nos experimentos.

## RESULTADOS

Em uma das medidas realizada com o laser posicionado entre dois furos e se movendo para baixo da placa (eixo z) obtivemos o seguinte padrão:

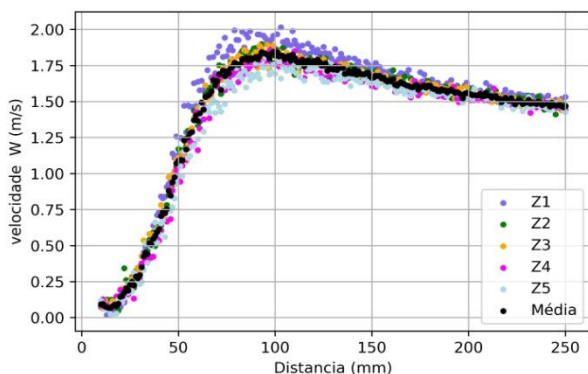


Figura 3. Velocidade de saída da água em função da distância

## CONCLUSÃO

Concluimos portanto nesse caso que a região por onde a água sai de modo mais turbulento e com maior velocidade é entre 50 e 100 mm abaixo da placa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. A. C. Santos e M. A. Navarro, Modelagem numérica de escoamento através de placas perfuradas, International Nuclear Atlantic Conference- INAC 2005, Santos, 28 agosto (2005).
- [2] B. Y. Guo et al., Numerical modeling of the gas flow through perforated plates, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 91, pp. 403-408 (2013).
- [3] F. A. P. Magalhães, Modelagem do Escoamento de Água Através de Placas Perfuradas com Validação Experimental, Dissertação, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (2007)
- [4] J. A. B. Filho et al., Effect of chamfer geometry on the pressure drop of perforated plates with thin orifices, Nuclear Engineering and Design, Vol. 284, pp. 74-79 (2015).
- [5] P. Tanner et al., Flow-pressure drop characteristics of perforated plates, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Vol. 29, pp. 4310-4333 (2019)

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq/PIBIC e CNEN/CDTN.

# A influência da pressão e vibração em argamassas geopoliméricas com adição de resíduo de mineração.

Hellen Késia Santos de Souza, Carolina Braccini Freire  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN

## INTRODUÇÃO

Geopolímeros são polímeros de natureza inorgânica, obtidos por meio da ativação alcalina de alumínio-silicatos. Neles ocorre um processo de geopolimerização que em duas etapas através da reação de um alumino-silicato sólido e uma solução de hidróxido alcalino formando um alimino-silicato sintético (DAVIDOVITS 2002 apud FERREIRA et al., 2020).

O presente trabalho busca avaliar a influência da vibração e pressão na resistência dos materiais geopoliméricos com agregados de resíduo de mineração durante o processo de endurecimento.

## OBJETIVO

Realizar a síntese de argamassas geopoliméricas com diferentes composições com a aplicação de pressão e vibração durante a moldagem dos corpos de provas. Buscando observar os efeitos causados na resistência à compressão e na absorção de água.

## METODOLOGIA

As argamassas geopoliméricas produzidas apresentam na sua composição o metacaulim, hidróxido de sódio, silicato e rejeito. Após a obtenção da argamassa foram moldados corpos de provas cilíndricas, que transcorreram para um processo de vibração em um vibrador pneumático e pressão realizada com uma prensa feita de cano PVC e esferas de chumbo.

Foi realizado com os corpos de provas ensaios de absorção e compressão, de acordo com as normas NBR 9778 e a NBR7215 respectivamente, os ensaios estão demonstrados na figura 1.

Figura 1: Ensaios de Absorção e Compressão

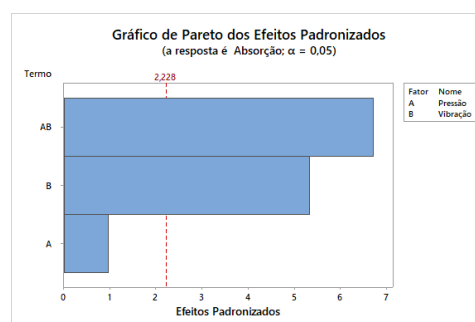


Fonte: elaborado pelo autor

## RESULTADOS

Com o minitab 2019 foram gerados gráficos de Pareto e efeito, para avaliar a influência dos fatores nos corpos de provas. Na figura 3 é possível notar a interação entre a pressão (Fator A) e vibração (Fator B).

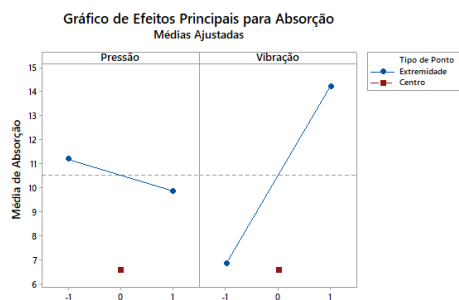
Figura 3. Gráfico de Pareto Absorção



Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico de pareto demonstra que a pressão não exerce influência na absorção, enquanto a vibração se mostra significativa, assim como a interação entre esses fatores também apresenta resultados positivos, já a figura 4 apresenta o gráfico de efeito que demonstra a influência de cada fator.

Figura 4. Gráfico de Efeito Absorção

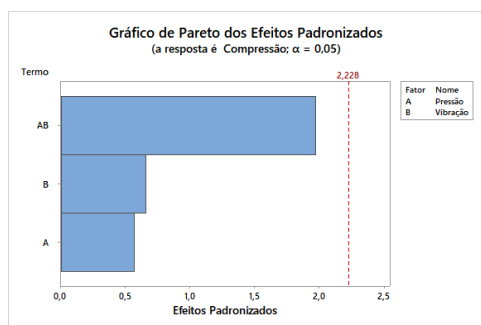


Fonte: elaborado pelo autor

No gráfico de efeitos é possível observar que a vibração tem um efeito maior do que a pressão em relação a absorção, confirmando os dados disponibilizados no gráfico de pareto.

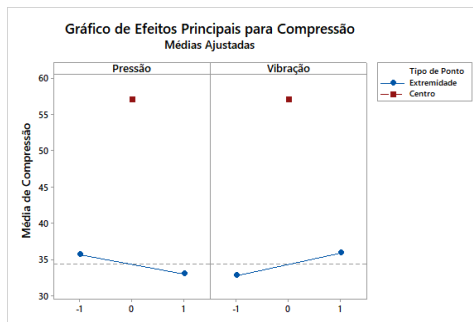
Além dos dados gerados para a absorção, foram obtidos gráficos para a compressão. Na figura 6 encontra-se o gráfico de pareto.

Figura 6. Gráfico de Pareto Compressão



Fonte: elaborado pelo autor

Na compressão é possível notar que nenhum dos fatores foram significativos e nem a interação entre eles. No gráfico de efeitos podemos confirmar esse resultado.



Fonte: elaborado pelo autor

## CONCLUSÕES

Observa-se que a influência da pressão e vibração não são significativas em relação a compressão, mas apresenta bons resultados para absorção, principalmente quando aplicada em conjunto durante a moldagem dos corpos de provas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DAVIDOVITS, J. Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications. In: GEOPOLYMER 2002 CONFERENCE, 2002, Melbourne
- [2] FERREIRA, Joubert Paulo et al. OBTENÇÃO DE GEOPOLÍMERO A PARTIR DO METACAULIM COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO DEPOSITADO NA BARRAGEM DE CÓRREGO DO FEIJÃO. In: CONRESOL, 3., 2020, Gramados. Artigo. Gramados: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2020. p. 1-10.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ e Fundação de amparo à pesquisa de Minas Gerais - Fapemig

# Uso do Radiofármaco $^{18}\text{F}$ -NaF no estudo da cardiotoxicidade decorrente da quimioterapia e do consequente efeito cardioprotetor do exercício aeróbico em modelo murino de câncer de mama

Ianara Pereira Silva e Carlos Malamut  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o câncer de mama é uma das principais causas de morbidade e mortalidade entre as mulheres em todo o mundo. Felizmente, nas últimas décadas o tratamento do câncer tem recebido grandes avanços, levando a um aumento na taxa de sobrevivência dos pacientes. Entretanto, a doença cardiovascular provocada pelo uso de agentes quimioterápicos, como a doxorubicina tem sido a causa mais comum da mortalidade de pacientes com câncer de mama e que viveram mais do que 9 anos após o tratamento (2) (3) (4) (6).

Uma ferramenta que pode ser útil na detecção de eventos cardiovasculares é a Tomografia por Emissão de Pósitrons (1). Para isso, o  $^{18}\text{F}$ -fluoreto de sódio ( $^{18}\text{F}$ -NaF) vem sendo utilizado no estudo e diagnóstico da doença arterial coronariana, em que há presença de placa aterosclerótica (5).

## OBJETIVO

O objetivo geral do presente projeto é utilizar o  $^{18}\text{F}$ -NaF, para o estudo da cardiotoxicidade decorrente da quimioterapia e do consequente efeito cardioprotetor do exercício aeróbico, utilizando um modelo murino de câncer de mama. Este estudo visa ainda a aplicação desta ferramenta para o diagnóstico precoce e avaliação do prognóstico de doença cardiovascular em pacientes com câncer de mama submetidos à quimioterapia.

## METODOLOGIA

Para realização desse estudo os camundongos foram inoculados com células de tumor de mama murino. O tratamento com DOXO foi iniciado no 7º dia após a inoculação das células de tumor de mama e foi realizado 1 vez na semana durante 5 semanas, e o treinamento físico aeróbico 4 vezes na semana.

As imagens positrônicas do  $^{18}\text{F}$  NaF foram adquiridas no MicroPET e foram realizadas na primeira e última semana após o início do tratamento com DOXO livre.

## RESULTADOS

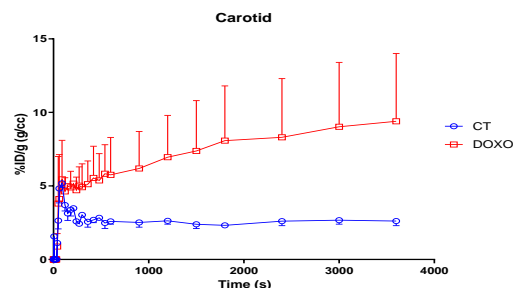


Figura 1 – Comparação entre grupos da dose injetada por grama na artéria carótida ao longo do tempo.

As regiões septais, a parede lateral e cavidade do ventrículo esquerdo demonstram menos concentração do radiofármaco, porém há uma visível diferença que pode ser explicada pela possível sobrecarga de sódio e cálcio nos cardiomiócitos do grupo tratado com o quimioterápico. A região com maior diferença entre os animais tratados e

controle é a da artéria carótida (fig 1). Ainda que se considere o erro padrão, existe a hipótese de haver efeitos colaterais da doxorubicina.

Hipotetizamos que, durante a disfunção ventricular e consequente insuficiência cardíaca, ocorre uma hiperativação dos co-transportadores de sódio-glicose a nível renal. Dessa forma, pode ser observada uma maior reabsorção de sódio, glicose e água pelos túbulos renais. Tal reabsorção, associada a ativação do trocador sódio-hidrogênio no coração e na vasculatura (isoforma NHE1) e nos rins (isoforma NHE3) pode servir como um mecanismo comum que leva a sobrecarga de sódio e cálcio e resistência à insulina.

## CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas neste estudo, pôde-se concluir que as imagens PET utilizando  $^{18}\text{F}$  NaF como método de análise da dinâmica do cálcio nas células ao longo do tempo são promissoras. Percebe-se o desenvolvimento de disfunção sistólica e insuficiência cardíaca nos animais tratados, sobrecarga de cálcio na dinâmica fisiológica de cardiomiócitos e uma possível deposição de cálcio nas artérias desses animais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALCANTARA, D.; LEAL, M. P.; GARCÍA-BOCANEGRA, I.; GARCÍA-MARTÍN, M. L. Molecular imaging of breast cancer: present and future directions. **Frontiers in chemistry**, 2, p. 112, 2014.

[2] ALTER, B. P.; GIRI, N.; SAVAGE, S. A.; PETERS, J. A. *et al.* Malignancies and survival patterns in the National Cancer Institute inherited bone marrow failure syndromes cohort study. **British journal of**

**haematology**, 150, n. 2, p. 179-188, 2010

[3] ASSELIN, C. Y.; LAM, A.; CHEUNG, D. Y.; EEKHOUDT, C. R. *et al.* The cardioprotective role of flaxseed in the prevention of doxorubicin-and trastuzumab-mediated cardiotoxicity in C57BL/6 mice. **The Journal of nutrition**, 150, n. 9, p. 2353-2363, 2020.

[4] CHEN, J. J.; WU, P.-T.; MIDDLEKAUFF, H. R.; NGUYEN, K.-L. Aerobic exercise in anthracycline-induced cardiotoxicity: a systematic review of current evidence and future directions. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, 312, n. 2, p. H213-H222, 2017.

[5] RABELO, P. C.; CORDEIRO, L. M.; AQUINO, N. S.; FONSECA, B. B. *et al.* Rats with higher intrinsic exercise capacities exhibit greater preoptic dopamine levels and greater mechanical and thermoregulatory efficiencies while running. **Journal of Applied Physiology**, 126, n. 2, p. 393-402, 2019.

[6] STURGEON, K. M.; KY, B.; LIBONATI, J. R.; SCHMITZ, K. H. The effects of exercise on cardiovascular outcomes before, during, and after treatment for breast cancer. **Breast cancer research and treatment**, 143, n. 2, p. 219-226, 2014.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e CNEN/CDTN e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

# Desenvolvimento de Aplicação Web para Deconvolução de Espectros Neutrônicos

Igor Andrade Machado, Marco Aurélio de Sousa Lacerda  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN

## INTRODUÇÃO

A espectrometria neutrônica é importante para a completa caracterização do campo de radiação nos ambientes de trabalho com fontes neutrônicas. O sistema de espectrometria de multiesferas de Bonner, mais comumente conhecido como Espectrômetro de Bonner (EB), é largamente empregado na espectrometria neutrônica<sup>[1]</sup>. O espectro de nêutrons é obtido a partir de medidas de EB usando códigos computacionais com um algoritmo de desdobramento que resolve uma versão discretizada do problema descrito pela equação integral de Fredholm de primeiro tipo. Os principais algoritmos presentes nesses códigos computacionais são baseados no método dos mínimos quadrados (linear e não linear), máxima entropia, método Bayesiano, genético e redes neurais<sup>[2]</sup>. Os códigos Chameleon (CHAM) e SpecUnPy Web (SUPW) utilizam os algoritmos GRAVEL<sup>[3]</sup>, MLEM<sup>[4]</sup>, SPUNIT<sup>[5]</sup>. São apresentadas as principais funcionalidades da Aplicação Web Progressiva (PWA) e testes realizados para validação do código.

## OBJETIVO

O objetivo é desenvolver/implementar um código aplicação Web para deconvolução de espectros neutrônicos.

## METODOLOGIA

A linguagem de programação Python<sup>[6]</sup> foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, com apoio do framework Streamlit<sup>[7]</sup> e seus respectivos módulos, permitindo a visualização dos códigos na plataforma web. Os seguintes pacotes

python também foram utilizados: Pandas, NumPy, Math, Matplotlib e Xlsxwriter.

Os códigos CHAM e SUPW estão disponibilizados, respectivamente, em:

<https://chameleon.streamlit.app/>

<https://specunpy.streamlit.app/>

Neste trabalho são realizados testes para validação do código, utilizando os dados de cenários de exposição realistas propostos no exercício de intercomparação de códigos de desdobramento EURADOS<sup>[8]</sup>:

- a) Calibration Room;
- b) Workplace Scenario.

## RESULTADOS

O processo de desdobramento foi iniciado selecionando a opção “Unfold” no Menu. Ao fim da inserção dos dados, o PWA prossegue com o processo de desdobramento e exibe na tela os resultados. É possível verificar a consistência dos resultados e, se necessário, fazer alterações antes de salvar o arquivo final.

A Tabela 1 mostra resultados da deconvolução dos espectros a) e b) para CHAM/SUPW e comparação em relação a referência<sup>[8]</sup>.

As grandezas integrais mostradas são: taxa de fluência total ( $\phi_{total}$ ), taxa ambiente de dose equivalente ( $H^*(10)$ ) e energia média de fluência ( $E_{av}$ ), com diferenças de 0,3%, 3,0% e 9,7%, respectivamente, para o caso a) e, diferenças de 2,6%, 5,0% e 5,7% para o caso b).

TABELA 1. Comparação das grandezas integrais calculadas com os códigos CHAM/SUPW e a referência.

	a) Calibration Room			b) Workplace Scenario		
	$\Phi_{total}$ [cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	H*(10) [pSv · s <sup>-1</sup> ]	E <sub>av</sub> [MeV]	$\Phi_{total}$ [cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	H*(10) [pSv · s <sup>-1</sup> ]	E <sub>av</sub> [MeV]
Referência <sup>[8]</sup>	6.92E+00	8.82E+02	5.10E-01	2.29E+01	2.32E+03	5.03E-01
SPUNIT CHAM/SUPW	6.94E+00	8.96E+02	5.40E-01	2.27E+01	2.19E+03	5.06E-01
GRAVEL CHAM/SUPW	6.94E+00	9.09E+02	5.59E-01	2.27E+01	2.19E+03	4.97E-01
MLEM CHAM/SUPW	6.93E+00	9.09E+02	5.59E-01	2.27E+01	2.20E+03	4.97E-01

## CONCLUSÕES

Este trabalho mostra resultados de testes de validação dos códigos de computação em nuvem CHAM/SUPW. Ambos resolvem o problema de desdobramento do espectro de nêutrons e são intuitivos, possibilitando a aplicação em diversos locais de trabalho.

Implementações futuras incluem a inserção do algoritmo MAXED além da propagação de incertezas das grandezas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] (Thomas, D. J., Alevra, A. V.) Nucl. Inst.. Met. Phys. Res. A, “Bonner sphere spectrometers – a critical review”, Vol. 476. pp. 12 – 20, 2002.

[2] (Reginato, M.) Rad. Meas, “Overview of spectral unfolding techniques and uncertainty estimation”, 45, 1323-1329, 2010.

[3] (Matzke, M.), “Unfolding of pulse height spectra: the HEPRO program system”, SCAN-9501291, 1994.

[4] (Montgomery, L., Landry, A., Al Makdessi, G., Mathew, F., Kildea, J.) Nucl. Instrum. Met. Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect, “A novel MLEM stopping criterion for unfolding neutron

fluence spectra in radiation therapy”, Assoc. Equip. 957, pp. 163400, 2020.

[5] (Lowry, K. A. and Johnson, T. L.) Naval Research Lab, “Modifications to Iterative Recursion Unfolding Algorithms and Computer Codes to Find More Appropriate Neutron Spectra”, No. NRL-MR-5340, 1984.

[6] Python 3 Documentation, em: <https://docs.python.org/3/>, acessado em agosto de 2022.

[7] Streamlit API Reference, em: <https://docs.streamlit.io/en/stable/api.html>, acessado em agosto de 2022.

[8] (Gómez-Ros, J., Bedogni, R., Domingo, C., Eakins, J., Roberts, N., Tanner, R.) Rad. Meas., “Results of the EURADOS international comparison exercise on neutron spectra unfolding in Bonner spheres spectrometry”, Vol. 153, pp. 106755, 2022.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

# Avaliação pré-clínica da estabilidade radioquímica *in-vitro* do novo radiofármaco PSMA-1007 (18 F)

Irene de Paula Freiheit Côrtes e Marina Bicalho Silveira  
Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

O projeto concentra-se na investigação da estabilidade radioquímica *in vitro* do novo radiofármaco PSMA-1007 (18 F), utilizado no diagnóstico do câncer de próstata. O câncer de próstata é o segundo tipo de câncer mais comum entre os homens, os exames padrão ouro para investigação da suspeita correspondem: o exame de toque e a dosagem sérica do antígeno prostático (do inglês *Prostate-Specific Antigen, PSA*) (INCA 2021).

Segundo a Organização Mundial da Saúde a detecção precoce do câncer de próstata é vital para o sucesso do tratamento. Deste modo, o radiofármaco PSMA-1007 (18 F) surge como uma alternativa promissora, pois sua afinidade ao antígeno de membrana específico da próstata (PSMA) permite imagens precisas de tumores através da tomografia por emissão de pósitron (PET).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) exige testes pré-clínicos e clínicos que assegurem a qualidade e segurança dos fármacos, e dentre estes está o teste de estabilidade radioquímica *in-vitro*. A estabilidade pode ser considerada como o período em que a potência do medicamento e seus efeitos são mantidos em até 90% (FURUKAWA 2016).

Considerando que o PSMA-1007 (18 F) é administrado por via intravenosa, sua estabilidade no sangue é essencial para eficácia. Deste modo, o estudo em questão avalia a estabilidade radioquímica do radiofármaco em soro fetal bovino (SFB), visando prever sua estabilidade no sangue (CHEN 2021).

## OBJETIVO

Conduzir um estudo sobre a estabilidade radioquímica do radiofármaco PSMA-1007 (18 F) em soro fetal bovino, a partir da avaliação da pureza radioquímica do mesmo por meio da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

## METODOLOGIA

O estudo avaliou a estabilidade radioquímica do radiofármaco PSMA-1007 (18 F) ao longo de 120 minutos, em quatro intervalos de tempo: (T0); 30 minutos (T1); 60 minutos (T2); 120 minutos (T3). O tempo T0 foi correspondente ao controle de qualidade do radiofármaco sem incubação em soro fetal bovino. Em cada tempo, visando simular as condições extremas do sangue segundo Maisto *et al.*, a solução foi incubada em duas diferentes temperaturas, a 37°C e 4°C.

Após o período de incubação, as proteínas na solução foram precipitadas por meio da adição de acetona fria e, em seguida, submetidas à centrifugação. Essa separação resultou em um pellet (proteínas do SFB) e um sobrenadante turvo (radiofármaco livre e fase aquosa do SFB). O sobrenadante foi filtrado e, posteriormente, analisado por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detecção UV e radioatividade para verificar a estabilidade radioquímica do PSMA-1007 (18 F).

## RESULTADOS

Para garantir a qualidade das análises no cromatógrafo, é fundamental assegurar a adequação de seu sistema a qual é determinada por meio de dois parâmetros. O primeiro envolve a injeção triplicada do



padrão USP PSMA-1007 a 10 ppm, onde o tempo de retenção e a área do padrão devem estar dentro de um desvio padrão relativo aceitável de até 5%. O segundo parâmetro exige a injeção de uma solução resolução composta por duas impurezas conhecidas, C e D, cujos picos devem apresentar uma resolução superior a 1.

A avaliação da estabilidade radioquímica da amostra baseou-se nos resultados da adequação do sistema, nos dados de T0 (controle de qualidade do radiofármaco) e nas especificações definidas pela UPPR para o controle de qualidade do fármaco. No contexto da análise do PSMA 1007 (18F), os critérios para a determinação da pureza radioquímica incluem: tempo de retenção semelhante ao padrão, uma radioatividade mínima de 91% do total, áreas do PSMA 1007 (18F) e impurezas menores do que a do padrão 10 ppm, e uma soma de áreas das impurezas dentro do limite de cinco vezes a área do padrão de PSMA.

Após 120 minutos, a amostra demonstrou estabilidade tanto a 4°C quanto a 37°C. Os resultados de T3 demonstram que o tempo de retenção da amostra permaneceu semelhante ao padrão, à radioatividade do PSMA manteve-se em 100% em ambas as temperaturas, e as impurezas detectadas foram consideradas insignificantes, uma vez que suas áreas não excederam a do padrão 10 ppm, e a soma das áreas respeitou o limite de cinco vezes essa área padrão.

## CONCLUSÕES

Dado o exposto, conclui-se que o radiofármaco PSMA-1007 (18 F) permaneceu estável durante todo o período de incubação. Sendo assim, como discutido previamente, a estabilidade radioquímica *in-vitro* evidenciada no teste pré-clínico em questão sugere que o fármaco possui uma equivalente estabilidade *in-vivo*, fato este corroborado

pelo registro e aprovação do PSMA-1007 (18 F) mediante a Anvisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]Chen, H., Cai, P., Feng, Y. *et al.* In vitro and in vivo comparative study of a novel <sup>68</sup>Ga-labeled PSMA-targeted inhibitor and <sup>68</sup>Ga-PSMA-11. *Sci Rep* **11**, 19122 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98555-y>

[2]Maisto, Costantina; Morisco, Anna; Marino, Roberta De; Squame, Elisabetta; Porfidia, Valentina; D'ambrosio, Laura; Martino, Daria Di; Gaballo, Paolo; Aurilio, Michela; Buonanno, Monica. On Site Production Of [18f]Psm-1007 Using Different [18f]Fluoride Activities: Practical, Technical And Economical Impact. *Ejnmri Radiopharmacy And Chemistry*, [S.L.], V. 6, N. 1, P. 6-36, 13 Out. 2021. Springer Science And Business Media Llc. [Http://Dx.Doi.Org/10.1186/S41181-021-00150-Z](http://Dx.Doi.Org/10.1186/S41181-021-00150-Z).

[3]INCA (Instituto Nacional do Câncer). “Câncer de próstata” em: <https://avwww.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-prostata> Acesso Agosto de 2023.

[4]BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC n. 318, de 06 de novembro de 2019. “Estabelece os critérios para a realização de Estudos de Estabilidade de insumos farmacêuticos ativos e medicamentos, exceto biológicos, e dá outras providências.” Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2019.

[5]Furukawa. “Avaliação De Alguns Fatores Interferentes Na Estabilidade Radioquímica De Alguns Radiofármacos Marcados Com 99m Tc.” 2016. 99 F. Dissertação (Mestrado) - Curso De Ciências Na Área De Tecnologia Nuclear - Aplicações, Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares, São Paulo, 2016.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

# Investigação Experimental Do Uso Da Radiação Gama Para Pré-Tratamento Do Bagaço De Cana-De-Açúcar (*Saccharum Spp.*) Visando A Produção De Biocombustíveis

Isabel Garabini Mourão e Amir Zacarias Mesquita  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Na busca por fontes de energia renovável e menos poluentes, os biocombustíveis, derivados de diversas biomassas como cana-de-açúcar, soja, milho, etc. surgem como uma alternativa.

Apesar da produtividade notável da indústria sucroenergética, a geração de resíduos como palha e bagaço é significativa. Embora esses resíduos sejam em grande parte utilizados para gerar energia em caldeiras, há espaço para otimizar e aprimorar esses processos, explorando usos mais eficazes e valiosos [1].

Um passo crucial é o pré-tratamento, que torna os polissacarídeos da celulose acessíveis para hidrólise. Esse processo envolve a quebra da estrutura cristalina da celulose e sua separação da lignina, sendo uma etapa vital na produção de etanol de segunda geração.

## OBJETIVO

O trabalho de Iniciação Científica foi realizado para auxiliar o projeto de mestrado de Leonardo Yago Zwetsch Varella. O objetivo principal desse projeto é estudar as alterações nas características físicas e químicas do bagaço da cana-de-açúcar, submetido a diferentes doses de radiação gama, como método de pré-tratamento para a produção de biocombustíveis.

## METODOLOGIA

Foi feita a coleta do bagaço da cana-de-açúcar e as amostras coletadas foram

deixadas ao sol por cerca de três dias. Posteriormente, o material foi exposto à radiação ionizante, com doses variadas, e foi analisada sua textura e mudanças físicas visíveis com o aumento das doses. Em seguida, o material foi moído e peneirado, e determinado sua coloração conforme Kapoor et al. (2017) [2].

Posteriormente, foi realizada a determinação da umidade presente do material, assim como o teor de açúcares solúveis das amostras segundo a norma ASTM D 1110- 84, utilizando o método de solubilidade em água quente [3].

Análises de teor de celulose foram feitas nas amostras utilizando o método descrito por Irfan et al. (2011) [4]. O teor de lignina foi determinado pelo método de Klason modificado, encontrado em Gomide e Demuner (1986) [5].

A cristalinidade foi determinada por meio de difração de raios-X. Pela análise por FTIR-ATR, foram identificadas as principais ligações químicas presentes no material. A Microscopia Eletrônica de Varredura proporcionou a visualização detalhada da estrutura morfológica do material.

## RESULTADOS

A coloração começa a ser alterada em 100 kGy, tornando-se muito escura em 2000 kGy. A textura tornou-se quebradiça a partir de 250 kGy e fofa após 500 kGy. Em 2000 kGy o material é esfarelado facilmente.

O teor de açúcares solúveis, celulose, cristalinidade e umidade das amostras do bagaço em função da intensidade de radiação absorvida encontram-se na Fig. 1.

O teor de lignina não apresentou grandes alterações, indicando que a radiação ionizante não influencia diretamente em seu teor, mas ajuda a desassociá-la da celulose e hemicelulose [2,6].

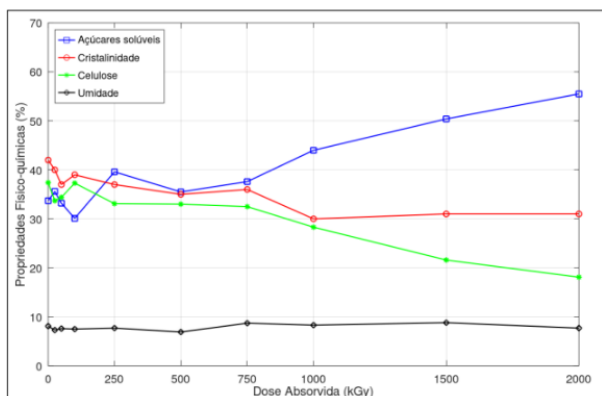


Figura 1. Propriedades físico-químicas do bagaço.

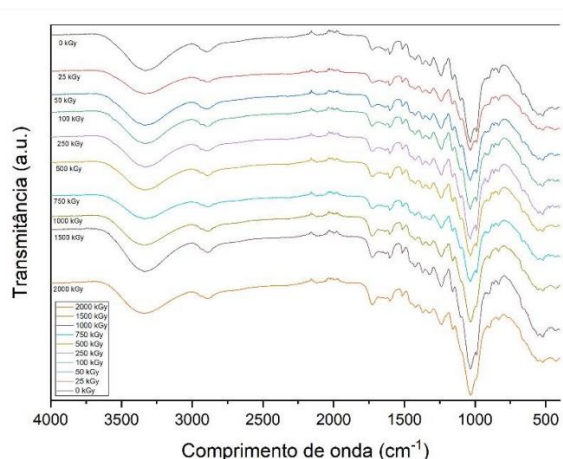


Figura 2. Espectros no infravermelho do bagaço.

Os espectros (Fig. 2) apresentaram as bandas características da amostra de bagaço de cana-de-açúcar e diferenças sutis entre as amostras irradiadas. Nas amostras, foram identificados os picos em torno de  $3350\text{ cm}^{-1}$  correspondendo a grupos hidroxilas presentes, em  $2890\text{ cm}^{-1}$  ligações C-H ao redor de  $1030\text{ cm}^{-1}$  ligações C-O-C, que indica presença de piranose (glicose),  $1728\text{ cm}^{-1}$  carbonila.

Pelas imagens obtidas pela MEV é possível observar uma maior ruptura nas paredes do material a partir de  $1000\text{ kGy}$ . Em  $1500\text{ kGy}$ , e  $2000\text{ kGy}$  as paredes mais fragmentadas, mostram a deslignificação da estrutura, o que melhora o acesso das enzimas hidrolíticas, facilitando a hidrólise do material.

## CONCLUSÕES

A radiação reduziu a cristalinidade, favorecendo hidrólise subsequente da celulose em glicose por enzimas. O teor de Lignina não diminuiu, mas separou-se do bagaço de cana, confirmada pela microscopia e redução da celulose de  $37,7\%$  para  $18,1\%$ , liberando açúcares. Pode-se concluir que a radiação gama pode ser um pré-tratamento eficaz em bagaço, impulsionando eficiência e sustentabilidade na produção de biocombustíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OGATA, B. H. Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- [2] K. Kapoor et al., Study the effect of Gamma Radiation pretreatment of Sugarcane Bagasse on its Physico-chemical Morphological and Structural Properties, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 141, pp. 190 – 195 (2017).
- [3] ASTM International, "Standard Tests Methods for Water Solubility of Wood", D 1110 – 84, American Society for Testing and Materials, USA (2001).
- [4] IRFAN, M.; GULSHER, M., ABBAS, S.; SYED, Q.; NADEEM, M.; BAIG, S. Effect of various pretreatment conditions on enzymatic saccharification. Songklanakarin Journal of Science and Technology, v.33, n.4, p. 397 – 404, 2011
- [5] GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. O Papel, v.47, n.8, p. 36 – 38, 1986.
- [6] V. M. Cardoso, Aplicação da Radiação de Feixe de Elétrons como Pré-Tratamento do Bagaço da Cana-de-açúcar para Hidrólise Enzimática da Celulose, Dissertação, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo (2008).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa - CNPq

# **Avaliação da Poluição Atmosférica por Poluentes Convencionais e Radioativos (Radônio) nas Instalações do CDTN**

**Isabela Nicomedes Silva Ferreira e Ricardo Gomes Passos  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)**

## **INTRODUÇÃO**

O Programa de Monitoração Radiológica e Ambiental (PMRA) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) possui como objetivo a avaliação do impacto ambiental na área do Centro e em sua vizinhança, em decorrência das atividades desenvolvidas [1]. O Centro presta diversas atividades, que podem gerar efluentes com resíduos químicos, material particulado e gases poluentes.

A concentração de elementos radioativos presentes nos resíduos é demasiadamente baixa. Porém, apesar disso, os estudos realizados no que tangem à avaliação das concentrações de materiais particulados e gases poluentes no CDTN e seu entorno se fazem necessárias, devido aos possíveis danos que esses poluentes podem causar à saúde humana, além da incontestável relevância das atividades desenvolvidas no Centro para a sociedade, conhecimento científico e melhoria de processos de preservação ambiental.

## **OBJETIVO**

O objetivo consiste em realizar estudos a respeito da geração e dispersão de aerossóis atmosféricos com riscos ambientais e radiológicos no CDTN e seu entorno, como contribuições para o Programa de Monitoração Radiológica Ambiental (PMRA) do Centro.

Dessa forma, é possível conhecer as concentrações de poluentes e identificar suas fontes, tarefa de grande importância para controle, prevenção e mitigação dos seus impactos no meio ambiente e na saúde da população.

## **METODOLOGIA**

O Laboratório de Radioatividade Natural (LRN) destaca-se na abordagem do radônio presente na atmosfera. O objetivo das iniciativas do LRN consiste na produção de entendimento dos níveis de radionuclídeos naturais no ar de ambientes internos e materiais de construção. Ademais, engloba-se a avaliação do impacto radiológico à população direcionada à minimização das doses absorvidas [2].

Dessa forma, foi realizado um acompanhamento da rotina do LRN, para obter um entendimento dos procedimentos realizados. Foram feitas atividades relacionadas à preparação de solução química e leitura de detectores de CR-39, utilizados para determinar a quantidade de radônio presente no ar. Além disso, foi feito um estudo do relatório que contém os resultados do PMRA, ressaltando que a avaliação dos resultados do monitoramento ambiental foi pautada em questões de doses recebidas e impacto ambiental

A utilização de equipamentos que auxiliam no estudo dos elementos e suas concentrações no ar é útil. Dessa forma, o Amostrador de Grande Volume (AGV) é um equipamento adequado para esses fins, visto que pode ser utilizado para determinar a concentração de partículas inaláveis cujo diâmetro é menor que 10  $\mu\text{m}$ . Ele possui um filtro que retém as partículas, sendo que sua calibração adequada é de suma importância, garantindo dados precisos, contribuindo para o avanço nos estudos de radioatividade ambiental.

Sabendo que a radioatividade natural acontece espontaneamente em elementos

da natureza que emitem partículas radioativas, a identificação do radônio em casas e locais de trabalho se torna fundamental para a manutenção da saúde pública. Um estudo prévio mostrou medidas de radônio em um escritório no CDTN com valor maior que o recomendado pela OMS. Sendo assim, buscou-se a origem do radônio no ambiente estudado, através da análise de torônio (um isótopo de radônio, Rn-220, de meia vida mais curta), utilizando o equipamento Rad7, que é preciso para medir torônio.

## RESULTADOS

As medições foram feitas, e os resultados estão representados na TABELA 1.

TABELA 1. Dados Obtidos na Medição de Torônio Feita na Galeria do CDTN.

Ponto	Local	Valor medido (Bq/m <sup>3</sup> )
1	À 4,30 m da entrada	92,5 +/- 185
2	À 16,0 m da entrada	219 +/- 240
3	À 26,0 m da entrada	343 +/- 278
4	À 32,0 m da entrada	282 +/- 261
5	Parede sem revestimento	157 +/- 216
6	Buraco 1	564 +/- 336
7	Buraco 2	372 +/- 286
8	Chão	3010 +/- 689
9	Parede com revestimento	5740 +/- 927
10	Fresta no chão	1250 +/- 469
11	Porta da galeria	349 +/- 297
12	Background	0,0 +/- 0,0

Como o valor recomendado pela OMS é de 100 Bq/m<sup>3</sup> e o máximo aceito é de 300 Bq/m<sup>3</sup>, tem-se que os valores estão muito superiores ao ideal. A avaliação da concentração de torônio indica que ele,

juntamente com o radônio, é oriundo da parede com revestimento.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que as medidas de torônio são aliadas ao estudo da radioatividade natural em ambientes internos com o objetivo de encontrar a origem do radônio. Contudo, foi possível identificar a fonte de radônio do local estudado, para que possam ser tomadas medidas mitigadoras.

Além disso, contribuições foram feitas para o Programa de Monitoração Radiológica Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Nesse sentido, é crucial dar continuidade ao processo de medições de poluentes do ar no CDTN e seu entorno, a fim de garantir o bem-estar dos frequentadores do Centro e moradores de sua circunvizinhança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]CDTN. Relatório de Avaliação dos Resultados Analíticos do Programa de Monitoração Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, janeiro a dezembro de 2019. RAA 05/PMA/SEAMA/CDTN, Belo Horizonte, 2019.

[2]Gov.br (Governo Federal Brasileiro), "Laboratório de medidas da Radioatividade Natural – LRN", em: <https://www.gov.br/cdtn/pt-br/inovacao-e-tecnologia/servicos-tecnologicos/apoio-a-inovacao-na-avaliacao-da-qualidade-ambiental/laboratorio-de-medidas-da-radioatividade-natural-lrn>, acessado em Agosto de 2023.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

# Comparação entre Irradiadores Gama e Irradiador por Feixe de Elétrons

Isabelle Pereira da Silva; Amir Zacarias Mesquita  
Seelig – Seção do Laboratório de Irradiação Gama  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN

## INTRODUÇÃO

Os irradiadores gama são uma forma profundamente penetrante de energia eletromagnética alimentada por cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), que extermina efetivamente microrganismos em produtos e embalagens, com impacto mínimo de temperatura e não deixa resíduos. A quantidade de radiação recebida depende do tipo de produto e dos requisitos de dosagem. A liberação da dose permite que o produto seja manuseado, inspecionado e liberado imediatamente para embarque (STERIGENICS, 2023a).

A esterilização por feixe de elétrons (*e-beam*) é uma forma de energia ionizante caracterizada por baixa penetração e altas taxas de dosagem. Um feixe de elétrons é um fluxo concentrado de elétrons altamente carregados produzidos por um acelerador capaz de produzir feixes contínuos ou pulsados. Quando o produto/material a ser esterilizado passa pelo feixe de elétrons, a energia dos elétrons é absorvida, alterando algumas ligações químicas, danificando o DNA e prejudicando a capacidade de reprodução dos microrganismos (STERIGENICS, 2023b).

## METODOLOGIA

Principais benefícios da Esterilização por Feixe de Elétrons - Embora a maioria dos materiais usados em produtos de saúde estéreis sejam formulados para serem radioestáveis, alguns materiais, como certos polipropilenos, são menos suscetíveis à decomposição e envelhecimento prolongado devido à menor exposição a feixes de elétrons.

Essa pesquisa busca comparar Irradiadores Gama e os por Feixe de Elétrons aplicado a área de esterelização de alimentos e demais produtos. Será analisado qual o melhor método para cada grupo de alimentos que normalmente encontramos no mercado. Assim, apontando os principais benefícios dos métodos e mostrar de forma convincente a necessidade de inovação e movimentação para a ampliação do uso do Irradiador por Feixe de Elétrons no cotidiano e a sua implementação no CDTN. As pesquisas prosseguem com a inclusão de estudos dos resultados da utilização dos Irradiadores (MESQUITA, 2023) (PINO, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais benefícios da Irradiação Gama - A tecnologia de esterilização gama é bem compreendida, segura e facilmente validada. Este é um método de esterilização eficaz porque:

- Garantia de esterilidade e eficácia do tratamento.
- Segurança.
- Flexibilidade e versatilidade.
- Confiabilidade.

Outros benefícios incluem:

- Aceleradores de alta velocidade e alta capacidade.
- Dosagem dosimétrica.
- Modificação de materiais.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de fontes radioativas

Tipo de fonte	Fonte Gama	Aceleradores de elétrons
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta penetração (dose uniforme, possibilitando irradiar objetos grandes ou caixas;</li> <li>- Menor custo operacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior segurança na operação (por possuir on/off);</li> <li>- Não gera resíduo radioativo</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita troca constante da fonte (5,27 anos no caso do cobalto-60);</li> <li>- Não desliga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa penetração (não tendo possibilidade de irradiar objetos grandes)</li> </ul>

## CONCLUSÕES

Com realização desse trabalho será avaliada a efetividade do Irradiadores Gama e Irradiadores por Feixe de Elétrons. Analisando assim, os lados positivos e negativos dos mesmos e observar a necessidade para a implementação do que se encaixa melhor de acordo com o planejamento financeiro e de projetos previstos pelo estabelecimento. A execução deste estudo possibilitará obter a avaliação da influência da radiatividade para uma específica necessidade da instituição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### STERIGENICS. Irradiação gama.

Disponível em:

<<https://pt.sterigenics.com/technologies/gamma-irradiation/>>. Acesso em: 5 ago. 2023a.

### STERIGENICS. Esterilização por feixe de elétrons.

Disponível em:

<<https://pt.sterigenics.com/technologies/electron-beam/>>. Acesso em: 5 ago. 2023b.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C.

### Radiação Ionizante e suas

**aplicações na indústria.** Revista UNILUS Ensino e Pesquisa, n. 2, v. 2. p. 47-51. 2005.

MESQUITA, A.Z. **Energia Nuclear – Uma**

**Introdução.** Editora da Universidade

Federal do Paraná (UFPR). 135p. 2023 (*em diagramação*).

## APOIO FINANCEIRO

Esse projeto é apoiado pelas seguintes instituições: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Fundação de Desenvolvimento à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

# Uso de geopolímero no tratamento de rejeitos radioativos

Jakeline Pereira de Carvalho, Carolina Braccini Freire e Juniara Lopes Versieux  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Rejeito Radioativo, definido na norma CNEN-NN 6.09, é qualquer material resultante de atividades humanas contendo radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma CNEN NN 6.02, e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista (CNEN, 2002). Estes, são administrados por um conjunto de atividades técnico-administrativas segregadas em etapas da Gerência de Rejeitos Radioativos, listadas na norma CNEN NN 8.01 (CNEN, 2014).

Os geopolímeros são materiais inorgânicos amorfos à base de alumino-silicato, obtidos pela polimerização em baixa temperatura, denominados assim pelo pesquisador Joseph Davidovits. Sua eficiência energética, processo de síntese simplificado, chamam atenção a este material para diversas aplicações, tanto em matriz de imobilização para contenção de rejeitos radioativos, entre outras aplicações diversas, graças às suas propriedades vantajosas como a baixa temperatura de obtenção e a grande variedade de matérias primas precursoras, podendo ser obtidos de diferentes resíduos além de exibirem grande resistência em poucas horas. Neste trabalho, foram estudados todos os parâmetros necessários para a obtenção de um geopolímero empregando rejeitos de mineração da exploração da areia como precursor intencionado-se sua aplicação no tratamento/imobilização de rejeitos radioativos (SILVA; FREIRE, 2022), (DAVIDOVITS, 2008).

## OBJETIVO

O trabalho apresenta, como objetivo, o estudo e análise das características, vantagens e aplicações do geopolímero, bem como a investigação das possíveis rotas de síntese para a formação deste material com o menor impacto ambiental possível, a partir dos rejeitos da mineradora Gerais.

## METODOLOGIA

Com a finalidade de termos um produto com as características físico-químicas ideais para a aplicação desejada, foram feitas análises da composição mineralógica, granulométrica, área superficial, comportamento térmico, amostras do material foram submetidas a ensaios de FTIR (Infravermelho por Transformada de Fourier), DRX (Difração de Raios-X), FDR (Fluorescência de raios X), Análise granulométrica, BET e teor de umidade para análise quantitativa (mineralógica) e qualitativa (grau de amorfização). Mediante um planejamento de misturas (malha simplex), estipulou-se as proporções entre metacaulim, silicato de sódio e hidróxido sódio para confecção de amostras cúbicas em laboratório.

Após análises visuais, foi eleito o melhor traço para a confecção de corpos cilíndricos. O traço escolhido foi com 56% de argila, 27% de silicato de sódio e 17% de hidróxido de sódio, denominado como TG-04. Dado que essa formulação manteve as boas características físicas e visuais mesmo após 28 dias de cura, e ainda, bons valores nos ensaios realizados em relação aos outros traços.



## RESULTADOS

No FT-IR, Fig.1, constatou-se a presença de bandas que comprovam que o material é composto por alumino-silicatos. Há presença da banda de absorção entre 3200 e 3700, e 200 e 1200, características da presença de Caulinita e Moscovita, respectivamente.

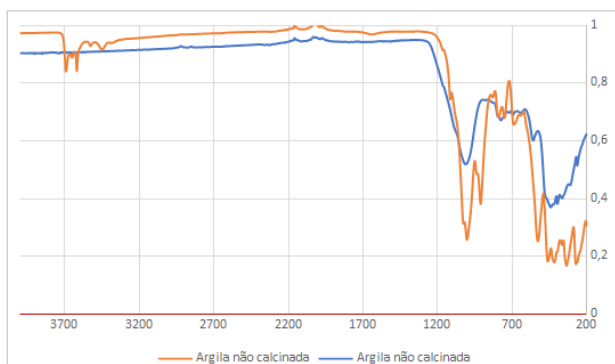


Figura 1- Espectroscopia de infravermelho da argila.

Na Figura 2, estão os resultados para absorção de água, índice de vazios e massa específica, evidenciando que o traço TG-04 ficou entre os que obtiveram menor absorção de água. Os índices de vazio dos corpos cúbicos ficaram entre 12% e 27% e massas específicas dos corpos secos entre 0,77 e 0,9%. Por meio do teste de compressão, foi obtido para resistência média dos corpos cilíndricos de 39,82 Mpa.



Figura 2- Absorção de água, índice de vazios, e massa específica seca.

## CONCLUSÕES

Por conseguinte, nota-se que os geopolímeros são uma alternativa bastante interessante ao cimento Portland realizando o papel de uma matriz de contenção eficiente bloqueando a entrada de substâncias e dando estabilidade física ao material radioativo. A eficiência da imobilização, medida por testes de lixiviação, resistência à compressão e permeabilidade revelou que o material é promissor para esta aplicação. Contudo, necessita-se de mais estudo e a continuidade dos testes para validarem os resultados obtidos, tanto complementando o que já foi feito, como implementando novos ensaios, como por exemplo, a verificação da eficiência do material sendo sorvedor de radionuclídeos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SILVA, S. M.; FREIRE, C. B. Metodologia para síntese de geopolímero visando o tratamento de rejeitos radioativos orgânicos / Methodology for geopolymer synthesis for the treatment of organic radioactive waste. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 33457–33474, 3 maio 2022.
- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 8.01: Critérios de aceitação para a deposição de rejeitos radioativos de baixo e médios níveis de radiação. Rio de Janeiro, 2014.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 6.09: Gerência de Rejeitos Radioativos de baixo e médios níveis de radiação. Rio de Janeiro, 2002.
- [4] DAVIDOVITS, J. Geopolymer chemistry and applications. Saint-Quentin: Institut Géopolymère, 2008.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Meus agradecimentos ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

# Caracterização de materiais utilizados nas barreiras do repositório de rejeitos radioativos

Jhenifer Ketelin Neves Souza e Clédola Cássia Oliveira de Tello  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN

## INTRODUÇÃO

No Brasil, além da geração de energia elétrica, há outras aplicações de materiais radioativos como no setor da saúde, industrial, de pesquisa, dentre outros. Para que sua utilização cresça, é necessária a construção de um repositório para o armazenamento definitivo dos rejeitos radioativos gerados. Os rejeitos radioativos gerados no Brasil são classificados na norma CNEN NN 8.01, e o maior volume pertence à classe 2.1, rejeitos de baixo e médio níveis de radiação [1]. No CENTENA – Centro Tecnológico Nuclear e Ambiental – serão realizadas atividades de PD&I em gerência e de deposição destes rejeitos da classe 2.1. A norma CNEN NN 8.02 determina que os rejeitos radioativos sejam devidamente armazenados em depósitos próximos à superfície, considerando o uso de sistema de múltiplas barreiras [2]. Uma delas é o contêiner de concreto no qual serão acondicionados os embalados de rejeitos.

## OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a caracterização de concretos para serem utilizados no contêiner, componente das barreiras de engenharia do CENTENA. Para isto serão avaliadas a resistência e a integridade de concretos produzidos com adição de fibras e aditivos após passarem por processos de deterioração descritos na ABNT NBR 6118 [3].

## METODOLOGIA

Realizaram-se estudos bibliográficos com a revisão de trabalhos anteriores, normas técnicas e artigos relacionados ao estudo.

Foi realizado o planejamento experimental, definindo os ensaios de corrosão e o cronograma para sua realização, de acordo com as etapas apresentadas na Figura 1. Para os ensaios usaram-se corpos de prova de concreto com fibras corrugadas e ancoradas, produzidos conforme GOMES



[4].

Figura 1. Etapas da parte experimental

Após cada período de ensaio de corrosão proposto, as amostras foram submetidas aos ensaios para a determinação das resistências à compressão e à tração.

## RESULTADOS

Na TABELA 1 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à tração (RT) e compressão (RC) dos corpos de prova reforçados com fibras ancoradas submetidos à processos corrosivos, bem sua resistência aos 28 dias sem sofrer nenhum processo corrosivo.

TABELA 1. Valores de Resistência à Tração e Compressão dos Corpos de Prova de Concreto com Adição de Fibras Ancoradas

Processo de corrosão	Tempo de ensaio (meses)	Tração (MPa)	Compressão (MPa)
Sulfato	3	7,48	60,51
	6	7,82	73,21
Ambiental	3	8,95	55,57
	6	7,46	57,08
Testemunhos		6,59	59,01

Na TABELA 2 apresentam-se os resultados dos ensaios de RT e RC dos corpos de prova reforçados com fibras corrugadas, quando submetidos aos processos corrosivos e sua resistência aos 28 dias sem sofrer a processo corrosivo.

TABELA 2. Valores de Resistência à Tração e Compressão dos Corpos de Prova de Concreto com Adição de Fibras Corrugadas

Processo de corrosão	Tempo de ensaio (meses)	Tração (MPa)	Compressão (MPa)
Sulfato	3	8,77	50,16
	6	8,74	34,59
Ambiental	3	6,57	47,81
	6	8,86	62,12
Testemunhos		6,35	54,01

## CONCLUSÕES

Para os concretos com adição de fibra ancorada, os valores de RC das amostras submetidas aos ensaios com sulfato foram maiores do que os da exposição ambiental e dos testemunhos. Isto indica que o sulfato no período estudado (3 e 6 meses) não teve efeito deletério. Para a RT os valores foram maiores do que os dos testemunhos, como anteriormente. Estes valores são maiores do que aqueles apresentados como referência da Norma CNEN NN 6.09 [5], 5 MPa e 54 MPa, para RT e RC, respectivamente.

Para os concretos com fibras corrugadas, os valores de RT ficaram acima do valor da norma [5], tendo sido maiores para os corpos de prova submetidos ao sulfato. Entretanto os valores de RC em sua maioria ficaram abaixo do valor de referência 54 MPa.

De acordo com os resultados, o concreto com fibras ancoradas mostra-se o mais promissor para o uso nos contêineres de concreto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CNEN. Norma CNEN NN 8.01: Gerência de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação, CNEN, 2014.
- [2] CNEN. Norma CNEN NN 8.02: Licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação, CNEN, 2014.
- [3] ABNT. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, 2014.
- [4] GOMES, I. L. F. M. Estudo físico-químico do concreto aplicado como barreira de engenharia na deposição de rejeitos, Dissertação de mestrado, CDTN, 2022.
- [5] CNEN. Norma CNEN NN 6.09: Critérios de aceitação para deposição de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação, CNEN, 2002.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq.

# **Aprimoramento do modelo computacional de camundongo fêmea desenvolvido no CDTN**

**Joana D'Arc Souza Rodrigues e Bruno Melo Mendes  
Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear - CDTN**

## **INTRODUÇÃO**

A utilização de animais de laboratório em pesquisas pré-clínicas de radiação ionizante é amplamente adotada para avaliar a eficácia e segurança das terapias em desenvolvimento. No entanto, a medição física das doses absorvidas nesses animais pode ser problemática e invasiva, além de implicar em questões éticas e de segurança. Portanto, é crucial ter modelos anatomicamente precisos de camundongos que possam ajudar a determinar com precisão as doses de radiação em pequenos animais. Dessa forma, espera-se que a efetividade e confiabilidade dos experimentos seja aumentada. Diversos experimentos, como estudos de novas terapias, testes de radiofármacos e estudos de eficácia de drogas antitumorais, podem resultar em altas doses nos animais. O uso de modelos computacionais anatomicamente precisos de camundongo tem se mostrado uma ferramenta importante para determinar com precisão as doses de radiação. Fantasmas de camundongo computacionais foram desenvolvidos com base em dados anatômicos para prever a dose absorvida em estruturas radiosensíveis. Neste estudo, a segmentação de alguns órgãos do modelo FM\_BRA foi verificada e novos órgãos e sub-regiões foram incluídas. Um novo fantoma de camundongo aprimorado foi obtido.

## **OBJETIVO**

O plano de trabalho propõe os seguintes objetivos: realizar uma revisão de literatura sobre a massa ou volume de órgãos de diferentes linhagens de camundongo, com foco na linhagem C57BL; reavaliar as segmentações dos olhos, pele e pulmão do fan-

toma de camundongo fêmea da linhagem C57BL; segmentar as regiões dos rins, gordura marrom, tecido adiposo e parte cortical e trabecular dos ossos.

## **METODOLOGIA**

O projeto consiste em duas fases distintas. Na primeira, será feita uma revisão das segmentações dos olhos, pele e pulmões de camundongos da linhagem C57BL, comparando as massas documentadas na literatura com as massas originais. A segunda fase envolve a segmentação de novos órgãos e sub-regiões, utilizando imagens de ressonância magnética de alta resolução de camundongos C57BL/6. Utilizando programas como GIMP e ImageJ<sup>®</sup>, foi realizada a segmentação manual dos órgãos, com atribuição de códigos e cores específicas para cada órgão. Para segmentação da parte cortical e trabecular dos ossos, aplicou-se um processo de erosão na imagem original dos ossos e posterior subtração das imagens originais pelas imagens erodidas para obter os ossos corticais. Por fim, as imagens segmentadas foram somadas para obter um modelo 3D unificado dos órgãos segmentados, denominado FM\_BRA\_04.

## **RESULTADOS**

Um novo modelo de camundongo fêmea, chamado FM\_BRA\_04, foi obtido. Sete novos órgãos/sub-regiões foram identificados, segmentados e implementados neste estudo: tecido adiposo, osso cortical, osso esponjoso (trabecular), gordura marrom, córtex renal direito/esquerdo, medula renal direita/esquerda, pélvis renal direita/esquerda (Figura 1). No total, o FM\_BRA\_04 agora apresenta 40 órgãos/tecidos ou sub-regiões identificados.

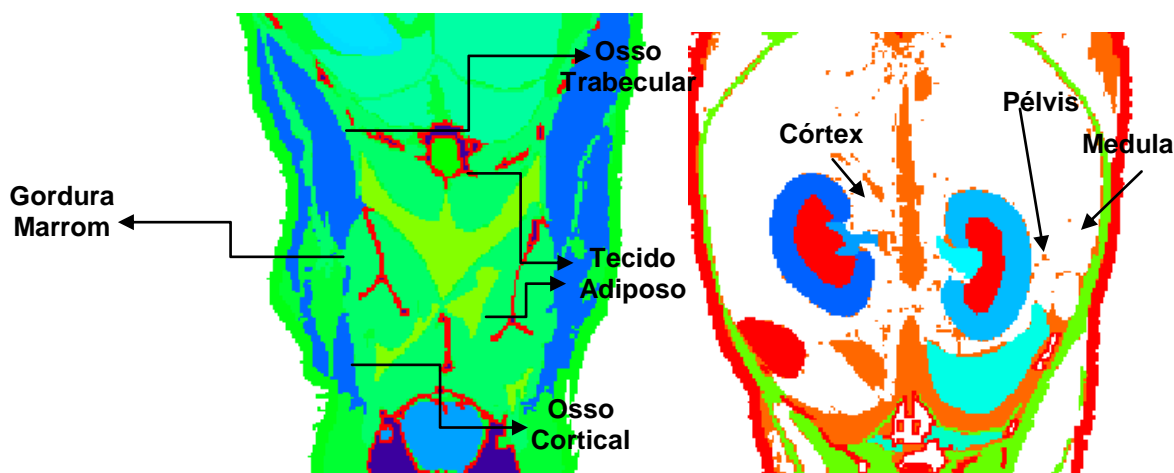


FIGURA 1 – Detalhes do modelo FM\_BRA\_04 apresentando os novos órgãos segmentados.

A renderização completa do modelo foi concluída ao longo deste estudo, resultando em uma representação visual detalhada. Um esquema de cores foi selecionado atribuído a cada tecido específico do organismo em questão. Na Figura 2 estão apresentadas imagens do novo FM\_BRA\_04.

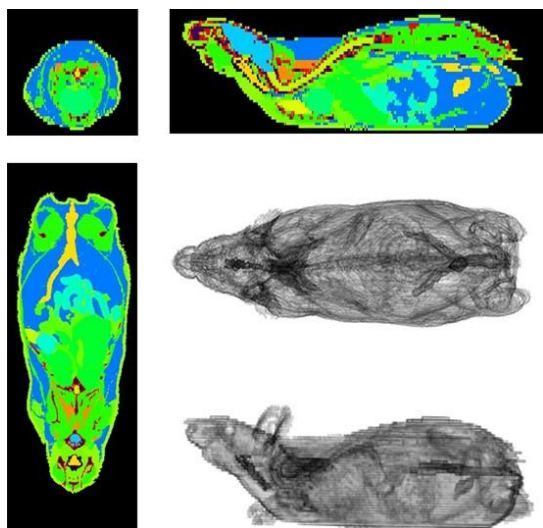


Figura 2 - Imagens de cortes e renderizações do modelo FM\_BRA\_04, usando o software AMIDE®

**CONCLUSÕES** O trabalho alcançou os objetivos propostos de revisar a literatura, reavaliar segmentações e fazer a segmentação de várias regiões em um modelo de camundongo. O novo modelo, FM\_BRA\_04, possui 40 órgãos/tecidos ou sub-regiões identificados, com representação visual de-

talhada e esquemas de cores específicos. A renderização completa do modelo foi um sucesso. No entanto, ainda há espaço para melhorias, como a segmentação dos grandes vasos e câmaras cardíacas, que poderiam ser implementadas em trabalhos futuros. O aprimoramento contínuo desses modelos computacionais contribui para uma dosimetria mais precisa e confiável. O trabalho destaca a importância de pesquisas adicionais para expandir e refinar os resultados alcançados. O aprimoramento contínuo desses modelos computacionais contribui para uma dosimetria mais precisa e confiável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TDCM (Turku Center for Disease Modeling). “Magnetic Resonance Imaging”, em: <https://www.tcdm.fi/services/animal-imaging-unit/magnetic-resonance-imaging/>, acessado em agosto de 2022.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da Bolsa PIBIC e ao CDTN, FAPEMIG e CNPq pelo provimento de recursos e infraestrutura que possibilitaram a realização desse trabalho.

# Avaliação do potencial biológico *in vitro* de superfícies nanotubulares de titânio funcionalizadas com fosfato de cálcio

João Gabriel Acioli de Siqueira, Tatiane Cristine Silva de Almeida e Maximiliano Delany Martins,  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Titânio (Ti) e suas ligas metálicas são amplamente empregados na implantodontia, [1] devido sua biocompatibilidade, resistência à corrosão e baixo módulo de elasticidade, toxicidade e densidade. [2] Entretanto, a bioinércia do Ti pode acarretar no afrouxamento dos implantes e a dificuldade de ancoragem ao tecido vivo adjacente. [3] Por isso, aprimorar a osseointegração e osteocondução do Ti é essencial.

Observa-se que a oxidação anódica provoca um aumento significativo da superfície de contato em relação às amostras sand blasted, large grit acid etched (SLA) pela formação de nanotubos de titânia (TiO<sub>2</sub>), [1] e, ademais, são capazes de induzir a migração, proliferação e diferenciação em osteoblastos em células mesenquimais. [4]

Já o fosfato de cálcio (CaP) é uma substância com potencialidade de funcionalização, pois é capaz de aumentar a osseointegração em superfícies de Ti, e métodos de deposição como o substrato termal e o sputtering de CaP já foram descritos na literatura. [5]

## OBJETIVO

Ajuizar *in vitro* a potencialidade osteogênica de superfícies de Ti submetidas à oxidação anódica funcionalizadas com CaP quando comparada a superfície comercial SLA.

### 1. Síntese da superfície

#### 1.1 Oxidação anódica

Duas superfícies preparadas na forma de discos de titânio (Ø 12,7 mm e 2 mm de altura) foram utilizadas: lisa de Ti submetida à anodização descrita em [1] e SLA, ambas fornecidas pela empresa PecLab Ltda

#### 1.2 Eletrodeposição

Eletrodeposição pulsante de CaP foi conduzida na mesma célula eletroquímica anterior, porém as amostras de Ti foram o cátodo e solução de NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.027 M + NaCl 0.5 M + Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.4 M foi o eletrólito, em tensão 3 V, frequência 0,33 Hz e razão cíclica 0,67, a 25 °C, por 3 min.

### 2. Ensaios *in vitro*

#### 2.1 Cultura celular

Pró-osteoblastos da linhagem MC3T3-E1 foram cultivados em Alpha-MEM com 10% de Soro Fetal Bovino (FBS), ambos obtidos da Gibco™, e antibióticos estreptomicina (100 µg/mL) e penicilina (500 U/mL).

Em todos os ensaios, células foram mantidas em estufa a 37 °C com atmosfera de CO<sub>2</sub> e semeadas em densidade 3 x 10<sup>4</sup> células/poço. Grupos de análise são células cultivadas sob amostras SLA, anodizadas (NT-100 nm), anodizadas e funcionalizadas com CaP (NT-ED/BTCP) e sob o fundo de plástico da placa nos controles positivo e negativo.

#### 2.2 Viabilidade celular

Após os tempos de análise (24, 48 e 72 h), incubou-se um mix de 130 µL de brometo de 3-4,5-dimetil-tiazol-2-il-2,5-difeniltetrazólio (MTT) (Life Technologies) e 100 µL de Alpha-MEM por 2 horas, adicionou-se 130 µL de dodecil sulfato de sódio (SDS) a 10% em HCl 0,01 mol/L e leu-se absorvância em 595 nm.

#### 2.3 Fosfatase alcalina (ALP)

A atividade de ALP foi avaliada mediante ensaio colorimétrico após 7, 14 e 21 dias de cultura em meio basal, utilizando kit de ensaio de fosfatase alcalina (Colorimetric, Abcam), seguindo as orientações do fabricante.

## 2.4 Vermelho de alizarina

Após cultivo em meio basal por 7, 14 e 21 dias, as células foram lavadas com PBS 1x pH 7,4, fixadas com etanol 70% por 1 h em geladeira e lavadas com água destilada. 200 µL de vermelho de alizarina (Sigma–Aldrich®) foram adicionados e manteve-se agitação por 20 minutos, seguido de uma lavagem com H<sub>2</sub>O. Adicionou-se 200 µL de cloreto de cetilpiridínio 10%, e manteve-se agitação por 30 minutos. Transferiu-se 100 µL/poço para uma nova placa de cultura e a densidade óptica foi mensurada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 555 nm.

## RESULTADOS

### 1. Viabilidade celular

Observa-se que as superfícies NT-ED/BCTP obtiveram a maior viabilidade celular.

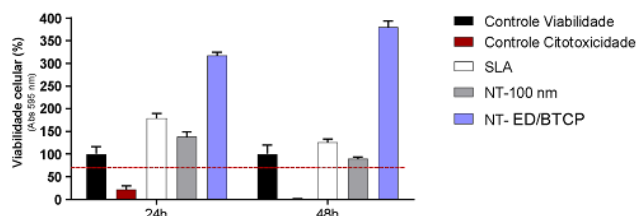


Figura 1. Viabilidade Celular

### 2. Fosfatase alcalina

Evidencia-se que a atividade de ALP é maior nos grupos NT-100 nm e NT-ED/BTCP em t = 3 dias. Em t = 14 dias, a atividade de ALP em todos os grupos estabiliza em valores sem diferenças de significância estatística.

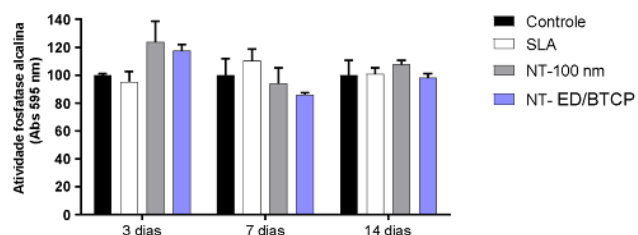


Figura 2. Atividade de Fosfatase Alcalina

### 3. Deposição de matriz mineralizada

Explicita-se que em t = 10 dias e 14 dias a funcionalização com CaP induz a produção de matriz mineralizada 5 a 4 vezes maior em relação aos demais grupos.

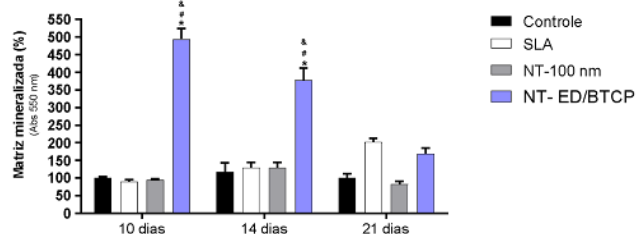


Figura 3. Vermelho de alizarina

## CONCLUSÃO

É possível concluir que as superfícies NT-ED/BTCP obtiveram performances ou semelhantes, ou melhores do que os grupos de comparação. A promoção da mineralização óssea da superfície deve ser melhor investigada no futuro, assim como estratégias para induzir maior diferenciação celular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marchezini, E. *et al.* Controlling morphological parameters of a nanotubular TiO<sub>2</sub> coating layer prepared by anodic oxidation. *Mater. Res. Express.*, v. 7, p. 025017, 2020.
- [2] Khodaei, M. *et al.* The effect of different oxidizing ions on hydrogen peroxide treatment of titanium dental implant. *Surf. Coat. Technol.*, 2018.
- [3] Kasemo B. Biocompatibility of titanium implants: surface science aspects, *J. Prosthet. Dent.*, p. 49, 1983.
- [4] Huang, J. *et al.* Nanotubular topography enhances the bioactivity of titanium implants. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biol. Med.*, v. 13, nº 6, p. 1913–1923, 2017.
- [5] Yang, Y. *et al.* A review on calcium phosphate coatings produced using a sputtering process - an alternative to plasma spraying. *Biomaterials*, v. 26, n. 3, p. 327–337, 2005.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

A CAPES, SibratecNano/FINEP e CNPQ pelo apoio financeiro.

# Avaliação da eficácia do radiofármaco PET / [ 18F]DPA-714 para o estudo da neuroinflamação em modelo murino

João Vitor Reis Marques; Brígida G. de Almeida Schirmer e Carlos Malamut  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Uma ferramenta que pode ser utilizada para auxiliar no estudo da neuroinflamação é 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 [1]. Para isto, o radiofármaco o [18F]DPA-714 pode ser utilizado nos procedimentos de imagem PET, visto sua especificidade com a proteína TSPO, altamente expressa em processos neuroinflamatórios [2]. Para avaliar a eficácia do novo radiofármaco foram realizados estudos ex vivo e in vivo de biodistribuição e imagens PET em camundongos.

O modelo de neuroinflamação utilizado neste estudo foi o BCCAO, um modelo de isquemia global transiente com o intuito de reproduzir alterações neuronais e inflamação [1,3,4]. Uma vez comprovada a eficácia do radiofármaco [18F]DPA-714 o mesmo pode ser utilizado para estudos clínicos de outras doenças que acometem o SNC como a neuroinflamação provocada pelo vírus SARS-COV-2 causador da COVID-19.

## OBJETIVO

Avaliar a eficácia do radiofármaco [18F]DPA-714 em comparação com o [ 18F]FDG para estudos de neuroinflamação mediante o uso de imagens PET em camundongos após isquemia e reperfusão cerebral.

## METODOLOGIA

**Animais:** Foram utilizados para este estudo camundongos C57BL/6, machos, com idades entre 4-6 semanas e peso médio de 20,0g, mantidos em ambiente controlado com acesso irrestrito a comida e água em ciclos de claro/escuro de 12/12h.

**Procedimento cirúrgico para indução de isquemia:** Os animais foram anestesiados com xilazina/ketamina por via intraperitoneal. Em seguida, foi feita uma incisão vertical de aproximadamente 1 cm na região ventral do pescoço. Após identificação e isolamento das artérias carótidas direita e esquerda, a oclusão foi feita por 25 minutos utilizando cliques de aneurisma não traumáticos. Após a retirada dos cliques foi observada a reperfusão das artérias por inspeção visual.

**Estudos de biodistribuição:** os animais foram anestesiados com isoflurano 2,0 a 3,0% para administração do radiofármaco [18F]DPA714 pela veia caudal. O estudo foi constituído por quatro grupos experimentais com quantidades iguais de animais em cada. Após a administração do radiofármaco, os quatro grupos foram sacrificados com 15, 30 e 60 minutos, respectivamente. Em seguida, foram coletados determinados órgãos e alíquotas de sangue de cada animal do respectivo grupo. Os órgãos foram pesados e acondicionados em tubos e a radioatividade medida em um cintilador de poço. Imagem microPET em animais sadios: As aquisições de imagem de tomografia PET foram feitas em equipamento MicroPET LabPET4 da



GE. Para cada animal, foram administrados 15MBq de radiofármaco e feita uma aquisição estática de corpo inteiro com duração prevista de 15 minutos cada (5 minutos por posição de cama), nos mesmos tempos propostos para a biodistribuição ex vivo. Imagens microPET em modelo animal de neuroinflamação: Foram adquiridas imagens do grupo sadio, grupo sham e com um e dois dias após a cirurgia de BCCAO. Foram injetados por via endovenosa com atividades de [18F]FDG e [18F]DPA-714 em torno de 15 MBq. Em seguida, foram adquiridas imagens PET estáticas de 30 minutos com 1 posição de cama na região da cabeça. A avaliação da região de infarto no cérebro foi realizada pela coloração por cloreto de trifeniltetrazolio (TTC).

## RESULTADOS

No modelo de biodistribuição ex vivo do radiofármaco [18F]DPA-714, percebeu-se uma maior captação nos pulmões e rins nos tempos de 15 e 30 minutos, já com 60 minutos percebeu-se um aumento no fígado e intestinos. A biodistribuição in vivo, mediante imagens com MicroPET, demonstrou um padrão semelhante ao observado pela biodistribuição ex vivo. Imagens realizadas com 2 dias após a BCCAO demonstraram que o [18F]DPA-714 é eficaz para marcação e diagnóstico da neuroinflamação.

## CONCLUSÕES

O novo radiofármaco [18F]DPA-714, produzido na UPPR/CDTN foi sintetizado com sucesso e os resultados de biodistribuição ex vivo e in vivo apresentaram um padrão semelhante ao observado na literatura e demonstrou ainda ser seguro e eficaz para a realização de imagens de neuroinflamação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

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

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN/CDTN e Agência de fomento à pesquisa CNPq.

# Separação por tamanho de folhas de óxido de grafeno dispersas em meio aquoso utilizando centrifugação diferencial

Lorenzo Bellis Pujoni e Clascídia Aparecida Furtado  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear- CDTN

## INTRODUÇÃO

O grafeno possui, devido à falta de elétrons desemparelhados e as ligações apolares C-C, uma baixa solubilidade em meio aquoso (ALLEN; TUNG; KANER, 2010). Assim, como alternativa, é possível adicionar grupos oxigenados carboxilas, hidroxilas fenólicas, carbonilas e epóxi) para obtenção do óxido de grafeno (GO), o qual possui melhor capacidade de dispersão em água em razão de sua maior polaridade e capacidade de realizar ligações de hidrogênio e características condutoras semelhantes ao grafeno (DREYER et al., 2010). O grafeno, por sua vez, pode também ser aproveitado para biossensores, com sua diluição em meio apolar, como em solução aquosa de CHP (do inglês, N-Cyclohexylpyrrolidone) (NASCIMENTO et al., 2021), a qual pode ser funcionalizada com polímeros condutores como o PTAA (do inglês, 3-thiophene acetic acid) de modo a aumentar consideravelmente sua condutividade e permitir a aplicação em sensores com maior eficiência.

Desse modo, busca-se sintetizar, caracterizar, otimizar e padronizar dispersões de óxido de grafeno (GO) e de grafeno, de modo a garantir sua reprodutibilidade e segurança como transdutor de biossensores para diagnóstico de doenças e infecções precocemente

## OBJETIVO

Investigar a separação de folhas de GO utilizando o método de centrifugação diferencial e caracteriza-las fisicoquimicamente..

## METODOLOGIA

### Síntese do óxido de grafeno (GO)

O grafeno foi oxidado para produzir óxido de grafeno, O processo baseia-se na síntese do óxido de grafeno, conforme descrito por MARCANO (2010)

### Exfoliação do óxido de grafite (GrO) em óxido de grafeno (GO)

Dilui-se o GrO obtido em 50 ml de água destilada e submete-se a solução à exfoliação em ultrassom de ponta, obtendo-se uma solução de GO 500 µg/ml. O aparelho deve ser configurado em 25% de amplitude e 37 kJ de energia. Caracteriza-se a solução exfoliada por microscopia óptica.

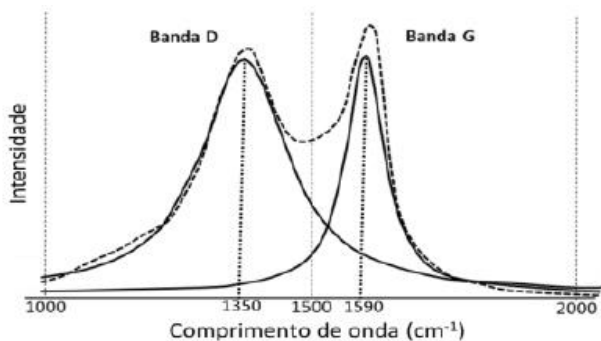
### Caracterização da Dispersão de Óxido de Grafeno (GO)

A partir dessa dispersão sintetizada, inicia-se a fase de caracterização, a fim de avaliar a conversão do óxido de grafite (GrO) em óxido de grafeno (GO). Nesse sentido, foi feitas uma Espectroscopia Raman e uma espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

## RESULTADOS

Ao final da síntese do óxido de grafite (GrO) a partir de 10 g de grafite expandido moído, obteve-se um rendimento de 7,4 g do material oxidado.

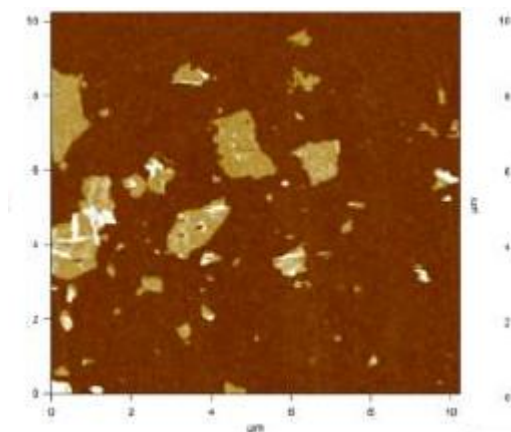
Gráfico 1 Espectro Raman da amostra de GrO no intervalo espectral entre 100 e 200  $\text{cm}^{-1}$  ( $\lambda=489\text{nm}$ )



No Gráfico 1, a banda D ajustada tem seu pico centrado em 1353  $\text{cm}^{-1}$  e a banda G ajustada em 1582  $\text{cm}^{-1}$ , sendo esse um resultado típico para amostras de GrO (CANÇADO et al., 2007; MARCANO et al., 2010, KANIYOOR e RAMAPRABHU 2012, MEHL et al. 2014).

A relação ID/IG de cerca de 0,9 indica uma quantidade de defeitos relativamente alta, provavelmente relacionadas com a adição dos grupos oxigenados na rede gráfica do grafeno.

**Figura 1** Imagem por AFM das folhas esfoliadas de GO



Na Figura 17, observa-se uma distribuição de tamanhos das folhas de GO presentes na dispersão, variando entre folhas maiores, com tamanho lateral de até 4  $\mu\text{m}$ , e fragmentos menores, com tamanhos diversos.

## CONCLUSÕES

Dado os resultados apresentados, conclui-se que a produção tanto de grafeno quanto de óxido de grafeno a partir de grafite comercial apresentam resultados coerentes com a literatura, embora ainda seja um desafio padronizá-las para resultados recorrentes, por exemplo, de número de camadas e de concentração. Além disso, mostra-se necessária a realização de novas caracterizações, visto que o DLS não é ideal para a análise de nanomateriais que diferem do formato esférico, além do fato da necessidade de total entendimento que a conversão foi bem-sucedida, para então, padronizá-la e definir parâmetros de otimização tanto para a síntese quanto para o armazenamento e aplicação em biossensores. Assim, os dados apresentam-se promissores na questão da síntese, sendo importante sua padronização a fim de promover a melhor aplicabilidade possível em biossensores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN M. J.; UNG V. C.; KANER R. B. Honeycomb carbon: A review of graphene. *Chemical Reviews* v. 110 n. 1 p. 132–145 13 jan. 2010

DREYER D. R. et al. The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews* jan. 2010.

NASCIMEN O J. P. et al. “Molecular insights into the production of few-layer graphene in N-Cyclohexylpyrrolidone + water mixtures”. *Carbon* v. 171 p. 723–738 1 jan. 2021.

MARCANO, Daniela C. et al. Improved synthesis of graphene oxide. *ACS nano*, v. 4, n. 8, p.4806-4814, 2010.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Projeto FAPEMIG APQ-02531-21, Projeto FINEP 0109/21 Projeto CNPq 408625/2021-0

# Nanosistemas luminescentes a base de hidroxiapatita e gadolínio para aplicações teranósticas

Manuella Karoline da Silva Riela de Carvalho Serrano e Edésia Martins Barros de Souza  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Os fosfatos de cálcio como a hidroxiapatita são de significativo interesse para a comunidade científica devido às suas propriedades como biocompatibilidade e bioatividade [1]. A hidroxiapatita ainda permite inúmeras substituições em sua rede cristalina nos grupos Ca, PO<sub>4</sub> e OH, tornando-os mais aptos às suas aplicações [2]. Paralelamente, elementos de terras raras têm sido explorados para fornecer multifuncionalidade aos nanomateriais, permitindo que sejam utilizados no diagnóstico de doenças simultaneamente ao tratamento [3].

## OBJETIVO

O principal objetivo deste projeto é a realizar a síntese e caracterização de um material nanocompósito constituído por hidroxiapatita, európio e gadolínio com potencial para tratamento e diagnóstico de tumor ósseo. Constituem os objetivos específicos:

- Sintetizar a hidroxiapatita (essa etapa já é bem estabelecida pelo grupo de pesquisa);
- Sintetizar hidroxiapatita dopada com diferentes teores de gadolínio e európio;
- Caracterizar físico-quimicamente as amostras funcionalizadas com diferentes técnicas;

## METODOLOGIA

As nanopartículas de hidroxiapatita foram sintetizadas pelo método hidrotermal de acordo com o protocolo estabelecido pelo grupo.

As Nano partículas dopadas com európio e gadolínio foram sintetizadas utilizando o

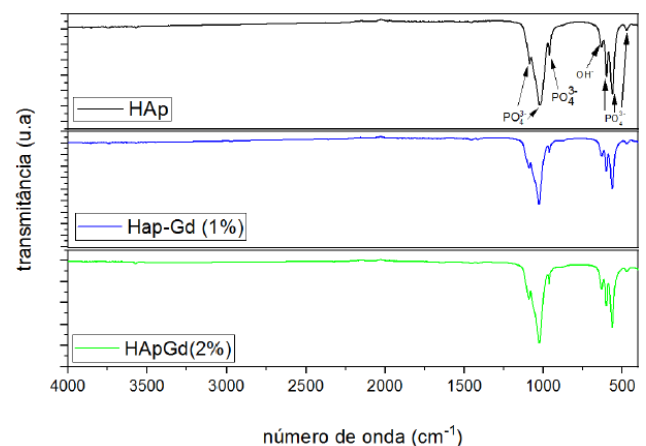
método hidrotermal modificado. Inicialmente foram sintetizadas amostras de hidroxiapatita dopadas com 1% e 2% de gadolínio.

Os materiais sintetizados foram analisados por diferentes técnicas de caracterizações.

## RESULTADOS

Os espectros de infravermelho apresentados na figura 1, apresentaram as principais bandas de transmitância, dos grupos fosfato e hidroxila, características da hidroxiapatita. Comparando os espectros das amostras obtidas não foi possível observar alterações significativas que podem ser atribuídas a presença do gadolínio.

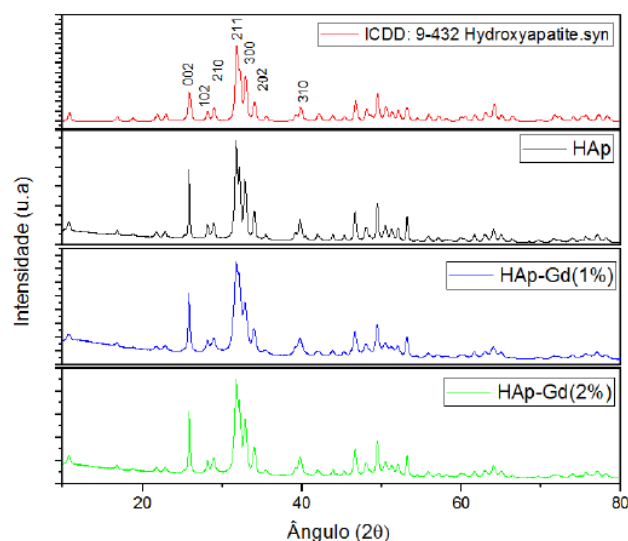
Figura 1: Espectros de FTIR das amostras de hidroxiapatita pura (HAp) e dopadas com gadolínio (HAp-Gd1% e HAp-Gd2%).



Os difratogramas das amostras sintetizadas estão apresentados na Figura 2. Comparando os difratogramas com o arquivo 9-432 do banco de dados PDF (Powder Diffraction File) do Centro Internacional de Dados de Difração ICDD

(International Centre for Diffraction Data) todas as amostras sintetizadas apresentaram correspondência com a fase cristalina da hidroxiapatita com arranjo hexagonal, grupo espacial P63/m e picos característicos nos ângulos de Bragg ( $2\theta$ ) de aproximadamente  $32^\circ$ ,  $33^\circ$  e  $34^\circ$ . Esses picos podem ser atribuídos às reflexões dos planos (211), (300) e (202) respectivamente. Nenhuma outra fase foi observada.

Figura 2 - Difratoograma das amostras das amostras de hidroxiapatita pura e dopadas com gadolínio



Os resultados de potencial zeta estão apresentados na Tabela 1. Todas as nanopartículas sintetizadas apresentaram carga superficial negativa atribuída à presença de grupos OH<sup>-</sup> da hidroxiapatita.

Amostras	Potencial Zeta (mV)
HAp	$-20,3 \pm 0,666$
HApGd1%	$-15,5 \pm 0,153$
HApGd2%	$-12,1 \pm 0,173$

Tabela 1 - Medidas de potencial zeta das amostras Hap, Hap-Gd(1%) e Hap-Gd(2%)

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que as nanopartículas de hidroxiapatita pura e dopada com gadolínio foram sintetizadas com sucesso. Os resultados de FTIR indicaram a obtenção da hidroxiapatita. As medidas de difração de raios X da amostra apresentaram picos de reflexão característicos da hidroxiapatita. Não foi observada a presença de nenhuma outra fase cristalina na amostra, o que indica que o processo de dopagem foi bem-sucedido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rivera-muñoz, E. M. Hydroxyapatite-based materials: synthesis and characterization. In: FAZEL-REZAI, R. (Ed.). Biomedical Engineering - Frontier and challenges. [s.l.] InTechOpen, 2011. p. 75–98.
- [2] Ciobanu, C. S. et al. Synthesis, Structure, and Luminescent Properties of Europium-Doped Hydroxyapatite Nanocrystalline Powders. Journal of Nanomaterials, v. 2012, p. 1–9, 2012.
- [3] Vallet-regí, M. Ceramics for medical applications. Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions, n. 2, p. 97–108, 2001.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN e FAPEMIG

# Sistemas nanoestruturados a base de sílica mesoporosa para entrega direcionada de fármacos

Marcela Alves Magalhaes e Edésia Martins Barros de Sousa  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

A sílica mesoporosa se destaca por estas apresentar diversas vantagens que a torna altamente adequada para aplicações de entrega de drogas<sup>1,2</sup>: uma rede porosa ordenada, que é muito homogênea em tamanho e permite um controle preciso da carga e da cinética de liberação do fármaco; um elevado volume de poros para hospedar a quantidade necessária de agentes terapêuticos; uma área superficial elevada, o que implica um alto potencial para adsorção do fármaco; e uma superfície rica em grupos silanol que pode ser funcionalizada para permitir um melhor controle sobre o carregamento e a liberação do fármaco.

No caso de drogas naturais antitumorais, as nanoplateformas melhoraram a atividade terapêutica, direcionamento específico, solubilidade e biodisponibilidade e podem reduzir os efeitos colaterais<sup>3,4</sup>. O ácido tânico (TA) é um tanino hidrolisável presente em diversas fontes naturais como uvas, chá verde, café, entre outros. O AT exibe uma infinidade de benefícios medicinais, como efeitos anticancerígenos, antioxidantes, anti-inflamatórios e neuroprotetores<sup>5,6</sup>.

## OBJETIVO

O presente trabalho visa como principais objetivos a síntese e caracterização físico-química e morfológica das nanopartículas de sílica mesoporosa (MCM-41), funcionalizadas com APTES e avaliação da aplicação como sistemas de liberação controlada e direcionada utilizando ácido tânico como pro-droga natural.].

## METODOLOGIA

As nanopartículas de sílica foram preparadas a partir da dissolução CTAB em meio ácido. adicionado o tetraetilortossilicato (TEOS) como fonte de silício. As nanopartículas de foram funcionalizadas com APTES em atmosfera de argônio e em seguida o ácido tânico foi incorporado na estrutura durante 24 horas. Os materiais foram caracterizados por diferentes técnicas e a avaliação da liberação do fármaco foi realizada in vitro utilizando um espectrofotômetro de UV-Vis.

## RESULTADOS

A Figura 1 mostra o resultados de FTIR onde percebe-se bandas características da sílica MCM-41, e um sinal muito sutil da presença do APTS. Não foi possível observar a presença do AT nas nanoestruturas.

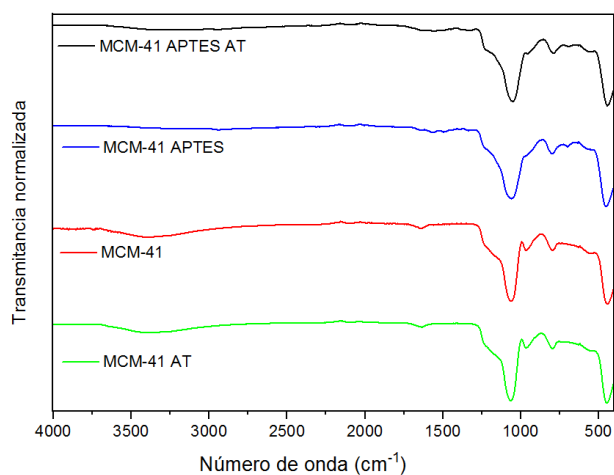


Figura 1: Espectros de FTIR relativos as amostras funcionalizadas e com ácido tânico

A Figura 2 mostra as curvas de termogravimetria, indicando a perda de massa (%) em função da temperatura para todas as amostras, confirmando a funcionalização com APTES e a incorporação do AT apenas nas amostras de MCM-41 APTES.

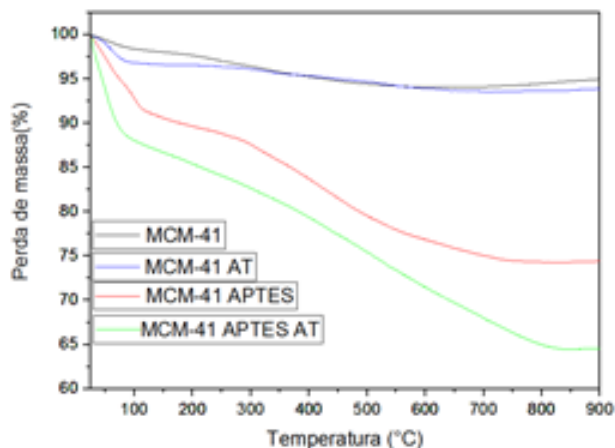


Figura 2: Análise termogravimétrica (TG) dos compostos funcionalizados

A Figura 3 mostra a curva de liberação do AT incorporado na sílica MCM-41 APTES e adsorção no comprimento de 200nm e 274 nm características do AT. Foi possível observar uma evolução no processo de liberação, indicando que o processo de liberação acontece de forma controlada.

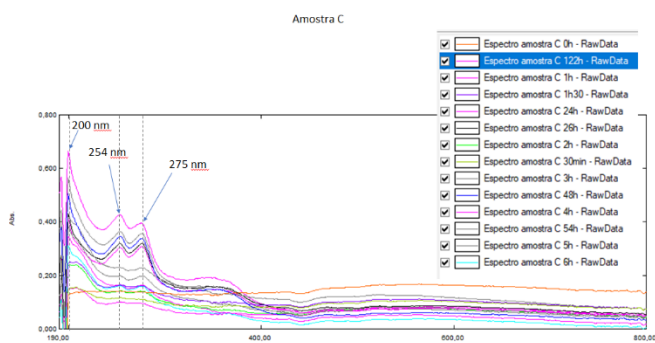


Figura 3: Curva de liberação do composto MCM-41 APTES incorporado com o ácido tânico.

## CONCLUSÕES

Com as técnicas de caracterização, foi possível observar a formação das nanoestrutura de sílica, o processo da funcionalização com APTES e a incorporação do AT. Observou-se que a presença de APTES nas nanoestruturas beneficiou a incorporação do AT, tendo a confirmação pelas as caracterizações realizadas. As curvas de UV-Vis durante o processo de liberação permitiu avaliar a cinética de liberação, com a evolução dos picos de absorção característicos do ácido tânico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-Yhee, J. Y. et al. Cancer Targeted Drug Delivery. New York: Springer, pp. 621–632. (2013).
- 2- Attia, M. F. et al. J. Pharmacy Pharmacology, 71(8), pp. 1185–1198. (2019)
- 3- Abouaitah, K.; Lojkowski, W. Pharmaceutics, 13, 143, 2021.
- 4- Díez-Pascual, A. M. Materials, 15, 3251, 2022
- 5- A. Youness, R.; et al. Molecules, 26, 1486, 2021.
- 6- Dang, Y. and Guan, J. Smart Materials in Medicine, 1, pp. 10–19. (2020).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN e FAPEMIG

# Estudo da metodologia experimental do Laboratório de Termo-Hidráulica (LTHN-CDTN) para avaliação da perda de pressão através do software FEIXE

Maria Julia Santos Matos e André Augusto Campagnole dos Santos  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

A compreensão aprofundada dos parâmetros operacionais dos reatores nucleares é um pilar fundamental para aprimorar a segurança. Um componente vital dos PWRs (*pressurized water reactor*) é o elemento combustível nuclear, composto por pastilhas de dióxido de Urânio ( $UO_2$ ) levemente enriquecido, contidas em tubos conhecidos como varetas combustíveis. Um conjunto destas varetas, mantidas rigidamente por grades espaçadoras, forma o elemento combustível.

A concepção e o projeto desses elementos combustíveis demandam uma análise minuciosa das suas características para assegurar a uniformidade na transferência de calor ao longo das varetas e estabelecer uma relação equilibrada entre a remoção de calor e a perda de carga.

## OBJETIVO

Investigar a abordagem experimental empregada no Laboratório de Termo-Hidráulica (CDTN) para a análise das perdas de pressão nas varetas combustíveis, fazendo uso do software FEIXE.

## METODOLOGIA

Os dados relacionados com a pressão são captados por um sistema de amplificação e um sistema de conversão de sinal. Ambos são Advantech. A conversão final de sinal para valores com as unidades é obtida por um programa escrito na linguagem BASIC desenvolvido pela equipe do próprio laboratório (FEIXE). Além disso, é possível

acompanhar em tempo real os parâmetros relacionados ao escoamento.

## RESULTADOS

Os transmissores de pressão diferencial que são calibrados de acordo com os métodos do próprio laboratório e os dados são captados por um sistema de amplificação e um sistema de conversão de sinal por um programa escrito na linguagem BASIC. As médias da diferença de pressão têm os seus valores médios gravados a cada 300 pontos com um tempo gasto de 3 minutos.

## CONCLUSÕES

Por limitações, foi-se desenvolvida uma pesquisa de caráter bibliográfico e explicativo no qual tem como base os materiais, principalmente de livros e artigos científicos, sobre a metodologia experimental do Laboratório

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CASTRO, Higor Fabiano Pereira de. **Avaliação termo-hidráulica experimental de grades espaçadoras comerciais para reatores PWR e de protótipo fabricado por impressora 3D**. repositorio.ufmg.br, 2020. Disponível em: <<https://shre.ink/9TZs>>. Acesso em: 13 jul. 2023

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Centro Nacional de Pesquisa (CNPq)

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)



# Levantamento da legislação, normas e procedimentos nacionais e internacionais sobre o uso da irradiação de alimentos

Mariana Alonso Natividade E Amir Zacarias Mesquita  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

A radiação ionizante para a conservação de alimentos é estudada há várias décadas e já está regulamentada no Brasil. Atualmente, a legislação brasileira segue as recomendações internacionais sugeridas pela Food and Agriculture Organization (FAO), a International Atomic Energy Agency (IAEA) e Codex Alimentarius. Para esta finalidade industrial existem dois tipos de instalações que irradiam alimentos, os irradiadores por fontes de radioisótopos e irradiadores por equipamentos geradores de radiação.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) estabelece normas e regulamentos em proteção radiológica nas instalações que utilizam equipamentos geradores de radiação ionizante ou instalações com fontes, como as normas NN 3 01, NE 3 02, NN 6 02 e NN 7 01 CNEN NN 3 01. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) é responsável pela segurança alimentar da população brasileira e da produção para exploração, fiscaliza as indústrias de produtos de origem animal e vegetal. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é uma agência reguladora e sua finalidade é fiscalizar medicamentos, agrotóxicos, cosméticos. Além de garantir a segurança e a qualidade de alimentos.

O objetivo principal desta pesquisa é o levantamento, análise e evolução da legislação nacional e internacional relacionada com as práticas irradiação ionizante em alimentos. Será também descrito uma linha temporal sobre a evolução da legislação no Brasil e no mundo e caracterizar a importância das diretrizes que envolvem a irradiação de alimentos.

**Palavra-chave:** Irradiador gama, irradiação de alimentos, normas nacionais e internacionais.

## OBJETIVO

O objetivo principal da pesquisa é o levantamento e análise da legislação nacional e internacional relacionada com as práticas irradiação ionizante em alimentos. Será também descrito uma linha temporal sobre a evolução da legislação no Brasil e no mundo.

## METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza bibliográfica e documental. Realizou-se uma linha temporal sobre a evolução da legislação no Brasil e no mundo, realçando a importância das diretrizes que envolvem a irradiação de alimentos. Investigou-se a aplicabilidade da legislação nas instalações que irradiam alimentos, considerando as exigências dos vários órgãos do governo. Um levantamento das doses autorizadas, conforme a legislação, para utilização da irradiação em alimentos faz parte dos resultados deste relatório. Revisões bibliográficas, consultas nas legislações nacionais e internacionais, pesquisas em livros, sites na Internet e na documentação do Laboratório de Irradiação Gama do CDTN, possibilitaram um entendimento das demandas atualmente aplicadas.

Regularizar determinada matéria ou ciência e organizar a vida de um país, ou seja, o que popularmente se chama de ordem jurídica e que estabelece condutas e ações aceitáveis ou recusáveis de um indivíduo, instituição ou empresa. Por meio das legislações vigentes encontra-se às que beneficiam a irradiação de alimentos. Apesar de ser um método utilizado há muito tempo, foi proposta pela primeira vez, em 1905, conforme a patente inglesa nº1609 de 26 de janeiro de 1905, requerida por Appleby e Banks, [1].

O levantamento de dados foi realizado nas instalações do Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do CDTN, através de consultas de documentação (apenas os disponibilizados). A revisão bibliográfica e levantamento de dados foram realizados através da Internet,

principalmente, consulta ao Centro de Informações Nucleares – (CIN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) e na Agência Internacional de Energia Nuclear (AIEA). A biblioteca do CDTN disponibiliza vasta literatura técnica sobre as aplicações da tecnologia nuclear.

## RESULTADOS

A pesquisa realizada classifica-se quanto aos fins em exploratória e quanto aos meios é um trabalho de natureza substancialmente bibliográfico e documental. Foi pesquisada a evolução da legislação no Brasil e no mundo e caracterizado a importância das diretrizes que envolvem a irradiação de alimentos. Encontrase em andamento um levantamento da evolução da legislação sobre irradiação de alimentos e as doses autorizadas para utilização da irradiação conforme a legislação.

Avaliou-se a aplicabilidade da legislação nas instalações que irradiam alimentos, considerando as exigências dos vários órgãos do governo. As diretivas sobre irradiação de alimentos foram regulamentadas desde 1963 pelo FDA a partir de 1997, a WHO liberou a utilização da técnica para todo tipo de alimento, após estudos comprovarem que a técnica não é nociva à saúde. Não foram alterados de forma significativa, apesar do progresso tecnológico no domínio das radiações ionizantes. Em 2002 um novo e abrangente quadro legislativo foi adotado na União Europeia para a segurança alimentar e outras evoluções significativas, como a crescente globalização do comércio alimentar e as crescentes preocupações. A Tabela 1 apresenta o tempo de vida útil dos alimentos com e sem irradiação. Pode-se observar que existe uma grande variação entre eles, porém todos demonstram um aumento de prateleira, maior vida útil.

## CONCLUSÕES

No Brasil, autorizado pela Cnen, existem poucas empresas responsáveis em irradiar produtos em escala industrial. O regulamento técnico estabelece que o objetivo do uso das irradiações de alimentos para qualidade final do produto, define que o processo submete o alimento a doses controladas de radiação

ionizante com a finalidade sanitária, fitossanitária e ou tecnológica [2]. A maioria dos alimentos não têm suas propriedades nutricionais alteradas, desde que obedecidas às doses de radiação recomendadas para cada tipo de alimento [3]. As doses aplicadas variam de acordo com o objetivo desejado em cada tipo de alimento e são medidas em gray (Gy) ou quiloGrays (kGy). Um gray equivale a um joule de energia por quilograma de alimento irradiado. A tecnologia da introdução da irradiação de alimentos no Brasil ocorre desde o final dos anos 60. Durante as décadas posteriores, houve uma evolução juntamente com o apelo desta tecnologia no mundo.

A tecnologia utilizada para a irradiação de alimentos favorece o fornecimento de a segurança alimentar e nutricional. Além de ser um método de processamento de alimentos limpo e seguro, garantindo o aumento da oferta de alimentos de alta qualidade biológica, sanitária e nutricional. Contribuindo com a promoção de um estado nutricional privilegiado e sustentável para todos os povos e, conseqüentemente, formando homens mais produtivos e países mais competitivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MODANEZ, L. **Aceitação de alimentos irradiados: Uma questão de educação**. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) – São Paulo. 2012.
- [2] ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 21**, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, revogando a Portaria nº 09 DINAL/MS de 1985 e Portaria nº 30 de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 29 de jan. de 2001.
- [3] LADEIRA, L.C.D. **Desenvolvimento de um Sistema para Automação & Controle de Irradiações de Curta Duração em Irradiadores Gama Panorâmicos com Estocagem a Seco**. Tese Doutorado Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Belo Horizonte. 2015.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig).

# Medida espacial do escoamento de entrada em uma placa perfurada

Mateus Brito Chalub e André Augusto Campagnole dos Santos  
Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

As placas perfuradas são componentes cruciais dos reatores nucleares, pois desempenham várias funções importantes. Elas são usadas para estruturar os feixes de varetas, filtrar impurezas de maior dimensão e equalizar a distribuição do fluido de resfriamento do reator.[1][2] Essas placas são fabricadas com materiais resistentes à corrosão e à alta temperatura, como aço inoxidável ou titânio. Além disso, elas são perfuradas com orifícios de tamanho e forma específicos para acomodar as varetas de combustível e o fluido de resfriamento. As placas são instaladas nos canais do reator e fixadas com parafusos. Em resumo, as placas perfuradas são uma parte essencial dos reatores nucleares e ajudam a garantir a segurança e a eficiência dos mesmos.

## OBJETIVO

O objetivo do experimento é construir uma base experimental para validar simulações computacionais.

## METODOLOGIA

Para a realização do experimento, foi utilizada a técnica LDV. Ela consiste em dois pares de feixes de laser em planos perpendiculares que convergem em um ponto. Quando esse ponto de convergência é posicionado em um fluido em movimento e equipado de material particulado (no caso deste experimento, o material utilizado foram esferas de poliamida com 5 $\mu$ m de diâmetro), a velocidade da partícula causa nos feixes refletidos do laser um efeito Doppler. Através do processamento deste efeito, é possível determinar a velocidade da partícula em questão e, por analogia,

também a do fluido em que ela está inserida.

Para se construírem os perfis de velocidade, foram reunidos diversos pontos através desse processo, fazendo uso de uma mesa móvel. Foram armazenados os dados de posição da mesa e de velocidade nesta dada posição. Em seguida, os dados foram processados em um código em Python que realizou a montagem dos gráficos.

Neste caso, o perfil de velocidade analisado foi o de entrada, ou seja, antes de passar pela placa perfurada. A distância escolhida da placa foi de 70mm para baixo, de forma que não houvesse efeitos de retorno que influenciassem os resultados. Neste caso também, foram coletados pontos experimentais em um plano. O que deu uma visualização ampla do escoamento em estudo.



Figura 1-Seção de testes montada com o LDV acionado

## RESULTADOS

O resultado obtido foi o gráfico da velocidade vertical de escoamento em função das coordenadas x e y da seção analisada. Percebeu-se que certas áreas da seção não obtiveram resultados, de forma que, visto de cima, o gráfico não forma um quadrado como seria esperado. Isso ocorreu porque as paredes da seção de testes impediram a chegada de pelo menos um feixe do laser até o ponto de interesse, o que impossibilitou a medida no local.

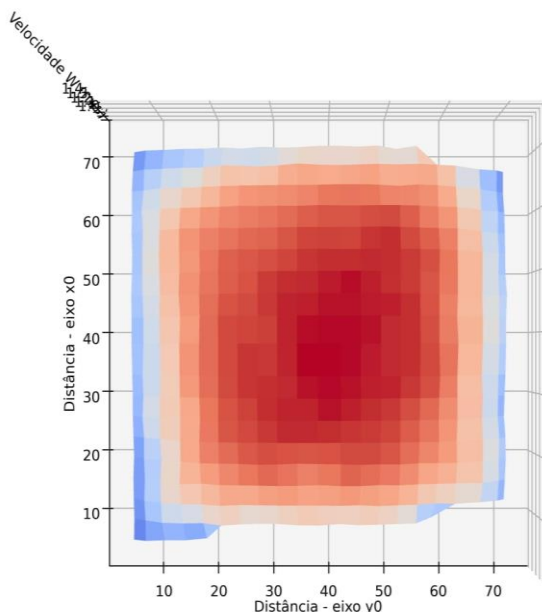
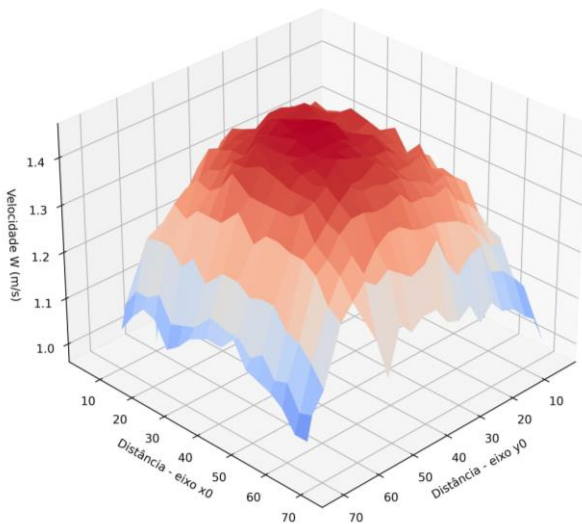


Figura 2 e 3- Gráficos obtidos do escoamento de entrada

## CONCLUSÕES

A partir da análise da imagem obtida, é possível visualizar um típico perfil de velocidade de um escoamento viscoso. Percebe-se que a velocidade é maior perto do centro da seção de testes e menor nas laterais devido à aderência do fluido com a superfície das paredes.

Esse resultado indica que o escoamento era ideal para a realização dos testes de escoamento de saída da placa de orifício, além de corroborar com estudos anteriores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. A. C. Santos e M. A. Navarro, Modelagem numérica de escoamento através de placas perfuradas, International Nuclear Atlantic Conference- INAC 2005, Santos, 28 agosto (2005).
- [2] B. Y. Guo et al., Numerical modelling of the gas flow through perforated plates, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 91, pp. 403-408 (2013).
- [3] F. A. P. Magalhães, Modelagem do Escoamento de Água Através de Placas Perfuradas com Validação Experimental, Dissertação, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (2007)
- [4] J. A. B. Filho et al., Effect of chamfer geometry on the pressure drop of perforated plates with thin orifices, Nuclear Engineering and Design, Vol. 284, pp. 74-79 (2015).
- [5] P. Tanner et al., Flow-pressure drop characteristics of perforated plates, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Vol. 29, pp. 4310-4333 (2019)

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq/PIBIC

# Extração de Terras Raras de Água Residual de Mina por Troca Iônica

Pedro Augusto Possa Vicente Sacramento Ferreira Orientador e Ana Cláudia Queiroz Ladeira

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

Elementos terras raras (ETR) compreendem os 15 elementos da família dos lantanídeos mais o ítrio e o escândio, sendo comumente divididos em dois grupos: ETR leves (do lantânio até o európio) e ETR pesados (do gadolínio até o lutécio), com o ítrio é classificado como ETR pesado. (Castor & Hedrick, 2006). O trabalho teve como foco as fontes secundárias de obtenção de ETR, extraíndo os elementos de terras raras da água residual (DAM) proveniente de uma mina de Urânio localizada no município de Caldas, MG que apresenta grande interesse científico, já que o local de extração apresenta alto grau de concentração de ETR (Moraes et al., 2020).

## OBJETIVO

O trabalho realizado foi feito com o objetivo de analisar a viabilidade da técnica de troca iônica para obtenção e separação de ETR a partir de DAM.

## METODOLOGIA

A água ácida de mina foi fornecida pela antiga mineradora de urânio no município de Caldas, as Indústrias Nucleares Brasileiras – INB. Durante a realização dos ensaios, foram utilizadas as resinas de troca iônica LEWATTIT® MDS 200H e DOWEX® MARATHON-C.

Foram realizados testes em batelada e em coluna, utilizando-se da AMD e de uma solução sintética sem impurezas. Após o carregamento das resinas, foram realizados ensaios de eluição utilizando-se soluções de HCl 2M e de NH<sub>4</sub>EDTA 0,01M em diferentes pH. Os testes foram realizados em batelada, com um tempo de contato de 1 hora. A eluição em coluna foi realizada em na coluna carregada com a água de mina, o

NH<sub>4</sub>EDTA 0,01M foi utilizado como agente de eluição, além de apresentar duas colunas com 15 cm de leito carregadas com hidróxido de amônio. Coletando-se as amostras de intervalos de 45 minutos.

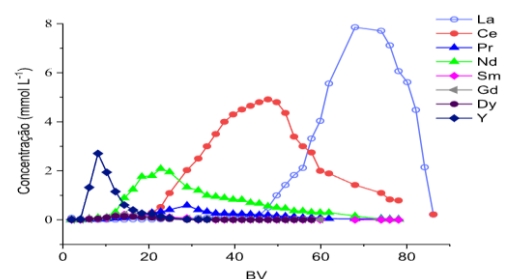
## RESULTADOS

Após os ensaios de carregamento, as amostras de AMD foram analisadas com o auxílio de um ICP-OES. Foi possível observar que a resina LEWATTIT MDS 200H apresentou melhores resultados de carregamento de ETR quando comparada a resina DOWEX MARATHON-C, enquanto a resina da Dowex apresentou uma maior capacidade de remoção do alumínio. Em relação aos testes com a solução sintética, observa-se que no valor de pH 2,32 observou-se um carregamento quase completo dos ETR, indicando uma interferência significativa das impurezas no processo de carregamento. Já nos ensaios com o pH corrigido para 3,08, observou-se um valor de carregamento extremamente baixo.

Analisando os resultados de eluição, observa-se que a utilização do HCl em concentração alta não foi muito efetivo para, com mais da metade dos ETR continuando nas resinas. Já a remoção com o NH<sub>4</sub>EDTA 0,01M nas resinas carregadas com a solução sintética foi extremamente baixa.

Após a obtenção dos resultados em coluna foram observadas as quantidades de ETR em uma determinada faixa, confeccionando curvas de eluição dos ETR de interesse.

Figura 1 Curvas De Eluição Dos Metais Analisados



Os resultados em coluna apresentaram uma boa separação entre o La e os outros ETR, com exceção do Ce. Há uma considerável separação entre os ETR pesados (Y, Dy, Gd) e leves (Pr, Nd e Ce), com exceção do Sm. Os teores em porcentagem dos ETR eluídos estão próximos de 100% para Ce, Nd e Gd, de 90% para La, Pr e Sm, e de 80% para Dy e Y, indicando uma alta eficiência de remoção.

## **CONCLUSÕES**

Após a análise dos resultados, é possível concluir que a utilização da resina LEWATIT MDS 200H se demonstra mais efetiva no carregamento de ETR, apresentando uma dificuldade para realizar a eluição em batelada. Os resultados em coluna demonstram uma boa separação entre os ETR quando utilizadas duas colunas carregadas com amônio, além de apresentar uma remoção quase total dos elementos de terras raras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Castor, S.B. and Hedrick, J.B. (2006) Rare Earth Elements. Industrial Minerals Volume, 7th Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Colorado, 769-792. Rare earth elements in groundwaters from the Osamu Utsumi mine and Morro do Ferro analogue study sites, Poços de Caldas, Brazil. J. Geochem. Explor. 45, 365–387

[2] MORAES, M.L.B.; MURCIEGO, A.; ÁLVAREZ-AYUSO, E.; LADEIRA, A.C.Q. The role of Al13-polymers in the recovery of rare earth elements from acid mine drainage through pH neutralization. APPLIED GEOCHEMISTRY, v. 113, p. 104466, 2020.

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico

# Análise de ciclo de vida para duas opções de tratamento para rejeito NORM de petróleo

Pedro Henrique do Nascimento Alcântara e Valeria Cuccia  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Elementos radioativos são comumente encontrados nos recursos naturais, gerando o material conhecido como como NORM (*naturally occurring radioactive material*). Atividades de exploração e beneficiamento de recursos naturais, como a extração e refino do petróleo, estão associadas com o aumento da concentração destes radionuclídeos e podem gerar diferentes quantidades de rejeitos NORM <sup>[1]</sup>.

O setor de gás e petróleo brasileiro contribui de maneira relevante para o desenvolvimento econômico do país. Uma pesquisa levantada pelo IBGE mostra que o setor de gás e óleo é a segunda maior atividade industrial no Brasil. Contribuindo, em 2015, com R\$185,22 bilhões no PIB brasileiro representando 20% da atividade econômica industrial <sup>[2]</sup>.

Rejeitos NORM oriundos da indústria de petróleo estão majoritariamente na forma de sólidos incrustados (*scales*) ou de borra (*sludges*), sendo desejável sua solidificação. Estes rejeitos também contam com diversos compostos orgânicos instáveis e perigosos em sua composição e, por consequência, é desejável sua degradação antes da solidificação. Dentre as técnicas economicamente viáveis empregadas para o tratamento, a incineração e a destilação a vácuo geram rejeitos concentrados semelhantes para a solidificação e deposição final.

## OBJETIVO

Este projeto tem como objetivo estudar, avaliar e comparar duas alternativas de tratamento de rejeito NORM — incineração

e destilação a vácuo — que geram rejeitos concentrados semelhantes, com enfoque em aspectos de sustentabilidade.

## METODOLOGIA

O trabalho se baseou em um projeto de pesquisa anterior, do autor, onde os resultados de comparação da ACV não se mostravam muito eficientes, devido ao modelo proposto. Logo de início, foram realizadas alterações na modelagem proposta: foram avaliados os resultados obtidos variando o consumo energético do processo de destilação e variando entre a matriz energética genérica — que foi proposta no modelo anterior — e a matriz energética brasileira.

Essa mudança se mostrou importante, visto a variabilidade de matrizes energéticas e matrizes elétricas em função do país estudado.

O trabalho da Avaliação do Ciclo de Vida começou com a redefinição do rejeito que seria aplicado como entrada tanto no método de incineração quanto no método de destilação a vácuo. Inicialmente, o rejeito de partida foi definido como rejeito NORM de petróleo. Porém devido à complexidade do rejeito NORM e a fim de entender as transformações ocorridas durante os processos de tratamento, alterou-se para um rejeito de partida similar, oriundo principalmente de indústrias de tintas e refinós.

Para obtenção dos resultados da Avaliação do Ciclo de Vida, devem ser utilizados métodos de avaliação de impacto. No trabalho, foram avaliadas as emissões de CO<sub>2</sub> (indicador Climate Change), danos à

camada de ozônio (indicador Ozone Depletion), emissões de material particulado (indicador Particulate matter), uso de recursos fósseis (indicador Resource use, fossils), uso de recursos minerais e metálicos (indicador Resource use, minerals and metals) e uso de água (indicador Water Use). O método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) utilizado no trabalho foi o “*EF 3.0 Method (adapated)*”. Foi utilizado o software OpenLCA durando toda a modelagem.

## RESULTADOS

Os resultados deste estudo, obtidos por meio da função de relatório do Software OpenLCA, proporcionaram uma análise abrangente e esclarecedora das alternativas de tratamento de rejeito NORM. Como previsto, a comparação entre os métodos de destilação a vácuo e incineração apresentou diferenças em termos de impacto ambiental, favorecendo o método de destilação em diversos indicadores. Fortalecendo a percepção de que o tratamento de rejeito menos agressivo ao meio ambiente é um objetivo alcançável.

Ao realizar as mudanças propostas na modelagem, como a correção da matriz elétrica e a adoção de um rejeito de referência novo. Percebeu-se uma melhoria no modelo, visto que uma considerável parcela dos impactos está associada à quantidade de energia elétrica utilizada (representada no modelo pelo fluxo “*Electricity, medium voltage {BR} market for*”).

Dados os valores obtidos na modelagem, pode-se considerar que os resultados obtidos com essa abordagem foram um sucesso e ocorreram de acordo com o planejado. Contudo, é importante salientar que esta abordagem se tratou de uma aproximação, considerando que o rejeito perigoso é muito similar ao NORM oriundo da indústria de petróleo.

## CONCLUSÕES

Chegou-se ao resultado de que o método de destilação é mais adequado, quando comparado com incineração, visto que a destilação conta com um procedimento livre de combustão, com uma baixa emissão de poeira e gases poluentes. Aliado a este menor impacto no processo em si, o método de destilação a vácuo também conta com menor impacto associado indiretamente à sua aplicação, visto que o método utiliza uma menor quantidade de energia elétrica.

O resultado obtido a partir da aproximação realizada demonstrou-se satisfatório, visto que se espera que o método de destilação a vácuo para redução do volume de rejeito seja menos agressivo ao meio ambiente, quando comparado com a incineração. Contudo, é possível, em futuros trabalhos, aprofundar a investigação de modo a obter uma representação precisa dos fenômenos de destilação a vácuo e incineração. Para otimizar ainda mais o modelo proposto, é interessante a utilização de dados que efetivamente empreguem o rejeito NORM de petróleo. Ao incorporar tais informações mais representativas, será possível alcançar uma abordagem mais refinada e acurada, contribuindo significativamente para a confiabilidade dos resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IAEA. Management of NORM Residues. 2013. Disponível em: <<https://www.iaea.org/publications/10396/management-of-norm-residues>>.

[2] IBP; EY. A relevância do Petróleo e Gás para o Brasil. *Ibp*, pp. 45, 2018.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradecemos à toda a equipe do CDTN pelo apoio no estudo e pela disponibilização da infraestrutura para a realização deste projeto e ao CNPq/PIBIC pelo apoio financeiro e fornecimento da bolsa para este projeto.



# Cardiotoxicidade e alterações metabólicas cardíacas no câncer: Impactos do tratamento quimioterápico

Rafael Dias de Brito Oliveira, Luciano Fonseca Lemos de Oliveira e Carlos Malamut

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Anualmente, cerca de 1,7 milhão de casos de câncer de mama são identificados, tornando-o uma das principais causas de óbito em mulheres globalmente [1]. Lamentavelmente, problemas cardíacos resultantes do uso de tratamentos quimioterápicos têm emergido como a principal causa de morte entre pacientes que sobrevivem por mais de nove anos pós-tratamento [2]. Ainda hoje, os mecanismos subjacentes à ocorrência de problemas cardíacos desencadeados pela quimioterapia carecem de total compreensão [1,3].

## OBJETIVO

Caracterizar o padrão de cardiotoxicidade e alteração do metabolismo cardíaco decorrente do modelo experimental de câncer de mama, com e sem o tratamento com antraciclina.

## METODOLOGIA

### Modelo murino de câncer de mama

Camundongos C57BL/6J foram inoculados com  $2,5 \times 10^5$  células de tumor de mama murino E0771. Os camundongos receberam injeções intravenosas de doxorubicina (DOXO) hidrocloreto na forma livre ou encapsulada em NLC-DOXO, durante 5 semanas, uma vez por semana. Animais saudáveis também receberam tratamento com DOXO.

### Imagens PET

Foram obtidas imagens usando um MicroPET específico para tomografia positrônica de pequenos animais. As

imagens foram reconstruídas usando o algoritmo OSEM sem correção por atenuação. Os animais foram posicionados com o coração no centro do campo de visão. Parâmetros vitais foram monitorados e controlados.

### $^{18}\text{F-FDG}$

Imagens foram capturadas por 20 minutos após a injeção do  $^{18}\text{F-FDG}$ . Duas reconstruções foram feitas: 1) imagem estática para avaliar o metabolismo de glicose; 2) reconstrução sincronizada com o eletrocardiograma para medir fração de ejeção, volume sistólico e diastólico do ventrículo esquerdo. Uma gota de sangue foi retirada da veia caudal dos camundongos antes da injeção do  $^{18}\text{F-FDG}$  e após a aquisição da imagem PET para quantificar a glicemia.

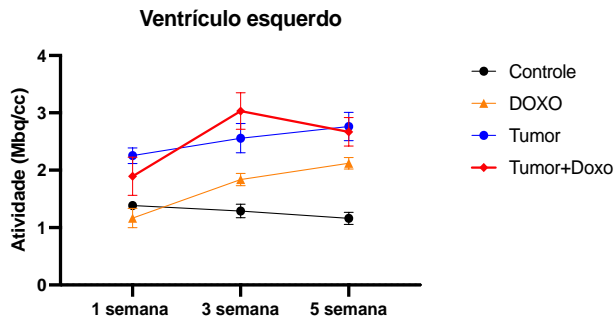
### Imuno-histoquímica

Para avaliação da inflamação cardíaca e espécies reativas de oxigênio dos animais, foram utilizados os marcadores CD68 e DHE, respectivamente.

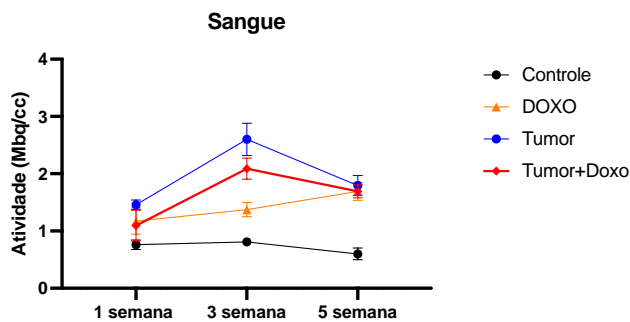
## RESULTADOS

O tratamento com DOXO promove um aumento na concentração miocárdica (Fig. 1) e sanguínea (Fig. 2) de  $^{18}\text{F-FDG}$ ; que também pode ser observado nos grupos de animais com câncer de mama. A dosagem de DOXO utilizada foi capaz de reduzir o crescimento tumoral, porém, não pode impedir o seu desenvolvimento (Fig. 3), especialmente na 5ª semana, onde a fração de ejeção do ventrículo esquerdo apresentou uma queda significativa (Fig. 4), apesar da manutenção do diâmetro das câmaras cardíacas. Inflamação miocárdica

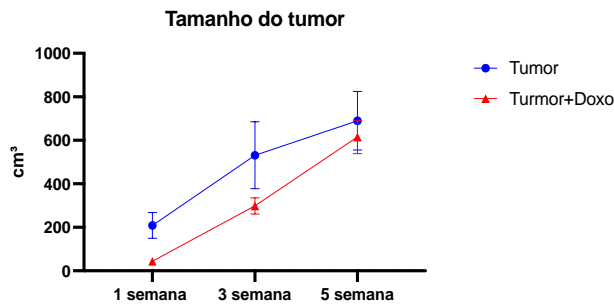
(Fig. 5) e estresse oxidativo (Fig. 6) foram estatisticamente maiores no grupo sadio tratado com DOXO, comparado aos demais grupos.



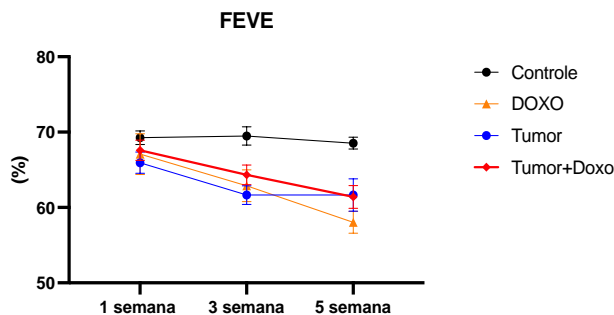
**Fig. 1:** Captação de  $^{18}\text{F}$ -FDG nos cardiomiócitos ao longo das semanas de tratamento.



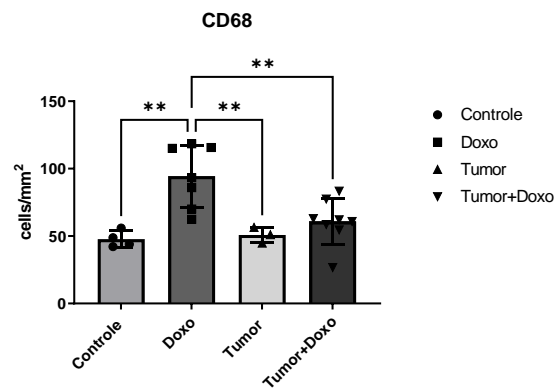
**Fig. 2:** Concentração de  $^{18}\text{F}$ -FDG no sangue dos animais ao longo das semanas.



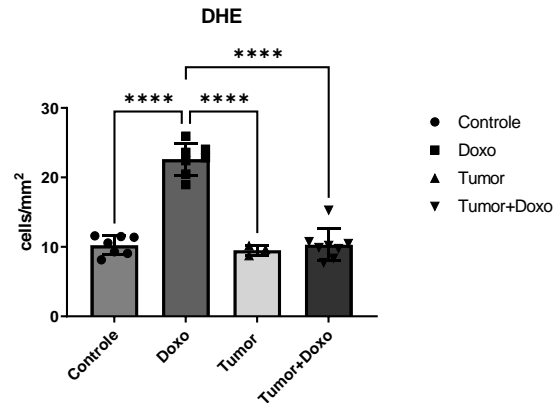
**Fig. 3:** Comparação do tamanho do tumor entre os grupos de animais com câncer, tratados e não tratados.



**Fig. 4:** Fração de ejeção do ventrículo esquerdo ao longo das semanas.



**Fig. 5:** Comparação da quantidade do marcador CD68 no coração dos animais em seus respectivos grupos.



**Fig. 6:** Comparação da quantidade do marcador DHE no coração dos animais em seus respectivos grupos.

## CONCLUSÕES

O tumor, de maneira independente, é capaz de causar alterações metabólicas e reduzir a contratilidade dos miócitos cardíacos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alcantara D, Leal MP, García-Bocanegra I and García-Martín ML (2014) Molecular imaging of breast cancer: present and future directions. *Front Chem* 112.
- [2] Colas S, Mahéo K, Denis F, et al. (2006) Sensitization by dietary docosahexaenoic acid of rat mammary carcinoma to anthracycline: a role for tumor vascularization. *Clin Cancer Res* 19:5879-5886.
- [3] Finke D, Heckmann MB, Frey N and Lehmann LH (2021) Cancer—A Major Cardiac Comorbidity With Implications on Cardiovascular Metabolism. *Frontiers in Physiology*

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN/CDTN

# Estudo da resposta de espectrômetros de Bonner EB utilizando o código de Monte Carlo PHITS

Rafael Santos Oliveira e Juliana Batista da Silva  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Para a obtenção de uma caracterização completa do espectro de nêutrons em locais de trabalho, é necessário utilizar os espectrômetros de Bonner (EB) que é constituído de esferas moderadoras de polietileno de alta densidade (PEAD), as quais possuem diferentes diâmetros. Como a resposta de cada detector não é uma função analiticamente conhecida, devido ao número finito de medidas, a função resposta do detector deve ser substituída por uma matriz de resposta, normalmente obtida utilizando códigos computacionais baseados no método de Monte Carlo (MMC). MCNP e PHITS, são dois exemplos de códigos MC, bem conhecidos, usados para a simulação de transporte de nêutrons. Esses códigos possuem diferentes bibliotecas e modelos físicos, que podem resultar em uma diferença de resultados para nêutrons com energias acima de 20 MeV (García-Baonza et al., 2022 and 2023)<sup>1</sup>.

## OBJETIVO

Estudo da resposta de espectrômetros EB, utilizando o código de Monte Carlo PHITS, para realização do mapeamento completo do campo de radiação neutrônica ao redor do ciclotron GE PETtrace e linha externa do CDTN, em diferentes condições de operação e/ou produção.

## METODOLOGIA

Foi utilizado o código PHITS, versão 3.26 e MCNPX versão 2.7.0, para a modelagem do sistema EB com um detector de  $6\text{LiI}(\text{Eu})$  e esferas de polietileno de alta densidade (PEAD). O sistema foi modelado

considerando o detector, bem como a estrutura do tubo fotomultiplicador, de acordo com as especificações do fabricante. As densidades e composições dos materiais utilizados foram tomados do Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling<sup>4</sup>. Com a geometria modelada, posicionou-se uma fonte em formato de disco, com um raio correspondente ao raio da esfera de polietileno. Foram realizadas simulações para o detector sem esfera (Ball 0), e para os seguintes diâmetros de esferas em polegadas, 2", 3", 4", 5", 6", 8", 9", 10", e 12". Foi definido um feixe de nêutrons monoenergéticos de  $8.9125\text{E}(-09)$  MeV até  $1.1220\text{E}(+02)$  MeV, espaçados logaritmicamente (10 valores de energia por década), totalizando 101 grupos de energias. As respostas (R) do espectrômetro foram obtidas utilizando a seguinte equação de (Lacerda et al., 2017)<sup>3</sup>:

$$r_{ij} = \Phi_j * a_s * n_{LiI} * V_{det} (\sigma(n,p) + \sigma(n,d) + \sigma(n,t) + \sigma(n,\alpha))$$
$$i = 1, \dots, m$$

## RESULTADOS

As figuras 1 a 2, mostram a distribuição das razões das respostas obtidas no PHITS pelo MCNPX, abaixo de 20 MeV.

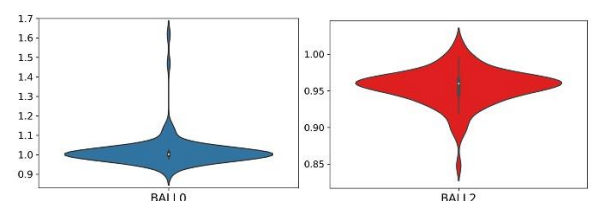


Figura 1. Violin plot do PHITS/MCNPX, para a Ball 0 e Ball 2.

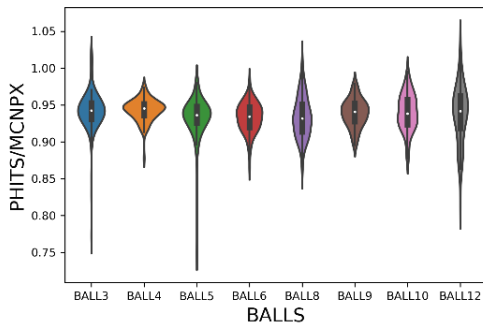


Figura 2. Violin plot do PHITS/MCNPX, para as Ball 3 – Ball 12.

Ao comparar o PHITS com o MCNP 6.1, observamos as maiores discrepâncias nas respostas para as esferas 0 polegadas.

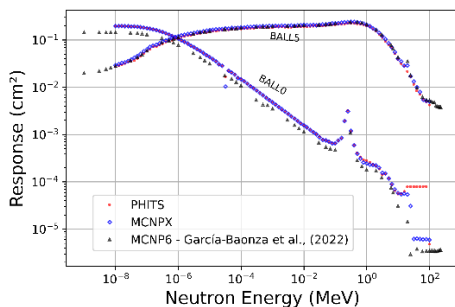


Figura 3. Violin plot do PHITS/MCNPX, para as Ball 3 – Ball 12.

As figuras acima demonstram uma boa concordância do PHITS com os outros códigos.

## CONCLUSÕES

Os resultados encontrados com o PHITS apresentaram uma boa concordância com os obtidos com o MCNPX (concordância média de 7%), há uma diferenças significativas apenas nas esferas 0, 2 e 3, polegadas para respostas acima de 20 MeV. Porém, o PHITS e o MCNPX podem apresentar divergências entre si, devido ao uso de bibliotecas diferentes e modelos físicos, principalmente em energias maiores que 20 MeV (García Baonza et al., 2022 e 2023)<sup>2,3</sup>. O PHITS também possui uma boa concordância com o trabalho publicado de García-Baonza et al. (2023)<sup>2</sup>, o qual utilizou

o MCNP 6.1, possuindo uma concordância média de 10%, para todas as energias. Assim as respostas calculadas nesse trabalho podem ser utilizadas em locais de trabalho onde os espectros de nêutrons variam do nêutron térmico a 20 MeV.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] García-Baonza, R., García-Fernández, G.F., Gallego, E., Cevallos-Robalino, L.E., Cabellos, Ó., 2022. Determination of the uncertainties associated to the use of different nuclear data libraries in the analysis of extended-range remeters. *Appl. Radiat. Isot.* 179, 110012.

[2] García-Baonza, R., Lorente, A., Ibáñez, S., Lacerda, M., Machado, I.A., Gallego, E., García-Fernández, G.F., Cevallos-Robalino, L.E., Vega-Carrillo, H.R., 2023. Comparison of extended-range and conventional Bonner Sphere Spectrometers (BSS) in an AmBe neutron field–Applicability of the ReBUNKI unfolding code for extended-range BSS. *Radiat. Phys. Chem.* 203, 110647.

[3] Lacerda, M. A. S., Mendez-Villafane, R., Lorente, A., Ibanez, S., Gallego, E. and Vega-Carrillo, H. R., “A new response matrix for a 6LiI scintillator BSS system”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 868, pp. 122-128, 2017.

[4] MCCONN, R. J. et al. *Compendium of material composition data for radiation transport modeling*. Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States), 2011.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

# Aspectos hidroquímicos das águas superficiais e subterrâneas da Unidade de Descomissionamento de Caldas (UDC)

Ruan Carlos Rocha Alves e Carlos Alberto de Carvalho Filho  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

A Unidade de Descomissionamento de Caldas (UDC), outrora chamada Unidade de Tratamento de Minérios (UTM/Caldas), teve sua operação finalizada, devido ao fato do minério em beneficiamento ser economicamente pobre, além de que havia uma crescente no custo operacional e logístico dos empreendimentos, o que deixou o mesmo inviável [1]. Entretanto, os danos que poderiam ser causados pelas atividades da UTM/Caldas são passíveis de acarretar impactos ambientais agudos além de degradar determinadas áreas e contaminar os recursos hídricos adjacentes.

O presente trabalho foi realizado com parte dos dados resultantes da prestação de serviços tecnológicos que o CDTN vem prestando para as Industrias Nucleares do Brasil (INB) na área da UDC. São dados hidroquímicos oriundos de amostras de águas superficiais, subterrâneas e de efluentes, coletadas em duas áreas especialmente sensíveis que são a pilha de estéril (BF4) e a Barragem de Rejeitos (BAR).

## OBJETIVO

Em se tratando da pesquisa propriamente dita, destaca-se como principal objetivo a elaboração de mapas de distribuição de parâmetros hidroquímicos obtidos com a primeira campanha de campo realizada na UDC. Desse modo, através dos softwares como o Excel e o QGIS 2023 [2] foi possível elaborar mapas de distribuição de parâmetros hidroquímicos visando alcançar o objetivo principal.

## METODOLOGIA

A metodologia consistiu na coleta de dados dos efluentes através da sonda multiparâmetros Hanna HI98194 (Figura 1), que foi previamente calibrada antes de ser levada para a realização das medições de campo. Foram calibradas 6 sondas multiparâmetros, visando garantir a representatividade dos dados medidos em campo, ou seja: pH, ORP (Potencial de Oxirredução), oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pressão atmosférica, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.



Figura 1. A esquerda, sonda multiparâmetros suspensa para limpeza e calibração; a direita, soluções para calibração do pH.

Com o trabalho de campo, os dados obtidos, através da sonda multiparâmetros e das determinações analíticas posteriormente executadas, foram transcritos para uma planilha no software Excel e após isso foi realizada a averiguação da transcrição dos mesmos para encontrar e corrigir possíveis erros. Após a averiguação dos dados foram elaborados os mapas de distribuição de parâmetros hidroquímicos. Para fins desta elaboração foram empregados mapas contendo a base cartográfica existente. Assim, através da utilização do software

QGIS [2] foram produzidos mapas com a distribuição dos valores dos parâmetros medidos em campo ou determinados em laboratório, para cada amostra.

## RESULTADOS

A água altamente ácida, passível de se formar na UDC, corrobora para a existência da drenagem ácida de mina (DAM). Para remediar essa situação existem diversas possibilidades, dentre elas pode-se citar a neutralização química com agentes alcalinos, troca iônica, tratamento biológico, dentre outras [3]. Dessa forma, para decidir qual abordagem é mais adequada para a solução do referido problema, a utilização de mapas, contendo informações sobre a distribuição de parâmetros hidroquímicos indicativos da DAM, é uma ferramenta importante para auxiliar na avaliação e aplicação de alternativas de remediação. Logo, os mapas visaram evidenciar a situação das respectivas áreas investigadas da UDC. Um exemplo dos mapas gerados é apresentado na Figura 2. Com base no conhecimento prévio do sentido de fluxo das águas subterrâneas [4], em algumas destas figuras foi adicionada uma seta indicativa do provável sentido do fluxo da drenagem ácida.

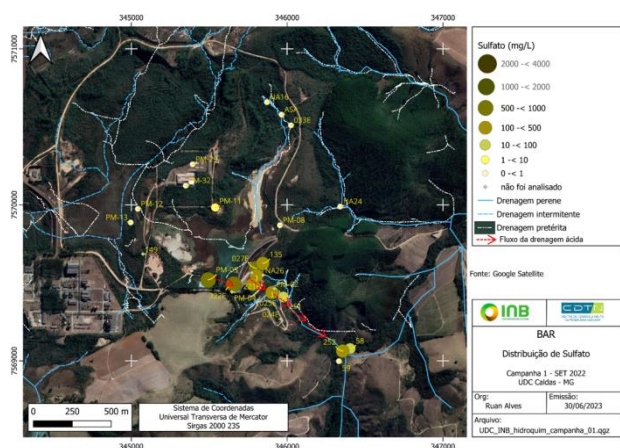


Figura 2. Mapa da distribuição de sulfato na Barragem de Rejeitos

## CONCLUSÕES

O estudo de iniciação científica cumpriu com os objetivos propostos, visto que a calibração dos equipamentos resultou em uma eficiência na representatividade dos dados coletados, mas também a verificação da digitalização dos laudos de determinações analíticas foi eficiente para encontrar erros pontuais e garantir uma maior confiabilidade dos dados. Ademais também foi alcançado o objetivo de realizar a elaboração dos mapas através do software QGIS a partir da utilização dos dados coletados em campo.

Portanto, é recomendado a continuidade dos trabalhos em apoio ao desenvolvimento do projeto de avaliação de impactos ambientais e radiológicos nas águas solos e sedimentos, uma vez que ele tem sua devida importância para com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, para com as indústrias Nucleares do Brasil e principalmente para com a sociedade

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INB (Indústrias Nucleares do Brasil), em: <https://www.inb.gov.br/A-INB/Onde-estamos/Caldas#:~:text=A%20Unidade%20em%20Descomissionamento%20de,do%20Ciclo%20do%20Combust%C3%ADvel%20Nuclear>, acessado em Julho de 2023.

[2] QGIS 3.32.0. Lima: QGIS Development Team, 23 de junho de 2023. <[https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/)>. Acessado em 16/05/2023.

[3] HIDROPLAN “Drenagem Ácida de Mina – características e impactos ambientais”, em <https://www.hidroplan.com.br/site/blog-era-da-agua/52-drenagem-acida-de-mina-caracteristicas-e-impactos-ambientais>, acessado em Agosto de 2023.

[4] Golder Associates Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – INB UTM Caldas. Relatório Final, 2012.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

# Nanoestruturas de nitreto de boro modificadas na superfície como nanotransportadores de liberação sustentada de ácido tânico

Tamires Estefane de Almeida Rocha e Edésia Martins Barros de Sousa  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

Nanoestruturas de nitreto de boro (BNs) são de significativo interesse para a comunidade científica devido às suas propriedades como boa estabilidade química e alta resistência mecânica [1]. Quando associados à sílica mesoporosa, esses sistemas podem oferecer algumas possibilidades atraentes na biomedicina, resultando em um compósito promissor para uma gama de aplicações, incluindo transportadores de produtos naturais como ácido tânico (AT) como medicamentos de liberação controlada [2]

## OBJETIVO

O principal objetivo deste projeto é a produção de sistema nanoestruturado à base de nitreto de boro funcionalizada produtos naturais tipo ácidos gálico como agente quimioterápico. Constituem os objetivos específicos:

- Sintetizar e caracterizar físico-quimicamente e morfologicamente as nanoestruturas de nitreto de boro (obs: essas nanoestruturas foram disponibilizadas pelo grupo O Boticário, sendo apresentada aqui como uma etapa apenas para complementar a formação);
- Realizar a funcionalização das nanoestruturas de nitreto de boro com ácido tânico;
- Caracterizar físico-quimicamente as amostras funcionalizadas com diferentes técnicas;

## METODOLOGIA

As nanofolhas de nitreto de boro utilizadas no trabalho se encontravam disponíveis para uso do grupo. As mesmas passaram por um processo de purificação, utilizando

um tratamento ácido, a fim de remover impurezas relativas ao processo de síntese e facilitar a ligação do material com moléculas funcionais devido à adição de grupos hidroxilas à superfície do material.

A obtenção do nanocompósito foi realizada a partir da síntese da sílica SBA-15 com as nanofolhas de nitreto de boro.

As nanopartículas de sílica foram funcionalizadas com APTES para aminorar a superfície para posteriormente realizar a incorporação do ácido tânico.

A incorporação de ácido tânico nas nanoestruturas de sílica e nitreto de boro foram realizadas a partir da agitação constante, por 24 horas, das nanoestruturas com uma solução alcoólica de ácido tânico na proporção de 1: 2 mols de compósito em relação ao ácido tânico.

## RESULTADOS

Nos espectros de FTIR apresentados na figura 1 é possível identificar as principais bandas características da sílica em torno de 1043 a 450  $\text{cm}^{-1}$  referente às vibrações das ligações Si-O-Si e Si-OH. Não foi possível observar as bandas características do BN devido à sobreposição com as bandas da sílica. Nos espectros da amostra S15 BN AT não foi possível observar mudanças significativas. No espectro da amostra S15 BN APTES foi possível observar o surgimento de bandas em 1567 e 1136  $\text{cm}^{-1}$  característicos do APTES. No espectro da amostra S15 BN APTES AT 24h foi possível observar o surgimento de bandas em 1255 e 1756  $\text{cm}^{-1}$  característicos do ácido tânico.

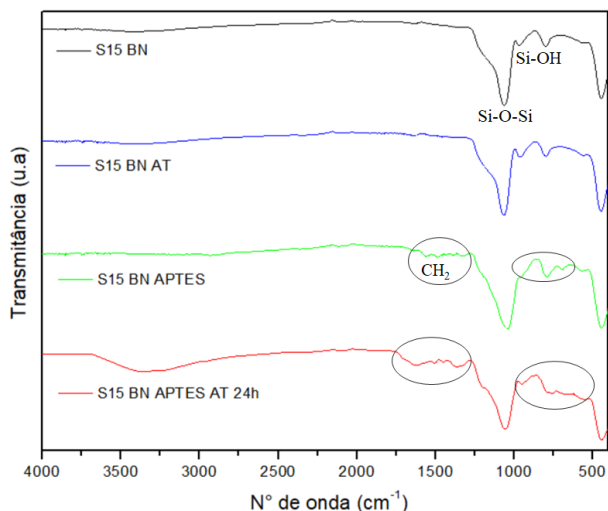


Figura 1. Espectros de FTIR relativos as amostras funcionalizadas e com ácido tânico

No gráfico de termogravimetria apresentado na figura 2 é possível visualizar as perdas de massas referentes às amostras de SBA-15, SBA -15 AT , SBA-15 APTES e SBA-15 APTES AT. Enquanto que a figura 3 apresenta as perdas de massas referentes às amostras de S15-BN , S15 BN AT, S15 BN APTES, S15 BN APTES AT. Estima-se a perda de pelo menos 18,23% de massa possivelmente referente ao ácido tânico para as amostras de sílica funcionalizada, enquanto que para o compósito, a perda foi de 12,64%.

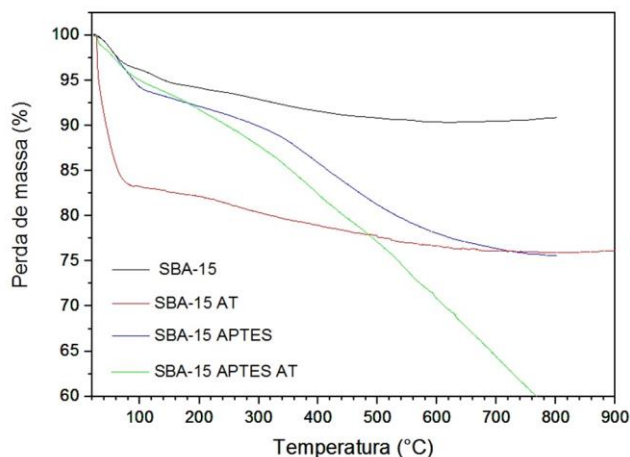


Figura 2. Análise termogravimétrica (TG) dos compostos de SBA-15 puro, funcionalizados com APTES e com AT.

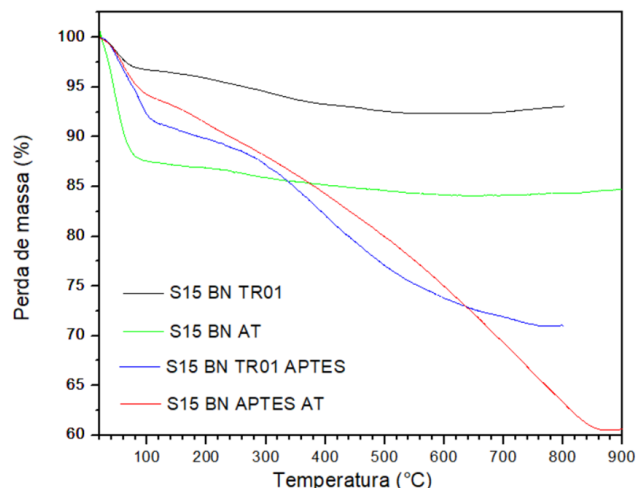


Figura 3. Análise termogravimétrica (TG) dos compostos de SBA-15-BN, funcionalizados com APTES e com AT.

## CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos foi possível avaliar a interação entre o BNNT e a matriz de sílica. Testes de liberação de fármacos sugerem que este tipo de sistema pode ser considerado um potencial agente terapêutico.

[1]- HAYAT, A.; SOHAIL, M.; HAMDY, M. S.; TAHA, T. A.; HUDA SALEM ALSALEM; ALENAD, A. M.; AMIN, M. A.; SHAH, R.; ARKOM PALAMANIT; KHAN, J.; W.I. NAWAWI; KUMAR, S. Fabrication, characteristics, and applications of boron nitride and their composite nanomaterials. *Surfaces and Interfaces*, vol. 29, p. 101725, 2022.

[2]- LI, X.; ZHI, C.; HANAGATA, N.; YAMAGUCHI, M.; BANDO, Y.; GOLBERG, D. Boron nitride nanotubes functionalized with mesoporous silica for intracellular delivery of chemotherapy drugs. *Chemical Communications*, vol. 49, no. 66, p. 7337, 2013.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ, FAPEMIG, CNEN



# Desenvolvimento e implantação de teste de resolução espacial para o equipamento LabPET SOLO 4 utilizando $^{68}\text{Ga}$ e imulador QRM-MICROPET-HOT ROD

Victória Moreira Garcia e Andréa Vidal Ferreira  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

## INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de novos radiofármacos para uso em tomografia por emissão de pósitrons (PET), a fase de estudos pré-clínicos utiliza largamente equipamentos do tipo tomógrafos PET dedicados a pequenos animais.

Atualmente no Brasil, existem 7 equipamentos PET pré-clínicos distribuídos em centros de pesquisa na região Sul e Sudeste do país (Gontijo, 2022). Neste contexto, é imprescindível que sejam realizados testes de controle de qualidade nesses equipamentos para determinar sua performance e garantir a confiabilidade dos resultados de estudos.

## OBJETIVO

O objetivo deste projeto foi desenvolver e implantar testes de resolução espacial e para o tomógrafo PET dedicado para pequenos animais do CDTN utilizando o isótopo  $^{68}\text{Ga}$ .

## METODOLOGIA

No desenvolvimento deste Plano de Trabalho foram utilizados (i) um tomógrafo PET dedicado a pequenos animais, (ii) um simulador dedicado a testes de controle de qualidade do tomógrafo PET e (iii) um gerador comercial de  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ , mostrados na Figura 1.

O gerador foi eluido e o simulador preenchido com o eluato. Imagens PET foram adquiridas segundo a rotina do LIM/SERFA/CDTN. As imagens foram tratadas com software Amide® e PeakFit®

para determinação da resolução espacial do sistema.



Figura 1. Superior: Tomógrafo PET do LIM/SERFA/CDTN; Meio: Simulador QMR *MicroPET Hot Rod Phantom*; Inferior: Gerador  $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$  ITM

## RESULTADOS

A Figura 2 apresenta uma imagem PET obtida para o simulador preenchido com  $^{68}\text{Ga}$ .

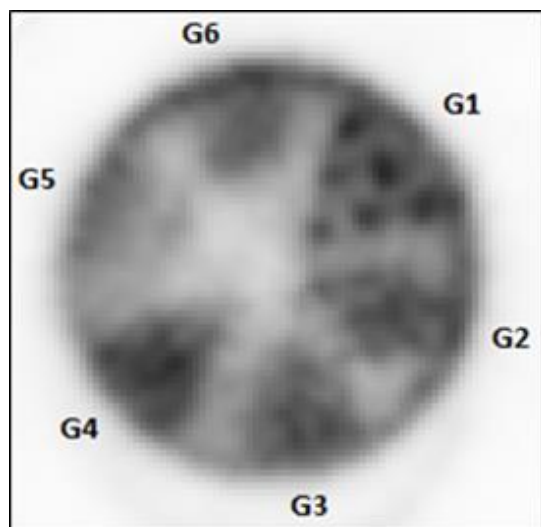


Figura 2. Imagem PET do simulador preenchido com solução contendo  $^{68}\text{Ga}$ .

Uma análise qualitativa de figura permite distinguir visualmente os canais dos grupos G1 e G2. A partir do G3, o sistema não apresenta resolução espacial suficiente para distinguir individualmente os canais.

Similarmente, a análise quantitativa permitiu obter os perfis de linha da intensidade do sinal PET ao longo dos canais dos grupos preenchíveis G1 e G2. A partir do grupo G3 tal análise não foi possível.

Para os grupos G1 e G2 foi possível fazer a deconvolução de picos nos perfis de linha obtidos na etapa anterior e determinar a posição dos picos e suas larguras correspondentes (FWHM - *full width at half maximum* – largura à meia altura).

A análise dos FWHM revelou que a largura dos picos variou de 3,15 mm a 4,39 mm, com o valor médio de  $(3,7 \pm 0,6)$  mm para o grupo G1 e o valor médio de  $(3,6 \pm 0,2)$  mm para o grupo G2. Tais valores são da mesma grandeza do alcance do pósitron (3,48 mm) emitido no decaimento do  $^{68}\text{Ga}$ .

A análise da posição dos picos revelou que a distância entre os canais obtida no ajuste do perfil de linha é compatível com a distância real no simulador. Para o grupo G1 (distância 4,0 mm) foi obtido o valor de  $(4,1 \pm 0,2)$  mm e para o grupo G2 (distância 3,4 mm) foi obtido o valor de  $(3,5 \pm 0,4)$  mm. Tal fato corrobora a metodologia utilizada na análise do perfil de linha.

## CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu conhecer a resolução espacial do tomógrafo PET dedicado a pequenos animais do LIM/SERAF/CDTN.

O valor encontrado para resolução espacial do sistema ( $\sim 3,5$  mm) quando se utiliza o isótopo  $^{68}\text{Ga}$  é aproximadamente três vezes maior do que a resolução do sistema quando se utiliza o isótopo  $^{18}\text{F}$  ( $\sim 1,2$  mm). A diferença observada pode ser explicada pela diferença no alcance dos respectivos pósitrons ( $^{18}\text{F}$ : 0,62mm e  $^{68}\text{Ga}$ : 3,48 mm).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GONTIJO, R.M.G., et al, “Performance based on NEMA NU-4 2008 Standard of CDTN/CNEN’s Small Animal PET Scanner”, Brazilian Journal of Radiation Sciences, Vol.10-3, pp. 1-17, 2022.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq, FAPEMIG, CDTN/CNEN e IAEA.

# Análise do ciclo de vida da imobilização em geopolímero

Yann Santos Teixeira e Valeria Cuccia

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

A Agência Internacional de Energia Atômica a define a imobilização como solidificação, encapsulamento ou incorporação de um resíduo em uma matriz. O objetivo é reduzir o potencial de dispersão e migração dos contaminantes para facilitar seu manuseio, transporte e armazenamento.<sup>1</sup>

Uma das matrizes mais utilizadas para imobilizar rejeitos radioativos é o cimento. Contudo, sabe-se que sua produção é responsável pela emissão de grande quantidade de gases do efeito estufa. Com isso, é necessário encontrar substitutos com menores impactos ambientais. Nesse sentido, uma classe de materiais que vêm ganhando espaço são os geopolímeros. Diversos estudos mostram resultados positivos quanto à imobilização de rejeitos radioativos em geopolímero.<sup>2, 3, 4, 5, 6, 7, 8</sup>

## OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo é analisar e comparar o ciclo de vida do cimento e do geopolímero, considerando sua utilização na imobilização de rejeitos radioativos. No caso do geopolímero, foram estudadas diferentes rotas produtivas.

## METODOLOGIA

A modelagem do ciclo de vida da imobilização de 1 kg de rejeito com cimento e com três diferentes formulações de geopolímero, todas a partir da metacaulinita, foi refeita excluindo etapas de transporte a partir de outro estudo feito no CDTN. O modelo foi feito no programa openLCA com a base de dados Agribalyse, os relatórios e gráficos também foram gerados pelo programa. Os principais parâmetros analisados foram mudança climática, uso de recursos fósseis, uso de água e depleção da camada de ozônio.

Com base nos resultados encontrados, foi feita uma pesquisa bibliográfica de formulações geopoliméricas que não contêm as etapas mais impactantes das matrizes estudadas. Além disso, informações preliminares para posterior modelagem dessas formulações foram levantadas.

## RESULTADOS

Os resultados mostraram que as matrizes geopoliméricas feitas a partir da metacaulinita têm impactos ambientais semelhantes ou inferiores à matriz de cimento. Além disso, as etapas mais problemáticas são a calcinação, produção de silicato de sódio e produção da caulinita. Isso se deve, no caso das duas primeiras citadas, às etapas que requerem aquecimento intenso por períodos prolongados. A desconsideração do transporte não alterou as conclusões obtidas. Na figura 1 abaixo, podemos ver a comparação entre as diferentes matrizes geopoliméricas (MG) estudadas e a matriz de cimento em dois indicadores.

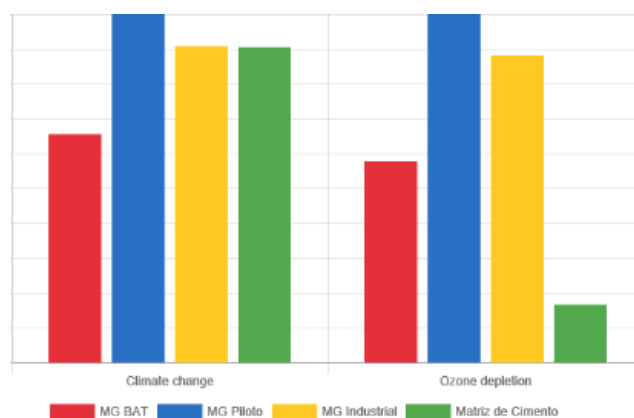


Figura 1. Resultados da Modelagem

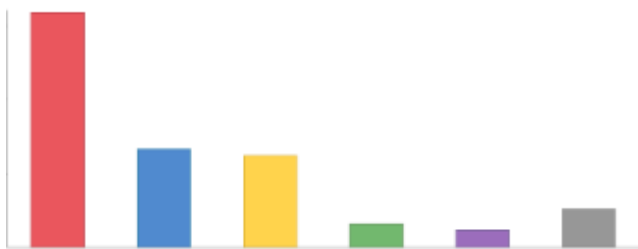


Figura 2. Mudança Climática para o Geopolímero em Escala Industrial

Na figura 2, podemos ver como exemplo, o impacto de cada etapa do ciclo de vida do geopolímero industrial no indicador “*climate change*”. Da esquerda para direita temos as três parcelas mais significativas: produção de silicato de sódio, combustão (atrelada à calcinação) e produção do caulim.

Foram levantadas formulações geopoliméricas que excluem a etapa de calcinação e o uso de silicato de sódio, diversas utilizando resíduos como base. Através dos estudos bibliográficos foi possível perceber que estas matrizes podem ser adequadas para a imobilização de uma ampla variedade de rejeitos radioativos. Em muitos dos estudos analisados, o geopolímero mostrou ter propriedades, como taxa de carregamento, resistência e estabilidade superiores ao cimento. Além disso, conforme mencionado, espera-se que elas sejam muito menos agressivas ao meio ambiente já que não precisam das etapas mais impactantes da formulação tradicional do geopolímero.<sup>2, 3, 4, 5, 6, 7, 8</sup>

## CONCLUSÕES

As matrizes geopoliméricas a partir de metacaulinita não superaram a matriz de cimento em termos de redução de impacto ambiental. Identificaram-se as fases mais impactantes na produção do geopolímero, buscando opções ambientalmente menos agressivas.

Como próximos passos, resta a modelagem e análise das diversas formulações geopoliméricas encontradas. Com isso, será

possível encontrar um substituto para o cimento que, além de ter propriedades desejáveis, é muito menos agressivo ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OJOVAN, M.I.; LEE, W.E. [S.I.]: Elsevier Science, 2005. p. 1–8..
- [2] CUCCIA, V.; FREIRE, C. B.; LADEIRA, A. C. Q. Progress in Nuclear Energy, v. 122, n. September 2018, 2020
- [3] AHN, Jinmo; KIM, Won-Seok; UM, Wooyong. Journal of Nuclear Materials, v. 518, p. 247-255, 2019.
- [4] Ke, X., Bernal, S. A., Sato, T., & Provis, J. L. (2019). Dalton Transactions, volume 32.
- [5] LEE, Juhyeok et al. J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol., v. 18, n. 4, p. 465-479.
- [6] Lee, W.-H., Cheng, T.-W., Ding, Y.-C., Lin, K.-L., Tsao, S.-W., & Huang, C.-P. (2019). Journal of Environmental Management, 235, 19-27.
- [7] Phillip, E., Choo, T. F., Khairuddin, N. W. A., & Abdel Rahman, R. O. Sustainability, 15(2), 1117.
- [8] WANG, Jixiang et al. China Cement and Concrete Composites, v. 110, jul. 2020.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradeço à equipe do CDTN pelo apoio no estudo e infraestrutura, e ao CNPq/PIBIC pela bolsa concedida.

# Estudo do uso de óxidos de grafeno para adsorver isótopos de rádio da água produzida

Yasmin Martelleto de Mello e Ana Claudia Queiroz Ladeira  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

## INTRODUÇÃO

A água produzida (AP) representa um dos principais resíduos gerados pela indústria do petróleo. Em sua composição são encontrados radionuclídeos, com destaque para o Ra-228 e o Ra-226. Dado a alta radiotoxicidade do rádio, isso representa uma ameaça tanto para o ambiente quanto para a saúde humana. Atualmente, a remoção de radionuclídeos da AP é realizada por poucos métodos, sendo de grande relevância a busca por técnicas adicionais de remoção. A adsorção utilizando óxidos de grafeno (GO) se destaca como uma alternativa promissora, devido a sua capacidade significativa de capturar íons presentes na água. Aprimoramentos adicionais podem ser obtidos ao empregar técnicas como a ozonização. Neste estudo, é explorado o uso do GO e de uma forma modificada por ozonização para remover o rádio da água produzida.

Devido à extrema radiotoxicidade do rádio, foi utilizado o bário como um análogo químico nos experimentos. Foram realizados estudos para analisar a capacidade de adsorção desses materiais em função de diferentes valores de pH, temperatura e outros parâmetros considerados críticos durante as reações. Técnicas diversas de espectroscopia e microscopia foram usadas para caracterizar os adsorventes (GO e GO modificado), antes e após a adsorção. Também foram feitos ensaios de titulação potenciométrica para analisar a quantidade de grupos funcionais presentes em ambos os materiais.

## OBJETIVO

O trabalho realizado tem como objetivo investigar o uso de óxido de grafeno e óxido de grafeno modificado na remoção de radionuclídeos presentes em meios aquosos.

## METODOLOGIA

Os ensaios de isoterma e pH ótimo e cinético foram realizados com óxido de grafeno misturado com uma solução de alimentação de bário, em frascos Erlenmeyer de 150 mL, variando o pH, a concentração da solução de alimentação e o tempo de agitação, respectivamente. Os frascos foram mecanicamente agitados a 60 Hz por 24 horas a aproximadamente 25 °C. Após a agitação, as soluções foram filtradas a vácuo utilizando membranas de polycarbonato (0,2 µm, GTTP, Millipore). Uma alíquota do filtrado foi diluída e enviada para análise.

Para o preparo do GO modificado, foi feito um experimento de ozonização baseado no procedimento realizado por Liu et al. (2016a) e Liu et al. (2016b), que consiste no borbulhamento de O<sub>3</sub> em soluções contendo o adsorvente. Foram feitos ensaios durante 30, 60 e 90 minutos.

## RESULTADOS

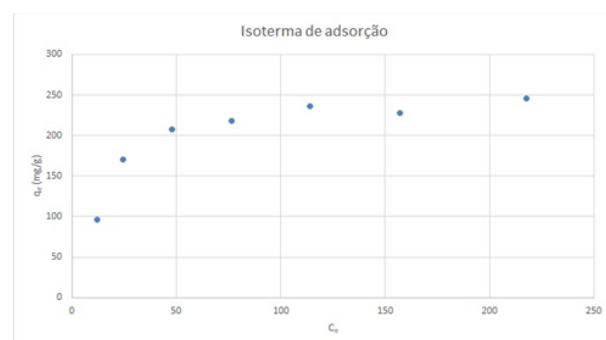


Figura 1. Isoterma de adsorção

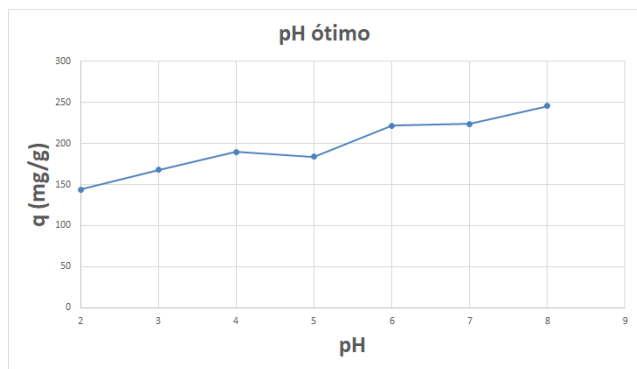


Figura 2. Quantidade adsorvida de bário ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) em função da variação do pH da solução.

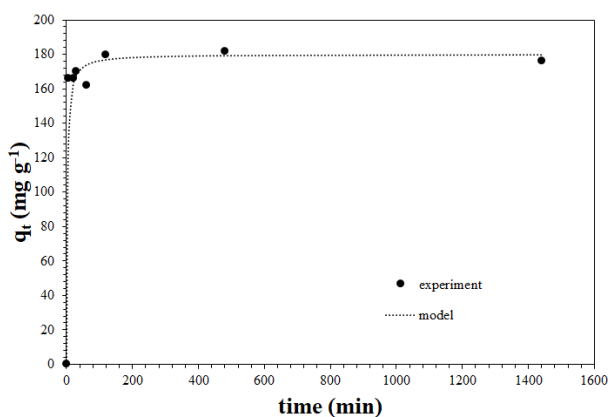


Figura 3. Quantidade de bário adsorvida por óxido de grafeno em relação ao tempo.

TABELA 1. Quantidades adsorvidas de bário pelo GO não modificado e pelo GO ozonizado durante 30, 60 e 90 minutos.

Adsorbent	Ba(II) C <sub>i</sub> (mg/L)	Ba(II) C <sub>F</sub> (mg/L)	q (mg/g)
HGtO		200.1	238.00
OGO-30	259.6	185.3	297.20
OGO-60		185.7	295.60
OGO-90		191.5	272.4

## CONCLUSÕES

Por meio dos experimentos realizados e da análise dos resultados obtidos, é possível concluir que o óxido de grafeno é uma boa alternativa para a remoção de bário, e, por ser um análogo químico do rádio, é importante realizar testes com ele, usando os resultados de pH ótimo, isotermas e cinética como parâmetros.

Ademais, conclui-se que a técnica de ozonização foi bastante efetiva, pois aumentou a quantidade de grupos funcionais no material e sua capacidade máxima de adsorção. Foi observado, também, que a ozonização durante curtos períodos de tempos (30 e 60 minutos) foi mais eficaz que a realizada por períodos prolongados como 90 minutos ou mais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AL-GHOUTI, M. A.; DA'ANA, D. A. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: a review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 393, p. 122383-122403, jul. 2020. Elsevier BV.

[2] ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Toxicological Profile for Radium*. 1990.

[3] COLORADO SCHOOL OF MINES (Colorado). *An Integrated Framework for Treatment and Management of Produced Water: technical assessment of produced water treatment technologies*. Colorado: Colorado School of Mines, 2009.

[4] LIU, X.; HUANG, Y.; DUAN, S.; WANG, Y.; LI, J.; CHEN, Y.; HAYAT, T.; WANG, X. Graphene oxides with different oxidation degrees for Co(II) ion pollution management. *Chemical Engineering Journal*. v. 302, n. 15, p. 763-772, oct. 2016b.

[5] LIU, Xia; WANG, Xiangxue; LI, Jiaying; WANG, Xiangke. Ozonated graphene oxides as high efficient sorbents for Sr(II) and U(VI) removal from aqueous solutions. *Science China: Chemistry*, v. 59, n. 7, p. 869-877, jul. 2016a.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico

# **CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE**



**CRCN|INE**

CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS  
NUCLEARES DO NORDESTE

# **Avaliação de dose absorvida em linfócitos humanos devido à exposição à radiação gama pela técnica de micronúcleos com bloqueio de citocinese**

**Alessa Castro da Silva Drewke, Laís Melo da Silva Trigo e Fabiana Farias de Lima  
Guimarães**

**Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE**

## **INTRODUÇÃO**

A técnica de micronúcleos em linfócitos com bloqueio da citocinese celular (CBMN) foi desenvolvida por Fenech e Morley em 1985, sendo um método confiável para quantificar quebras cromossômicas e perda de células nucleadas [1]. Os micronúcleos (MN) podem resultar de pequenos fragmentos que não foram incorporados aos núcleos das células filhas durante a divisão celular, sendo envolvidos por uma membrana nuclear; por essa razão, eles aparecem como pequenos núcleos no citoplasma de forma separada dos núcleos das células filhas. Os MN surgem durante a exposição à agentes clastogênicos e resultam do DNA mal reparado, levando a alterações cromossômicas que para a biodosimetria fornecem uma medida do dano, tornando-se uma resposta biológica muito sensível à dose absorvida de radiação [1,2,3].

No caso de acidentes radiológicos em grande escala, quando várias pessoas podem ser expostas, a IAEA recomenda distinguir os indivíduos que foram expostos severamente e que requerem tratamento médico imediato. Para isso, se faz necessário um ensaio dosimétrico biológico rápido [3]. Estudos realizados por Alexander et al mostraram que, das quatro técnicas citogenéticas (dicêntricas, FISH, MN e condensação prematura dos cromossomos-PCC), as de MN e PCC mostraram potencial para utilização em triagem [4]. A IAEA afirma, em seu manual EPR-Biodosimetry, que qualquer laboratório com intenção de realizar dosimetria biológica deve construir sua própria curva de

calibração dose-resposta para qualquer ensaio citogenético devido ao uso de diferentes protocolos e de critérios de análise e pontuação [3].

O Laboratório de Dosimetria Biológica (LDB) do CRCN-NE/CNEN já possui uma curva de calibração para MN, entretanto, construída com uma taxa de dose baixa. Como a taxa de dose absorvida pode influenciar na frequência de MN e, conseqüentemente, na estimativa de dose, se faz necessário uma nova curva com taxa de dose acima de  $0,5 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  [3,5]

## **OBJETIVO**

Avaliar a frequência de micronúcleos em diferentes doses para compor a curva de calibração dose-resposta após exposição à radiação gama com alta taxa de dose para aplicação em dosimetria biológica.

## **METODOLOGIA**

Foram coletadas, de voluntário saudável e não fumante, 3 amostras de sangue periférico por punção venosa à vácuo. Uma das amostras foi considerada controle, enquanto as outras amostras foram irradiadas em uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  localizada no Departamento de Energia Nuclear (DEN-UFPE) com uma taxa de dose absorvida de  $17,6 \text{ Gy/min}$  e com doses absorvidas de 4Gy e 5Gy. As preparações citológicas foram obtidas a partir de cultura de linfócitos; 0,5ml de sangue total foi adicionado aos frascos de cultura contendo 4ml de meio RPMI 1640 suplementado com 1 ml de soro bovino fetal, 0,2 ml de fitohemaglutinina e 0,06 ml de antibiótico. Os frascos foram



mantidos na estufa a 37°C, por 72 horas, com adição de citocalasina B após 24 horas. Ao completar 72 horas de cultivo, o material foi centrifugado por 10 minutos a 180 g, o sobrenadante desprezado e adicionado 7 ml de KCl. Em seguida, os tubos foram centrifugados por 10 minutos a 180 g, o sobrenadante retirado e adicionado o fixador metanol: ácido acético (10:1), diluídos em solução de Ringer (1:1) até completar 7 ml. Em seguida, foram realizadas centrifugações e trocas de fixador até que o conteúdo da cultura estivesse transparente. As lâminas foram confeccionadas a partir do precipitado ressuspensão gotejado em dois pontos em cada lâmina, com posterior coloração realizada com Giemsa 5% durante 20min para análise microscópica e tratamento estatístico com teste u de Papworth.

## RESULTADOS

A análise microscópica para MN contabilizou, até o momento, 2000 células BN, onde dessas 1000 referentes ao controle e 1000 referentes aos grupos irradiados com 4 Gy e 5Gy, conforme expostos na Tabela 1.

**TABELA 1:** Frequência e distribuição de micronúcleos de linfócitos irradiados com radiação gama com diferentes doses absorvidas.

Dose (Gy)	BN	MN	Y	OMN	1MN	2MN	3MN	4MN	5MN	var	var/Y	u
0	1000	4	0,004	996	4	0	0	0	0	0,003	0,9969	-0,0774
4	500	246	0,492	274	116	38	14	3	0	0,6929	1,4083	6,4635
5	500	291	0,582	268	124	47	14	4	3	0,8585	1,4752	7,5149

\***Legenda:** BN: Binucleadas; MN: micronúcleos; y: frequência de micronúcleos; var: Variância; var/y: Variância sobre média; u: Teste u.

Observa-se que na amostra controle a frequência de MN se encontra dentro dos valores esperados (40 MN/1000 células BN) [1], como também se observa o aumento da frequência de MN com o aumento da dose absorvida.

Percebe-se que as distribuições de MN nas células não seguiram a distribuição de Poisson, pois os valores de u são maiores que 1,96 com um nível de confiança de 95%. Esse dado se mostra dentro do esperado uma vez que no caso de MN, os

dados tendem a uma sobredispersão em todas as doses mesmo em radiações de baixa LET [1].

Como os dados de frequência e distribuição irão compor a curva de calibração dose resposta para radiação gama com alta taxa de dose, as análises irão continuar a fim de aumentar o número de células BN da amostra controle para 6000 e das amostras irradiadas nestas doses para 1000 [6].

## CONCLUSÕES

É necessário o seguimento das análises nestas doses absorvidas, bem como acrescentar outras doses para a construção e posterior validação da curva de calibração dose resposta para radiação gama com alta taxa de dose a ser utilizada no LDB do CRCN-NE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FENECH, J.; MORLEY, A. A. Measurement of micronuclei in lymphocytes. *Mutat. Res.*, v.147, p. 29–36, 1985.
- [2] FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 455, n.1, p. 81-95, 2000.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies*. Third Edition, 2011
- [4] ALEXANDER, G.A. et al. *BiodosEPR-2006 Meeting: Acute dosimetry consensus committee recommendations on biodosimetry applications in events involving uses of radiation by terrorists and radiation accidents*. *Radiation Measurements*, v. 42, n 6–7, p. 972-996, 2007.
- [5] MENDES, Mariana E. et al. Calibration curves by <sup>60</sup>Co with low dose rate are different in terms of dose estimation – a comparative study. *Genetics and Molecular Biology*, , v. 43, p. 1--9, 2020.
- [6] MENDES, Mariana E. et al. Comparative study of micronucleus assays and dicentric plus ring chromosomes for dose assessment in particular cases of partial-body exposure. *International Journal of Radiation Biology*, , v. 95, n. 8, p.1058–1071, 2019.

**APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**  
CNPq e CRCN-NE

# Implementação da Técnica Hibridização *in situ* fluorescente no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

Amanda Silva de França e Mariana Esposito Mendes  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

## INTRODUÇÃO

A dosimetria biológica surgiu da necessidade de quantificar a dose absorvida pelo organismo humano após estes incidentes ou acidentes envolvendo a radiação ionizante. Este tipo de dosimetria é utilizado em situações onde a dose absorvida de corpo inteiro é desconhecida ou incerta, como em caso de exposições acidentais ou ocupacionais [1]. Dentre as técnicas desenvolvidas para este fim, estão a análise citogenética convencional de cromossomos dicêntricos e a técnica de micronúcleos. Entretanto, estas técnicas são aplicadas para estimar o dano recente à radiação ionizante, pois são representativos do dano instável e suas frequências vão sendo reduzidas com a eliminação dos linfócitos através da taxa de renovação celular [1].

Por isso, para reconhecer e estudar os danos mais persistentes nas células, se utiliza marcadores citogenéticos do tipo translocações. As translocações recíprocas têm sido usadas para exposições que ocorreram de anos a décadas no passado [1,2]. Alguns estudos de casos em dosimetria retrospectiva confirmam a aplicação da técnica de FISH como o ensaio mais confiável como técnica para biodosimetria retrospectiva [2,3,4]. Além disso, as translocações também podem ser usadas como teste para identificar indivíduos com elevado potencial radiosensibilidade [5].

## OBJETIVO

Implementar um protocolo de hibridização *in situ* fluorescente no Centro Regional de

Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE/CNEN, visando aplicar em dosimetria biológica retrospectiva.

## METODOLOGIA

Primeiramente, foram pesquisados protocolos de diferentes instituições do Nordeste que utilizam a técnica FISH para aplicações distintas da dosimetria biológica. Também foi estudado o protocolo sugerido no manual da Agência Internacional de Energia Atômica - IAEA (IAEA, 2011) e participado de um webinar com uma pesquisadora do Laboratório de Dosimetria Citogenética da Comissão Chilena de Energia Nuclear.

Um ponto importante sugerido tanto pela IAEA quanto no webinar é que os cromossomos a serem escolhidos para marcar com as sondas sejam os maiores (IAEA, 2011). Diante disto, foram adquiridas sondas para marcar os pares de cromossomos 1, 2 e 4. Foram selecionados os materiais e pontos comuns dos 3 protocolos selecionados e correlacionados com as indicações sugeridas pelo fabricante das sondas (Metasystem) de forma a montar um protocolo mais simples, rápido e que pudesse marcar com qualidade.

Foi realizada coleta de sangue periférico de um indivíduo saudável não fumante, sendo uma amostra irradiada em irradiador de Co-60 com uma dose absorvida de 3Gy e outra mantida como controle no laboratório. O preparo citológico para a análise cromossômica foi feito a partir da cultura de linfócitos conforme protocolo já estabelecido no laboratório (IAEA, 2011). Só após a cultura e fixação das células, foi iniciado o

processo de hibridização *in situ* fluorescente – FISH, segundo o protocolo a ser implementado.

## RESULTADOS

O material previamente fixado foi gotejado em lâmina seguido de uma gota do fixador metanol:ácido acético (3:1). As lâminas foram secas com a técnica de aplicação de chama para evaporação do excesso de fixador. Posteriormente, as lâminas foram levadas para o microscópio de campo claro para marcação da área com maior concentração de metáfases em “lâmina branca”, visando à adição da sonda XCP-Mix (Metasystem) e à aplicação da lamínula no dia seguinte.

Após este período de 24h do gotejamento, as lâminas contendo o material passaram por um banho de 2 minutos em quatro soluções na seguinte ordem: 1) Tampão 2XSSC; 2) Álcool 70%; 3) Álcool 85%; 4) Álcool 100%. Após a secagem das lâminas em temperatura ambiente, foram aplicados 3 $\mu$ L da sonda Mix, na área previamente marcada na “lâmina branca”, e uma lamínula de 22x22cm foi colocada cobrindo a região em que a sonda foi adicionada, fixando-a com o auxílio de cola Politubes. Em seguida, o conjunto seguiu para a placa aquecedora em temperatura de 75 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C, onde permaneceu por 2 minutos. Após esse processo, as lâminas foram armazenadas em caixa umidecida para controle de umidade e temperatura, e colocadas na estufa a 37 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C overnight para o processo de hibridização.

Passado o período de 24h, as lamínulas e a cola foram retiradas e as lâminas foram imersas em tampão 0,4XSSC a uma temperatura de 72 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C em banho-maria por 2 minutos, seguindo para lavagem de 30 segundos com solução de tampão 2XSSC + 0,05% de Tween ph 7.0 e, posteriormente, com água destilada em abundância. Após a secagem das lâminas no ambiente, foi aplicado 7 $\mu$ L de 49,6-diamidino-2-fenilindol (DAPI) para a contra-coloração na mesma

região de aplicação da sonda e uma lamínula de 24x32mm foi colocada e selada com auxílio de esmalte. Após 10 minutos, as lâminas foram visualizadas no microscópio de fluorescência (Leica DM 6000 B), conforme figura 1.

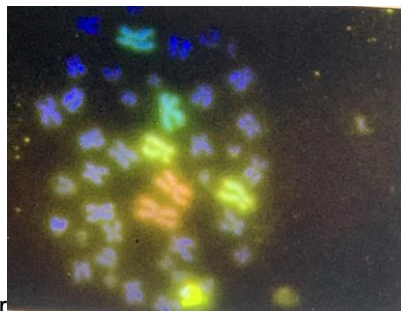


Figura 1. Indicando os cromossomos 1 (laranja), 2 (verde) e 4 (amarelo).

## CONCLUSÕES

O protocolo foi implementado satisfatoriamente e o CRCN-NE pode aplicar a técnica FISH para dosimetria biológica retrospectiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA. Cytogenetic dosimetry: 52 applications in preparedness for and response to radiation emergencies. IAEA, 2011.
- [2] MCKENNA, Miles J. et al. Chromosome translocations, inversions and telomere length for retrospective biodosimetry on exposed US atomic veterans. Radiation research, v. 191, n. 4, p. 311-322, 2019.
- [3] WANG, Zhi-Dong et al. Continuous cytogenetic follow-up, over 5 years, of three individuals accidentally irradiated by a cobalt-60 source. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 779, p. 1-4, 2015.
- [4] BEATON-GREEN, L. A. et al. Retrospective biodosimetry of an occupational overexposure—case study. Radiation protection dosimetry, v. 172, n. 1-3, p. 254-259, 2016.
- [5] HUBER, Reinhard et al. Chromosomal radiosensitivity and acute radiation side effects after radiotherapy in tumour patients—a follow-up study. Radiation oncology, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2011.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN, CRCN-NE e FINEP.

# Avaliação do potencial antioxidante da lectina WSMoL originária da semente da *Moringa oleífera*

Andreza Lima Lourenço da Silva e Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

## INTRODUÇÃO

A radiação ionizante é amplamente utilizada, principalmente na medicina nuclear quando se trata de prevenção, rastreamento e terapias em pacientes com câncer [1]. No entanto, os radioisótopos utilizados nestes procedimentos interagem com o sistema biológico levando à produção de radicais livres, causando efeitos colaterais indesejáveis. Na tentativa de minimizar esses efeitos, são administradas biomoléculas radioprotetoras, com propriedades antioxidantes, antes da exposição à radiação [2]. Neste contexto, a lectina WSMoL, proteína extraída da *Moringa Oleífera*, devido à estereoespecificidade à membrana de células cancerígenas, propriedades farmacológicas comprovadas (imunomoduladora, antiviral, bactericida e anti-inflamatória) e baixa citotoxicidade, se apresenta como uma biomolécula com grande potencial antioxidante [3].

## OBJETIVO

Determinar a ação antioxidante da lectina WSMoL através dos métodos DPPH (Radical 2,2-difenil 1-picrilhidrazil) e ABTS (2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico)).

## METODOLOGIA

A amostra da lectina purificada foi cedida pelo BioProt – Dep. de Bioquímica da UFPE. Para a avaliação da capacidade antioxidante da WSMoL, foi realizado o teste do DPPH, segundo a metodologia adaptada de Blois, 1958 [4]. Para o ensaio

ABTS seguiu-se a metodologia de acordo com Roberta *et al.*, 1999 [5]. Para ambos os ensaios foram testadas as seguintes concentrações da lectina: 850, 425, 212,5, 106,25 e 53,12µg/ml. Em microplaca de 24 poços devidamente identificadas para cada teste, foram pipetados 2µl de cada concentração em poços individuais e, em seguida, foram adicionados 220µl dos reagentes DPPH e ABTS. Após o tempo de espera recomendado para cada teste, foram feitas as leituras em espectrofotômetro Elisa.

Para o teste DPPH, o comprimento de onda das leituras foi de 517nm (absorbância entre 0,600 e 0,700) e para o ABTS, 734nm com absorbâncias entre 0,700 e 0,734. Todo o ensaio foi realizado em triplicata. No teste DPPH utilizou-se como controle positivo (C+), utilizou-se ácido ascórbico a 500µM; controle negativo (C-) NaCl/DPPH e como branco, apenas NaCl. Para o ABTS, no C+, foi construída a curva padrão do ácido gálico (1mg/ml) e C-, o etanol PA. Ao final de toda experimentação, foi estimada a porcentagem de inibição (I%) e a IC<sub>50</sub> das concentrações estudadas da WSMoL, obtida pela equação da reta, através da plotagem dos índices de inibição correlacionados às cinco concentrações analisadas.

Para tratamento dos resultados, foram utilizados os testes ANOVA e o teste post-hoc de Bonferroni. As diferenças estatísticas foram definidas em  $p < 0,05$  (nível de significância de 95%) usando o software no *GraphPad Prism 7.0*.

## RESULTADOS

As concentrações testadas da lectina WSMoL não apresentaram atividade antioxidante para o teste DPPH. O ácido ascórbico atingiu aproximadamente 100% de inibição a partir da menor concentração utilizada (53,12). Pelo método ABTS, curva padrão do ácido gálico apresentou 1% máximo de 93,6% e  $IC_{50}$  de 318,649 $\mu$ g/ml ( $y=0,1462x+23,348 / R^2=0,9687$ ) (Figura1).

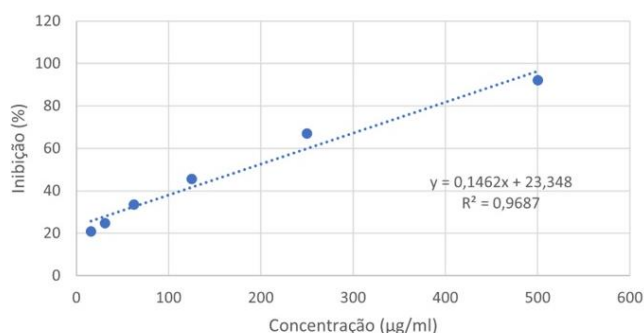


Figura 1 – Curva Padrão do Ácido Gálico pelo método ABTS.

No mesmo ensaio antioxidante, a lectina revelou redução do radical de apenas 7,56% em todas as concentrações analisadas e  $IC_{50}$  igual a 71420,9 $\mu$ g/ml ( $y=-0,0007x+7,6265 / R^2=0,4716$ ).

## CONCLUSÕES

Para construção da curva padrão do ácido ascórbico deve ser feitas novas diluições a partir da concentração de 53,12 $\mu$ g/ml. Ademais, para mais esclarecimentos do perfil antioxidante da lectina, deve-se realizar a quantificação compostos fenólicos, pois esta constatação dará indícios do perfil antioxidante da WSMoL. Por fim, outros ensaios de ação antioxidante devem ser realizados com a lectina em concentrações superiores a 850 $\mu$ g/ml, sendo esta avaliação, através de metodologias alternativas diretas, como o teste de FRAP (*Ferric Reducing Ability Power*). Assim, será possível o

aprofundamento dos conhecimentos acerca da sua propriedade radioprotetora *in vitro*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KUMAR, A. et al. Reaction of Electrons with DNA: Radiation Damage to Radiosensitization. *Int J Mol Sci.* v.16, n. 20(16), p. 3998. doi: 10.3390/ijms20163998. 2019.
- [2] ABDELWAHED, A. et al. Study of antimutagenic and antioxidant activities of gallic acid and 1,2,3,4,6-pentagalloylglucose from *Pistacia lentiscus*: Confirmation by microarray expression profiling. *Chemico-Biological Interactions.*, v. 165, p. 1-13. 2007.
- [3] OWENS, F. S.; DADA, O.; CYRUS, J. W.; ADEDOYIN, O. O., & ADUNLIN, G. The Effects of *Moringa oleifera* on blood glucose levels: A scoping review of the literature. *Complementary Therapies in Medicine*, 102362. doi:10.1016/j.ctim.2020.102362. 2020.
- [4] BLOIS, M. S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, v. 181, n. 4617, p. 1199- 1200. 1958.
- [5] ROBERTA R.E.; et al. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v.26, n.9/10, p. 1231-1237. 1999.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

# **Microscopia Eletrônica de Varredura aplicada a estudos de biomonitoração de elementos químicos presentes nos pelos de animais domésticos**

**Ayrton Felipe da Silva Serafim de Souza e Elvis Joacir De França - Orientador  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE**

## **INTRODUÇÃO**

Os animais domésticos são considerados biossentinelas da exposição humana, pois convivem e compartilham ambientes em comum com os seus tutores. A relação entre elementos químicos e a imunidade já é conhecida na literatura como demonstrado por Koller [1], que encontrou uma diminuição significativa da imunidade de coelhos com relação à associação entre chumbo e cádmio.

A partir do trabalho de Souza [2], foi possível discriminar animais doentes saudáveis com os resultados da composição química. Contudo, alguns agrupamentos obtidos foram de difícil interpretação, possivelmente associados às semelhanças físicas entre os pelos de alguns animais. Sendo assim, neste estudo, foi empregada a Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV nas amostras de pelos dos animais estudados, visando:

- Ter maior compreensão dos resultados dos elementos químicos nos pelos dos animais estudados por Souza [2];
- Fomentar a investigação sobre a relação entre a presença de elementos traços em pelos com a imunidade.

## **EXPERIMENTAL**

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (Parecer CEUA/UFPE número 0077/2020). Amostras de pelos de animais sadios e

doentes foram coletadas da região ventral dos animais. As amostras foram lavadas com o auxílio de centrifugação com acetona, seguido de enxágue com água ultrapura. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 40 °C até o peso constante.

Para preparar as amostras para a aquisição no microscópio eletrônico de varredura, foram transferidas amostras de pelo em Stubs próprios para o tipo de aparelho, fixadas com o auxílio de fitas de condutibilidade de carbono, o excesso foi retirado com ar comprimido em spray, valendo ressaltar que foram utilizadas apenas amostras que tinham gramatura mais que suficiente para métodos destrutivos.

As atividades foram realizadas nas dependências do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE).

## **RESULTADOS**

Na Figura 1, foram destacadas amostras de pelo de animais que tiveram agrupamentos próximos com relação à composição química [2].

Na Figura 2, pode-se observar uma amostra de cachorro doente com pelos sem medula e com altas concentrações de alumínio, sódio e potássio. Vale ressaltar o mal posicionamento da amostra no dendrograma no grupo dos pelos de animais provavelmente saudáveis.

Nas Figuras 2 e 3, foram encontrados pelos com aparência física anômala, em que ambas as amostras de pelo demonstraram

carência dos elementos potássio e cálcio, quando comparadas com os demais animais estudados por Souza [2].

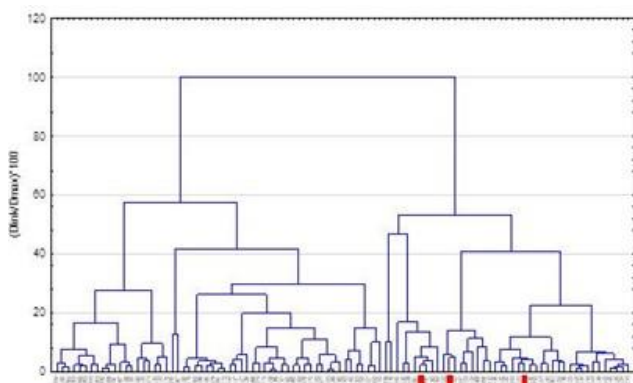


Figura 1 – Melhor dendrograma para o agrupamento dos resultados das análises de elementos químicos em pelos. C = Cachorro; G = Gato; CD = Cachorro doente; GD = Gato doente.

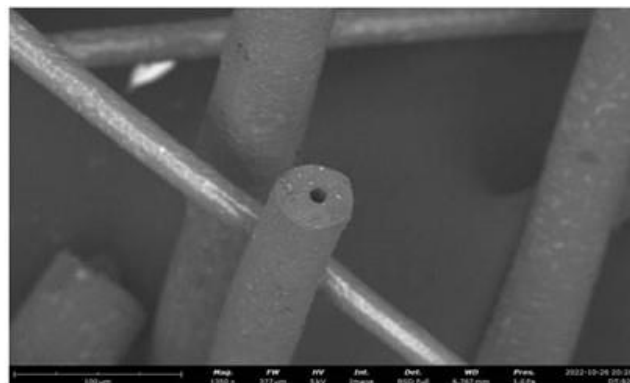


Figura 2 – Imagem por MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura - de pelo do cachorro doente número 92 (CD91).

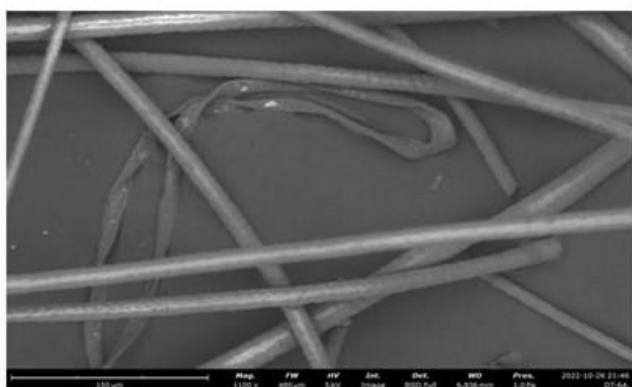


Figura 3 – Imagem por MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura - de pelo do cachorro número 64 (C64).

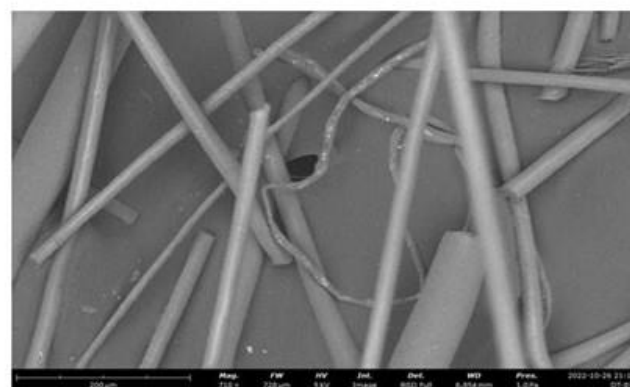


Figura 4 – Imagem por MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura - de pelo do cachorro doente número 81 (CD81).

## CONCLUSÕES

O imageamento utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura trouxe uma melhor compreensão dos resultados de análise quimiométrica de pelos de animais saudáveis e doentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] KOLLER, L.D. Immunosuppression produced by lead, cadmium, and mercury. *Sou. J. Vet. Res.*, v.34, p.1457. 1973.

[2] SOUZA, D.M.T.O. Biomonitoração de elementos químicos de matriz não invasiva (pelos) aplicada à saúde de animais domésticos. Dissertação de Mestrado. UFPE, 2022. 104p.

## APOIO FINANCEIRO

**CNPq**

# **Avaliação da viabilidade do protocolo combinado no CRCN-NE para uso em triagem e estimativa de dose absorvida em casos de acidentes radiológicos**

**Caio Ferreira de Oliveira e Fabiana Farias de Lima**  
**Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste - CRCN/NE**

## **INTRODUÇÃO**

O uso das radiações ionizantes tem sido empregado em diversos setores de base e desenvolvimento da sociedade aumentando, a probabilidade de possíveis superexposições. Neste contexto, a dosimetria biológica aliada às análises citogenéticas se mostram fundamentais para entender como a dinâmica da exposição às radiações contribuem para os efeitos biológicos.

O ensaio de micronúcleo por bloqueio da citocinese é uma técnica rápida e de fácil análise, o que a torna adequada para procedimentos de triagem em situações de emergência. Entretanto, por ser um marcador biológico produzido por outros agentes genotóxicos, precisa-se de outra técnica para uma estimativa de dose absorvida mais exata. Desta forma, após a triagem, o ensaio de dicêntricos deve ser aplicado, tendo em vista a sua alta especificidade à radiação ionizante, tornando-o padrão-ouro para a dosimetria biológica[1,2].

Portanto, em casos de acidentes radiológicos em grande escala, é necessário uma resposta imediata entre o laboratório e a equipe médica para um procedimento com menos incerteza clínica e maior benefício no tratamento. Nesse sentido, uma triagem eficiente com análise simultânea das técnicas de micronúcleos e dicêntricos se mostra promissora no âmbito da dosimetria biológica [2].

## **OBJETIVO**

Avaliar a viabilidade do protocolo combinado das técnicas de dicêntrico e micronúcleo, com diferenciação da fase do ciclo celular, implementado no Laboratório de Dosimetria Biológica do CRCN-NE/CNEN para utilização em triagem e estimativa de dose absorvida nos casos de suspeita de superexposição à radiação ionizante.

## **METODOLOGIA**

Foram coletadas 3 amostras de sangue periférico (4 ml cada) de um voluntário saudável e não-fumante, selecionado por meio de um questionário para avaliar-se atendia aos critérios necessários[3]. Uma das amostras foi separada como controle e as outras duas foram irradiadas.

A irradiação foi realizada no Departamento de Energia Nuclear (DEN) em uma fonte de <sup>60</sup>Co (irradiador Gammacel 220) a uma taxa de dose absorvida de 1,055Gy/h, com doses absorvidas de 4Gy e 5Gy.

As preparações citológicas para as análises cromossômicas foram obtidas a partir da cultura de linfócitos em tempos de 48 e 72 horas. Desta forma, na cultura de 48 horas, foi adicionado 0,02 ml de citocalasina B (Sigma) após 24 horas e 0,1 ml de Colchicina 0,0016% (Biological Industries) após 45 horas. Ao completar 48 horas, a cultura seguiu o protocolo para técnica de dicêntricos [1]. No tempo de 72 horas, foi adicionado 0,02 ml de citocalasina B (Sigma) após 24 horas e 0,1 ml de Colchicina 0,0016% (Biological Industries) após 69



horas, seguindo os mesmos parâmetros para dicêntrico ao completar às 72 horas [1].

Após o processo de fixação, foram confeccionadas lâminas a partir do precipitado de células ressuspenso, gotejando em dois pontos em cada lâmina. Em seguida, as lâminas foram coradas com Giemsa a 5 % durante 7 min.

As análises das alterações cromossômicas foram realizadas no microscópio óptico em forma combinada, onde foram analisadas metáfases em M1 (46 cromossomos), M2 (92 cromossomos) e células binucleadas simultaneamente.

Os dados obtidos a partir da análise microscópica foram submetidos a testes estatísticos para a avaliação quanto à conformidade ao modelo de Poisson, sendo utilizados o índice de dispersão e o teste u de Papworth[1].

## RESULTADOS

As análises microscópicas ainda estão em andamento e apenas as frequências de dicêntricos e micronúcleos no tempo de 72h começaram a ser contabilizadas e podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1. Frequência de Dicêntricos

Dose (Gy)	Tempo	M1	M2	1 DIC M1	2 DIC M1	Y DIC	var	var/Y	u
0	72h	175	2	0	0	-	-	-	-
4	72h	88	3	5	0	0.057	0.054	0.954	-0.339
5	72h	13	3	6	1	0.615	0.423	0.688	-0.818

Legenda: M1: célula em primeira mitose; M2: célula em segunda mitose; Y Dic: Frequência de dicêntricos; var: variância; var/Y: variância sobre média; u: teste u.

Na tabela 1, observa-se um aumento da frequência de dicêntricos com o aumento da dose. Como esperado para as radiações de baixa LET, percebe-se que as alterações seguiram a distribuição de Poisson, pois os valores de u permaneceram dentro do intervalo de  $\pm 1,96$  com um nível de confiança de 95%.

Na tabela 2, observa-se a elevação da frequência de micronúcleos, além da mudança na distribuição dessa alteração, com o aumento da dose. Para a dose de 5 Gy, observou-se uma quantidade maior de

células binucleadas contendo 2 ou 3 micronúcleos. O Teste U que representa o índice de dispersão apresenta uma sobredispersão significativa visto que os valores estão acima de  $\pm 1,96$ . Esse dado se mostra dentro do esperado uma vez que no caso de MN, os dados tendem a uma sobredispersão em todas as doses mesmo em radiações de baixa LET [1].

TABELA 2. Frequência de Alterações em Micronúcleos.

Dose (Gy)	Tempo	BN	1MN	2MN	3MN	Y MN	var	var/Y	u
0	72h	36	0	0	0	-	-	-	-
4	72h	89	0	1	0	0.022	0.045	2.000	9.381
5	72h	68	14	7	4	0.588	0.813	1.382	2.240

Legenda: BN: células binucleadas; Y MN: Frequência de micronúcleos; var: variância; var/Y: variância sobre média; u: teste u.

Ainda não é possível atestar a viabilidade do teste, uma vez que a quantidade de células analisadas não tenham sido suficiente para fazer a estimativa da dose utilizando as curvas de dicêntricos e MN já existentes no laboratório e se ter uma melhor comparação com estudos previamente realizados.

## CONCLUSÕES

É necessário o seguimento das análises para validação e aplicação do protocolo combinado no Laboratório de Dosimetria Biológica do CRCN-NE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Atomic Energy Agency, IAEA. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for, and response to radiation emergencies. EPR-Biodosimetry. 2011.
- [2] Testa, A.; Palma, V.; Patrono, C. a Novel Biological Dosimetry Assay As a Potential Tool for Triage Dose Assessment in Case of Large-Scale Radiological Emergency. Radiation Protection Dosimetry, p. 1–3, 2019.
- [3] Gajendiran N, Tanaka K, Kumaravel TS and Kamada N. Neutron-Induced Adaptive Response in Go Human Lymphocytes Using the Comet Assay. Journal of Radiation Research, (42) 91-101). 2001.1

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq

# Avaliação do efeito radioprotetor do extrato de *Ginkgo biloba* em sangue periférico tratado pós irradiação

Caio Victor Barros Gonçalves da Silva e Fabiana Farias de Lima Guimarães  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE/CNEN

## INTRODUÇÃO

A radiação ionizante (RI), em sua interação com o organismo vivo, é capaz de promover a formação de radicais livres que irão interagir com as moléculas de DNA promovendo efeitos genotóxicos ao indivíduo exposto. As alterações cromossômicas são utilizadas como indicadores citogenéticos para avaliar estes efeitos, se destacando o cromossomo dicêntrico, cuja técnica é considerada *padrão ouro* na dosimetria biológica, no que se refere a classe de indicadores citogenéticos específicos à radiação ionizante [1,2].

Os radioprotetores surgem como substâncias com potencial para promover a estabilização dos radicais livres sem trazer prejuízos ao indivíduo e reduzir a formação dessas alterações genéticas [3,4].

A *Ginkgo biloba* é uma planta com diversos compostos ativos, como flavonoides, quercetinas, dentre outros, que lhe conferem um potencial antioxidante, se mostrando como um possível radioprotetor natural [5,6].

## OBJETIVO

Avaliar por meio da técnica citogenética convencional de cromossomos dicêntricos o comportamento radioprotetor de diferentes concentrações do extrato de *Ginkgo biloba* em linfócitos periféricos tratados pós irradiação.

## METODOLOGIA

Um voluntário saudável, não fumante, que não tinha passado por tratamentos radioterápicos nos últimos 6 meses, foi selecionado para a coleta de amostras sanguíneas. As amostras foram divididas em quatro grupos para duas concentrações diferentes do extrato de *Ginkgo biloba* (Merck). O primeiro grupo não foi irradiado e sem possui o extrato. O segundo grupo não foi irradiado e foi tratado com o extrato nas concentrações de 0,025 e 0,050g/ml. As amostras do terceiro e o quarto grupos foram irradiadas com uma dose absorvida de 2 Gy no irradiador Gammacel 220 localizado no Departamento de Energia Nuclear (DEN/UFPE). O quarto grupo foi subdividido em 2 e, 30 minutos após a irradiação da amostra, foi adicionado o extrato nas concentrações já citadas, respectivamente, para verificar o efeito radioprotetor de cada concentração. Após a cultura dos linfócitos, foi realizada a fixação das células, preparação das lâminas e as análises em microscopia. Onde deveriam ser contabilizadas, no mínimo, 250 metáfases viáveis para o estudo. Devido ao tempo, foram contabilizadas em torno de 100 de cada grupo. Após as análises microscópicas, foram realizadas análises estatísticas para identificar se a distribuição celular obedece a distribuição de Poisson (teste U de Papworth), como também verificar a atuação positiva do radioprotetor (testes ANOVA e Tukey).

## RESULTADOS

A análise cromossômica para dicêntricos contou ao todo com 781 metáfases, onde dessas 525 referem ao grupo controle não irradiados com e sem o extrato de *Ginkgo biloba* e 256 referem aos grupos irradiados

com 2 Gy com e sem o extrato, conforme indicados pela Tabela 1.

TABELA 1. Verificação da frequência de distribuição das alterações cromossômicas instáveis.

Dose (Gy)	Conc* (µg/ml)	Total de Células	Total de Dic	Y	0Dic	1Dic	2Dic	3Dic	var	var/Y	u
0	0	113	0	0,000	113	0	0	0	-	-	-
0	0,025	179	0	0,000	179	0	0	0	-	-	-
0	0,05	133	0	0,000	133	0	0	0	-	-	-
2	0	100	17	0,170	85	13	2	0	0,267	0,836	-1,173
2	0,025	142	13	0,092	129	13	0	0	0,400	2,271	10891
2	0,05	114	15	0,132	100	13	1	0	0,360	1,207	1,581

\*Legenda: Conc\*= Concentração do extrato de Ginkgo; Y= Frequência de alterações; var= Variância, var/Y= Variância sobre medida; u: Teste u.

A tabela 1, mostra que as distribuições das alterações celulares em todas as amostras seguem a distribuição de Poisson com valores próximos a 1. Entretanto, por meio do Teste U é possível identificar a presença de uma sobredispersão no grupo irradiado com o extrato de *Ginkgo biloba* com concentração de 0,025, enquanto o grupo controle irradiado e concentrado com o extrato sofrem uma subdispersão, o que é esperado pelo fato da RI atuar de forma aleatória nas células humanas podendo afetar uma mais do que outras. Também pode-se observar que as amostras irradiadas que foram tratadas com o extrato possuem uma frequência de dicêntricos menor (Y) em comparação com o grupo irradiado sem o extrato.

Na tabela 2, pode-se observar os valores obtidos das análises estatísticas ANOVA e Tukey. O teste de ANOVA indicou uma relevância estatística ao se comparar as amostras irradiadas e não irradiadas ( $p < 0,05$ ). Com o teste de Tukey, ao comparar o grupo I-0,0xI-0,025, percebe-se que houve uma redução de danos estatisticamente significativa. Os grupos I-0xI-0,05 e I-0,05xI-0,025 não demonstraram estatisticamente esta redução, entretanto, o número de células analisadas foi baixo para uma análise estatística robusta.

TABELA 2. Análise estatística da variabilidade das amostras por ANOVA e Tukey para amostras de dicêntricos.

Dic		
	Irradiado e não irradiado	Irradiado
ANOVA	0,02188	0,4779
Tukey		
I-0,0xI-0,025	0,0176278	0,0687587
I-0,0xI-0,05	0,4268602	0,4122593
I-0,05xI-0,025	0,3763859	0,379950

\*Legenda: I= irradiado; 0,0= amostras sem Ginkgo; 0,025, 0,05= concentrações do extrato de Ginkgo biloba.

## CONCLUSÕES

O extrato de *Ginkgo biloba*, apresentou uma tendência radiomitigadora ao reduzir alterações cromossômicas, entretanto se faz necessária aumentar o número de células a ser analisada para confirmar estatisticamente esta tendência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA. Cytogenetic dosimetry: 52 applications in preparedness for and response to radiation emergencies. IAEA, 2011.
- [2] Lusiyanti Y, Syaifudin M, Budiantari T, Purnami S, Ramadhani D. Development of Dose-Response Calibration Curve for Dicentric Chromosome Induced by X-Rays. *Genome Integr*. 2019 Jul 19; 10:2.
- [3] Barnes JL, Zubair M, John K, Poirier MC, Martin FL. Carcinogens and DNA damage. *Biochem Soc Trans*. 2018 Oct 19;46(5):1213-1224.
- [4] G. Appraisal of biochemical classes of radioprotectors: evidence, current status and guidelines for future development. *3 Biotech*. 2017 Oct;7(5):292.
- [5] Eisvand F, Razavi BM, Hosseinzadeh H. The effects of Ginkgo biloba on metabolic syndrome: A review. *Phytother Res*. 2020 Aug;34(8):1798-1811.
- [6] Fischer N, Seo EJ, Efferth T. Prevention from radiation damage by natural products. *Phytomedicine*. 2018 Aug 1; 47:192-200.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

# **Análise dos efeitos tóxicos do microplástico irradiado sobre animais bioindicadores**

**Carlos Henrique Pereira Santiago e Maíra de Vasconcelos Lima Sampaio**  
**Centro Regional de Ciências Nucleares – CRCN/NE**

## **INTRODUÇÃO**

Os plásticos podem ser fragmentados em partículas menores originando os microplásticos (MPs), que possuem impacto negativo na natureza [1]. Sabe-se que a radiação gama tem efeito sobre os plásticos de acordo com a dose de exposição [2;3], contudo não se sabe se esses efeitos alteram a toxicidade desses materiais em relação animais bioindicadores, como os moluscos *Biomphalaria glabrata*. Diante disso, se faz necessário a utilização da radiação gama do cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) e a união de altas temperaturas, a fim de modificar a estrutura dos MPs e conseqüentemente observar o efeito na mitigação dos danos sobre animais bioindicadores.

## **OBJETIVO**

Avaliar as modificações estruturais dos MPs através da radiação gama em conjunto a altas temperaturas. Verificando o grau de toxicidade em moluscos adultos.

## **METODOLOGIA**

Amostras de MP de polietileno de baixa densidade (PEBD) comercializado (SIGMA-ALDRICH) foram irradiadas em doses de 0, 10, 50 e 100kGy (Dep. de Energia Nuclear – UFPE). Em seguida, elas foram divididas em dois grupos e aquecidas por 24h a 50 e 100°C, respectivamente. Posteriormente, moluscos adultos (n=8), foram expostos a concentração de 0,2 g/L de MP aos grupos testes (MPs puro, irradiado e aquecido) e o grupo controle negativo (água filtrada e declorada), durante 28

dias. A cada 7 dias as amostras e a água foram trocadas, para que os animais permanecessem em um ambiente limpo.

A análise dos tamanhos das partículas foi realizada para garantir que os bioindicadores são capazes de absorver os MPs [4]. Com auxílio de um microscópio óptico (aumento de 100x – realizado no Laboratório de Fisiologia Renal/UFPE) micrografias foram retiradas para a análise das médias dos comprimentos. Através do software ImageJ e do programa GraphPad Prism version 5.0 (GraphPad Prism, San Diego, Califórnia, USA), foram identificadas a frequência e o comprimento das partículas.

As amostras de MPs foram verificadas através da Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - espectrômetro Jasco FT/IR – 4600), a análise dos gráficos foi adquirida pelo programa OriginPro 2022 (OriginLab Corporation, Northampton, Massachusetts, USA).

## **RESULTADOS**

Os animais expostos aos MPs (puro, irradiados e aquecidos) não conseguiram sobreviver até o final dos 28 dias do teste, incluindo o grupo controle negativo. Porém, foi observado que os animais sobrevivem em torno de 14 dias, norteando os próximos passos do projeto. A média do comprimento das partículas variou entre 15 e 150  $\mu\text{m}$ . Observou-se que a frequência dos MPs após o aquecimento de 100°C foi maior para partículas de 65  $\mu\text{m}$ , da mesma maneira que o MP puro (sem aquecimento e sem radiação). Em relação aos MPs aquecido a 50°C e irradiados as frequências

variaram de 25 a 80  $\mu\text{m}$ , mostrando que essa temperatura não tem uma normalidade no comprimento das partículas.

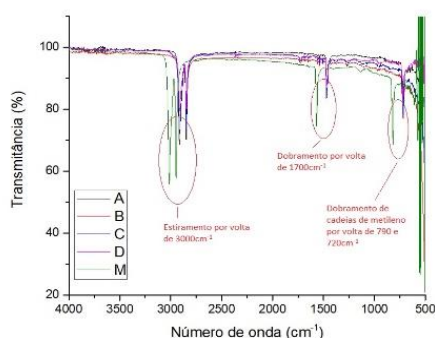


Figura 1 - Espectros FTIR dos microplásticos irradiados e não irradiado, aquecidos a 50°C.

A Figura 1 demonstra as amostras de MPs puro, irradiado, e aquecidos a 50°C por 24 horas. O grupo M representa o espectro do MP puro, e os grupos A, B, C e D representam os MPs aquecidos a 50°C e irradiados a 0, 10, 50 e 100kGy, respectivamente. A diferença nos picos na faixa de 3000 a 2800 $\text{cm}^{-1}$  do grupo M em relação aos demais grupos indica que altas doses provocam cisão de cadeia no polímero, apresentando padrões típicos de frequência de estiramento C-H. É possível notar a ocorrência de picos entre 1600 e 1500 $\text{cm}^{-1}$ , que correspondem a ligações duplas entre carbonos, comprovando a ocorrência de reticulação em decorrência de irradiação gama [5].

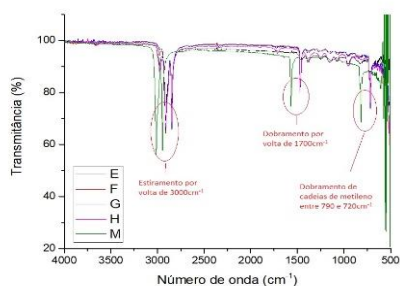


Figura 2 - Espectros FTIR dos microplásticos irradiados e não irradiado, aquecidos a 100°C.

A Figura 2 compara o grupo M com os grupos E, F, G e H (MPs irradiados a 0, 10, 50 e 100kGy e aquecidos a 100°C por 24 horas, respectivamente). Os padrões de vibrações observados foram

semelhantes aos que foram observados na Figura 1, indicando que a variação de temperatura entre 50 e 100°C não provocou efeitos significantes.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o tempo de exposição dos MPs aos moluscos pode ter influenciado na toxicidade. A irradiação gama e a temperatura são capazes de alterar a estrutura do polietileno, mas que a variação entre 50 e 100°C não produz efeitos significantes. Assim, novos testes precisam ser feitos para mensurar o impacto desses materiais sobre os animais bioindicadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REZANIA, S.; et al. Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine pollution bulletin*, v. 133, p. 191-208, 2018.
2. PORTO, K. M. B. G.; et al. Gamma radiation effects in packaging for sterilization of health products and their constituents paper and plastic film. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 142, p. 23-28, 2018.
3. LIN, W. H.; et al. Effect of light irradiation on heavy metal adsorption onto microplastics. *Chemosphere*, v. 285, p. 131457, 2021.
4. GUTOW, L.; et al. Gastropod pedal mucus retains microplastics and promotes the uptake of particles by marine periwinkles. *Environmental Pollution*, v. 246, p. 688-696, 2019.
5. MEDEIROS, Pablo Rodrigues de. Efeitos da irradiação gama em altas dose nas propriedades do polietileno de baixa densidade verde (PELBD VERDE) usado em revestimentos de cabos elétricos. *Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco*, p. 85. 2018.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

# Avaliação do efeito radioprotetor de diferentes concentrações do extrato de *Ginkgo biloba* (EGb merck) em linfócitos humanos irradiados

Eduarda Santos Silva e Mariana Esposito Mendes  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE)

## INTRODUÇÃO

O uso de radiação ionizante (RI) traz benefícios, como ferramenta de diagnóstico em radiografias e tomografias, mas também traz riscos como danos ao DNA, mutações genéticas e câncer. Esses danos ocorrem devido à interação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e radicais livres. Medidas de radioproteção, incluindo o uso de substâncias radioprotetoras, são essenciais para mitigar esses riscos [2, 7].

Radioprotetores naturais são substâncias presentes em plantas que têm a capacidade de reduzir os danos causados pela RI. Essas substâncias possuem propriedades antioxidantes que equilibram os níveis de radicais livres oriundos do estresse oxidativo. O extrato de *Ginkgo biloba* é conhecido por possuir propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, sendo extremamente relevante para o estudo de radioprotetores [3, 4].

Uma das formas de avaliar os efeitos da exposição à RI é por meio de alterações cromossômicas, como a formação de micronúcleos (MN), que são considerados biomarcadores confiáveis para estimativa de dose absorvida [5].

## OBJETIVO

Avaliar o efeito radioprotetor do extrato de *Ginkgo biloba* em linfócitos humanos irradiados através da técnica de micronúcleo por bloqueio de citocinese.

## METODOLOGIA

Um voluntário saudável do sexo masculino, não fumante, com 25 anos de idade foi selecionado para o experimento. Foram coletadas 15 ml de sangue periférico para cada concentração do extrato de *Ginkgo biloba* aprovada no teste MTT, protocolado por Dani et al (2010) [1], além das amostras controle, em tubos contendo heparina. Essas amostras foram distribuídas em três grupos: dois grupos controles, um para o sangue não irradiado e outro para o sangue irradiado não tratado. O terceiro grupo consistiu em amostras irradiadas por uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  (irradiador Gammacel 220), com dose absorvida de 2Gy, e tratadas com o extrato nas concentrações de 0,025 e 0,05 ( $\mu\text{g/ml}$ ).

Para realizar as análises cromossômicas pela técnica de micronúcleos com bloqueio de citocinese, foram obtidas preparações a partir da cultura de linfócitos, seguindo o protocolo padrão [6]. Após a contagem de micronúcleos, foi observada a distribuição dessas alterações cromossômicas nas células. Em seguida, foi aplicado o teste u de Papworth [6] para verificar se essas alterações se encaixam no modelo de distribuição de Poisson, bem como os testes ANOVA e Tukey, para verificar a variabilidade das amostras.

## RESULTADOS

A partir da técnica de micronúcleos por bloqueio de citocinese, foram observadas 4.431 células binucleadas viáveis, sendo 2.251 células referentes às amostras controles e 2.180 células referentes as amostras testes (Tabela 1).

TABELA 1. Comparação da Frequência de Micronúcleos Entre as Amostras Controle Não Irradiada, Irradiadas Tratadas com EGB e Controle Irradiada.

Dose (Gy)	Con	Total células	Mn	Y	0Mn	1Mn	2Mn	3Mn	4Mn	5Mn	% de dano	var	var/Y	u	Dose (Gy)=
0	C	1050	5	0.005	1045	5	0	0	0	0	0.48%	0.005	0.996	-0.098	-
2	0.025	1000	42	0.042	962	34	4	0	0	0	3.80%	0.048	1.150	3.385	0.523
2	0.05	1180	62	0.053	1122	54	4	0	0	0	4.92%	0.057	1.077	1.895	0.655
2	C	1201	303	0.252	939	230	25	6	0	1	21.82%	0.277	1.098	2.416	2.501

Con: concentração ( $\mu\text{g/ml}$ ); C: controles não irradiado e irradiado sem extrato; Mn: micronúcleos; Y: frequência de micronúcleos; var: Variância; var/Y: Variância sobre média; u: Teste u.

Os dados obtidos mostram que o sangue controle (não irradiado e não tratado) segue as recomendações de *background* da IAEA. Pode-se observar que a frequência de MN nas concentrações teste (0,025 e 0,05  $\mu\text{g/ml}$ ) diminuiu consideravelmente quando comparada com a frequência da amostra controle irradiada.

Em relação a distribuição de Poisson, as amostras testes apresentaram dispersão dentro do esperado, com valores próximos a 1, exceto para a concentração de 0,025 e para a amostra irradiada, as quais apresentaram sobredispersão ( $>1,96$ ). Na concentração de 0,05 houve uma subdispersão significativa ( $<1,96$ ). Ambas as concentrações testadas reduziram a frequência de alterações em comparação com o sangue irradiado não tratado. Além disso, nas amostras tratadas, a dose estimada absorvida foi reduzida em mais da metade em comparação à dose de exposição.

TABELA 2. Análise Estatística da Variabilidade das Amostras por ANOVA e Tukey.

MN		
	Irradiado e não irradiado	Irradiado
<b>ANOVA</b>	0.8477	0.9591
<b>Tukey</b>		
I-0,05 x I-0,025	0.4875640	0.4480842
C-0,0 x I-0,025	0.0046434	
I-0,0 x I-0,025	0.0000000	0.0000009
C-0,0 x I-0,05	0.0008688	
I-0,0 x I-0,05	0.0000000	0.0000011
I-0,0 x C-0,0	0.0000000	

I: irradiado; C: controle; 0,0: amostras sem extrato; 0,025 e 0,05: concentrações do extrato de *Ginkgo biloba*.

Os resultados dos testes de ANOVA e Tukey (Tabela 2) mostram que as análises estatísticas das amostras de micronúcleos não mostraram relevância estatística significativa de acordo com o teste ANOVA ( $p>0,05$ ). No entanto, o teste de Tukey indicou diferenças entre os grupos não tratado (I-0,0) e o grupo tratado (I-0,025), assim como entre os grupos (I-0,0 x I-0,05). Porém, apesar do ANOVA não confirmar, o teste Tukey sugere que há diferenças entre os grupos tratados e não tratados com EGB, sendo necessário análises mais abrangentes para confirmar essas diferenças.

## CONCLUSÕES

A presença do extrato de *Ginkgo biloba* nas concentrações estudadas não aumentou a frequência de micronúcleos. Além disso, o extrato reduziu o surgimento de micronúcleos em linfócitos humanos após irradiação com 2Gy de radiação gama, indicando um comportamento radiomitigador, visto que diminuiu o estresse celular causado pela radiação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DANI, C. et al. Viabilidade celular de cultura de linfócitos tratados com *Annona muricata* L. **Ciência em Movimento**, v. 12, n. 24, p. 95-101, 2010.
- [2] DONG, S. et al. Oxidative stress: A critical hint in ionizing radiation induced pyroptosis. **Radiation Medicine and Protection**, v. 1, p. 179-185, 2020.
- [3] DOWLATH, MJH. et al. Effects of radiation and role of plants in radioprotection: A critical review. **Science of the Total Environment**, v. 779, 2021.
- [4] EISVAND, F. et al. The effects of Gb on metabolic syndrome: A review. **Phytotherapy Research**, p. 1–14, 2020.
- [5] HERATE, C. et al. Retrospective biodosimetry techniques: Focus on cytogenetics assays for individuals exposed to ionizing radiation. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 783, 2020.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for, and response to radiation emergencies. **EPR-Biodosimetry**, 2011.
- [7] OBRADOR, E. et al. Radioprotection and Radiomitigation: From the Bench to Clinical Practice. **Biomedicines**, v. 8, p. 461, 2020.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

# Desenvolvimento de um modelo de dinâmica e fluidos computacional para a modelagem do cross-vessel de um reator nuclear de geração IV

Andrew Ferreira Ribeiro, Fernando Roberto de Andrade Lima e Daniel Gonzáles Rodríguez  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

A constante evolução do homem advém da energia dos processos naturais. Com o intuito de atender a demanda por alimento, o homo sapiens desenvolveu a agricultura e a pecuária, estocando mantimentos como forma de obter energia química rápida para o desenvolvimento de seu organismo. Na revolução industrial, introduziu-se a necessidade de fontes energéticas em larga escala, utilização do vento, é da água para mover o sistema, se mostrou ineficiente em comparação com a vapor, a utilização de combustível não renovável e poluente, marcou o início da degradação do meio ambiente com aumento na emissão de CO<sub>2</sub>[1].

Nos últimos anos, o reator a gás hélio modular (GT-MHR), foi introduzido com o objetivo de aproveitar a energia liberada com a fissão nuclear, é um reator refrigerado a gás de quarta geração desenvolvido em acordo entre o Minatou da Rússia, General Atomics, Franatone e Fujielectric. Essa usina utiliza um ciclo Brayton de alta eficiência, que permite uma eficiência de conversão térmica de 48% [2]. A usina nuclear e constituída por um reator de hélio modular refrigerado a gás (MHR), um sistema de convecção de potência (PCS), composto por uma turbina de ciclo Brayton, estes dois módulos são conectados por um vaso de pressão horizontal, o cross-vessel demonstrado na figura 1.

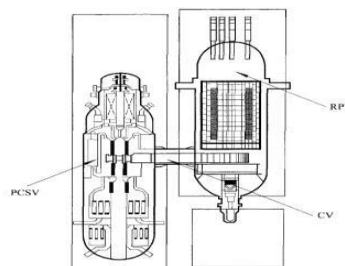


Figura 1 – Rep. Esq. do Reator GT-MHR.

Este tipo de reator funciona de forma que o hélio seja aquecido no núcleo do reator fluindo pelos canais refrigerantes que passam pelas barras de grafite antes de adentrar à parte do sistema dedicada a conversão de potência, que contém uma turbina acoplada a um gerador elétrico interligado a partir de um eixo vertical com dois compressores que permite um aumento de pressão mantendo o estado físico do fluido garantindo a diminuição dos efeitos de cavitação nas pás da turbina.

## OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo desenvolver um modelo de dinâmica de fluidos computacional do PCSV (Power Conversion System Vessel) do reator GT – MHR, para a análise do comportamento na interação com o CV (Cross Vessel), e obtenção da confiabilidade do sistema com a interação dos sistemas.

## METODOLOGIA

As atividades deste trabalho foram realizadas no grupo de Engenharia de Reatores no prédio do DIRAD pertencente ao CRCN-NE. Para a construção do modelo



computacional é usado o software Ansys em sua versão R1, as simulações foram executadas em um workstation, com um processador Intel® Xeon de 6 núcleos e com 16GB de RAM. Foi proposto para o projeto a avaliação de seis materiais que serão combinados em pares e aplicados à estrutura do CV. Até o presente momento todas as simulações com nove combinações possíveis feitas com base em dados pré-definidos das propriedades mecânicas dos materiais, usando aços 9Cr-1Mo-V, 2¼Cr1Mo e 15Cr-2Mo-1V para o Cold Duct e aplicando aços Incoloy 800H, Hastelloy e Inconel 617 para o Hot Duct .

## RESULTADOS

Inicialmente tomando dois cilindros concêntricos de raio  $R3$  e  $R1$ , fixos de forma a impedir o movimento entre eles, esta tubulação possui mesma temperatura e comporta o escoamento do mesmo fluido ( $FL1$ ,  $FL2$ ) a pressão constante. Assumindo que os dois cilindros estão isolados termicamente, ao aumentar a temperatura de  $FL1$ , o cilindro externo irá expandir devido a dilatação térmica, tracionando os apoios e por consequência o cilindro interno, gerando tensões térmicas radiais e circunferenciais, como os dois cilindros estão fixos impedindo o deslizamento entre eles, a parede externa do cilindro de raio  $R4$  será tracionada por consequência a parede interna  $R3$  será comprimida gerando tensões térmicas axiais e de cisalhamento.

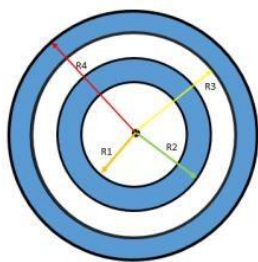


Figura 2 – Representação Esquemática do CV.

Foi observado a independência de pressão, temperatura e velocidade com os tipos de materiais aplicados ao CV; apenas as grandezas de tensão, deformação e

deslocamento tiveram pequenas variações na comparação das combinações.

## CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo geométrico simplificado do CV, para sua modelagem tanto fluidodinâmica como estrutural empregando o software ANSYS R1. Para isto foram discretizados ambos os domínios computacionais (fluido e estrutura) utilizando os valores de Skewness ao empregar malhas para garantir uma qualidade aceitável. Foi realizada a modelagem em CFD do CV para a obtenção das cargas térmicas e mecânicas que foram colocadas como condições iniciais no modelo mecânico. A determinação das tensões e deformações máximas do CV estão na ordem de 1,6758 cm no "Hot Duct". O CV sofre deformações consideráveis em sua estrutura, especialmente no Hot Duct, porém já se pode fazer comparações com os valores máximos permitidos pelos materiais, tirando destes as conclusões referentes a sua resistência e estabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. C. Potter and A. Shenoy, "GT-MHR Conceptual Design Description Report," no. August 1996.
- [2] B. K. McDowell, J. R. Nickolaus, M. R. Mitchell, G. L. Swearingen, and R. Pugh, "High Temperature Gas Reactors: Assessment of Applicable Codes and Standards," Pnnl-20869, no. October, 2011.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

O apoio financeiro do CNPQ e o apoio técnico do CRCN/NE foram essenciais para a realização deste trabalho.

# EDX-RF, alternativa para uma ampla gama de analitos em amostras de solo contaminadas por metais pesados com materiais de referência específicos

Gabriella Kalyne de Souza Braz E Vivianne Lúcia Bormann de Souza  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

## INTRODUÇÃO

Pesquisadores ambientalistas vêm estudando a presença de metais pesados (metais-traço) em solo e sedimentos há bastante tempo. Essas pesquisas envolvem também a elucidação de qual o melhor método analítico para a análise de determinados elementos químicos [1].

## OBJETIVO

Analisar padrões certificados de amostras de solo obtidas de laboratórios Internacionalmente reconhecidos para garantir a qualidade das análises realizadas em Equipamento de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDX-RF), no laboratório de Análises Ambientais do CRCN-NE.

## METODOLOGIA

A determinação de metais-traço foi realizada por EDXRF que utiliza um feixe de raios-X para promover a excitação dos elétrons dos elementos químicos nas amostras. Esta excitação proporciona a emissão de raios-X característicos que são detectados e por meio dos espectros gerados, e os elementos químicos podem ser identificados e quantificados. Realizou-se a calibração do equipamento EDX-720 da Shimadzu, a partir dos padrões de calibração em energia e resolução, A-750 e SUS. As amostras dos padrões já cominuídas foram pesadas e transferidas para cápsulas de polietileno específicas para análise por EDXRF e vedadas com filmes de polipropileno. A determinação dos elementos químicos nas

amostras foi realizada a partir de curvas analíticas obtidas por materiais de referência [2].

Para o controle da qualidade do procedimento analítico, materiais de referência certificados SRM 2711 e SRM 2709 da NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia - USA) e SOIL 7 da IAEA (Agência Internacional de Energia atômica) foram analisados.

A análise dos resultados compreendeu técnicas estatísticas para a expressão dos resultados das concentrações dos elementos químicos determinadas por EDXRF. Para a validação do procedimento analítico, foi utilizado o número  $E_n$  (Equação 1). Para alcançar o nível de confiança de 95%, a faixa adequada para os resultados do Número  $E_n$  é entre [-1 e 1], conforme recomendação da ISO 13528/2005 [3].

$$E_n = (X_{obs} - X_{ref}) / \sqrt{U_{obs}^2 + U_{ref}^2} \quad (\text{Equação 1})$$

$X_{obs}$  = Valor observado na análise do material de referência;

$X_{ref}$  = Valor do material de referência certificado;

$U_{obs}^2$  = Incerteza analítica expandida em nível de 95% de confiança do valor obtido do material de referência;

$U_{ref}^2$  = incerteza analítica expandida em nível de 95% de confiança do valor certificado.

## RESULTADOS

Os quadros 1, 2 e 3 retratam os resultados obtidos na análise de padrões certificados, geralmente, realizados, anteriormente ou paralelamente às amostras, para a verificação da metodologia e análise estatística dos dados. Garantido assim, a

credibilidade dos resultados obtidos pelo laboratório em questão.

**Quadro 1.** Resultado das análises do padrão certificado SRM 2711.

Elemento	SRM 2711	Valor medido	En
Mn	638 ± 28	570 ± 66,4	-0,50
Fe	28900 ± 600	28088 ± 216	-0,96
Cu	114 ± 2	121 ± 11,95	0,26
Zn	350,4 ± 48	396 ± 23,5	0,95
Ga	15 ± 3	15 ± 1	-0,04
As	105 ± 8	104 ± 3,3	-0,10
Pb	1162 ± 31	1059 ± 79	-0,60
Sr	245,3 ± 0,7	261 ± 8,48	0,87
Ti	3060 ± 230	3008 ± 76,6	-0,18
Al	65300 ± 900	62248±1227,3	0,93
Si	294332 ± 876	304400±1900	-0,94
K	23470 ± 218	24500 ± 800	-0,95
Ca	27618 ± 199	28800 ± 800	-0,92

**Quadro 2.** Resultado das análises do padrão certificado SOIL 7.

Elemento	SOIL 7	Valor medido	En
Mn	607 ± 58	627 ± 46	-0,16
Fe	24523 ± 1888	25750 ± 1200	-0,93
Cu	22 ± 7,7	11 ± 4	0,60
Zn	105 ± 13	107 ± 12	-0,07
Ga	9 ± 0,7	11 ± 4	-0,52
Pb	50 ± 23	63 ± 116	-0,26
Sr	97 ± 6	108,5 ± 11	-0,68
Ti	2746 ± 66	3150 ± 1100	-0,36
Al	45482 ± 1341	47500±7000	-0,26
Si	207854 ± 817	185000±32000	0,68
K	11565 ± 218	12000 ± 1400	-0,27
Ca	159020 ± 572	165500±17000	-0,39

**Quadro 3.** Resultado das análises do padrão certificado SRM 2709.

Elemento	SRM 2709	Valor medido	En
Mn	552 ± 34,7	538 ± 17	0,20
Fe	32634 ± 142	35000 ± 1100	-1,00
Cu	37 ± 5,1	34,6 ± 0,7	0,20
Zn	116 ± 8,1	106 ± 3	0,55
Ga	10 ± 0,4	14 ± 4,2	-1,00
Pb	33 ± 11,2	18,9 ± 0,5	0,60
Sr	221 ± 4,4	231 ± 2	-0,97
Ti	3441 ± 42,7	3420 ± 240	0,08
Si	285616 ± 519	296600±2300	-1,00
K	19296 ± 115,8	20300 ± 600	-1,00
Ca	19231 ± 97,9	18900 ± 500	0,31
Ni	90 ± 7,6	88 ± 5	0,12

Mg	14559 ± 1875	15100 ± 500	-0,14
V	109 ± 12,3	112 ± 5	-0,52

## CONCLUSÕES

Verificou-se que este método de EDX-RF não limita a viabilidade de análise da maioria dos analitos que podem ser perdido por evaporação quando analisados por outras técnicas analíticas como ICP-MS e AAS, principalmente a análise de Arsênio, visto que é uma técnica de análise não destrutiva da amostra (o EDX-RF). E que, algumas vezes, por esta técnica podem ser detectados elementos minoritários (e tóxicos) como Cu, Ni, Pb; além da detecção de Sr, Ga e Zn (também minoritários).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] TIGHE, M.; LOCKWOOD, P.; WILSON, S.; LISLE, L. Comparison of Digestion Methods for ICP-OES Analysis of a Wide Range of Analytes in Heavy Metal Contaminated Soil Samples with Specific Reference to Arsenic and Antimony **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 9 - 10, p. 1369–1385. 2004.

[2] SOUSA, E. E.; PAIVA, J. D. D.; FRANÇA, E. J.; ALMEIDA, M. E. S.; CANTINHA, R. S.; HAZIN, C. A. Qualidade nas análises químicas de matrizes biológicas pela fluorescência de raio-X por dispersão de energia. **International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2013**. Recife, 2013. 1 DVD – Rom.

[3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 13528:2005 - Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. **ISO**. 2005.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN/

# **Estimativa da frequência de dicêntricos a partir da exposição alta taxa de dose por radiação gama**

**Houemakou Rimbaud Djidonou - Mariana Esposito Mendes  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste - CRCN/NE**

## **INTRODUÇÃO**

A radiação ionizante é definida como uma radiação que carrega uma energia suficiente para ionizar os átomos, arrancando os elétrons dos seus orbitais. O processo de interação das radiações ionizantes com a matéria se passa em nível atômico, transferindo energia para as partículas encontradas na sua trajetória. Ou seja, em um caso de uma explosão voluntária ou involuntária a radiação, as pessoas podem apresentar diversas reações metabólicas no organismo, da hidrólise da água, produção dos radicais livres até dano na molécula de DNA. Ademais, ao sofrer a ação direta ou indireta da radiação, a molécula de DNA expõe mutação, alterações estruturais. Consequentemente, quando o reparo não é total o organismo pode apresentar alterações cromossômicas no cariótipo [1;2]. Além das suas propriedades, a radiação ionizante tem-se empregado em vários setores depois dos avanços tecnológicos como no sector da saúde, energia, indústria, alimentação e outros. Portanto, é de grande importância destacar as grandes pesquisas que vêm sendo realizadas no Brasil, especialmente pelos laboratórios de Dosimetria dos Centros Regionais de Energia Nucleares a fim de produzir um maior benefício com o menor risco possível no uso da radiação ionizante. As pesquisas consistem no desenvolvimento e aperfeiçoamento das técnicas a fim de identificar pessoas contaminadas a também de fazer uma estimativa de dose absorvida por um indivíduo exposto a radiação ionizante [2].

A grandeza física fundamental na monitorização de indivíduos expostos à radiação ionizante é a dose absorvida, sendo realizada diretamente com o auxílio de

aparelhos sensíveis denominados dosímetros, a dosimetria física. A avaliação de parâmetros biológicos sensíveis aos efeitos radioinduzidos vem sendo utilizada na monitoração individual denominada biodosimetria, tornando-se assim uma ferramenta complementar à dosimetria física [1,2,4].

A biodosimetria engloba as técnicas citogenéticas e permite analisar as alterações cromossômicas em linfócitos periféricos, a fim de estimar a dose exposta. Atualmente, essas alterações podem ser identificadas por meio de algumas técnicas, sendo duas delas a análise citogenética convencional de cromossomos dicêntricos e a técnica de micronúcleos (MN) com bloqueio da citocinese celular (CBMN - Cytokinesis-Block Micronucleus) [3,5]. O ensaio de cromossomos dicêntricos é o método mais utilizado e mais estabelecido, e considerado o padrão ouro. Pois, a técnica possui uma alta sensibilidade e especificidade a radiação, é aplicada para uma estimativa de dose absorvida mais exata.

## **OBJETIVO**

Diante disso, este trabalho visa a fazer uma estimativa da frequência de dicêntricos a partir da exposição alta taxa de dose por radiação gama ( 2 e 3 Gy).

## **METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Dosimetria Biológica do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste — CRCN-NE, com um voluntário saudável, não-fumante, e realizamos a coleta de 15 ml de

sangue periférico. As amostras foram separadas em alíquotas de 5 ml, sendo uma considerada controle (não irradiada) e as outras duas foram irradiadas em uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  com taxa de dose: 2,4215 Gy/h(DEN-UFPE). Para a cultura dos linfócitos foi utilizado o protocolo do manual da IAEA, 2011.

## RESULTADOS

Os dados obtidos a partir da leitura das lâminas de dicentricos foram submetidos a testes estatísticos para avaliação quanto à distribuição linear utilizando o índice de dispersão e o teste u de Papworth (Tabela 1).

TABELA 1. Análise das frequências e distribuição célula de dicêntricos em relação a dose absorvida.

Dose (Gy)	Total de Metáfase	DC	Y	Distribuição celular de dicêntricos				Var	Var/Y	u
				0	1	2	3			
0	417	0	0	417	0	0	0	0.000	-	-
2	205	26	0,127	182	20	3	0	0.141	1.109	1.126
3	68	12	0,176	52	10	1	0	0.189	1.072	0.434

Ao total, foram contabilizadas 690 células metafásicas, sendo 417 para o controle (0 Gy), 205 para a dose 2 (2 Gy) e 68 para a dose (3 Gy). Durante a análise, no grupo controle não foi observado qualquer tipo de alteração. No entanto para as amostras irradiadas, as frequências foram 0,127 e 0,176 respectivamente para doses de 2Gy e 3Gy. Observamos um aumento das frequências proporcionalmente à elevação da dose.

No estudo da distribuição celular, observa-se que a variância não excedeu a média de forma significativa, com isso os valores de u estão dentro de intervalo de 1,96 no limite de confiança de 95%.

## CONCLUSÃO

O ensaio de dicêntrico mostrou sensível na estimativa de dose absorvida em exposição

de alta taxa de dose. Ademais, as frequências de dicêntricos aumentam proporcionalmente à elevação da dose.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Commission On Radiological Protection (ICRP). Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. Report 60, Elmsford, NY: Pergamon Press,
- [2] NOUAILHETAS, YANNICK et al. Radiações Ionizantes e a vida. Apostilas Educativas. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/component/content/article>, 2005.
- [3] ICRP Publication, 1990. International Atomic Energy Agency, IAEA (2011). Cytogenetic dosimetry applications in preparedness for, and response to radiation emergencies. EPR-Biodosimetry.
- [4] VOISIN, P.; BARQUINERO, F.; B. LINDHOLM, C.; LLOYD, D.; LUCIONI, C.; MILLER, S.; PALITTI, F.; PRASSANNA. P.G.S.; STEPHAN, G.; THIERENS, H. TURAI, I.; WILKINSON, D.; DWOJCIK, A. Towards a standardization of biological dosimetry by cytogenetics. Cellular and Molecular Biology, v. 48, p. 501-504, 2002.
- [5] [4] Pohl-Rüling J (1992). Low level dose induced chromosome aberrations in human blood lymphocytes. Radiation protection dosimetry, 45(1-4):623-627.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro.

# Avaliação do potencial antioxidante e radiomodificador da lectina SteLL, extraída da *Schinus terebinthifolia*

Karine Lafaiete de Carvalho e Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste - CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Substâncias radioprotetoras, sejam de origem sintética ou natural, são compostos utilizados para reduzir os efeitos deletérios da radiação ionizante [1]. Contudo, os de origem sintética apresentam perfil de toxicidade elevada aos órgãos e tecidos, inviabilizando ou diminuindo seu uso na prática clínica [2]. Diante disso, um grupo bastante promissor a novos radioprotetores, são as lectinas, proteínas de origem vegetal extraídas de plantas. A SteLL, lectina obtida a partir da *Schinus terebinthifolia* ou aroeira da praia, é uma glicoproteína com propriedades farmacológicas amplas e bem reportadas na literatura (antibacteriana, antitumoral e imunomoduladora) [3]. Assim, diante das referidas informações, é imprescindível uma pesquisa mais aprimorada das propriedades antioxidantes da lectina para posterior averiguação da sua capacidade radioprotetora e/ou mitigadora da lectina.

## OBJETIVO

Investigar o efeito antioxidante da lectina SteLL de folhas de *Schinus terebinthifolia*.

## METODOLOGIA

A amostra da lectina isolada foi doada pelo BioProt – Laboratório de Proteínas do Departamento de Bioquímica da UFPE. Para a análise da atividade antioxidante da SteLL, realizou-se o teste do DPPH, conforme a metodologia adaptada de Blois, 1958 [4]. Para o ensaio ABTS seguiu-se a metodologia segundo Roberta *et al.*, 1999

[5]. As concentrações ( $\mu\text{g/ml}$ ) da lectina utilizadas para teste nos dois ensaios foram: 850, 425, 212,5, 106,25 e 53,12. Em microplaca de 24 poços, adequadamente identificados para cada teste, foram pipetados individualmente  $2\mu\text{l}$  de cada concentração e, posteriormente, foram adicionados  $220\mu\text{l}$  dos reagentes DPPH e ABTS. Logo após o tempo de espera proposto para cada teste, realizou-se as leituras em espectrofotômetro Elisa. Para o este DPPH, o comprimento de onda utilizado foi de 517nm e para o ABTS, 734nm, com intervalo de absorbância esperado de 0,700 a 0,734. O ensaio foi realizado em triplicata. No teste DPPH, foi utilizado ácido ascórbico a  $500\mu\text{M}$  como controle positivo (C+); NaCl/DPPH como controle negativo (C-) e apenas NaCl como branco. No ensaio ABTS, foi construída a curva padrão do ácido gálico ( $1\text{mg/ml}$ ) no C+ e o etanol PA no C-. Por último, foram calculadas as porcentagens de inibição (I%) e  $\text{IC}_{50}$  (concentração mínima necessária para redução de 50% do radical) das concentrações analisadas da SteLL por ambos os métodos. Para análise dos dados, foi utilizado o teste ANOVA e Turkey. As diferenças estatísticas foram definidas em  $p < 0,05$  (nível de confiança de 95%) usando o software no *GraphPad Prism 7.0*.

## RESULTADOS

A lectina SteLL pelo método DPPH apresentou I% de 56,43 e 26,19 para as concentrações de 850 e  $425\mu\text{g/ml}$ , respectivamente e  $\text{IC}_{50}$  de  $847,19\mu\text{g/ml}$  ( $y=0,057x+9,7194$  e  $R^2=0,9778$ ). Para as demais concentrações analisadas, não

houve redução significativa do radical. De acordo com o ANOVA e Turkey, houve diferença estatística significativa ( $p=0,0001$ ) no ensaio e entre as medidas repetidas das cinco concentrações testadas, respectivamente. O ácido ascórbico (C+) superou o platô de inibição a partir da concentração de 53,12  $\mu\text{g/ml}$ . A curva do ácido gálico foi construída (Figura 1), na concentração de 500 $\mu\text{g/ml}$  obteve-se um I% de 93,64 e  $\text{IC}_{50}$  de 318 $\mu\text{g/ml}$  ( $y=0,1462x+23,348$  e  $R^2=0,9687$ ).

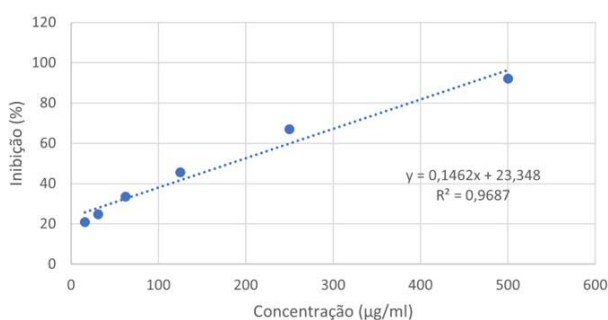


Figura 1 – Curva Padrão do Ácido Gálico pelo método ABTS.

No teste ABTS, a maior concentração testada apresentou inibição de aproximadamente 13% e  $\text{IC}_{50}$  de 4501,28 $\mu\text{g/ml}$  ( $y=0,0114x+3,0056$  e  $R^2=0,9277$ ). As demais concentrações indicaram baixa atividade. Na tabela 1 (abaixo) é possível observar de forma comparativa, os valores percentuais encontrados para cada teste antioxidante realizado, de acordo com as concentrações testadas.

Tabela 1 – Porcentagem de inibição dos radicais DPPH e ABTS pela STeLL.

Concentrações ( $\mu\text{g/ml}$ )	Método DPPH	Método ABTS
	I%	
850	56,43 $\pm$ 0,01	12,78 $\pm$ 0,01
425	26,19 $\pm$ 0,01	7,09 $\pm$ 0,01
212,5	14,82 $\pm$ 0,01	6,15 $\pm$ 0,01
106,25	11,52 $\pm$ 0,01	5,96 $\pm$ 0,01
53,12	10,62 $\pm$ 0,01	2,30 $\pm$ 0,01
<b><math>\text{IC}_{50}</math></b>	<b>847,19</b>	<b>4501,28</b>

## CONCLUSÕES

A SteLL é uma lectina vegetal com ação antioxidante consideravelmente relevante. Para verificação do seu efeito radiomodificador, se faz necessário a realização de estudos mais aprofundados de citotoxicidade e genotoxicidade com concentrações iguais ou superiores a 850 $\mu\text{g/ml}$  testada nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, M. L. DE O. et al. Estudo do efeito radioprotetor do extrato metanólico de *Caesalpinia pyramidalis* sobre células embrionárias de *Biomphalaria glabatra*. **Scientia plena**, [s. l.], v. 9, n. 9, 2013. disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1340>.
- [2] POURI M. et al. Efeito radioprotetor da gliclazida como agente anti-hiperglicêmico contra genotoxicidade induzida por radiação ionizante em linfócitos humanos, agentes cardiovasculares e hematológicos em química medicinal v. 19, n. 1, p. 40-46, 2019. 17(1). <https://dx.doi.org/10.2174/1871525717666190524092918>.
- [3] DOS SANTOS A.J.C.A. et al. *Schinus terebinthifolia* leaf lectin (SteLL) is an immunomodulatory agent by altering cytokine release by mice splenocytes. 3 biotech. 2020 apr;10(4):144. doi: 10.1007/s13205-020-2137-2. epub 2020 mar 2. pmid: 32181106; PMCID: PMC7052083.
- [4] BLOIS, M. S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, v.181, n. 4617, p. 1199-1200, 1958.
- [5] ROBERTA R.E.; et al. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v.26, n.9/10, p. 1231-1237. 1999.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

# Desenvolvimento de um software para obtenção de espectros de raios X

Larissa Pereira de Souza Miranda e Fernando Roberto de Andrade Lima  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Os raios X, muito utilizados na medicina desde a sua descoberta, são considerados o tipo de radiação mais empregada no setor da saúde. Por meio de seu intermédio, grandes avanços em diagnóstico por imagem e tratamento de patologias foram possíveis [4]. Esses aperfeiçoamentos, suscitam numa melhor aplicação da técnica e, por conseguinte, garantem a minimização dos riscos e maximização dos benefícios associados ao uso dos raios X, tanto em relação aos pacientes, quanto aos profissionais envolvidos na prática [3]. Dessa forma, pesquisas que abrangem a aplicabilidade de radiação ionizante, de acordo com a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (do inglês, International Commission On Radiological Protection, ICRP), devem estar em conformidade com os três princípios básicos: a justificação, a otimização e a limitação das doses individuais [2].

Posto isto, as pesquisas a não exposição de indivíduos à radiação ionizante, atuando assim, em conformidade com as indicações da ICRP. Com isso, avaliações dosimétricas envolvendo a utilização de raios X, por meio de técnicas de Monte Carlo (MC), mediadas por um Modelo Computacional de Exposição (MCE), vem sendo realizadas computacionalmente. Geralmente, os MCE são formados por um fantoma (geometria a ser irradiada), um algoritmo simulatório de uma fonte radioativa e um código MC. Este último, permite simular o transporte, interação da radiação com a matéria e estimar a energia depositada no meio [5].

Para mais, em simulações envolvendo raios X, faz-se necessário o acoplamento de um

arquivo de texto contendo informações a respeito da fonte radioativa. Ultimamente, o Grupo de Pesquisa em Dosimetria Numérica e o Grupo de Pesquisa em Dosimetria Computacional – ambos referenciados neste projeto como GDN, tem feito uso de um catálogo de espectros de raios X em vários estudos dosimétricos, mas o mesmo não abrange todas as faixas de energia utilizadas em exames médicos, o que acarreta na necessidade de adição dessas informações.

## OBJETIVO

Fazer uso de códigos MC Geant4 já disponíveis de construção de espectros de raios X para desenvolver um *software* in house, o AppSpectraRX, para construção dos catálogos utilizados no MCEs do GDN.

## METODOLOGIA

Foram realizadas revisões de literatura, com a finalidade de reunir informações a respeito dos parâmetros dos equipamentos de raios X utilizados na área médica. Dessa forma, os arquivos estudados, incluem os textos utilizados na referência do plano de trabalho desta iniciação científica, bem como, materiais encontrados no portal Periódicos Capes.

Para mais, a simulação dos espectros de raios X, será realizada no Geant4 [1], versão 11.1.1 E como este projeto é de natureza computacional, seu desenvolvimento se dará em um computador da marca Lenovo, contendo basicamente os seguintes itens: processador AMD Ryzen 5-5500U Hexa Core 2.1GHZ (4.0GHZ Max Turbo), memória Flash (SSD) de 256 GB e RAM de



8 GB e sistema operacional Linux (SATUX). Além disso, a linguagem de programação definida para esta atividade foi C++.

## RESULTADOS

De acordo com a literatura, na produção de espectros de raios X devem ser selecionados alguns parâmetros. Durante a seleção alguns dados encontrados são elencados a seguir.

Raio X diagnóstico: Al (material da ampola), W (material do alvo), 0,5 a 5,4 mm (filtração adicional), Al (material do filtro) e tensão de 40 a 150 kVp. Mamografia: Be (material da ampola); Mo, Rh ou W (material do alvo); 0,030; 0,025; 0,05 ou 0,7 (filtração adicional); Mo, Rh, Ag ou Al (material do filtro) e tensão de 25 a 40 KVp.

Com isso, foram feitas simulações. No gráfico abaixo, pode ser visualizado alguns dos resultados obtidos.

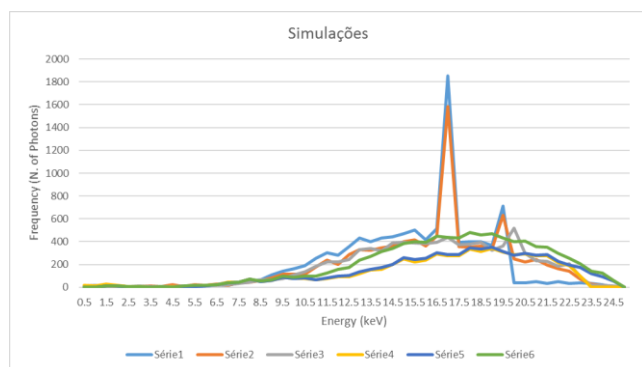


Figura 1. Resultado das seis primeiras simulações

## CONCLUSÕES

Este projeto, concentrará em um único *software* para simulação de espectros de raios X, todas as combinações (energia, alvo, filtro e materiais), válidas e atualizadas presentes em equipamentos de raios X usados em medicina. Isso, será de crucial importância para pesquisas do GDN, que remete a utilização de raios X.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]AGOSTINELLI, S. Geant4: A simulation toolkit. Geant4 Collaboration, 2003, 86 p.

[2]INTERNACIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Radiological Protection and Safety in Medicine, ICRP Rep. 73, ICRP Publications,1996.

[3]Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. Resolução - RDC nº 611, de 09 de março de 2022. Brasil: Diário Oficial da União, ano 2022, p. 107-110, 16 mar.

[4]ROCHA, F. J. S. A Utilização de Raios X em Diagnóstico por Imagem. Monografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Paranaíba, 2018.

[5]YORIYAZ, H. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. Revista Brasileira de Física Médica, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 141–149, 2015. DOI: 10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p141-149.

Disponível em: <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/52>. Acesso em: 15 jan. 2023.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

O projeto, que se trata de uma bolsa de Iniciação Científica, está sendo custeado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, com apoio do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE, juntamente com instrumentos de informática ofertados pelo GDN.

# Saccharomyces cerevisiae sob o efeito da radiação-X, gama e luz infravermelha/vermelha

Luana Caroline Domingos da Silva e Vivianne Lúcia Bormann de Souza  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

## INTRODUÇÃO

Bolores e leveduras têm uma grande sensibilidade à radiação que pode ser comparada à de algumas bactérias não formadoras de esporos. Numerosas pesquisas têm demonstrado que a combinação da refrigeração com a irradiação das amostras causa um efeito inibitório sobre a multiplicação desses microrganismos deterioradores, de modo a reduzir a dose de radiação requerida na proliferação destes microrganismos.

O microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* é aeróbio facultativo, isto é, tem a habilidade de se ajustar metabolicamente, tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose. E, sabe-se que a radiação é capaz de causar danos ao DNA da célula, e alterações em seus produtos finais, que podem ser positivas no sentido de produzir substâncias biologicamente ativas, ou substâncias prejudiciais à saúde humana, com isso é importante averiguar os o efeito da luz infravermelha/vermelha (IV) e outras radiações na *Saccharomyces cerevisiae*.

## OBJETIVO

Avaliar a ação da radiação com luz infravermelha/vermelha e outras radiações na *Saccharomyces cerevisiae*.

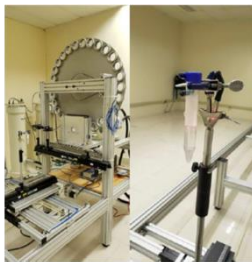
## METODOLOGIA

Foi obtida uma amostra de *Saccharomyces cerevisiae*, na micologia da UFPE (URM 7563). Alçadas da cepa original foram transferidas, em capela de fluxo laminar, para os tubos de ensaio

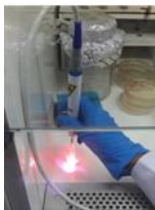
contendo TSB - caldo de triptona de soja, 6,5g para 200mL de água. Após seis dias de crescimento da levedura à 30 °C em estufa, uma quantidade de 100 µL de amostra, foram transferidas para tubos de ensaio estéreis contendo NaCl 0,9% e irradiadas em RX Pantak-320 a 1m de distância da fonte, no centro do tubo, com 250 kV, 10 mA e uma filtração de 2,5 mm de Al (Figura 1). Outros tubos foram irradiados com raios-δ numa dose de 2,5Gy, com o tempo de 0,564s para uma taxa de 1,772kGy/h no equipamento Gamma-Cell. Posteriormente, com o intuito verificar o comportamento da *Saccharomyces cerevisiae* com a luz IV, a levedura foi cultivada no meio YPDI (extrato de levedura peptona-dextrose líquido com 40g de glicose 2%, 20 g de extrato de levedura 1% e 40g de peptona 2%) por 24h, no agitador para posterior preparação do inóculo e obtenção da sua fase exponencial (DO=1,51). 45 mL do meio líquido foi dispensado no tubo e levado à centrifuga com a rotação de 160 rpm. O sobrenadante foi descartado e as células da *Saccharomyces cerevisiae* diluídas em H<sub>2</sub>O, divididas em 3 ependorffs, onde, o 1º contendo 100 µL foi considerado sem exposição a radiação, o 2º com 100 µL foi submetido à exposição à radiação IV-VIS por 20 min e o 3º contendo 100 µL foi submetido à 30 min. de irradiação (Figura 2). Após serem irradiadas as amostras foram diluídas de 100 em 100 µL (diluições: 10<sup>2</sup> a 10<sup>-6</sup>). Foram produzidas 36 placas com o meio de cultivo para a levedura. E, após 48 h, foram contadas as leveduras em cada placa. A diluição de 10<sup>-6</sup> foi a escolhida para a contagem da quantidade de leveduras. Para as

amostras irradiadas com raios-X e raios- $\delta$ , foram observadas suas absorbâncias. Novos experimentos estão sendo elaborados para irradiação com luz ultravioleta (UV).

**Figura 1.** Irradiação da *Saccharomyces cerevisiae* com raios-X.



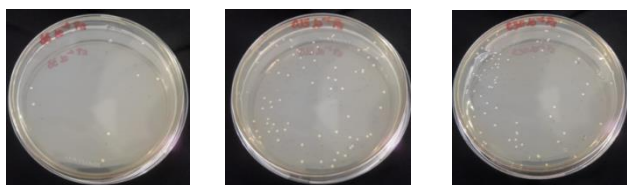
**Figura 2.** Irradiação da *Saccharomyces cerevisiae* com luz IV/VIS (LED), Equipamento ECCO-VET (pot.100 mW, dose 12 J).



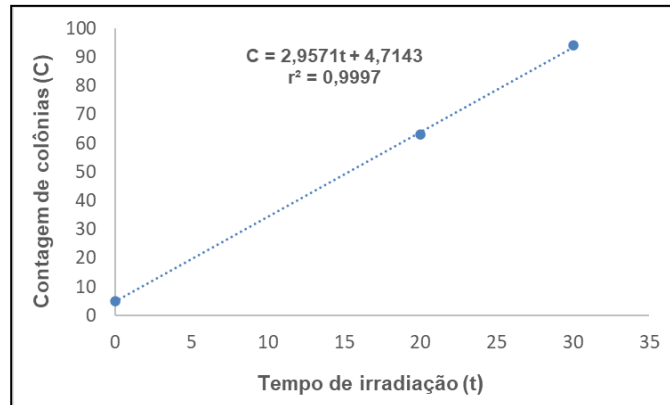
## RESULTADOS

Esperava-se um menor crescimento de colônias com a irradiação com luz IV, porém, de acordo com os resultados, observou-se seu crescimento (Figuras 3 e 4). Outros pesquisadores o metabolismo das leveduras tende a aumentar, sendo os LEDs que aceleram a etapa de fermentação da produção de cerveja [1]. Esse trabalho corrobora com os nossos dados neste experimento.

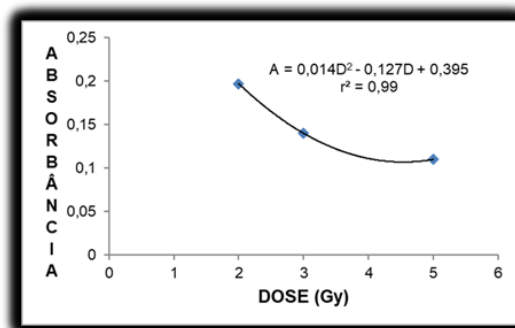
**Figura 3.** Amostra de *Saccharomyces cerevisiae* (a) não irradiada; (b) 20 min; (c) 30 min com LED.



**Figura 6.** Correlação entre o tempo de irradiação e a contagem das colônias de leveduras.



**Figura 7.** Resultado da irradiação da *Saccharomyces cerevisiae* com raios-X.



Para as amostras irradiadas no gamma-cell, a média das amostras irradiadas foi de  $1,047 \pm 0,1$ ; e de  $1,120 \pm 0,2$  para amostras não irradiadas.

## CONCLUSÕES

Observou-se que com as irradiações com LED (luz vermelha e infravermelha) o crescimento da levedura é estimulado. Enquanto, as irradiações com raios-X e gama reduzem o crescimento do microrganismo. O próximo passo será a irradiação com luz ultravioleta (UV).

## REFERÊNCIAS

[1] OLIVEIRA, M. Light-infused beer. Revista pesquisa Fapesp. 2013.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN

# Radiomitigação dos efeitos tóxicos do microplástico em ambiente aquático

Maria Gabriela da Silva e Maíra de Vasconcelos Lima Sampaio  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

A preocupação com a poluição ambiental aquática através dos microplásticos (MPs), partículas de polietileno (PE) com tamanho de 1 a 5 mm, vem crescendo em todo o mundo [1]. O seu impacto ambiental surge da capacidade de absorver os poluentes orgânicos persistentes (POPs) e pela alta interação com a biota [2].

O polietileno é um polímero semicristalino produzido pela polimerização do etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Quando submetido a irradiação gama pode estimular o aumento da cristalinidade, aumento da densidade de reticulação, formação de produtos tóxicos devido à sua degradação e etc [3]. Diante disso, a utilização de bioindicadores altamente sensíveis, tais como os moluscos *Biomphalaria glabrata*, se faz relevante para avaliação do impacto ambiental.

## OBJETIVO

Avaliar a toxicidade dos MPs sobre moluscos adultos de *B. glabrata*, e verificar possíveis alterações na estrutura após a exposição à radiação gama de fonte cobalto 60 (<sup>60</sup>Co).

## METODOLOGIA

O MP utilizado foi o polietileno (Ultra-high molecular weight, average Mw 3,000,000-6,000,000 – Sigma-Aldrich). Inicialmente as partículas, foram avaliadas quanto ao comprimento, identificadas através da microscopia óptica (objetiva de 10x – parceria com o Laboratório de Fisiologia Renal/UFPE). As micrografias foram analisadas pelo software ImaneJ, e

obteve-se à média das partículas. Posteriormente, o programa GraphPad Prism version 5.0 (GraphPad Prism, San Diego, Califórnia, USA) foi utilizado para identificar a frequência e o comprimento. Essa análise tem como objetivo avaliar se o animal bioindicador utilizado no estudo é capaz de absorver as amostras durante o período de exposição [4].

Moluscos adultos (n=6), obtidos no Laboratório de Radiobiologia (UFPE), foram expostos por 14 dias, às amostras de MP puro (sem radiação) nas concentrações de 5, 10 e 20 mg/mL, grupo controle negativo (água filtrada e decolorada), e o controle positivo (Niclosamida - 1 µg/mL). Avaliados quanto a taxa de fecundidade e taxa de sobrevivência. Estatísticas calculadas através do teste Student-Newman-Keuls. As amostras de MPs foram irradiadas por uma fonte de <sup>60</sup>Co, nas doses de 0, 10, 50 e 100 kGy (Dep. de Energia Nuclear – UFPE). A caracterização espectroscópica na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) das amostras foi realizada utilizando o equipamento Jasco, FTIR-4600, realizado no Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas (DEN/UFPE). Tendo como finalidade obter informações estruturais do material. Os gráficos foram analisados pelo programa OriginPro 2022 (OriginLab Corporation, Northampton, Massachusetts, USA).

## RESULTADOS

As partículas dos MPs puro e irradiado, apresentaram tamanhos entre 45 a 95 µm para ambos os grupos. A maior

frequência das partículas ficou em torno de 65 µm de diâmetro, porém sem uma distribuição normal dos comprimentos. Os grupos irradiados, no entanto, mostraram uma maior variação nos comprimentos a partir dos 70 µm. Apesar dessa mudança, os tamanhos ainda estão dentro da faixa adequada (10 a 100 µm) para a exposição com os moluscos [4].

Na concentração de 20 mg/mL, os moluscos apresentaram liberação de hemolinfa, concha desgastada, mortalidade e desovas com embriões inviáveis (70%). Foi observado também que os dejetos fecais nos grupos amostrais, se apresentaram submersas e com coloração mais clara, diferentemente do grupo controle negativo que afundaram e eram escuras.

Na Figura 1, observa-se as bandas analisadas nos espectros, os grupos M, I, J e L com doses irradiadas de 0, 10, 50 e 100 kGy, respectivamente. Nas doses de 10 e 50 kGy, não foram encontradas alterações significativas nas características espectroscópicas em relação ao MP puro (M).

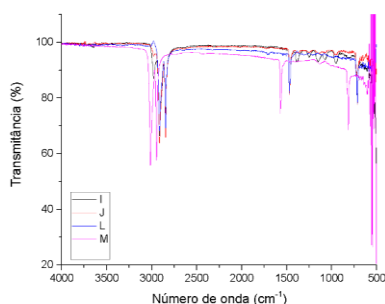


Figura 1 - Espectro FTIR do microplástico Polietileno irradiados. Amostras irradiadas com as doses 0kGy (M); 10kGy (I); 50kGy (J); 100kGy (L).

Na dose de 100 kGy observa-se com o aumento da dose, uma diminuição das bandas que caracterizam o polietileno indicando deformações axiais (C-H alifáticas), angulares das ligações (CH<sub>2</sub>) e angulares de cadeia das ligações (- (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-). Além disso, houve um aumento nos grupos metila (CH<sub>3</sub>), confirmando que, quanto maior a dose absorvida,

maior o número de quebras na cadeia principal [5].

## CONCLUSÕES

Os comprimentos das partículas dos MPs estão dentro do recomendado para utilizar com bioindicadores. O MP induziu toxicidade no *B. glabrata* devido à letalidade observada na concentração 20 mg/mL, e presença de MP nos dejetos fecais. A dose de 100 kGy, apresentou maiores alterações estruturais, impulsionadas pela quebra das cadeias poliméricas, levando à degradação molecular. Entretanto, mais estudos estão sendo realizados para elucidar os efeitos tóxicos dos MPs no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ADAM, V.; et al. Toward an ecotoxicological risk assessment of microplastics: Comparison of available hazard and exposure data in freshwaters. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 38, p. 436- 447, 2019.
- [2] MONTAGNER, C. C. et al. Microplásticos: Ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Revista Química Nova*, v. 44, p. 1328-1352, 2021.
- [3] MEDEIROS, P. R. Efeitos da irradiação gama em altas doses nas propriedades do polietileno linear de baixa densidade verde (PELBD VERDE) usado em revestimentos de cabos elétricos. 2018. p. 85. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, (Universidade Federal de Pernambuco). Recife, 2018.
- [4] GUTOW, L.; et al. Gastropod pedal mucus retains microplastics and promotes the uptake of particles by marine periwinkles. *Environmental Pollution*, v. 246, p. 688-696, 2019.
- [5] GEETHA, R. et al. Degradação induzida por radiação do polietileno: efeito do processamento e da densidade nas mudanças químicas e propriedades mecânicas. *Degradação e estabilidade de polímeros*, v. 23, p. 91-98, 1989.

## APOIOFINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ

# Avaliação da influência do posicionamento do dosímetro pessoal na estimativa de dose do indivíduo ocupacionalmente exposto

Maria Victória Germano de Araújo e Isabelle Viviane Batista de Lacerda  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE)

## INTRODUÇÃO

As publicações 60 e 103 da *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) [1,2], bem como as "Diretrizes Básicas para Proteção Radiológica" da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN NN 3.01 [3]), fornecem diretrizes para proteção radiológica.

Devido às diferentes práticas nos países quanto ao posicionamento de dosímetros individuais para o monitoramento ocupacional faz-se necessário descrever como a influência do posicionamento do dosímetro na estimativa de dose pode contribuir para a análise da dosimetria desses trabalhadores.

Como os limites de dose não podem ser medidos diretamente no indivíduo exposto, modelos computacionais de exposição (MCEs) são usados para determinar coeficientes entre quantidades relevantes e quantidades mensuráveis. Esses MCEs consistem em um simulador antropomórfico (fantoma) acoplado a um código Monte Carlo (MC) que simula o transporte de radiação e sua interação com a matéria usando algoritmos para fontes radioativas.

## OBJETIVO

O objetivo deste projeto é modelar e acoplar o fantoma MARTIN com dosímetro TLD sobre e sob o avental de chumbo em um Modelo Computacional de Exposição (MCE) já existente.

## METODOLOGIA

O projeto foi composto por três etapas principais. A primeira foi a modelagem do capote de chumbo e o dosímetro TLD utilizados nas práticas médicas no software Blender. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Dosimetria Numérica (LDN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) (*campus Recife*), em computadores que têm disponível o fantoma MARTIN em formato .obj, além do Blender, versão 2.79 instalado. Para a criação de um fantoma que representasse de forma satisfatória o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) foi escolhido o MARTIN. Desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Dosimetria Computacional e Sistemas Embarcados (GPDC&SE), o MARTIN representa um homem adulto jovem, despido, em posição ortostática com os membros superiores estendidos ao lado do tronco.

Para a criação do avental de chumbo e do dosímetro TLD, o objeto plano foi usado como base. Foram usadas a ferramenta de extrusão, que duplica os vértices e cria arestas e faces mantendo a conexão com os vértices iniciais para criar um objeto único, além das ferramentas de rotação, escalonamento e edição proporcional.

A segunda etapa consistiu no acoplamento do MARTIN com o capote de chumbo e o dosímetro TLD a um dos MCEs já disponíveis no GPDC&SE, o MSTA. Inicialmente foi realizada a conversão do arquivo (\*.obj) em um arquivo (\*.sgi) e, posteriormente, foi feita a conversão do arquivo da pilha de imagens final (\*.sgi) em um arquivo lido pelo código Monte Carlo

EGSnrc (\*.data). Ambas as conversões foram realizadas no *software Digital Image Processing (DIP)*.

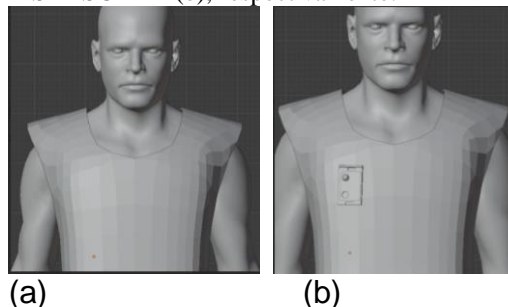
A terceira etapa consistiu no acoplamento do MARTIN com o capote de chumbo e o dosímetro TLD a um dos MCEs já disponíveis. Ainda na etapa do acoplamento as pastas do MSTASOBRE e MSTASOB foram salvas na pasta nomeada C:\HEN\_HOUSE\EGS\_HOME.

Elas são constituídas por arquivos lidos durante a compilação e execução da simulação, sendo estes: o código do usuário (\*.mortran), arquivos obrigatórios para compilação (\*.make e \*.makefile), arquivo com os espectros de raios X (\*.mspectra), o arquivo em que são inseridas informações de entrada adicionais para execução (\*.egsinp), o arquivo que contém a lista de órgãos-fonte para dosimetria interna (MSTA\_SOBRE\_List.data ou MSTA\_SOB\_List.data), o fantoma MSTA em \*.data (MSTA\_SOBRE.data ou MSTA\_SOB.data) e as micromatrizes (micro10x.data, micro12x.data, micro15x.data, micro20x.data e micro55x.data), que contêm informações sobre ossos trabeculares.

## RESULTADOS

O resultado obtido foi o fantoma já com o dosímetro TLD e o capote de chumbo acoplados nas seguintes variações MSTASOB (com o dosímetro TLD por baixo do capote de chumbo) e MSTASOBRE (com o dosímetro por cima do capote de chumbo), conforme apresentados na Figura 1.

Figura 1. Fantomas MARTIN com o dosímetro TLD sob ou sobre capote de chumbo: MSTASOB (a) e MSTASOBRE (b), respectivamente.



## CONCLUSÕES

Nesse trabalho, o fantoma MARTIN com dosímetro TLD sob e sobre o capote de chumbo foram modelados. Até o presente momento, apenas o primeiro foi acoplado a um MCE já existente. Como perspectiva, tem-se acoplar o fantoma MARTIN com o dosímetro TLD sobre o capote de chumbo e fazer as simulações computacionais para as avaliações dosimétricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford, 1991.
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Oxford, 2007.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Norma CNEN-NN-3.01. Rio de Janeiro, 2014.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

# Impactos na sedimentação no reservatório de Sobradinho, Bahia

Matheus Antonio Melo da Cunha e Elvis Joacir De França  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Localizado no estado da Bahia, entre as cidades de Juazeiro e Petrolina, o município de Sobradinho abrange, desde 1979, um dos maiores lagos artificiais para geração de energia elétrica com capacidade de armazenar 34 bilhões de m<sup>3</sup> de água [1] (MARQUES, 2022). Entretanto, ao longo dos anos, mudanças na composição química do sedimento de fundo podem ser reflexos de atividades antropogênicas drásticas no reservatório, impactando a produção de água e energia e evidenciando a necessidade de monitoração da sedimentação em reservatórios de grande porte.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi aplicar técnicas analíticas para a determinação da taxa de sedimentação e caracterização química dos sedimentos de fundo.

## METODOLOGIA

Em 2019, foram amostrados 2 testemunhos (30 e 50 cm de profundidade) na região próxima a cultivo de cebolas e uvas no lado esquerdo do Reservatório de Sobradinho. Camadas de 3 cm de espessura foram obtidas; em seguida, foram realizadas a secagem e a cominuição das amostras referentes às camadas de sedimentos. Após a preparação das amostras, porções analíticas foram destinadas à determinação química por Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia – EDXRF e à determinação da taxa de sedimentação por meio de separação radioquímica de Pb-210,

seguido da medição da radioatividade pela técnica do Contador Proporcional de Fluxo Gasoso- CPGF.

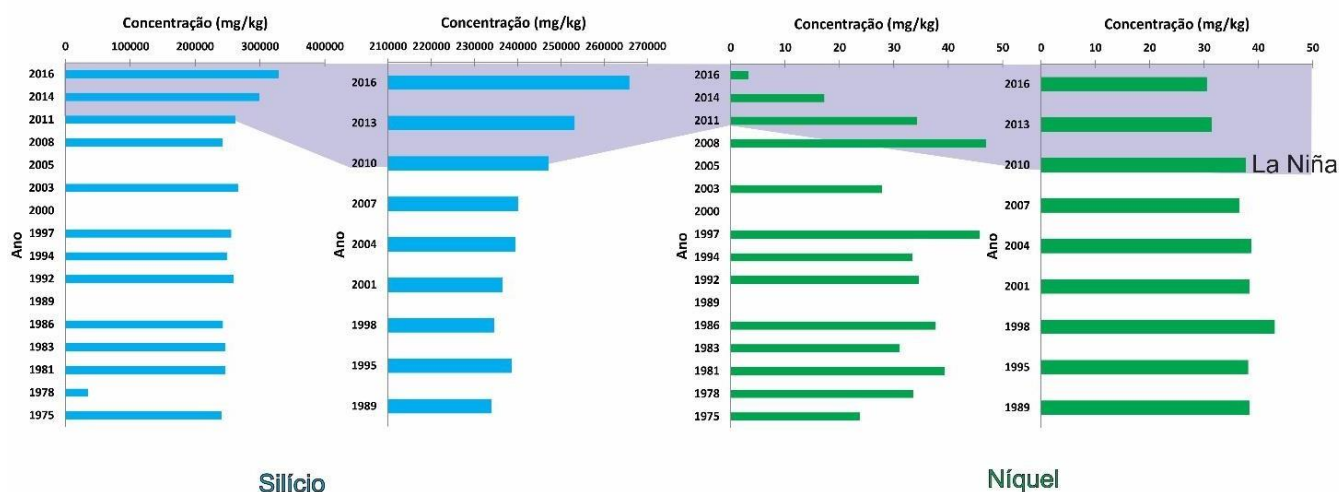
Porções analíticas de 4 g foram agitadas mecanicamente após a adição de HBr por 12 horas para a extração do Pb-210 em excesso. Pb-210 foi radioquimicamente separado por meio da resina DOWEX e precipitado com dicromato de potássio. A solução, em seguida, foi filtrada, utilizando filtração a vácuo em papel de filtro. Os filtros de amostra contendo Pb-210 foram secos em estufa e selados para análise pela técnica CPGF por 100 minutos. Todos os cálculos posteriores foram feitos em Excel. Aplicou-se o modelo de Taxa Constante de Suprimento para determinar a taxa de sedimentação. Detalhes do método podem ser consultados em Tarso et al. [2].

A caracterização química foi realizada no equipamento EDX-720 da marca Shimadzu. As amostras foram analisadas em atmosfera com pressão inferior a 30 Pa. Antes da análise, foi necessário calibrar o equipamento em energia e resolução, seguido da verificação da calibração. Materiais de referência foram analisados com as amostras para a avaliação da qualidade do procedimento analítico. Detalhes do método podem ser consultados em Fernández et al. [3].

## RESULTADOS

Na Figura 1, é possível visualizar dois perfis datados de 2010 a 2016, em que se observam as concentrações de níquel e silício nas camadas.





**Figura 1** - Concentrações de Si e Ni quantificados no testemunho 1 do Reservatório de Sobradinho, BA

Os resultados indicam mudança drástica na composição das frações das camadas após 2010, pelo acréscimo de silício (fração areia) em detrimento da redução drástica de níquel, provavelmente associado à fração fina (argila). Devido à dimensão da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, há indícios de associação com eventos climáticos de grande porte como La Niña, em secas drásticas ocorreram entre os anos de 2010-2011.

## CONCLUSÕES

A combinação entre as técnicas de EDXRF e CPFPG possibilitou a identificação de mudanças drásticas na composição dos sedimentos de fundo do Reservatório de Sobradinho, associando possivelmente a fatores climáticos e ações antropogênicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GAMBONI, L. T. B.; DE MENEZES, M. L.; CASSIANO, K. M.. Análises In Sample e Out of Sample na Modelagem e Previsão da Vazão de Afluentes da Usina Hidrelétrica de Sobradinho sob as Abordagens de Holt-

Winters e de Box & Jenkins. NEXUS Mathematicæ, v. 1, p. 49-69, 2018.

[2] ALBUQUERQUE, PAULO T. F. ; FRÉDOU, THIERRY ; ARRUDA, GILBERTO N. ; FILHO, CRESCÊNCIO A. SILVA ; NASCIMENTO, ALEXANDRO F. ; DA SILVA, MARIA JOSÉ ; DE FRANÇA, ELVIS J. . Tracking Hg historical inputs by Pb-210 geochronology for the Itapessoca Estuarine Complex, Pernambuco, Brazil. JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY (ONLINE), v. 321, p. 875-883, 2019.

[3] FERNÁNDEZ, Z. H.; DOS SANTOS JÚNIOR, J. A.; DOS SANTOS AMARAL, R.; ALVAREZ, J. R. E.; DA SILVA, E. B.; DE FRANÇA, E. J.; MENEZES, R. S. C.; DE FARIAS, E. E. G.; DO NASCIMENTOSANTOS, J. M. EDXRF as an alternative method for multielement analysis of tropical soils and sediments. Environmental Monitoring and Assessment, v. 189, p. 447, 2017.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

AIEA, FACEPE e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

# **Desenvolvimento de Fantomas de Voxels a partir de Fantomas Físicos para Avaliações Dosimétricas em Radiologia Odontológica.**

**Nathalia Ingrid de Lima Constâncio e Cláudio José Mesquita Menezes**  
**Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE**

## **INTRODUÇÃO**

A radiologia odontológica é atualmente amplamente utilizada para estudar as estruturas anatômicas dos dentes e face dos pacientes utilizando métodos de radiologia tradicional para análise e diagnóstico. Os exames são divididos em dois grupos a radiologia intraoral, que é feita por dentro da boca e extraoral, que é feita pelo lado externo da cavidade bucal. As radiografias oferecem a possibilidade de avaliar a extensão de estruturas anatômicas como o assoalho do seio maxilar e a verificação da proximidade desde com a crista óssea alveolar, desta forma indicando ao profissional possíveis complicações [1].

Vale salientar, a importância desses exames também para a detecção de fraturas, patologias e acompanhamento de tratamentos endodônticos e ortodônticos, métodos bastante usados pelos profissionais. No entanto, apesar de baixas, as doses destas radiografias expõem órgãos radiosensíveis da região da cabeça e pescoço, tais quais as glândulas salivares, a glândula tireoide e o cristalino [2]. Sabendo dos efeitos causados aos indivíduos pelo uso não controlado das radiações ionizantes, existe a necessidade da implementação de programas que garantam a qualidade do equipamento, dos exames, e dos princípios de proteção radiológica. Para tanto, um estudo voltado para o desenvolvimento de dispositivos de testes aplicados a garantia da qualidade dos parâmetros do feixe vêm sendo realizados, utilizando Modelos Computacionais de Exposição (MCE) [3], tal qual o modelo EGS4/CDO desenvolvido por Menezes [4], servindo como referência para simulações e medições neste trabalho experimental.

## **OBJETIVO**

Realizar avaliações dosimétricas usando Modelo Computacional de Exposição EGS4/CDO validando-as com medições experimentais com Dosímetros Termoluminescentes (TLD) e o Cartão Dosimétrico Odontológico

## **METODOLOGIA**

Para realizar as medições, foram utilizados TLD's de Fluoreto de Cálcio dopados com Disprósio (CaF<sub>2</sub>:Dy), com ampla aplicação em dosimetria. Os TLD's foram selecionados e calibrados em feixe padrão de uma fonte de Césio 137 (Cs-137) do Laboratório de Metrologia e suas leituras realizadas no Laboratório de Dosimetria, ambos do CRCN- NE. Os TLD's foram posicionados no interior do CDO para realização das medições experimentais, inseridos ordenadamente nos dispositivos de testes e expostos a feixes de raios X odontológicos usando o equipamento intraoral Spectro II da Dabi Atlante de 70kV, pertencente ao Laboratório de Física Médica do CRCN-NE. Os resultados obtidos foram comparados com as medições realizadas com o equipamento multipropósito Piranha Black da RTI, padrão de referência do Laboratório de Física Médica do CRCN-NE. Para escolha dos parâmetros técnicos utilizados, tempo de exposição e geometria, foram realizados estudos dos tipos de exames utilizados em Radiologia Odontológica, optando-se pela radiografia de um dente molar superior. Na sequência do trabalho, as avaliações dosimétricas usando modelo computacional de exposição EGS4/CDO serão validadas com as medidas experimentais com o CDO. As medições experimentais poderão ser comparadas com outras simulações já realizadas usando o MCE já desenvolvido por outros

autores e trabalhos de pesquisa realizados pelo GPDC&SE/CNPq.

## RESULTADOS

A tensão nominal do Spectro II é de 70kV, enquanto as medições realizadas com o equipamento Piranha nos forneceu uma tensão de 42,18KVp, mostrando já uma disparidade entre seus valores, comum em equipamentos com tubos de raios X alto retificados e já com longo tempo de uso. Às medições realizadas com o CDO foi aplicado um fator de correção de 0,42, obtido pela média dos fatores de correção para os sete CDO utilizados. A obtenção desse fator de correção deve-se a diferença de energia do Cs-137 para a energia do feixe de raios X utilizado neste trabalho. As leituras com os CDO são apresentadas na Tabela 1, a seguir:

CDO	CDO Tensão kV
CDO 1	42,49
CDO 2	42,07
CDO 3	42,54
CDO 4	42,07
CDO 5	42,10
CDO 6	41,83
CDO 7	42,14

Tabela 1: Medições realizadas com o CDO.

## CONCLUSÕES

O dispositivo de testes CDO mostrou-se ser eficiente na realização de testes de tensão do tubo (kV), um dos itens do programa de controle de qualidade em equipamentos de radiologia odontológica intraoral. Tal dispositivo de testes se mostrou também poder ser utilizado também para estudos dosimétricos e medição de outros parâmetros do feixe de raios X, tais como: o kerma de entrada na pele, camada semi redutora, tamanho do

campo de radiação (utilizando filmes radiográficos) e tempo de exposição (realizado por um mini circuito eletrônico tipo timer). Espera-se que o CDO possa ser um dispositivo prático e de baixo custo, além de futuramente propiciar medições da maioria dos parâmetros técnicos exigidos pela regulamentação vigente. Trabalhos futuros terão as calibrações realizadas em feixes de raios X Odontológicos padronizados, sendo ideais para estudos dessa natureza. Novas avaliações dosimétricas usando modelo computacional de exposição CDO/EGS4 poderão ser validadas com as medidas experimentais do CDO e/ou comparadas com outras simulações realizadas por outros autores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.; SILVA GONÇALVES, F. .; LOPES DA SILVA, J. .; BEZERRA, J. A.; SILVA, L. B. da .; GONÇALVES, M. .; SANTOS MAIA, L. F. dos . **RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA DO DIAGNÓSTICO** [1] OLIVEIRA, C. R. de .; PUZINATI DA SILVA, F. **À IDENTIFICAÇÃO**. Revista Remecs - Revista Multidisciplinar de Estudos Científicos em Saúde, [S.l.], p. 6, 2018. DOI: 10.24281/rremecs.2018.11.8.scr1.6.
- [2] Guerra, N.O.M. **avaliação da dose na tireoide e nas glândulas salivares em radiologia odontológica utilizando dosimetria termoluminescente**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. 2011.
- [3] VIEIRA, J. W. **Construção de um Modelo Computacional de Exposição para Cálculos Dosimétricos Utilizando o Código Monte Carlo EGS4 e Fantomas de Voxels**. 2004. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.
- [4] MENEZES, C. J. M. **Modelo Computacional para Desenvolvimento do Sistema de Avaliação Para Aparelhos de Raios X Odontológicos Intraorais “Cartão Dosimétrico Odontológico” 2008**. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Programa de Iniciação Científica do CNPq/PIBIC.

# Dificuldades analíticas para a determinação de Hg por CVAAS: Influência de reagentes na contaminação dos brancos analíticos

Nathália Virgínia Ferreira Pereira e Ana Cláudia de Paiva  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Mercúrio é um metal de transição com características bioacumulativas em organismos vivos e de alta toxicidade, principalmente sua forma orgânica – metilmercúrio. Esse elemento químico pode ser acumulado no solo e transportado por sedimentos hídricos, contaminando a água e a biota aquática [1].

A resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelece que a concentração máxima do mercúrio presente em corpos hídricos não deve ultrapassar  $0,0002 \text{ mg L}^{-1}$  [2]. Sendo assim, há a necessidade de se desenvolver uma metodologia sensível para a detecção de Hg em corpos hídricos voltados para o consumo humano.

A Espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio (CV-AAS) é uma técnica específica para a medição de mercúrio e, atualmente, bastante utilizada. Sua eficiência deve-se ao fato de o mercúrio ser o único metal cuja fase atômica é presente, na forma de vapor, em temperatura ambiente [3]. O método é, portanto, baseado na redução do metal, de  $\text{Hg}^{+2}$  para sua fase elementar,  $\text{Hg}^0$ , pela ação oxidativa do cloreto estanhoso ( $\text{SnCl}_2$ ) [3].

Porém, devido à natureza dispersiva de mercúrio, a sua quantificação é dependente da descontaminação das vidrarias, que requer método adequado, e do grau de pureza dos reagentes, pois podem comprometer a análise química devido à contaminação de brancos analíticos. Desta

forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição dos reagentes ácidos, ácidos destilados e não destilados pa. (65%), aproveitando-se de brancos preparados com amostras de sangue tratadas quimicamente com ácido nítrico e posterior modificação de meio para a quantificação de Hg, para avaliar a contaminação dos brancos analíticos. Para fins comparativos, foram também apresentados resultados de brancos analíticos obtidos para amostras minimamente preparadas (água do Reservatório de Sobradinho, Bahia).

## METODOLOGIA

Na ocasião das análises químicas rotineiras no CRCN-NE, porções da amostra homogeneizada (1 g) são transferidas para tubos de centrifuga estéreis de 50 mL, em que são adicionados 4 mL de ácido nítrico destilado, em cada triplicata. Nesse momento, são adicionados recipientes apenas com os reagentes, os brancos analíticos, que permitem garantir a qualidade do procedimento analítico. O pré-tratamento químico das amostras é realizado durante 24 horas em capela de exaustão. Em seguida, todo material segue para banho de ultrassom, em 4 ciclos de 1 hora no equipamento Elmasonic P 30 H. Às soluções de amostras e brancos analíticos resfriadas, é adicionada água ultrapura para completar o volume (de 12 mL). Por outro lado, para análise de elementos químicos dissolvidos na água, não é realizado tratamento químico, apenas mudança de meio para a análise de Hg por CV-AAS.

Por fim, curvas analíticas foram preparadas a partir de um padrão de 1000 mg/L de Hg, em 5 concentrações distintas: 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 µg/L. Todas as soluções, incluindo os padrões secundários da curva analítica, foram preparados utilizando-se de solução de hidroxilamina a 30% como agente redutor, para retirada do excesso de HNO<sub>3</sub> presente no meio e solução de HCl 12M, como agente oxidativo, para manter a estabilidade. As análises foram realizadas utilizando CV-AAS, com Argônio 5.0 como gás de arraste, comprimento de onda de 253,7 nm e corrente da lâmpada de cátodo de 4 mA [4].

## RESULTADOS

Na Tabela 1, é possível visualizar as concentrações de Hg obtidas em brancos analíticos de amostras preparadas rotineiramente (sangue) e aquelas minimamente preparadas (água). Provavelmente, a complexidade do método de tratamento químico afetou a concentração de Hg nos brancos analíticos das análises químicas de sangue, sendo a concentração média do branco analítico das amostras de água quase 5 vezes superior, indicando uma possível contaminação com os reagentes para a análise de Hg.

**Tabela 1** – Concentração de Hg em µg L<sup>-1</sup> em brancos analíticos de amostras preparadas rotineiramente e minimamente preparadas no CRCN-NE.

Análise	Tratamento químico	Concentração (µg L <sup>-1</sup> )	
		Média	DP
Sangue (n = 20)	Ácido nítrico	0,34	0,04
Água (n = 15)	Somente modificação do meio	0,07	0,07

A quantidade de etapas de tratamento químico pode ser relevante para a quantificação de Hg nas condições do

CRCN-NE. Tal fato pode ser comprovado pela concentração média de Hg obtida de 0,001 µg L<sup>-1</sup> para os brancos analíticos de sedimentos analisados anteriormente com método de digestão específico para Hg total [1].

## CONCLUSÕES

Com a clara contaminação do analito nas amostras tratadas quimicamente com ácido nítrico, é evidente a necessidade de maiores cuidados nas determinações químicas de Hg no CRCN-NE, principalmente no aproveitamento de amostras com tratamento químico com ácido nítrico. Faz-se necessária a quantificação de Hg nos reagentes empregados, assegurando-se de medidas adequadas para a descontaminação de vidrarias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBUQUERQUE, P. T. F.; FRÉDOU, T.; ARRUDA, G. N.; SILVA FILHO, C. A.; NASCIMENTO, A. F.; DA SILVA, M. J.; FRANÇA, E. J. Tracking Hg historical inputs by Pb-210 geochronology for the Itapessoca Estuarine Complex, Pernambuco, Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 321, p. 875-883, 2019.
- [2] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 22/05/2023.
- [3] DE SOUZA, G. B. Método analítico empregado na determinação de mercúrio total. PUC-Rio. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21195/21195\\_5.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21195/21195_5.PDF). Acesso em: 23/05/2023.

[4] AGILENT. Flame Atomic Absorption Spectrometry Analytical Methods, Tenth edition, Agilent Technologies, 2012.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq; CNEN; FACEPE

# Implementação de uma nova rotina de análise química por gfaas de excreta para a biomonitorização de pacientes internados em unidade de terapia intensiva

Rafael Lucas Barros Abreu Silva e Gilberto Nascimento De Arruda  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Durante a pandemia do SARS-CoV-2, percebeu-se a necessidade de biomonitorizar pacientes internados em Unidade de Terapia Intensiva no Brasil. Contudo, o manuseio dessas amostras no ambiente intra e extra hospitalar torna-se arriscado, sendo uma das maiores preocupações dos estudos científicos desenvolvidos em termos de biossegurança. Para evitar a disseminação de patógenos, a metodologia descrita por Portugal [1] foi implementada para sangue total. Na preparação do material de coleta na UTI, foi adicionado ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) destilado nos frascos com o intuito de inativar as possibilidades de propagação de doenças por contato, inclusive a COVID-19 [1], no momento que as amostras fossem coletadas.

Contudo, o estudo realizado por Portugal [1] mostrou alterações com diminuição e aumento na concentração de oligoelementos, causando questionamentos sobre os efeitos na internação dos pacientes sobre concentrações dos elementos químicos. Nesse sentido, tornam-se relevantes, os estudos sobre a excreção por meio de urina e fezes, permitindo conhecer o caminhar dos oligoelementos no organismo humano [1].

Assim, neste trabalho, objetiva-se desenvolver uma metodologia inovadora para a determinação química por GFAAS em excretas humanas (fezes) de pacientes sob cuidados intensivos (UTI), garantindo a comparabilidade dos resultados analíticos.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi apreciada e aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) do Hospital Otávio de Freitas (CAAE 36808720.0.0000.5200 e Parecer nº 5.499.611), cumprindo toda regulamentação exigida para pesquisas realizadas em seres humanos, contidos na resolução CNS nº466/2012.

Para obter o melhor método de solubilização, porções analíticas de massas variáveis de fezes humanas foram transferidas para tubos contendo diferentes volumes de ácido (n = 10). Estudos anteriores revelaram a massa adequada de amostra de 0,2 g [2].

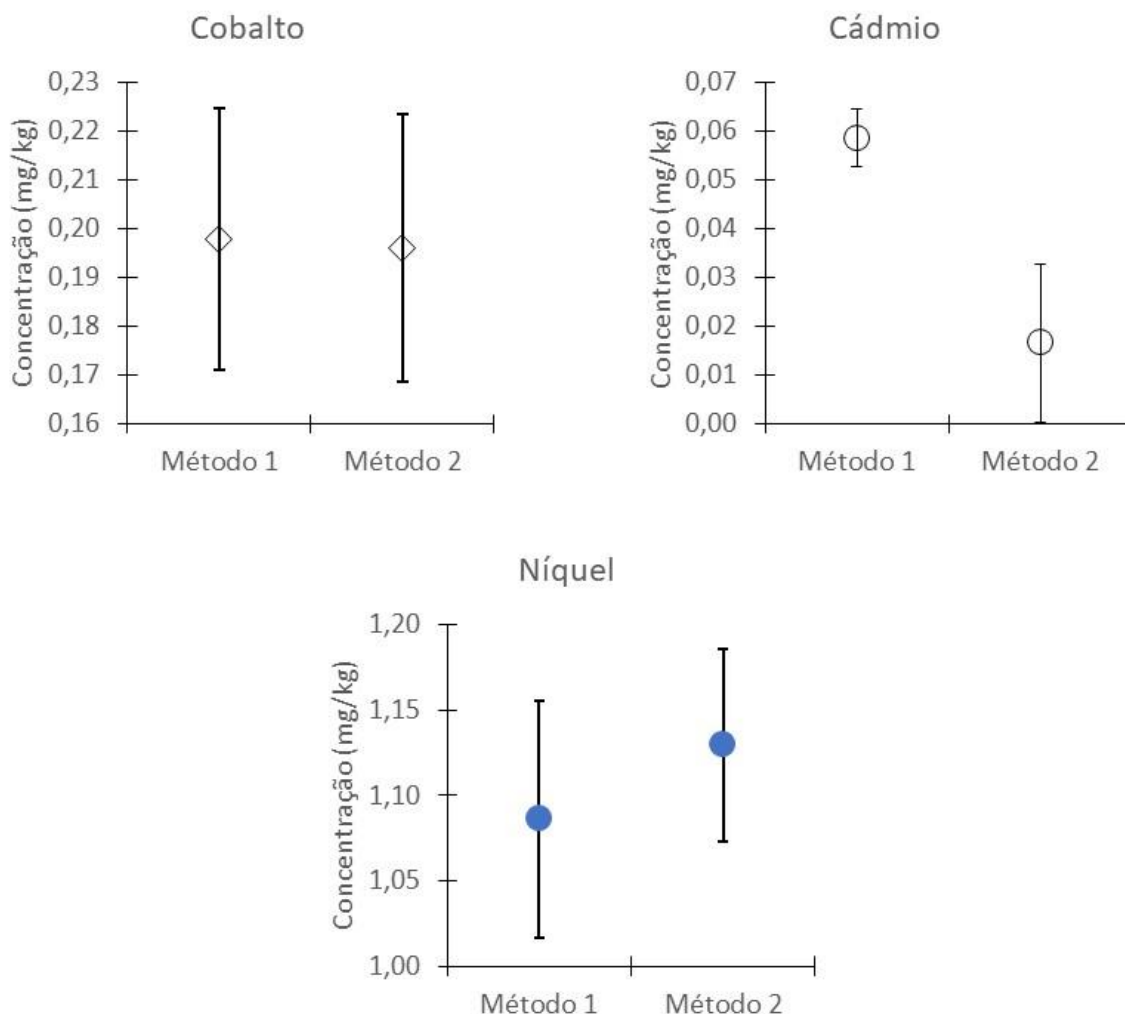
O protocolo estabelecido foi realizado com 24 h de pré-digestão utilizando 8 mL (Método 1) e 10 mL (Método 2) de ácido nítrico destilado (HNO<sub>3</sub>) em capela de fluxo laminar. Após o término desse período, foi realizado o tratamento químico com banho de ultrassom em 3 ciclos de 1 h. Entre os seus intervalos, adicionou-se 1 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) com o intuito de degradar a matéria orgânica. Finalmente, as soluções das amostras foram centrifugadas para possibilitar a avolumação com água ultrapura. Para a análise das soluções das amostras, o método de Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS) foi utilizado. Detalhes da rotina de análises químicas podem ser consultados em Portugal [1].

## RESULTADOS

A comparação entre as concentrações dos elementos químicos obtidos para os Métodos

1 e 2 pode ser visualizada na Figura 1. Não houve diferenças significativas para os elementos químicos Co e Ni, porém, no método 2, as concentrações de Cd foram significativamente inferiores, indicando dificuldade na análise química desse elemento

químico a partir da utilização de 10 mL de ácido nítrico. De fato, é possível que alguns elementos químicos sejam passivados devido à maior quantidade de ácido, conforme discutido por Krug e Rocha [3].



**Figura 1-** Concentrações dos elementos químicos Co, Ca e Ni quantificadas por GFAAS para as amostras de excreta humana a partir dos métodos 1 (8 mL) e 2 (10 mL). As barras de erro se referem ao desvio padrão (n = 10).

## CONCLUSÃO

Ambos os métodos testados apresentaram resultados semelhantes, indicando solubilização adequada das amostras. Porém, o tratamento químico das amostras deve utilizar a menor quantidade de ácido, ou seja, 8 mL, o que também impedirá a passivação de oligoelementos como ocorreu para Cd.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PORTUGAL, W.M. **Biomonitorização de oligoelementos e elementos traços em sangue de pacientes infectados por COVID-**

**19 internados em unidade de terapia intensiva.** 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

[2] CORDEIRO, C.D.S; FRANÇA E.J. **Relatório de Iniciação Científica**, CRCN-NE, 2022.

[3] KRUG, F.J.; ROCHA, F.R.P. **Métodos de preparo de amostras para análise elementar.** 2ª Edição. 2019.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq , FACEPE e CNEN

# Avaliação bioacumulativa e genotóxica de elementos químicos em ambientes aquáticos

Thaynara Maria Arantes e Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

Os altos níveis de elementos metálicos e radionuclídeos nos ecossistemas aquáticos acarretam consequências que podem trazer danos aos seres vivos, tornando a vida inviável nesses ambientes [1]. Entre esses elementos destacam-se o Urânio ( $U^{92}$ ) e Zinco ( $Zn^{30}$ ). A avaliação desses elementos geralmente é realizada por métodos físico-químicos, o que não expressa os verdadeiros danos aos sistemas biológicos. Portanto, utilizar bioindicadores é de suma importância para avaliar a qualidade do meio ambiente. Dentre os bioindicadores pode-se destacar o molusco *Biomphalaria glabrata*, um invertebrado (SAY, 1818), que tem curto ciclo de vida, fácil manutenção, capacidade de reprodução durante todo o ano e sensibilidade a agentes genotóxicos [2,3], características ideais de bioindicadores. Além disso, os embriões deste molusco também são bons indicadores de toxicidade e são utilizados para essa avaliação ambiental [3]. Os hemócitos, células de defesa do *B. glabrata*, têm sido estudados em ensaios de genotoxicidade, pois são células que circulam por todo o corpo do molusco, estando expostos aos agentes tóxicos. [4]. Para essa avaliação, o Ensaio Cometa Alcalino se apresenta como uma técnica de maior sensibilidade em relação a outros métodos, além de ter rápida condução para análise genotóxica [5].

## OBJETIVO

- Avaliar a capacidade dos embriões e moluscos adultos de *B. glabrata* como bioindicador da presença dos elementos químicos Urânio e Zinco;

- Verificar a genotoxicidade do urânio e zinco sobre moluscos adultos da espécie *B. glabrata*.

## METODOLOGIA

Para o ensaio embriotóxico, embriões em estágio de Blástula (0-15h após a primeira clivagem) foram coletados e expostos em placas de Petri por 48 h aos elementos químicos  $U^{92}$  (2 mg/L) e  $Zn^{30}$  (1 mg/L). Após a exposição, os embriões foram monitorados por 7 dias e classificados como viáveis (normais) e inviáveis (malformações e mortos) [6]. Na exposição aos elementos químicos, caramujos adultos (n=5) foram expostos por 7 dias em recipientes de vidro (60 mL) para avaliar a genotoxicidade. Disposição dos grupos: controle negativo (com água filtrada e dechlorada), e os grupos experimentais com as amostras padrões de  $U^{92}$  (1mg/L) e  $Zn^{30}$  (0,5 mg/L). Todos os ensaios foram feitos em triplicata. Para o ensaio cometa, foram coletados 100  $\mu$ L de hemolinfa de *B. glabrata* e homogeneizados com agarose de baixo ponto de fusão. O homogeneizado foi colocado sobre a lâmina previamente coberta de agarose de ponto de fusão normal. As lâminas foram incubadas em solução de lise e posteriormente colocadas em uma cuba de eletroforese horizontal. Ao final, as alterações no DNA foram analisadas em microscópio de fluorescência [7]. 100 nucleóides foram contados para cada réplica e foram classificados em 5 categorias de dano ao DNA (0, 1, 2, 3 e 4), indicando danos em níveis crescentes sobre o material genético. Para avaliar o grau de dano ao DNA, foi utilizado o Índice de Dano (ID).



## RESULTADOS

Após a exposição por 48 horas ao  $Zn^{30}$  (1 mg/L) e  $U^{92}$  (2 mg/L), os embriões de *B. glabrata* apresentaram inviabilidade de 73,67% ( $\pm 1,15$ ) e 95,33% ( $\pm 8,08$ ), respectivamente. No ensaio com caramujos adultos, após a exposição por 7 dias, não houve mortalidade. O Ensaio Cometa Alcalino foi realizado e o grupo controle negativo apresentou ID=84, já nas concentrações de 0,5 mg/L de  $Zn^{30}$  e 1 mg/L de  $U^{92}$ , o ID foi de 219 e 216, respectivamente (figura 1).

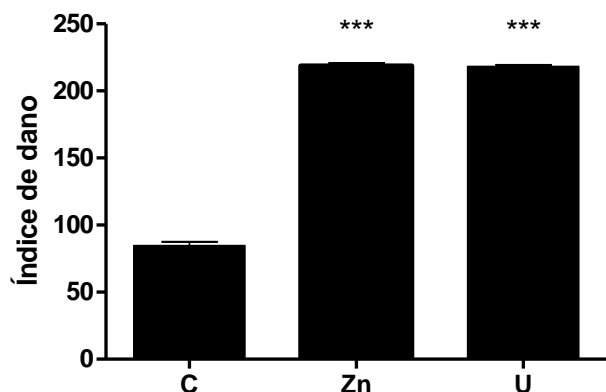


Figura 1- Dano ao DNA de *B. glabrata* induzido pelos elementos  $U^{92}$  e  $Zn^{30}$  avaliado pelo ensaio cometa,  $p < 0,05$ . \*C= controle

## CONCLUSÃO

Os elementos químicos  $U^{92}$  e  $Zn^{30}$  causaram embriotoxicidade em *B. glabrata*, bem como acarretaram danos ao DNA dos moluscos adultos. Portanto, o *B. glabrata* mostrou ser um bioindicador da presença de Zinco e Urânio em ambientes aquáticos. Estudos com outros elementos químicos e sobre o mecanismo de ação dos mesmos estão sendo realizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] TARAZONA, J. V. Pollution, Water. In: WEXLER, P. (Org.). Encyclopedia of Toxicology. Academic Press. 2014. p. 1024-1027.

[2] SIQUEIRA, W. N.; FRANÇA, E. J.; PEREIRA, D. R.; LIMA, M. V., SILVA, H. A. M. F., ARAÚJO, H. D.A.; SÁ, J. L. F.; MELO, A. M. M.A. Study of genotoxic and cytotoxic effects after acute and chronic exposures to industrial sewage sludge on *Biomphalaria glabrata* hemocytes. Chemosphere, v. 249, p. 126218, 2020.

[3] TALLARICO, L. F.; MIYASATO, P. A.; NAKANO, E. Rearing and Maintenance of *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818): Adults and Embryos under Laboratory Conditions. Annals of Aquaculture and Research, v. 3, p. 1013, 2016.

[4] GRAZEFFE, V. S. & col. Establishment of the comet assay in the freshwater snail *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818). Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 654, p. 58-63, 2008.

[5] FRENZILLI, G.; NIGRO, M.; LYONS, B. P. The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments. Mutation Research, v. 681, p. 80-92, 2009.

[6] AGUIAR, T.W.A.; BATISTA, J.J.; FERREIRA, S.A.O.; ARAÚJO, H.D.A.; COELHO, L.C.B.B & col. Effect of *Bauhinia monandra* Kurz Leaf Preparations on Embryonic Stages and Adult Snails of *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818), *Schistosoma mansoni* Cercariae and Toxicity in *Artemia salina*. Molecules. 2022 Aug 5; p. 27(15):4993. doi: 10.3390/molecules27154993.

[7] COLLINS, A.R. et al. Review: The comet assay: topical issues. Mutagenesis, v. 23, p. 143- 151, 2008.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) e à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

# **Método gama/quimiométrico para avaliar a integridade física de protetor respiratório pff2 submetidos à descontaminação por radiação ultravioleta-c**

**Thiago Petrus Maia de Medeiros e Ana Cláudia de Paiva**  
**Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE**

## **INTRODUÇÃO**

Para barrar a transmissão da COVID-19, o uso de Protetores Faciais com Filtro tipo 2 (PFF2) foi recomendado para os profissionais de saúde atuantes na linha de frente de combate ao novo coronavírus, desencadeando uma escassez global do insumo. A fim de minimizar o impacto, o reuso de protetor PFF2 passou a ser adotado por profissionais de saúde durante a pandemia, surgindo dúvidas se há interferências na segurança desse equipamento de proteção individual - EPI [1,2].

Métodos de descontaminação entre reusos de protetores PFF2 como o vapor de peróxido de hidrogênio, descontaminação por vapor de água em autoclave e a radiação ultravioleta também foram cogitados [2]. Enquanto a aplicação de vapor de peróxido de hidrogênio como método de descontaminação demonstrou, por meio de experimentos laboratoriais, que a capacidade de filtração foi mantida mesmo após 30 ciclos de exposição [3], o método de descontaminação por vapor de água em autoclave proporcionou a diminuição da qualidade de filtração de partículas apesar de não haver alteração estrutural física dos equipamentos de proteção analisados [4].

Dentre os métodos de descontaminação, a radiação ultravioleta- C – Radiação UVC pode ser utilizada para impedir o crescimento de patógenos. Entretanto, a exposição a esse tipo de radiação pode causar alteração na filtração de respiradores, sendo essencial limitar a dose de UV aplicada para não haver degradação estrutural do EPI, mantendo sua filtração e proteção [5,6]. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi aplicar o método quimiométrico por Espectrometria Gama de Alta Resolução - EGAR para avaliar os

efeitos da descontaminação por Radiação UVC sobre protetores respiratórios PFF2.

## **METODOLOGIA**

Protetores respiratórios modelos 1, fabricado pela Flavors of America – lote 20201201MM, 2, produzido pela Descarpack – lote SMNDAA0013, e 3, fabricado pela TA Indústria e Facção – lote TA112020RE-002-001, foram submetidos aos ciclos de 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30, em que cada ciclo corresponde a 30 segundos predefinidos pelo próprio fabricante do UVClean [7]. As amostras foram seccionadas na face oronasal e desmembrados em Externo (E), Filtro (F) e Interno (I). Para a realização das análises por EGAR, as amostras foram fixadas em duas lâminas de microscopia, sobrepostas e fixadas com fita adesiva nas laterais.

Para a obtenção dos espectros gama referentes à interação com as camadas dos protetores respiratórios, uma fonte puntiforme (5 mm de diâmetro) de Eu-152 com atividade de 8,3 kBq, que possibilita incidência de raios-gama com energias entre 100 a 1500 keV, foi posicionada num aparato cilíndrico a aproximadamente 150 mm da proteção do detector. No topo do suporte, foi posicionado um castelo de chumbo utilizado para conter a fonte radioativa. Ambas as peças foram perfuradas em sua região central para a colimação do feixe de radiação.

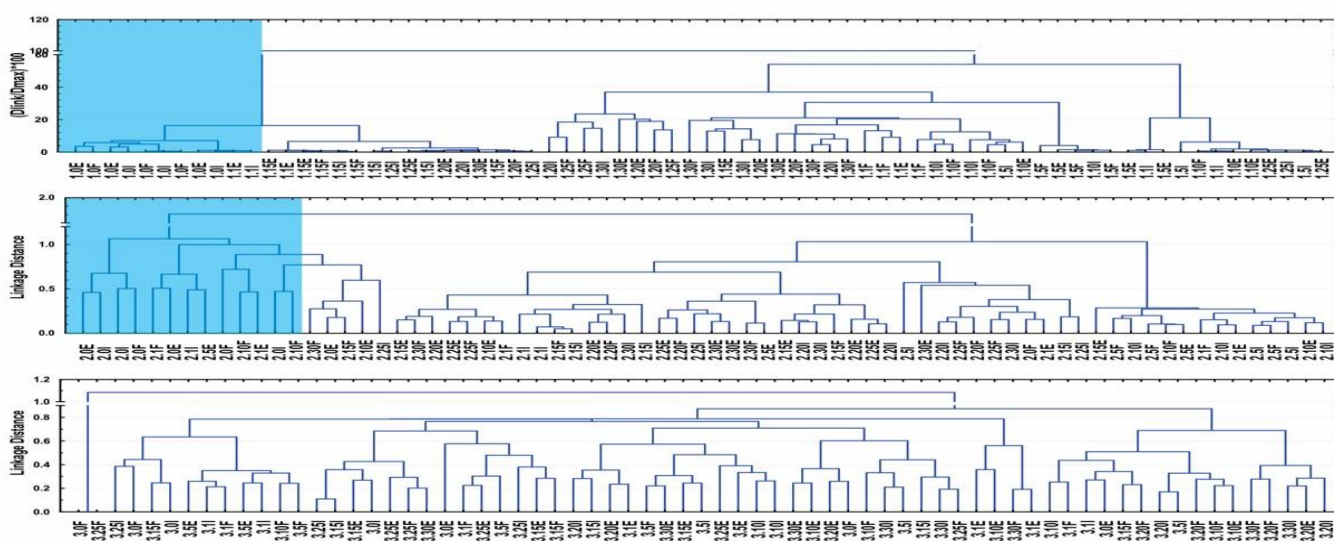
As lâminas contendo os fragmentos das máscaras foram posicionadas entre a fonte e o detector, logo acima da proteção do detector. A radioatividade foi medida por 2.000 segundos para evitar exposição em excesso das amostras. A deconvolução dos espectros foi realizada pelo programa de computador Genie da Canberra, que foi convertido a partir do programa de computador Fitzpeak para a extensão “chn”. Os arquivos foram convertidos em planilha

Excel® para a análise quimiométrica utilizando o programa de computador The Unscrambler para a Análise por Componentes Principais com rotação Varimax. A região de interesse dos espectros gama foi delimitada entre 40 e 1200 keV referentes aos canais de 49 a 4600, aproximadamente. Após a obtenção das componentes principais, foi aplicada Análise de Agrupamentos a partir da obtenção de dendrograma.

## RESULTADOS

A Figura 1 mostra a separação de camadas de 3 modelos de protetores faciais realizadas a partir da ferramenta quimiométrica empregada neste trabalho. Nos modelos 1 e 2, houve um agrupamento dos brancos analíticos (amostras 1.0 e 2.0), indicando a integridade física esperada para esses modelos de protetores respiratórios.

Figura 1 - Dendrograma para as camadas internas (i), externas (e) e filtros (f) de 3 modelos de máscaras PFF2 submetidas a 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 ciclos de descontaminação por radiação UVC



No entanto, a presença dos outros agrupamentos para os dendrogramas dos modelos 1 e 2 (Figura 1) demonstrou a susceptibilidade para alterações estruturais nestes modelos submetidos a mais de 15 ciclos. Para o modelo 3, tal tendência não foi clara, provavelmente devido à menor influência do método de descontaminação por radiação UVC.

## CONCLUSÕES

A integridade física pôde ser alterada para os modelos 1 e 2 do protetor respiratório PFF2 submetido a mais do que 15 ciclos de descontaminação com radiação UVC, enquanto o modelo 3 não apresentou alterações indiferentemente da quantidade de ciclos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ranney, M. L., Griffeth, V., Jha, A. K. The New England Journal of Medicine, v.382, 2020. DOI: 10.1056/NEJMp2006141.  
 [2] Center For Disease Control And Prevention (CDC), 2020. Disponível em:

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/howcontrols/recommendedguidanceextuse.html#note2>. Acesso em: 03/06/2023.

[3] Bergman, M., Fisher, E. M., Heimbuch, B. K. Journal of the International Society for Respiratory Protection, v.37, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7707143/>. Acesso em: 03/06/2023.

[4] Lin, T. H., Chen, C. C., Huang, S. H., et al. PloS One, v.12, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0186217.

[5] Heimbuch, B. K., Wallace, W. H., Kinney, K. et al. American journal of infection control, 39, 2011. DOI: 10.1016/j.ajic.2010.07.004.

[6] Lindsley, W. G., Martin Jr, S. B., Thewlis, R. E. et al. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 12(8), 2015 DOI: 10.1080/15459624.2015.1018518

[7] Benevides, C. A., Pedrosa, T. L., Moura, D. S. et al. Desenvolvimento e avaliação de cabine de radiação ultravioleta para desinfecção de máscaras hospitalares descartáveis, durante a pandemia da COVID-19, 2022. Disponível em <http://uvclean.tec.br/download/artigo.pdf>.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq, FACEPE e CNEN

# Avaliação de metodologias para a determinação de oligoelementos em fezes humanas de pacientes em UTI

Vany Leite Ribeiro e Elvis Joacir de França  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN/NE

## INTRODUÇÃO

As UTIs são ambientes destinados ao acolhimento de pacientes com casos clínicos complexos e que precisam de atendimento especializado, sendo destinadas para monitoração constante e de rápida intervenção, avaliando as condições e características de ordens vitais dos pacientes classificados em estágio muito grave, ou seja, pacientes emergenciais [1]. Com isto, é necessário avaliar e quantificar elementos químicos que podem ou não se apresentar de forma desarmônica em pacientes que estão em leitos de UTI.

Nesse contexto, a biomonitoração humana é baseada em amostras biológicas como sangue, urina, saliva, leite materno, cabelo e unhas e visa medir as concentrações de produtos tóxicos e metabólitos relacionados com a exposição [2]. De fato, nenhum humano está livre das exposições involuntárias a elementos químicos tóxicos, mas em ambientes controlados é possível minimizar ou até mesmo eliminar esta exposição como ocorre em uma unidade de terapia intensiva (UTI).

Para isso, é necessário o desenvolvimento de metodologias específicas para pacientes internados na UTI, uma vez que métodos de preparação de amostras devem ser evitados devido ao risco de biossegurança. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o tratamento químico de fezes humanas *in natura*, utilizando-se, para isso, de diferentes massas de amostras e volumes de ácido nítrico a partir de medições de turbidez.

## METODOLOGIA

Para o início dos experimentos, foram utilizados tubos falcon devidamente identificados e pesados com a massa de ácido nítrico e com a posterior adição da amostra de fezes. O material fecal foi coletado e transportado ao Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, no mesmo dia que foram realizados os ensaios.

Neste experimento, foram utilizadas três alíquotas de ácido nítrico diferentes (6, 12 e 18 ml) para massas de aproximadamente 1 g, 2 g e 3 g de amostra de fezes, totalizando 9 amostras.

Todas as amostras passaram por pré-tratamento químico em capela de exaustão durante 24 horas antes do banho de ultrassom analítico Elmasonic P fabricado por Elma®. O equipamento foi ajustado a uma frequência de 80 Hz à 80°C. As amostras foram submetidas a três ciclos de 60 minutos com a adição de 1 mL peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), após o primeiro ciclo do equipamento.

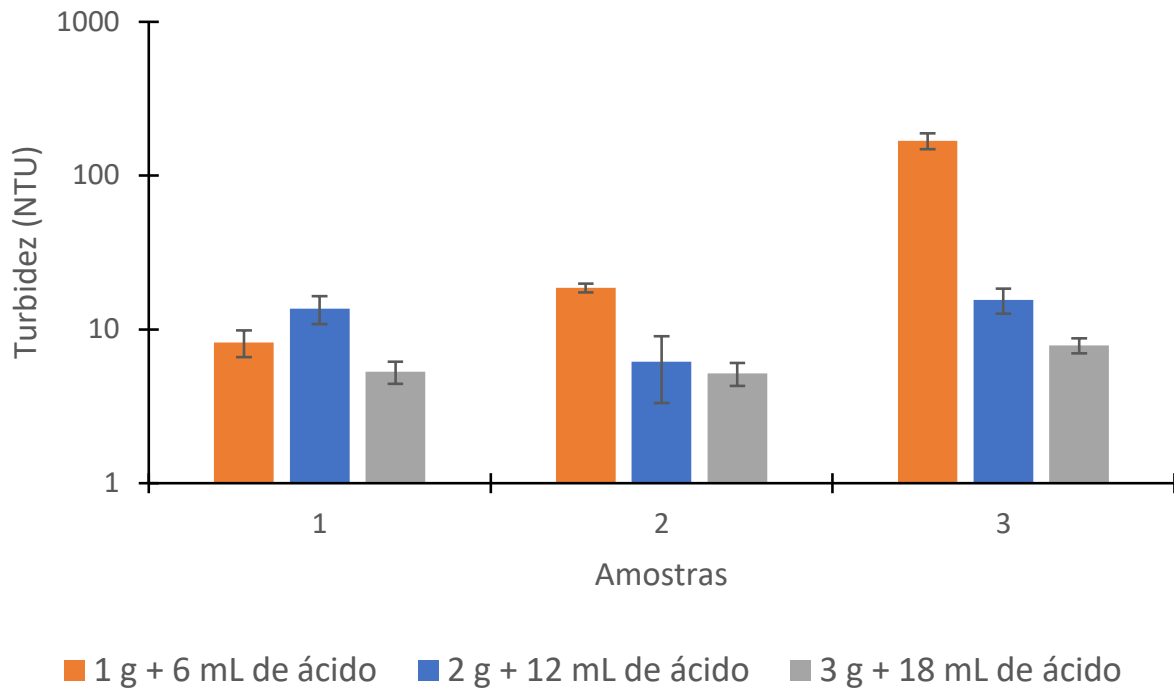
Após o processo de tratamento químico, as soluções das amostras foram analisadas em turbidímetro digital Hanna Kr2000 (triplicata). O equipamento foi calibrado e verificado com soluções padrões disponibilizados pelo fabricante. Concluído o tratamento químico e o resfriamento das amostras, uma porção desta foi transferida para um frasco de análise e procedida a leitura. Os resultados obtidos foram expressos na unidade de turbidez nefelométrica (NTU) em triplicata.

## RESULTADOS

A solubilização ocorreu de forma eficiente para grande parte das amostras e sem visibilização de material em suspensão. Isto

se deu principalmente pela adição de peróxido de hidrogênio a cada ciclo de ultrassom, o que favoreceu a decomposição de matéria orgânica. Os resultados de turbidez estão na Figura 1.

**Figura 1** – Turbidez das amostras tratadas quimicamente por diversos métodos. As barras de erro se referem ao desvio padrão (n =3).



## CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o volume de ácido adequado seria 18 mL para 3 g de porção analítica de quimos humanos. Contudo, sugere-se aumentar o tempo de tratamento químico no banho de ultrassom com adição de peróxido até a solubilização de todo o material em suspensão de modo a reduzir a quantidade de ácido na amostra, por questão de segurança do profissional de saúde no hospital.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PADILHA, K. G.; KIMURA, M. Aspectos éticos da prática de enfermagem em Unidade de Terapia Intensiva. SOBETI em Revista, v. 1, n. 1, p. 8-11, 2000.

[2] KUNO, R.; ROQUETTI, M. H.; GOUVEIA, N. Conceitos e derivação de valores de referência para biomonitorização humana de contaminantes ambientais. Rev Panam Salud Publica, v. 27, n.1, 2010.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq; CNEN; FACEPE

# Implementação de Ferramentas Computacionais para Controle de Qualidade de Imagem PET

Vitoria Gabriela Marques Valentim e Isabelle Viviane Batista de Lacerda  
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

## INTRODUÇÃO

A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) é uma modalidade da medicina nuclear que tem por objetivo a obtenção de imagens que fornecem informações quantificadas das funções bioquímicas e fisiológicas. Isto possibilita a detecção de doenças que causam variações metabólicas e anomalias estruturais em uma anatomia, apresentando assim uma significativa contribuição em planejamentos radioterápicos [1].

Diante disso, testes de controle de qualidade (CQ) devem ser realizados pelas instalações, a fim de garantir a qualidade das imagens e o bom funcionamento do equipamento durante sua vida útil [1]. Além disso, estes testes devem obedecer a regulamentos como a ABNT NBR IEC 61675-1 [2] e a *Human Health Serie Nº1 da Internacional Atomic Energy Agency (IAEA)* [3]. Ambos norteiam a execução, parâmetros de funcionamento satisfatório, assim como a conformidade dos requisitos de segurança contra radiação ionizante.

## OBJETIVO

Desenvolver e implementar ferramentas computacionais para CQ de imagens PET.

## METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Dosimetria Numérica (LDN) pertencente ao Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). A execução desse sucedeu por duas etapas. Primordialmente, foram realizadas revisões de literatura por meio de livros e artigos científicos

referentes ao tema. Consecutivamente, desenvolveram-se as etapas computacionais. A primeira etapa computacional correspondeu ao desenvolvimento de códigos para executar funções que constituirão a ferramenta de CQ. O mesmo foi elaborado por meio do *software Visual Studio Code* utilizando a linguagem *Python*, com o auxílio de códigos demonstrados em videoaulas disponíveis na plataforma *YouTube*<sup>1</sup> e códigos disponíveis no site *GITHUB*<sup>2</sup>, como também a partir das informações adquiridas por Perkovic (2016) [4].

Em princípio, as imagens do fantoma foram extraídas da plataforma pública de imagens radiológicas *The Cancer Imaging Archive (TCIA)* no formato *DICOM*<sup>3</sup>. Para serem manipuladas, o código de comando de conversão do formato *DICOM* para *JPG*<sup>4</sup> foi desenvolvido, visto que imagens em *DICOM* apresentam dificuldade de manipulação em diversas interfaces. Após a função de conversão, a função de seleção da região de interesse (ROI) foi adicionada, visto que o objetivo é selecionar as áreas de maior atividade metabólica.

## RESULTADOS

A conversão das imagens *DICOM* para *JPG* foi a primeira etapa computacional, tendo o código implementado apresentado êxito. Todas as imagens convertidas foram adicionadas à uma pasta base de trabalho permitindo assim a sua visualização e

<sup>1</sup> Youtube: Plataforma de compartilhamento de vídeos.

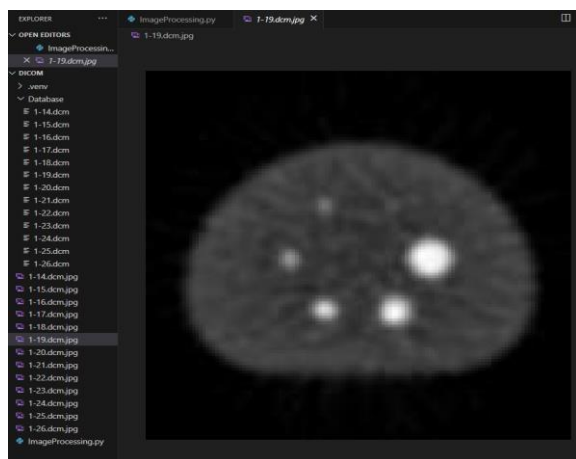
<sup>2</sup> GITHUB: Plataforma de hospedagem de código-fonte.

<sup>3</sup> DICOM: *Digital Imaging and Communications in Medicine*.

<sup>4</sup> JPG: *Join Photographic Experts Group*.

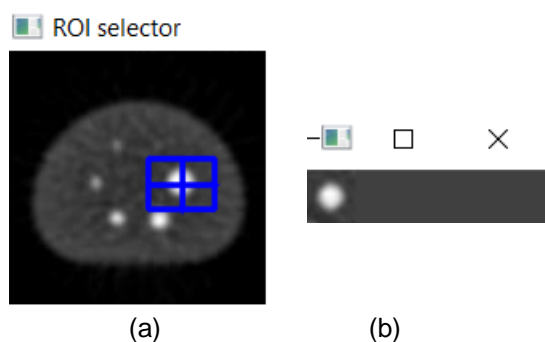
manipulação. A Figura 1 apresenta, por meio do visualizador de imagens do *Visual Studio Code*, uma das imagens convertidas neste trabalho.

Figura 1. Imagem convertida para a extensão JPG com o uso do código de conversão de imagens desenvolvido.



Além disso, o código com ferramenta para seleção da ROI também apresentou resultados satisfatórios. Na Figura 2 é demonstrado o seu funcionamento, em que ao selecionar com o mouse a ROI, a mesma é extraída das imagens.

Figura 2. Seleção (a) e extração da região de interesse da imagem (b).



## CONCLUSÕES

Os códigos desenvolvidos apresentaram performance satisfatória. As imagens DICOM foram convertidas para JPG e foi possível extrair ROIs de todas as imagens utilizadas. Após o desenvolvimento de outros códigos de CQ previstos, será

desenvolvida uma interface de usuário e o *software* será disponibilizado para a comunidade científica em paralelo a ferramenta será acoplada ao *software* COQUIM<sup>5</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SÁ, L. V. **Controle de Qualidade de Imagem em Tomografia por Emissão de Pósitrons**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Rio de Janeiro – RJ, 2010.

[2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 61675-1: Dispositivos de formação de imagem por radionuclídeos – Características e condições de ensaio – Parte 1: Tomógrafos por emissão de pósitrons**. Rio de Janeiro, 2016.

[3] IAEA – International Atomic Energy Agency. **Quality Assurance for PET/CT Systems**. IAEA Human Health Series no. 1. Vienna: IAEA, 2009.

[4] PERKOVIC, L. **Introdução à Computação Usando Python – Um Foco no Desenvolvimento de Aplicações**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

[5] Clark K, Vendt B, Smith K, Freymann J, Kirby J, Koppel P, Moore S, Phillips S, Maffitt D, Pringle M, Tarbox L, Prior F. **The Cancer Imaging Archive (TCIA): maintaining and operating a public information repository**. *J. Digit. Imaging*. 2013;26(6):1045-57.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN

<sup>5</sup> COQUIM: *software* de Controle de Qualidade de Imagens Médicas.

**INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR**



**ien**

**INSTITUTO DE**  
**engenharia nuclear**



# Estudo de geometrias medida para identificar a região de interface em transporte de subprodutos de petróleo realizado em polidutos utilizando radiação gama

Ana Beatriz Alves Salvador e William Luna Salgado  
Instituto de Engenharia Nuclear – IEN/CNEN

## INTRODUÇÃO

Um poliduto tem como finalidade transportar produtos, como óleo e derivados de petróleo, de maneira segura e rápida, normalmente passam vários produtos diferentes pelo mesmo poliduto, criando então uma necessidade de saber separar componentes transportados, visto que em algum momento essas substâncias entram em contato direto, criando em uma região do poliduto uma interface. Este trabalho visa utilizar um sistema baseado na técnica de densitometria gama, para conseguir ter melhor identificação desta região e por consequência obter um produto mais puro, transportado pelos polidutos. Desta forma, é interessante compreender esse processo e aprimorá-lo para uma possível aplicação futura no setor comercial.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo é fazer uma simulação em um modelo computacional, por meio do código MCNPX, para determinar o melhor posicionamento do sistema fonte-detector, a fim de que haja melhor aproveitamento dos resultados e assim consiga destacar a região de interface com maior precisão.

## METODOLOGIA

Com a intenção de adequar o conhecimento para o estudo, foram feitas leituras de artigos, pesquisas sobre o assunto, e leitura de artigos científicos, assim foi adquirido conhecimento sobre radiação gama e seus principais efeitos: fotoelétrico e Compton. Assim como o funcionamento de detectores e suas principais características: eficiência e

resolução em energia, além de normas de segurança.

Para o trabalho foi utilizado o código MCNPX a fim de simular modelos computacionais, então iniciou-se um estudo a partir da disciplina de Modelagem por Método de Monte Carlo (CTN-028) do Programa de Pós-Graduação do IEN, para compreensão de conceitos e de uso da ferramenta. Compreendendo o necessário para usar o programa é, então, iniciado os testes com as simulações e começa a ser entendido os resultados das simulações. A partir deste momento, é importante compreender a equação do coeficiente de atenuação linear de acordo com a Equação 1.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Onde:

$I$  – Intensidade da radiação com amostra;  
 $I_0$  – Intensidade da radiação sem amostra;  
 $\mu$  – Coeficiente de atenuação linear;  
 $x$  – Espessura da amostra.

Foi realizado um estudo, inicialmente, utilizando um material de referência para entender a relação entre o coeficiente de atenuação linear e o mássico (NIST), e então iniciado com as amostras de interesse. Após isso, como o estudo envolve polidutos cilíndricos, e não possui altura proporcional ao seu volume, a equação de fração volumétrica é dada pela Equação 2.

$$S(h) = \frac{\pi R^2}{2} R^2 \arcsen\left(\frac{h-R}{R}\right) + (h - R)\sqrt{R^2 - (h-R)^2} \quad (2)$$

Onde:

S(h) – Área desejada;  
 R - Raio;  
 h – Altura

Com esses conceitos muito bem estruturados, então, é iniciado mais testes e construído um modelo computacional no qual terá um detector posicionado em ângulos específicos e no sistema é implementado um novo feixe no qual é necessária uma colimação, de acordo com a Figura 1.

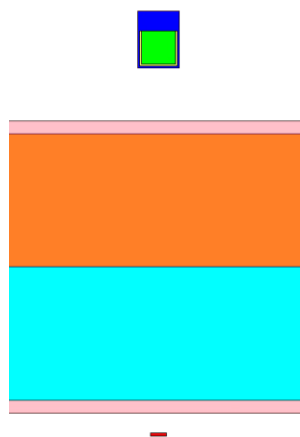


Figura 1. Geometria de medida simulada

A simulação desenvolvida tem uma fonte de 0,15 cm de raio com 0,30 cm de espessura, encapsulada com acrílico de 1,25 cm de raio e 0,50 cm de espessura, um detector do tipo NaI(Tl) 2x2”, e uma amostra de água líquida e óleo hidráulico em um tubo de aço galvanizado sendo que as amostras variam entre 1% e 100%, com passos de 1%.

## RESULTADOS

Para validação das simulações realizadas foram calculados os coeficientes de atenuação linear da água e do óleo hidráulico e os resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores do coeficiente de atenuação linear.

$\mu$ Água			$\mu$ Óleo		
MCNP	NIST	ER (%)	MCNP	NIST	ER (%)
0,075	0,079	6,66	0,069	0,065	5,56

Obtendo os dados sobre o Óleo hidráulico a partir do coeficiente de atenuação linear:

Dados sobre o Óleo do coeficiente de atenuação mássico:  $\mu=0,065$ . Obtendo os dados sobre a água líquida a partir do coeficiente de atenuação linear: Dados sobre a água líquida do coeficiente de atenuação mássico:  $\mu=0,075$ . O valor de erro relativo (ER) máximo em ambos casos foi menor que 7%.

Os cálculos das frações volumétricas encontram-se em fase final. Os arquivos de entrada gerados estão sendo executados no código MCNP.

## CONCLUSÕES

Nesta etapa do estudo, foram validados teoricamente os valores coeficientes de atenuação das amostras, obtidos pela simulação computacional com código MCNPX com erro relativo máximo de 7%, quando comparados a dados disponíveis na literatura. Como etapas futuras, já em andamento, avaliar a Equação 2 a partir dos dados produzidos nas simulações matemáticas e comparar os resultados com uma geometria de transmissão tradicional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]SALGADO W.L., “Identificação da região de interface para monitoração no transporte de subprodutos de petróleo em polidutos usando radiação gama e redes neurais artificiais”. 103p. 2021.
- [2]TAUHATA, L., SALATI, I.P.A., DI PRINZIO, R., DI RINZIO, M.A.R.R. “Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 9ª revisão. 345p. 2013

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

# Jogo educativo digital para dispositivos móveis sobre a energia nuclear

Anderson da Silva Nogueira Júnior e Antônio Carlos de Abreu Mól  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

Hoje, a sociedade vive uma era de comunicação e informação científica. No entanto, existem muitos temas no campo da ciência que ainda não foram bem explorados nas escolas e não são comunicados à população de forma positiva, como os benefícios da energia nuclear para a sociedade [1].

A energia nuclear no geral é desconhecida para a maioria da população, diariamente, surgem avanços significativos nas diferentes áreas de atividades humanas, graças ao desenvolvimento contínuo das técnicas nucleares. Essas inovações viabilizam a realização de tarefas que seriam impossíveis de serem executadas pelos meios convencionais. Setores como medicina, indústria, especialmente a farmacêutica, e agricultura são particularmente favorecidos por esses avanços [2].

## OBJETIVO

Este projeto tem como objetivo utilizar a Realidade Virtual para auxiliar no desenvolvimento de um jogo educativo digital para dispositivos móveis (smartphones e tablets), onde será ensinado a Energia Nuclear.

## METODOLOGIA

No início da metodologia foi realizado um estudo detalhado sobre a Energia Nuclear. O jogo está separado em 3 mapas com dificuldade progressiva. No primeiro mapa o jogador está do lado de fora da usina com o seu o personagem. Neste mapa são feitas perguntas de nível introdutório aos alunos para que eles sejam inseridos ao tema do

jogo de maneira mais fácil. Os personagens foram animados no software Mixamo e a ambientação foi feita na Unity 3D, figura 1.



Figura 1. Desenvolvimento do cenário.

No segundo mapa o jogador, está do lado de dentro da sala de máquinas com o seu o personagem, como demonstrado na figura 2. Neste mapa são feitas perguntas de nível intermediário dando continuidade ao aprendizado do aluno. Nesta fase, como o aluno já passou pela introdução ao tema e as perguntas serão um pouco mais difíceis.



Figura 2. Personagem virtual.

No terceiro mapa o jogador, está dentro da sala de controle da usina com o seu o personagem. Neste mapa são feitas perguntas de nível avançado aprofundando de vez o aprendizado do aluno sobre o tema. Nesta fase, as perguntas são de nível

avançado para consolidar de vez o aprendizado. Os personagens foram animados no software Mixamo e a ambientação foi feita na Unity 3D.

## RESULTADOS

O resultado do projeto foi, um jogo dinâmico e divertido para no máximo 4 jogadores simultâneos, figuras 3, 4, 5 e 6.



Figura 3. Menu Principal.



Figura 4. Menu de Seleção de personagens.



Figura 5. Painel de Seleção de Mapas.



Figura 6. Último mapa (Sala de Controle).

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um Jogo Educativo Digital para Dispositivos Móveis sobre a Energia Nuclear permite aos jogadores explorar uma usina nuclear virtual e aprender sobre os princípios da energia nuclear. O jogo tem vários níveis de dificuldade e desafios que testam o conhecimento dos jogadores. O jogo também mostra os benefícios da energia nuclear para a sociedade, como a geração de eletricidade limpa e barata, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o avanço da ciência e da tecnologia. O jogo é destinado a crianças e adolescentes que querem saber mais sobre esse tema importante e atual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Almeida, R.A, Um estudo simplificado sobre a percepção pública na área nuclear: sugestões para campanhas educativas para os diferentes segmentos da sociedade, Dissertação de Mestrado do Instituto de Engenharia Nuclear - CNEN, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

[2] Cardoso, E. de M, Apostila Educativa - A Energia Nuclear, Disponível em: [https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila\\_educativa\\_aplicacoes\\_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf](https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila_educativa_aplicacoes_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf), 2012

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq, FAPERJ e CAPES

# Estudo de corrosão em tubulação de aço

Andressa Menezes Alves de Sousa e César Marques Salgado  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

Grande parte da produção de gás natural é transportada por meio de gasodutos, dos quais necessitam de investigações de forma periódica, com o objetivo de avaliar a integridade estrutural dos dutos devido a possíveis degradações, que podem se romper provocando vazamento.



Figura 1: Distribuição dos incidentes entre o período de 2007 e 2016- adaptado (EGIG,2018)

- Dados de incidentes coletados ao longo de mais de 142.790 km de gasodutos foram obtidos por empresas especializadas do setor de transporte do gás natural da Europa, no período compreendido entre 2007 e 2016, revelam que a corrosão é uma das principais causas de incidentes, correspondendo a 25% conforme ilustrado.

## OBJETIVO

O principal objetivo consiste em desenvolver uma metodologia em densitometria gama para prever corrosão em tubulações de aço utilizando espectro transmitido e espalhado.

## METODOLOGIA

Na Predição de corrosão, o método é baseado na atenuação de um feixe transmitido/espalhado de raios gama por uma tubulação de aço, utilizando diferentes ângulos, espessuras e energias.

### Geometria de detecção

As simulações foram feitas com o auxílio do código computacional MCNP6 (Monte Carlo N-Particle). Primeiramente, foi utilizado um único detector cintilador de Iodeto de Sódio dopado com Tálcio para analisar o feixe de energia colimado com 5 diferentes energias (59,54 keV (Americio-241), 80,988 keV (Bário-133), 316,51 keV (Iridio-192); 662 keV (Césio-137) e 1,17 MeV e 1,33 MeV (Cobalto-60)), 5 ângulos (30°, 60°, 90°, 120°, 150°) e 5 espessuras da amostra (0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1) cm.

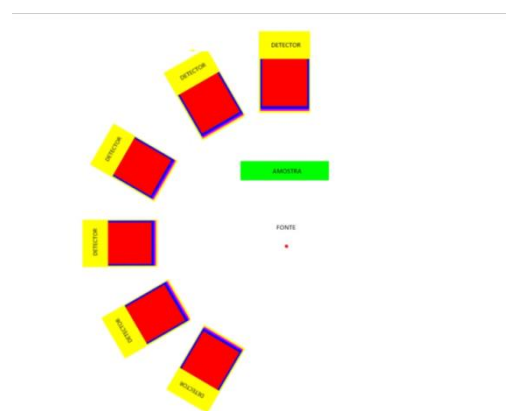


Figura 2: Geometria simulada ângulos (0°,30°,60°,90°,120°,150°)

## RESULTADOS

Foi feita a análise das energias 662 keV (Césio-137) e 1,17 MeV e 1,33 MeV (Cobalto-60). Ambas variando as espessuras da amostra em (0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1) cm e ângulo de 150° para o detector.

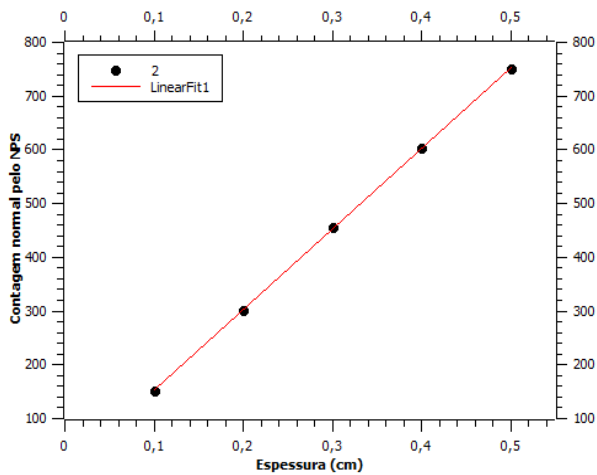


Figura 3: Gráfico contagem normal pelo NPS x Espessura (cm)

Utilizando a energia do Césio-237, foi obtido a partir do gráfico as seguintes informações: Coeficiente angular  $A = 1,500 \times 10^3$  e precisão do modelo = 0,9999.

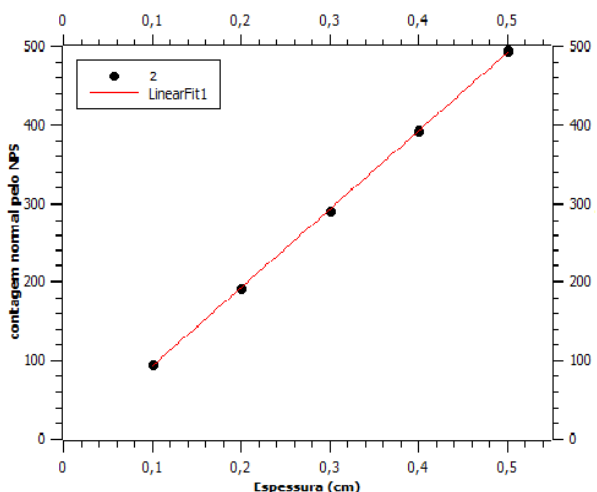


Figura 4: Gráfico contagem normal pelo NPS x Espessura (cm)

Utilizando a energia do Cobalto-60, foi obtido a partir do gráfico as seguintes informações: Coeficiente angular  $A = 1,001 \times 10^3$  e precisão do modelo = 0,9999.

## CONCLUSÕES

Dados os resultados obtidos, é possível concluir que a melhor energia a ser utilizada no experimento é a energia do Césio-137, pois tem maior sensibilidade comparada ao Cobalto-60. Com isso, as próximas etapas consistem em analisar as melhores energias para diferentes ângulos para o detector.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anjos, M.J.; Lopes, R.T.; Borges, J.C., 1989. Compton scattering of gamma-rays as surface inspection technique. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 280 pp. 535-538.
- [2] Mckinney, G.; Pelowitz, D.; Prael, R.; Sweezy, J.; Waters, L.; Wilcox, T.; Zukaitis, T., 2015. Features of MCNP6, Annals of Nuclear Energy, 87, pp. 772–783.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

# Identificação e quantificação de radionuclídeos por espectrometria gama: comparação de detectores.

Flávia Costa Castro Cruz e Luciana Carvalheira Instituto de Engenharia Nuclear - (IEN)

## INTRODUÇÃO

Para a quantificação de radionuclídeos naturais, é de fundamental importância a escolha do detector de acordo com a análise. Sendo assim, é possível obter maior precisão e exatidão nos resultados. Para espectrometria gama, os detectores mais utilizados são o HPGe e NaI(Tl), usualmente são utilizados em conjunto, tendo em vista que o primeiro possui maior resolução e o segundo maior eficiência (J.A.S. Júnior, R.S. Amaral, C.M. Silva, R.S.C. Menezes, J.D. Bezerra; 2009). Juntamente com parâmetros e comparações estatísticas, é possível relacionar os espectros de todos os detectores utilizados, somando um total de 6 detectores: HPGe e NaI(Tl) dos laboratórios do IME, IEN e COPPE.

É de grande interesse e relevância que seja feita uma análise comparativa entre os mesmos detectores de todos os laboratórios envolvidos para que se possa confirmar a eficiência e resolução de todos os equipamentos. Uma das vantagens desse estudo é a garantia que os resultados podem trazer em relação ao funcionamento dos detectores, sendo essa informação de interesse de todos os laboratórios envolvidos.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em analisar espectros de energia decorrentes de raios gama para

diferentes amostras de areia de diversas praias do rio de janeiro.

Para realizar esta análise, será necessário comparar estatisticamente os sistemas de detectores presentes nos laboratórios. Para isso, serão utilizadas fontes padrão (Figura 1) e realizadas três diferentes leituras de cada padrão em todos os detectores a serem utilizados.

Assim, será possível determinar se os sistemas são estatisticamente equivalentes, através de uma ferramenta estatística chamada ANOVA, possibilitando então, a continuidade da análise para amostras de areia.

## 1. Materiais e Métodos

### 3.1- Materiais

- HPGe e NaI(Tl) do IEN (Ortec)
- HPGe e NaI(Tl) do IME (Canberra)
- HPGe (Canberra) e NaI(Tl) (Ortec) da COPPE
- Solos de diferentes praias do Rio de Janeiro.
- Recipientes padronizados para os detectores.
- Fonte Padrão do IRD (Cs137, Co60, Am241).

a)

b)



c)



Figura 1: Padrões oferecidos pelo IRD. a) Fonte de  $^{60}\text{Co}$  (atividade ); b) Fonte de  $^{137}\text{Cs}$  (atividade ); c) Coquetel com fontes de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{241}\text{Am}$  (atividade 40.000 Bq).

## METODOLOGIA

Inicialmente, estão sendo realizadas comparações entre os sistemas IME-IEN-COPPE com os padrões oferecidos pelo IRD.

Para fazer as medidas para os padrões em NaI(Tl), foi utilizado um recipiente plástico de formato cilíndrico (Figura 3) para afastar a fonte padrão de Cs137 do detector, pois a proximidade fonte-detector estava promovendo a saturação no detector.

Utilizar os padrões na etapa inicial do projeto é essencial para garantir que as leituras dos detectores sejam similares, possibilitando evoluir para análise dos solos coletados.

Os solos manipulados são de origem do IME e IDQBRM (Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear). Não serão utilizados os padrões de solo da Agência Internacional, pois os mesmos possuem atividade relativamente mais baixa que os solos brasileiros (isso é justificado pelo fato de os solos padrão da AIEA terem origem asiática). Cada região do planeta possui um tipo específico de solo, devido à sua "rocha-mãe", que é a grande responsável por atribuir as características e especificidades de cada solo.

Para dar continuidade a este trabalho, serão utilizados solos de diversas praias do Rio de Janeiro, também será necessária uma análise estatística para cada solo, a técnica que será utilizada será a ANOVA.

## RESULTADO

Com o projeto em andamento ainda não há resultados disponíveis para serem mostrados e discutidos. Contudo, o que se espera das análises em progresso é: Compatibilidade entre os resultados para os detectores utilizados (dentro das especificações de eficiência de cada um).

Não encontrar anormalidades nos solos (atividades acima do esperado).

## CONCLUSÕES

A conclusão está diretamente ligada aos resultados que ainda serão obtidos. Com o projeto em andamento, foi possível demonstrar que as diferentes eficiências dos detectores (HPGe) foi um fator determinante para uma mudança significativa dos resultados, porém isso já era esperado.

Neste tópico o esperado é, através dos resultados, seja possível determinar a atividade dos solos de areia de praias do Rio de Janeiro. Espera-se confirmar as teorias propostas e demonstrar a veracidade e êxito das técnicas empregadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. KNOLL, Glenn. Radiation Detection and Measurement. Fourth edition. University of Michigan: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [2] J.A.S. Júnior, R.S. Amaral, C.M. Silva, R.S.C. Menezes, J.D. Bezerra. Estudo comparativo entre os detectores HPGe e NaI(Tl) na determinação de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  em amostras de solo. SCIENTIA PLENA, Vol. 5, NUM. 4 (2009)
- [3] Farias, ANA MARIA. Apostila de Estatística II. Universidade Federal Fluminense: Departamento de estatística, 2017.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq



# Desenvolvimento de sistema de gerenciamento para dosimetria pessoal em nuvem baseado em dosímetro com detetor semicondutor

Gustavo Almeida Wong e Marcos Santana Farias  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

A utilização obrigatória de dispositivos de medição individual de radiação é necessária em locais de trabalho com exposição ocupacional a radiações, abrangendo profissionais de usinas nucleares, pesquisas científicas nucleares e áreas médicas como medicina nuclear e radioterapia [1]. Para monitorar a exposição, crachás com filmes sensíveis à radiação ou detectores de termoluminescência são comuns, enquanto dosímetros eletrônicos oferecem medições instantâneas, superando sensores passivos [2] [3]. Esses dosímetros eletrônicos, centrados em microcontroladores, coletam, processam e armazenam dados de radiação, permitindo detecção de irregularidades e transferência sem fio para sistemas em nuvem. O projeto enfoca desenvolver essa solução direta de comunicação do dosímetro com um sistema em nuvem para monitoramento.

## OBJETIVO

Neste trabalho é proposto a adaptação de um dosímetro pessoal em desenvolvimento, baseado em um detetor semicondutor integrado a um microcontrolador, capaz de se comunicar com outros sistemas por nuvem, para se utilizar em conjunto com sistemas supervisórios a fim de criar análises diversificadas e também a possibilidade de se realizar o armazenamento dos dados.

A implementação da gestão da dosimetria através de uma abordagem em nuvem terá a capacidade de realizar diversas funções, incluindo: a alocação de dosímetros aos

indivíduos, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo departamento de proteção radiológica; envio de alertas e lembretes aos usuários do serviço de dosimetria; obtenção de dados estatísticos relacionados às doses e atividades de cada usuário; criação de relatórios detalhados para monitorar e analisar as atividades em questão.

## METODOLOGIA

O dosímetro baseado em detetor semicondutor (diodo PIN) foi implementado com o microcontrolador ESP32 [4]. O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo com amplas utilizações em diversas áreas. Ele oferece conectividade WiFi e possibilidade de realizar aquisição de dados e transferi-los por diferentes protocolos. Foram utilizados MQTT e o HTTP. A figura 1 mostra o protótipo do dosímetro modelo 7030.



Figura 1 – Protótipo do dosímetro em desenvolvimento.

A versão final do dosímetro será alocada em caixa projetada em CAD e criada em impressora 3D, como mostra a figura 2.

Usamos duas abordagens para implementar

a gestão da dosimetria em nuvem.



Figura 2 – Versão final projetada para o dosímetro.

A primeira envia dados para a nuvem usando o protocolo MQTT. O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de mensagens leve e eficiente, projetado para comunicações de baixa largura de banda, alta latência ou redes instáveis. Ele é amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua eficiência e baixo consumo de recursos. Ao contrário do modelo tradicional cliente-servidor, o MQTT usa um modelo de publicação/assinatura. Os dispositivos podem "publicar" mensagens em um "tópico" e outros dispositivos podem "assinar" esse tópico para receber essas mensagens. No nosso projeto, o ESP32 do dosímetro publica os dados de taxa de radiação na nuvem, que são lidos em tempo real por um programa supervisor que guarda estes dados em arquivo. No centro do protocolo MQTT está o "broker". Ele é responsável por receber todas as mensagens, filtrar, processar e enviar a mensagem para os clientes assinantes apropriados. No nosso projeto usamos um serviço de broker MQTT baseado na nuvem, o CloudMQTT.

A segunda abordagem utiliza um banco de dados em tempo real na nuvem, que faz parte da plataforma de desenvolvimento de aplicativos da Google, o Firebase [5]. Diferentemente do MQTT, ele permite, além de sincronizar, também armazenar os dados entre seus usuários em tempo real. Desta forma, se torna uma boa alternativa para guardar dados

de radiação medida nos dosímetros, sem precisar de um supervisor ligado o tempo todo, aumentando a confiabilidade de que dados importantes não serão perdidos na gestão da dosimetria em nuvem. O Firebase possui um modelo de dados NoSQL, armazenando-os em formato JSON, o que facilita a estruturação destes dados para disponibilização ao supervisor e outros sistemas.

## CONCLUSÕES

A sequência do trabalho se dará com a integração das duas abordagens descritas em uma solução de gestão de dosimetria em nuvem para as instalações do IEN, o que ainda depende da homologação e montagem de mais unidades de dosímetros do modelo 7030 em desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Farias, M.S; SALES, D. S.; WONG, G. A. SAFE RADIATION TRAINING USING WIRELESS SIGNALS DEVICES. In: INAC 2021, 2021, Virtual. Proceedings of the International Nuclear Atlantic Conference INAC 2021. Rio de Janeiro: ABEN, 2021.
- [2] Abaza, A. "New trend in radiation dosimeters." Am J Mod Phys 7.1 (2018): 21-30.
- [3] Knoll, G. F. Radiation Detection and Measurement. Wiley, 5a. ed. 2000
- [4] ESPRESSIF, ESP32 Technical Reference Manual. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf). Acesso em: 09/08/2022.
- [5] Github, Firebase Arduino Client Library for ESP8266, ESP32 and RP2040 Pico. Disponível em: <https://github.com/mobizt/Firebase-ESP-Client>. Acessado em 01/08/2023

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ, e CNEN.

# Análise de contaminação do ar do interior do reator Argonauta durante as operações

Gustavo Náufel Claassen e Eara Souza Luz de Oliveira  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

O reator Argonauta localiza-se no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) e é usado para pesquisa, formação de recursos humanos, serviços a potências que variam entre 17w e 340w. O nível de exposição radiológica no interior e ao redor do seu salão altera conforme o tipo de operação. O reator Argonauta possui um canal de saída de feixe referido como Janela 9 (J-9) a qual permanece fechado ou aberto em suas operações. A IAEA [1], aleta para as condições necessárias da segurança de um reator nuclear e práticas de proteção radiológica aos IOE's. Tais procedimentos permitem que atenda as recomendações e normas vigentes.[2], [3] e [4]. Um desses procedimentos de monitoramento da proteção radiológica consiste em avaliar as condições do ar no interior do salão do Reator. O propósito destas medidas é a verificação da existência de produtos de fissão atômica (PFA) residual no ar após um período sem utilização (final de semana) e após operações.

## OBJETIVO

Este trabalho analisou o nível de contaminação do ar no salão do reator durante e após operações e levantar um estudo da probabilidade de contaminação do ar. As operações analisadas foram neutrongrafia (com o J9 aberto) e produção de radioisótopos (com o J-9 fechado), sendo exemplos do último a irradiação de uma amostra de sangue, castanha do Pará, tungstênio, brometo de potássio e de lantânio 139.].

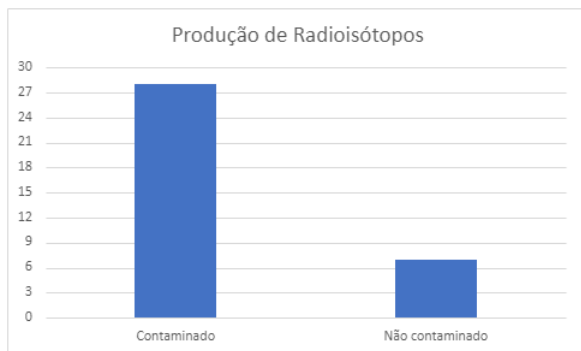
## METODOLOGIA

As amostras foram captadas nos anos 2017, 2018, 2019 e 2020 usando a bomba de ar marca Radeco Saic modelo H-805V-1, série 7619, de 115V e 60Hz. O filtro de carvão ativado TEDA TC-30 foi usado como suporte para o microfiltro de fibra de vidro GF-1, 47 mm de diâmetro, cuja a função era a retenção de partículas de 0,7 um. Analisou-se a contaminação dos particulados contidos no microfiltro de fibra de vidro, para alfa, beta no equipamento Wimp 60M, série 033. Foram classificados a qualidade do ar nas operações com Neutrongrafia e Produção de radioisótopos e comparado as percentagens de contaminação em cada tipo. Foram considerados contaminados os dados que apresentaram valores acima do limite de detecção, conforme orientação da normativa ISO 11292-4:2020 [5]

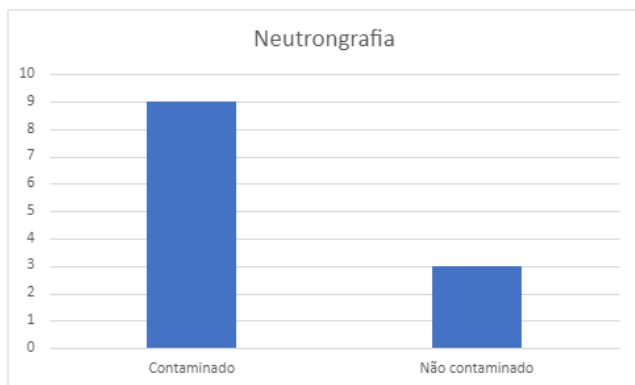
## RESULTADOS

### RESULTADOS

Dos filtros analisados nas 35 operações de Produção de radioisótopos, 28 apresentaram contaminação (80%) (Fig.1), nas 12 operações de neutrongrafia, 9 filtros estavam contaminados (75%) (Fig.2). Comparando as porcentagens de contaminação de ambas operações e levando em conta a quantidade de neutrongrafias analisadas, nota-se que possuem a mesma probabilidade de contaminação o ar (Fig. 3).

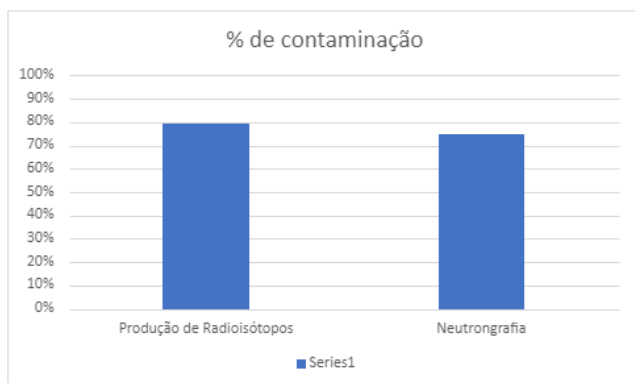


**Figura 1:** Quantidade de operações contaminadas de produção de radioisótopos



**Figura 2:** Quantidade de operações contaminadas de neutronografia

O tempo e a potência de operação apresentaram poucas variações. Valores diferenciados foram descartados. Houve operações que sugerem contaminação pré-existente no salão. Contaminação inesperada em operação realizada em uma aula durante 2 horas, com potência de 1,7W.



**Figura 3:** Percentual de contaminação dos filtros de ar nas operações de produção de radioisótopo (PR) e neutronografia.

## CONCLUSÕES

Em ambas operações foram observadas contaminações no ar no interior do salão. Este fato mostra a importância da constante avaliação radiológica da qualidade do ar no interior do salão. Para obter melhor acurácia, sugere a análise antes das operações semanais e após operações semanais. Desta forma será possível estimar o nível de PFA liberado em cada operação e verificar melhor a influência do tempo, da potência e do tipo de operação realizado. Em termos de proteção radiológica, recomenda-se ao indivíduo a utilização de EPI como jaleco para acessar o interior do salão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment – Safety of Research Reactors – Specific Safety Requirements No. SSR3. Vienna, 2016.
- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes básicas de proteção radiológica. Norma CNEN NN 3.01 Resolução 164/14. Março / 2014.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Serviço de Radioproteção. CNEN NN 3.02 Resolução 231/18. Setembro /2018.
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendation of International Commission on Radiological Protection. Publication 60 Pergamon Press. Oxford, 1990.
- [5] ISO 11292-4:2020 (E). Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application - Guidelines to applications. ISO 2020.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e CNEN

# Determinação de arsênio inorgânico em carne de peixe aplicando a técnica de análise por ativação neutrônica

João Paulo Vasconcelos de Almeida e Francisco José Oliveira Ferreira  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

O arsênio é um elemento químico, considerado na ciência como um semimetal pesado. Seus efeitos nocivos nos humanos variam de acordo com a forma química das dosagens aplicadas em experimentos laboratoriais, podendo causar problemas de saúde relacionados aos sistemas respiratório, cardiovascular, hematopoiético, nervoso, e gastrointestinal [1][2][3].

Ademais, a exposição do semimetal gera um aumento nos tipos de câncer. A presença de arsênio em águas naturais está geralmente associada com ambiente geoquímico através de depósitos vulcânicos, bacias fluviais-lacustres e minerações. No ecossistema aquático, a acumulação é alta principalmente em organismos marinhos, como peixes, que podem conter predominantemente na forma orgânica [4][5][6].

## OBJETIVO

Este estudo consiste na determinação da presença de As (inorgânico) em amostras de carnes de peixes, aplicando a técnica nuclear conhecida como Análise por Ativação Neutrônica (AAN), propondo ainda uma metodologia de separação das formas orgânicas e inorgânicas do arsênio; e estudar as amostras biológicas para comprovar se existem substâncias que poderiam causar efeitos patológicos e prejudiciais à saúde humana ou de outros seres vivos].

## METODOLOGIA

Nessa primeira fase do projeto foram preparadas amostras padrões, com a aplicação do elemento químico (As) em amostras de carne de peixe de modo a se obter padrões com diferentes concentrações. Utilizando-se um método comparativo, que consistiu em irradiar com nêutrons, as amostras com diferentes concentrações de (As), no Reator Argonauta do IEN.

Os peixes, tipo pescada, utilizados nessa pesquisa foram adquiridos nas feiras livres e mercados, do bairro da Ilha do Governador, Rio de Janeiro, porém são originárias da Região do Lagos do RJ e outras da região Nordeste do Brasil. Utilizou-se uma solução padrão de (As) com concentração de  $1000 \mu\text{g/mL} \pm 3 \mu\text{g/mL}$  (VHG Labs Single – Element Atomic Absorption CRM). Conforme apresentado na Figura 1, realizou-se a dissolução e digestão da carne de Pescada.

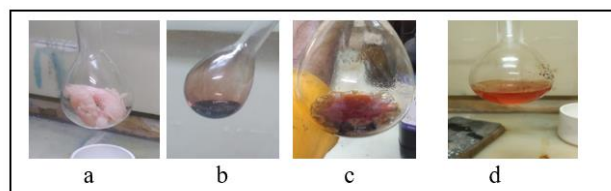


Figura 1- Preparação das amostras de peixe para irradiação: a) Filé de Pescada *in natura*; b) Solução de peixe com ácido sulfúrico e antes do peróxido de hidrogênio; c) Solução de peixe após a adição de peróxido de hidrogênio; d) Solução de peixe após a adição de água, ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio.

Antes da irradiação das amostras de carne de peixe, realizou-se a difração por meio de raio-X, para caracterização química, em seguida as amostras de 1 ml em cada, foram irradiadas no canal J-9 do Reator Argonauta, apresentado na Figura 2, em diferentes tempo de irradiação e potência para a determinação das condições ideais para a análise de espectrometria gama.



Figura 2 – reator Argonauta – IEN

## RESULTADOS

Na pesquisa bibliográfica identificou-se a viabilidade da aplicação das técnicas nucleares em estudos similares ao que está em andamento, o que nos encorajou a dar prosseguimento à pesquisa [4][5] [6].

Os resultados da análise por difração de raio-X, apresentados na Figura 4, demonstram que embora haja maior abundância de enxofre, potássio e fósforo, foi possível identificar também a presença de óxido de arsênio ( $As_2O_3$ ), na quantidade de 0,030%, demonstrando que as amostras, como preparadas, estão adequadas ao objetivo do estudo.

```

Measurement Condition
-----
Instrument : 800HS2  Atmosphere : Vac.  Collimator : 10 (mm)  Spin : No
-----
Analyte      TG KV  uA  FI  Acq. (keV)  Anal. (keV)  Time (sec)  DT (%)
-----
Ti-U         Rh 50  62-Auto  ----  0 - 40      0.0 - 40.0  Live - 100  38
Na-Sc       Rh 15  538-Auto  ----  0 - 20      0.0 - 4.4   Live - 100  39
Quantitative Result
-----
Analyte      Result      Std.Dev.  Proc.-Calc.  Line  Int. (cps/uA)
-----
====[No. 1 Layer]====< Layer1 >=====
C3H6        5.000 um    [-----] Fix -----
C3H6        100.000 %   [-----] Fix -----
====[No. 2 Layer]====< Base >=====
S03         38.638 %   [ 0.335] Quan-FF  S Ka  2.4635
K20         31.993 %   [ 0.310] Quan-FF  K Ka  1.9513
P205        22.095 %   [ 0.339] Quan-FF  P Ka  0.9007
Si02        5.398 %    [ 0.282] Quan-FF  SiKa  0.1340
Fe203       1.039 %    [ 0.063] Quan-FF  FeKa  0.9165
Ti02        0.576 %    [ 0.123] Quan-FF  TiKa  0.1284
Cu0         0.125 %    [ 0.028] Quan-FF  CuKa  0.2514
Zn0         0.078 %    [ 0.023] Quan-FF  ZnKa  0.1937
As203       0.030 %    [ 0.015] Quan-FF  AsKa  0.1240
Rb20        0.028 %    [ 0.008] Quan-FF  RbKa  0.2232

```

Figura 4 – Difração de raio-x das amostras

## CONCLUSÕES

Na pesquisa bibliográfica identificou-se a viabilidade da aplicação das técnicas nucleares em estudos similares ao que está em andamento, o que nos encorajou a dar prosseguimento à pesquisa [4][5] [6].

Foram determinadas como as melhores condições para a ativação neutronica no reator Argonauta, 120 minutos com uma potência contínua de 340 W.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Almeida, Marise Cristina Soares de. Avaliação dos teores de arsênio total em cação, por meio de técnicas espectrométricas. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo;
- [2] Andrade, Daiene Flor; ROCHA, Marcia Santos / A toxicidade do arsênio e sua natureza / Academia Oswaldo Cruz 2016;
- [3] Lima Rodrigues, A. S. (2008). Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana;
- [4] Hershey, J. Wilson; Oostdyk, Timothy S.; Keliher, Peter N. Determination of arsenic and selenium in environmental and agricultural samples by hydride generation atomic absorption spectrometry. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, v. 71, n. 6, p. 1090-1093, 1988.
- [5] Jain, C. K; Ali, I. Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques. Water research, v. 34, n. 17, p. 4304-4312, 2000.
- [6]: Leblanc, Patrick J; Jackson, Adrian L. Dry ashing technique for the determination of arsenic in marine fish. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, v. 56, n. 2, p. 383-386, 1973.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ

# Otimização do Processamento de Dados Ultrassônicos Obtidos em Coluna de Líquido Estagnado.

Juliana Campos Salgado e Marcos Bertrand de Azevedo  
Instituto de Engenharia Nuclear (IEN)

## INTRODUÇÃO

Escoamentos bifásicos são comuns em uma variedade de processos industriais, tais como plantas nucleares, exploração de petróleo e indústria química. O estudo de bolhas de Taylor individuais desempenha um papel importante na compreensão de fenômenos de transporte em sistemas bifásicos, além de contribuir para o desenvolvimento de modelos teóricos e de técnicas experimentais avançadas para analisar o comportamento dessas bolhas em diferentes contextos.

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é desenvolver uma programação, visando a automatização do processamento de dados, obtidos pela técnica ultrassônica, para a caracterização do movimento de bolhas de Taylor individuais, ascendendo em colunas verticais de líquido estagnado.

## METODOLOGIA

Para entender o processamento de sinal envolvido, considere uma bolha de Taylor se movendo dentro de um tubo, conforme

apresentado na Fig.1. Um pulso incidente é gerado periodicamente pelo transdutor ultrassônico a uma taxa maior do que os tempos de trânsito da onda,  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$  e rápido o suficiente para detectar o movimento da interface gás-líquido.

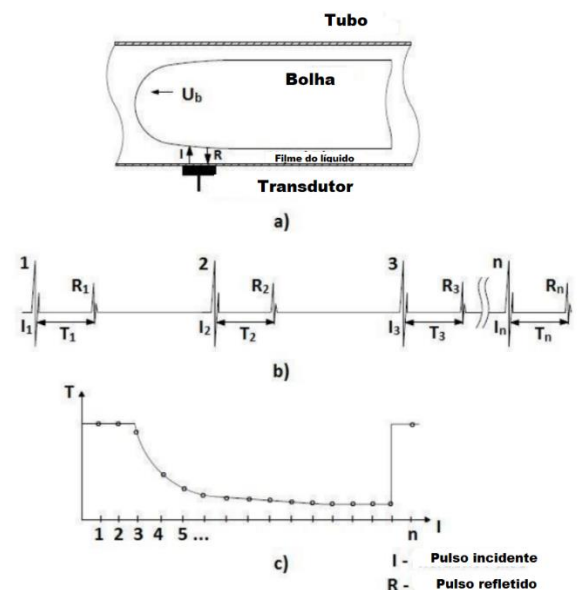


Figura 1. Formas de ondas ultrassônicas obtidas em uma interface gás-líquido típica de uma bolha de Taylor.

Usando-se dois transdutores ultrassônicos de pulso-eco, a velocidade de ascensão  $U_b$  de uma bolha de Taylor pode ser determinada através da relação:

$$U_b = \Delta Z / \Delta t \quad (1)$$

onde  $\Delta Z$  é a distância entre os dois transdutores e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo

entre os momentos em que um ponto de referência da bolha é detectado por cada um dos dois transdutores.

Admitindo  $U_b$ , o comprimento  $L_b$  de uma bolha de Taylor pode ser determinado através da relação:

$$L_b = U_b (t_t - t_n) \quad (2)$$

onde  $(t_t - t_n)$  é o intervalo de tempo entre os momentos nos quais a cauda (tail) e o nariz (nose) da bolha são detectados por um mesmo transdutor.

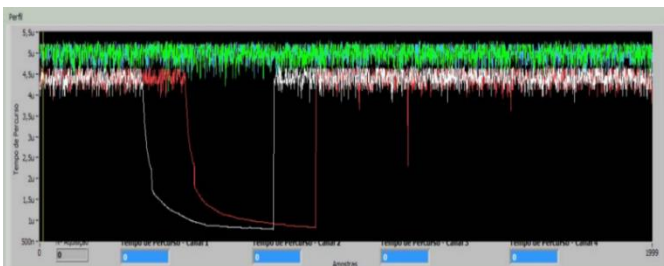


Figura 2. Sinais ultrassônicos processados para medição da velocidade da bolha.

O código é parte de um projeto que envolve processamento de dados de transdutores e geração de gráficos e estatísticas.

	Transdutor 1	Transdutor 2	Transdutor 3	Transdutor 4
0	0.000004	0.000004	0.000005	0.000005
1	0.000004	0.000004	0.000005	0.000005
2	0.000005	0.000004	0.000005	0.000005
3	0.000005	0.000004	0.000005	0.000005
4	0.000005	0.000005	0.000005	0.000005
...	...	...	...	...
1995	0.000005	0.000004	0.000005	0.000005
1996	0.000005	0.000004	0.000005	0.000005
1997	0.000004	0.000004	0.000005	0.000005
1998	0.000004	0.000004	0.000005	0.000005
1999	0.000004	0.000004	0.000005	0.000005

Figura 3. Tabela gerada pela programação

## RESULTADOS

As bibliotecas desempenham um papel fundamental no Python e em muitas outras linguagens de programação.

Elas são conjuntos de código pré-escrito que fornecem funcionalidades específicas para ajudar os programadores a realizar tarefas comuns de maneira eficiente. As principais utilizadas foram; "os", "pandas", e "numpy".

O código até o momento acessa os dados que são recebidos dos transdutores, e organiza. Essa habilidade permite que novos comandos possam ser adicionados para a otimização dos processamentos de velocidade, viscosidade e etc.

## CONCLUSÕES

A elaboração de um código resultará em um aumento de eficácia na pesquisa das bolhas de Taylor individuais, mediante a automação do tratamento dos sinais ultrassônicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] de Azevedo, M.B. "Estudos experimentais de ascensão de bolhas de Taylor individuais em tubos verticais e ligeiramente inclinados." Tese de doutorado, PEN/COPPE, 2016.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Os autores agradecem ao CNPq e à CNEN pela concessão da bolsa.



# Aplicação de uma metodologia numérica para o processamento e avaliação de dados experimentais da circulação natural bifásica

Laira Lopes Silva e José Luiz Horacio Faccini  
Instituto de Engenharia Nuclear (IEN)

## INTRODUÇÃO

Este trabalho visa a contribuição na linha de pesquisa da termo-hidráulica computacional e experimental de fenômenos de transporte em reatores nucleares. Especificamente, os seguintes problemas estão sendo estudados: a transferência de calor por convecção natural em circuitos de circulação natural e em reatores de pesquisa do tipo piscina. Para isso, estão sendo aplicadas técnicas numéricas para a simulação computacional dos problemas mencionados e posteriormente serão comparados com dados experimentais.

A utilização de técnicas numéricas para simulação computacional desempenha a missão de modelar o problema a fim de investigar o comportamento do sistema e ajudar a entender o comportamento dentro do reator. Além disso, temos a importância de se comparar os resultados obtidos na simulação com dados experimentais a fim de buscar maior confiabilidade e validar o modelo.

## OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho consiste em empregar uma metodologia numérica para realizar simulações computacionais que retratam a circulação natural bifásica em um reator para poder comparar com dados experimentais. Para isso, delimitamos em dois objetivos específicos:

i Simulação computacional e experimental de um circuito de circulação natural durante oscilações bifásicas líquido-vapor;

ii Simulação computacional e experimental de um simulador de reatores de pesquisa do tipo piscina durante a operação em circulação natural.

## METODOLOGIA

Nesse trabalho estamos, inicialmente, simulando o circuito de circulação natural em reatores do tipo piscina usando um método lagrangiano, o Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH).

O método SPH vem sendo aplicado com sucesso na engenharia, para simulação de fluidos, no estudo de explosões, fenômenos de transporte, bem como computação gráfica (Silva e Giraldo, 2015). Ele tem ganhado cada vez mais destaque na literatura devido ao seu grande potencial de utilização como ferramenta de previsão do comportamento dinâmico de escoamentos de fluidos complexos, presentes nos projetos de reatores nucleares.

Um dos motivos da utilização desse método é a independência de malha subjacente para discretização das equações de fluido (Gingold e Monaghan, 1977).

Para a realização dessa simulação estamos utilizando a linguagem de programação C++ para implementar o método numérico SPH.

Passada a fase de implementação e validação da simulação, a próxima etapa consiste em realizar comparações entre os dados obtidos por nossa simulação com os dados experimentais provenientes do LTE/IEN e com aqueles já disponíveis na literatura, com a intenção de encontrar concordância nos dados.

## **RESULTADOS**

Devido à complexidade do projeto, atualmente encontra-se no processo de desenvolvimento da geometria da simulação para modelar o problema da circulação natural. Portanto, ainda não há resultados para serem apresentados.

## **CONCLUSÕES**

Embora os resultados e conclusões concretas ainda estejam em fase de desenvolvimento, a implementação da simulação está em andamento e se encontra na fase de desenvolvimento da geometria da simulação na modelagem da circulação natural.

Assim, espera-se que este trabalho não apenas contribua para o entendimento dos fenômenos de transporte em reatores nucleares, mas também aumente o conhecimento na área de termo-hidráulica computacional e experimental buscando aprimorar a segurança e eficiência nas operações em um reator.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Silva, L.T., Giraldo, G.A., Visualizing Morse Flows and Elliptic Umbilic Catastrophes in N-Roll Mill Fluids Simulated by Smoothed Particle Hydrodynamics, XXXVI Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering – CILAMCE, pp. 1-20, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

[2] Gingold, R. A.; Monaghan, J. J. Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory and Application to Non-Spherical Stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 181, p. 375, 1977.

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

# Desenvolvimento de redes neurais artificiais para a aplicação de técnicas nucleares na indústria de petróleo.

Marcos Vinicio Rangel Ferreira Tavares César Marques Salgado  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

A produção de petróleo e gás natural envolve o transporte de fluidos nas fases líquidas (óleo e água) e gasosa até a unidade de processamento onde será realizada a separação das fases. A extração de petróleo é acompanhada por água e sedimentos que misturados com o óleo e juntamente com mudanças de pressão, temperatura e vazão dos fluidos podem fazer com que estes elementos (cátions divalentes:  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) precipitem-se formando depósitos de incrustações nas paredes dos tubos. Formação de incrustações é um dos maiores problemas da indústria de petróleo pois podem obstruir parcial ou totalmente a passagem de fluidos em tubulações, sendo necessário o estudo de técnicas que ajudem na identificação de incrustações no interior das tubulações. Técnicas nucleares não-invasivas permitem a medição em tempo real sem modificar as condições de operação, utilizando detectores ao redor da tubulação [1, 2].

## OBJETIVO

O principal objetivo consiste em desenvolver uma rede neural artificial profunda baseada na interpretação dos espectros de radiação gama visando a predição de incrustações presentes em tubulações utilizadas na produção de petróleo offshore.

## METODOLOGIA

A geometria de medição estudada neste trabalho consiste em detectores de NaI(Tl) (1 1/4" x 3/4") posicionados ao redor de uma tubulação e uma fonte de radiação de Cs-137, que emite raios gama de 662 keV [1,

2]. Foram simulados cinco detectores, que são posicionados a 60° uns dos outros como pode ser visto na Fig.1. No interior da tubulação, é simulado um regime de fluxo anular composto por água salgada ( $H_2O + 4\% NaCl$ ), óleo cru, gás metano e incrustação de  $BaSO_4$  (sulfato de bário). As simulações foram desenvolvidas utilizando o código MCNP6 [3] e representam um modelo simplificado que considera uma média da formação da incrustação excêntrica em tubulações de petróleo.

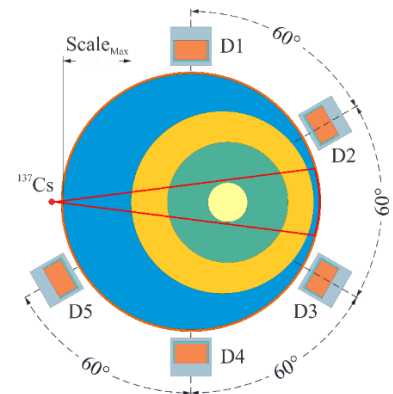


Figura. 1 – Geometria de medição [2].

Os padrões simulados representam quarenta diferentes espessuras máximas de incrustação. Como as posições relativas da incrustação excêntrica são desconhecidas, várias simulações foram feitas alterando a posição relativa da espessura máxima. Além disso, as frações de volume dos fluidos no interior da tubulação também foram variadas alterando a porcentagem de água salgada, óleo e gás. Portanto, foram obtidos 8640 padrões da simulação do estudo citado.

Como as incrustações excêntricas não possuem uma formação uniforme, portanto sua deposição máxima e a localização no interior da tubulação são desconhecidas.

Para contornar estas dificuldades, neste trabalho será desenvolvida uma rede neural profunda (do inglês *deep neural network* – DNN) para prever a espessura de incrustação. O funcionamento de uma rede pode ser descrito em duas fases distintas:

i) Fase de treinamento - é realizada pelo uso de um algoritmo de treinamento, onde é necessário que a DNN aprenda comportamentos ou, padrões de um conjunto finito de exemplos previamente e cuidadosamente fornecidos.

ii) Fase de operação - em que a DNN é usada para responder a novas situações. Nesta fase a DNN não precisa mais do conjunto de treinamento.

A etapa de treinamento consiste em um processo iterativo em que a camada de entrada recebe os dados e então, o sinal é transformado e processado por cada uma das sucessivas camadas intermediárias até que a DNN seja capaz de aprender a representação de modelos complexos [4].

A DNN desenvolvida neste trabalho possui duas camadas intermediárias com função de ativação *relu* e com 300 neurônios em cada camada. Além disso foram utilizadas 5000 épocas, 64 de *batch-size*, otimizador Adam e o algoritmo para o cálculo de erro foi o erro quadrático médio.

## RESULTADOS

Os resultados desse estudo foram obtidos utilizando os detectores D4 e D5. A progressão do erro durante a fase de treinamento da DNN é mostrada na Fig. 2.

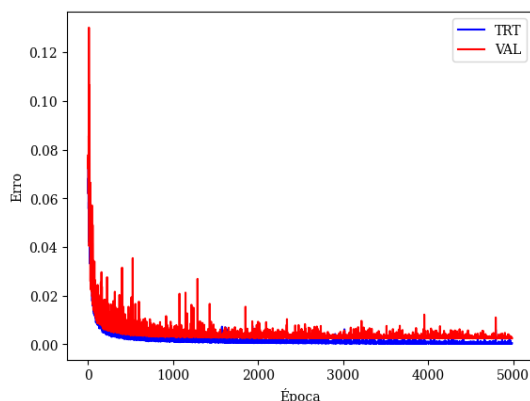


Figura. 2 – Erro x Época

A avaliação final da DNN é realizada no conjunto de teste. Neste conjunto, de acordo com as análises estatísticas, mais de 89% dos dados obtiveram um erro relativo de até 1%. O erro relativo máximo foi de 8%.

## CONCLUSÕES

É possível concluir que a DNN é uma ferramenta poderosa para prever a espessura máxima de incrustação excêntrica em uma tubulação de petróleo. Observa-se isso a partir dos resultados que mostram erros relativos muito pequenos, conseqüentemente, alta assertividade. A utilização dos dados dos detectores D4 e D5 foi estratégica para obtenção de melhores resultados, porém novos testes podem ser feitos com outros detectores para aprimoramento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Salgado, C.M., Salgado, W.L., Dam, R.S.F., Conti, C.C., 2021. Calculation of scales in oil pipeline using gamma-ray scattering and artificial intelligence, *Measurement*, 179, 109455.

[2] Dam, R.S.F., Salgado, W.L., Schirru, R., Salgado, C.M., 2022. Application of deep neural network and gamma-ray scattering in eccentric scale calculation regardless of the fluids volume fraction inside a pipeline.

[3] Goorley, T.; James, M.; Booth, T.; Brown, F.; Bull, J.; Cox, L.; Durkee, J.; Elson, J.; Fensin, M.; Forster, R.; Hendricks, J.; Hughes, H.; Johns, R.; Kiedrowski, B.; Martz, R.; Mashnik, S.; McKinney, G.; Prael, R.; Sweezy, J.; Pelowitz, D.; Water, L.; Wilcox, T.; Zukaitis, T. (2016). Features of MCNP6. *Annals of Nuclear Energy* 87: 772-783.

[4] LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. Deep learning. *Nature* 521, 436–444 (2015).

**APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

# Trilhas de aprendizagem como meio de promover e desmistificar a área nuclear

Mateus Lopes da Silva e Antônio Carlos de Abreu Mól  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

A educação científica enfrenta o enorme desafio de construir sistemas educacionais que possam inspirar a curiosidade dos alunos e mantê-los motivados para aprender. As escolas devem proporcionar um ambiente estimulante que encoraje uma boa aprendizagem. Além disso, a comunidade científica deve ajudar a moldar a educação transformadora e criativa em todos os níveis, onde ela é socialmente construída, validada e comunicada [1].

Métodos modernos de ensino são uma ótima ferramenta para instigar os jovens alunos a procurar e se interessar pelo meio científico, jogos e aplicativos podem ser essenciais para essa fomentação de curiosidade e do querer saber.

Desta forma, o objetivo do projeto é criar uma trilha de aprendizagem onde o aluno seja introduzido de forma simples, clara e objetiva aos conhecimentos de energia nuclear por meio de jogos educativos lúdicos e cativantes ao público infantojuvenil. Promovendo assim, o interesse do jovem ao conhecimento científico e instigando o saber.

## OBJETIVO

Desenvolver uma trilha de aprendizagem utilizando como primeiro passo um jogo de quiz (perguntas e respostas), onde o jogador testa seus conhecimentos sobre energia nuclear, passando por fases, cada uma com sua respectiva dificuldade, e fazendo a melhor pontuação possível. Desta forma influenciando o aluno a buscar e se interessar pela área nuclear de forma descontraída e também desmistificar a área nuclear por meio das perguntas do quiz.

## METODOLOGIA

Como primeiro passo da trilha de aprendizagem foi criado o jogo “Trivia Nuclear”, um jogo de perguntas e respostas envolvendo a área nuclear. O jogo foi desenvolvido na Unity que usa como linguagem de programação o C#, figura 1.

```
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.AI;

public class ActivateEasyQuiz : MonoBehaviour

{
    public Canvas easyQuiz;
    public Canvas easyQuizOpened;
    private GameObject player;
    [Range(0.1f,10.0f)] public float distance = 3;

    void Start()
    {
        easyQuiz.enabled = false;
        easyQuizOpened.enabled = false;
        player = GameObject.FindWithTag("Player");
    }

    public void CloseDialog()
    {
        easyQuiz.enabled = false;
        easyQuizOpened.enabled = false;
    }
}
```

Figura 1. Código de início da fase fácil.

No início foram criadas fases de protótipos para testes de movimentos e interações com os personagens (figura 2), só após testes as fases finais foram inseridas no jogo junto com personagens e decoração.

```
private void OnMouseDown()
{
    if(easyQuiz.enabled == false){
        if(PlayerPrefs.GetInt("openedEasyQuiz") == 0){
            if(Vector3.Distance(transform.position, player.transform.position) < distance)
            {
                easyQuiz.enabled = true;
                PlayerPrefs.SetInt("openedEasyQuiz",1);
                PlayerPrefs.SetInt("faseAtual",1);
                PlayerPrefs.SetInt("faseEstado",1);
            }
            else if(Vector3.Distance(transform.position, player.transform.position) < distance){
                easyQuizOpened.enabled = true;
            }
        }
        else{
            Debug.Log("Clique Negado!");
        }
    }
}
```

Figura 2. Função de ativação de diálogo ao clicar no cientista da fase.

A figura 3 demonstra o cenário virtual de umas das cenas do jogo Trivia Nuclear.



Figura 3. Fase protótipo para testes de movimentação e interação.

Na Trivia Nuclear, o personagem (jogador) tem a chance de conquistar uma vaga de estágio na usina. Passando por fases que representam salas de uma usina e respondendo uma série de perguntas somando pontos. O jogo é constituído por 3 fases, cada uma sendo de uma dificuldade (fácil, médio e difícil), na qual cada uma possui 5 perguntas que são sorteadas para não haver uma sensação de repetição. Após completar as fases o jogador se dirige até um cientista para ver sua pontuação final baseada em seus erros e acertos, tendo assim passado por toda a sequência de perguntas e finalizando o jogo.

## RESULTADOS

Como resultado, temos um jogo intuitivo e inovador, de fácil jogabilidade e leve para todos os dispositivos. Testando assim o conhecimento sobre a área nuclear dos alunos e instigando-os a procurar conhecimento científico, demonstrado nas figuras 4 e 5.

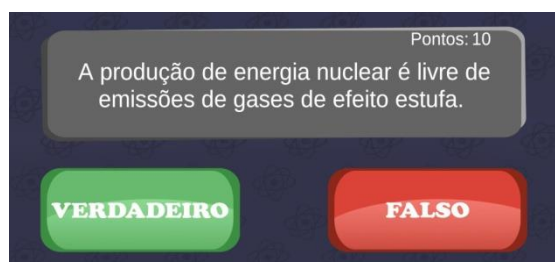


Figura 4 - Tela de Quiz.



Figura 5. Diálogo com um cientista para iniciar o quiz da fase.

A figura 6 demonstra o jogo, chamado Trivia Nuclear, sendo executado em um celular, apresenta a energia nuclear e suas aplicações.



Figura 6. Jogo Trivia Nuclear.

## CONCLUSÕES

A Trivia Nuclear consegue ser ao mesmo tempo, uma poderosa ferramenta de ensino e divulgação científica além de ser um jogo divertido e intuitivo para testar os conhecimentos sobre o assunto. Dessa forma levando ciência e testando o conhecimento prévio do aluno, fazendo com que se interesse por energia nuclear e ciências de modo geral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Zancan, Glaci T., Educação científica: uma prioridade nacional, São Paulo em Perspectiva, v. 14, n. 1, p. 3-7, 2000.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ, FAPERJ e CAPES

# Implementação de metodologia de obtenção de iodo 131 por ativação neutrônica no reator Argonauta

Ramon Matias Nunes Mendonça e Francisco Jose de Oliveira Ferreira  
Instituto de Energia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

O Iodo 131 é um radioisótopo muito utilizado na medicina nuclear para tratamento e diagnóstico por imagem. É utilizado por exemplo, em avaliações de hipertireoidismo, cintilografias e tratamentos de doenças relacionadas a tireoide. No Brasil a produção de Iodo 131 em forma de cápsula e solução até 2022 era exclusiva do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Contudo, após um período de alta demanda onde foi necessário racionar a distribuição do radiofármaco houve a quebra do monopólio para produção de radiofármacos. Portanto, deu lugar a abertura do mercado para produção de Iodo 131 pelas indústrias. Este trabalho consiste em validar um método de obtenção de Iodo 131 por ativação neutrônica, separar quimicamente os elementos pós ativação neutrônica e monitorar os radioisótopos de interesse e obter o maior grau de pureza radionuclídica à nível que possa ser utilizado para pesquisa e/ou comparado aos utilizados na medicina nuclear.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em validar um método de obtenção de Iodo-131 por ativação neutrônica, separar qui-

micamente os elementos pós ativação neutrônica e monitorar o elemento de interesse e obter o maior grau de pureza radionuclídica.

## METODOLOGIA

Neste trabalho, foi utilizado o reator de pesquisa Argonauta para realizar a ativação neutrônica do Telúrio 130 (alvo), que se transformara em Telúrio 131 e decairá em Iodo 131. O reator Argonauta operou sob potência de 340 W ao longo do período de irradiação do material alvo. O material alvo consiste em 0,1 g de dióxido de telúrio dentro de um tubo eppendorf que foi irradiado por 60 minutos a um fluxo de de nêutrons de  $10^9$  n/cm<sup>2</sup>.s no canal J9.

Para a separação química pós irradiação foram utilizados 100 mg de dióxido de telúrio, hidróxido de sódio 4 mol/L e ácido clorídrico 1 mol/L.

Para realizar a separação química adicionamos hidróxido de sódio sobre a amostra irradiada com dióxido de telúrio e chacoalhamos o frasco até que a solução estivesse completamente homogênea. Logo em seguida mudamos a solução para um frasco de vidro e adicionamos o ácido clorídrico até neutralizar o pH.

## RESULTADOS

Após a irradiação o que obtemos foi uma solução de dióxido de telúrio composto com os isótopos filhos do telúrio 131 que seguem o decaimento descrito na figura 1.

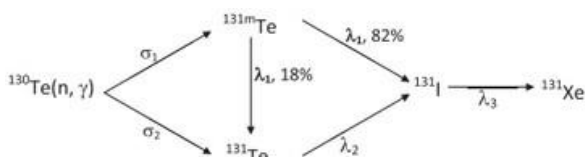


Fig. 1 – I-131 production process by activation of Te-130 isotope.

Após a realização das etapas de separação química descritas na metodologia o resultado foi a formação de uma solução com pH entre 6-7 e cuja houve formação de precipitado composto de telúrio e uma solução líquida composta de Iodo conforme demonstra a figura 2.



Figura 2. A esquerda temos o pH neutro obtido após a adição de 1,4 ml de HCL e na imagem a direita há a formação de precipitado e solução líquida

A solução líquida foi extraída do frasco de vidro através da utilização de uma micropipeta volumétrica e levamos tal solução líquida para a espectrometria gama no detector HPGE onde foram avaliadas as emissões de energias específicas mais presentes. Tais dados obtidos permitiram plotarmos uma curva de atividade (figura 3) para os dois radio-

isótopos de maior interesse o Iodo 131 e o seu radionuclídeo pai (Telúrio 131).

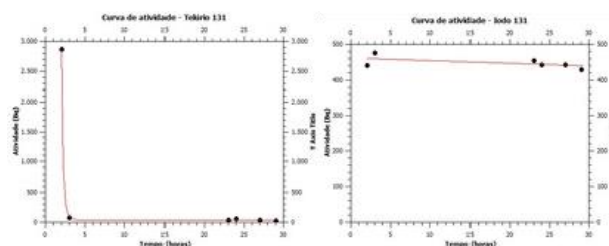


Figura 3. A esquerda temos a curva de atividade para o Telúrio 131 e à direita temos a curva referente ao Iodo 131

## CONCLUSÃO

A ativação neutrônica foi um sucesso e conseguimos visualizar na espectrometria gama as atividades de cada radionuclídeo. A separação química se demonstrou promissora permitindo alcançar após 72 horas uma pureza radionuclídica para o Iodo 131 de 92%

## REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, Cristian Brito et al. Validation of theoretical model for forecasting activity in irradiated gold leaf in the Argonauta search reactor of IEN using Neutron activation technique. In: Proceedings of the INAC 2019: international nuclear atlantic conference. Nuclear new horizons: fueling our future. 2019.
- [3] CHATTOPADHYAY, Sankha; DAS, Sujata Saha. A simple and rapid technique for radiochemical separation of iodine radionuclides from irradiated tellurium using an activated charcoal column. Applied Radiation and Isotopes, v. 67, n. 10, p. 1748-1750, 2009.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradeço ao IEN pela oportunidade e ao CNPq pelo apoio financeiro.



# Efeitos da ativação neutrônica no polímero biodegradável PEG-Tiol associado a nanopartículas de ouro

Samara Mendes Matos e Nathali Riccardo Barbosa de Lima  
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN

## INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm se dedicado nos últimos anos a conhecer os efeitos da radiação ionizante sobre moléculas orgânicas, especialmente aquelas que tem potencial para serem usadas em aplicações médicas e farmacológicas(1). Dentre as moléculas orgânicas mais exploradas nesse sentido encontram-se os polímeros. Os materiais poliméricos, pela sua variedade, versatilidade e propriedades, são a classe de materiais mais investigadas no desenvolvimento de sistemas para serem aplicados na medicina (2,3). O Polietilenoglicol (PEG) é um polímero estável quimicamente, é empregado regularmente em cosméticos e como carga para produtos farmacêuticos, por ser expelido pelo corpo sem ser metabolizado. Além disso, as partículas com PEG escapam do reconhecimento e captura pelas células fagocitárias, após administração in vivo, permanecendo por um maior tempo na circulação sistêmica (4,5). Seu emprego na radiofarmácia têm se dado de diversas formas, particularmente é de nosso interesse estudar sua associação com nanopartículas de ouro (AuNPs) e a aplicação dessas partículas tanto para exames de imagem como para terapia (6,7). A funcionalização da superfície de AuNPs com polietilenoglicol (PEG) é uma das técnicas mais frequentemente usadas e que reduz significativamente a ligação inespecífica às células e às proteínas séricas e aumenta consideravelmente a meia vida de circulação in vivo (8).

Normalmente, essa ligação entre o PEG e as AuNPs se dá através da ligação química entre o ouro e um grupo Tiol (PEG-SH) (9,10). A alta energia emitida por fontes radioativas acarreta a formação de radicais livres que podem se recombinar, levando a um rearranjo das cadeias poliméricas. Esse processo pode resultar em reticulação ou degradação do material irradiado.

## OBJETIVO

O objetivo desse estudo é avaliar os efeitos da ativação neutrônica do complexo formado por AuNPs-SH-PEG, observando se ocorre radiólise desse polímero ou alguma degradação nesse sistema. Esse estudo também vai nos dar informação sobre a dose mínima necessária para a ativação desse complexo, o que é de suma importância não só para os pacientes como para a própria proteção radiológica de todos os profissionais envolvidos no processo.

## METODOLOGIA

O nanossistema foi irradiado no canal J9 com fluxo de nêutrons de  $108 \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$  no reator Argonauta, o tempo de irradiação de 2h para cada amostra, 2 amostras serão obtidas cada uma contendo uma alíquota de 1,5 ml do nanossistema. As amostras foram divididas de acordo com a dose aplicada, sendo que a primeira amostra não recebeu nenhum tipo de irradiação e as demais receberam  $2.10 \text{ Gy}$ . Técnicas de Espalhamento de luz dinâmico (DLS), Microscopia Eletrônica de transmissão (MET), Microscopia de Força Atômica (MFA) e Espectroscopia de absorção UV-Visível (UV-vis), foram empregadas para caracterizar o tamanho e geometria das nanopartículas além de confirmar sua ligação a PEG. Para analisar os efeitos da ativação neutrônica sobre o nanossistema diversas caracterizações foram realizadas, antes da irradiação, no polímero puro e após a irradiação do nanossistema, as caracterizações foram as seguintes: Espectroscopia de Infravermelho (FITR); UV-vis; DLS, Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e análise termogravimétrica (TGA) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e espectroscopia dispersiva de energia (EDS). A espectrometria gama foi realizada para observar, nos espectros obtidos, a possível presença de radionuclídeos interferentes.

## RESULTADOS

Os resultados das microscopias MET, MFA e da técnica de DLS, confirmaram a formação de AuNPs monodispersas com um diâmetro médio de  $28 \pm 0,6$  nm. O UV-Vis mostra uma curva com máxima absorção em torno de 524 nm. Para as AuNPs-SH-PEG, as análises mostram incipiente aglomeração das nanopartículas, desse modo, o tamanho passa a ser 644 nm, portanto na curva de UV-vis há um deslocamento do pico para a direita do gráfico com o pico localizado em 550 nm no espectro de absorção. Através da MET foi possível ver que as AuNPs possuem formato esférico. A interação das nanopartículas de ouro com o polímero foi confirmada por diversas análises como as técnicas de EDS, FTIR, RMN e estas técnicas ainda mostram que após a ativação neutrônica o polímero manteve-se íntegro. Tal fato é corroborado pelas análises Térmica, uma vez que a estabilidade térmica das amostras foi preservada após a irradiação, de acordo com os resultados obtidos pelas técnicas de TGA e DSC. O espectro obtido na espectrometria Gama confirmou a energia principal característica do ouro que é 411 Kev e uma meia vida de 2,69 dias.

## CONCLUSÕES

O revestimento das AuNPs com PEG desenvolvido nesse trabalho é uma ferramenta útil para obtenção de nanomateriais funcionalizados e adequados para posterior ligação a fármacos contendo atividade antitumoral ou para uso como agentes de contraste em diagnóstico. Na funcionalização com moléculas de tiol-PEG foram observados processos de fusão, aglomeração e aumento no tamanho da nanopartícula. Através das análises realizadas fica claro que a ativação neutrônica do material não resultou em perda das características e das propriedades benéficas no polímero para ser usado como revestimento de AuNPs e como carreador de fármacos antitumorais. Portanto, o sistema AuNPs-PEG mostrou-se apropriado para ser usado na medicina nuclear tanto para diagnóstico como para posterior funcionalização com fármacos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] once P, Parra DF, Carr LG, Sato JS. INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO IONIZANTE E DO USO DE PLASTIFICANTES NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE BARREIRA DE FILMES BIODEGRADÁVEIS. 2005;6. <https://www.ipen.br/biblioteca/2005/inac/10562.pdf>
- [2] Adams CF, Delaney AM, Carwardine DR, Tickle J, Granger N, Chari DM. Nanoparticle-Based Imaging of Clinical Transplant Populations Encapsulated in Protective Polymer Matrices. *Macromolecular Bioscience* [Internet]. 2019;19(2). Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057712821&doi=10.1002%2fmabi.201800389&partnerID=40&md5=121df3c1921861cc541bf3155a4905a>, <https://doi.org/10.1002/mabi.201800389>
- [3] Abbasian M, Massoumi B, Mohammad-Rezaei R, Samadian H, Jaymand M. Scaffolding polymeric biomaterials: Are naturally occurring biological macromolecules more appropriate for tissue engineering? *Int J Biol Macromol*. 1º de agosto de 2019;134:673–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.197>
- [4] Barrios-Gumiel A, Sánchez-Nieves J, Pedziwiatr-Werbicka E, Abashkin V, Shcharbina N, Shcharbin D, et al. Effect of PEGylation on the biological properties of cationic carbosilane dendronized gold nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics* [Internet]. 2020;573. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076223481&doi=10.1016%2fj.ijpharm.2019.118867&partnerID=40&md5=4220727313ac867c24e75a527b1e99f5> <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118867>
- [5] Cai Y, Xu Z, Shuai Q, Zhu F, Xu J, Gao X, et al. Tumor-targeting peptide functionalized PEG-PLA micelles for efficient drug delivery. *Biomater Sci*. 12 de março de 2020; <https://doi.org/10.1039/C9BM02036>
- [6] Chanda N, Kan P, Watkinson LD, Shukla R, Zambre A, Carmack TL, et al. Radioactive gold nanoparticles in cancer therapy: therapeutic efficacy studies of GA-198AuNP nanoconstruct in prostate tumor-bearing mice. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 1º de abril de 2010;6(2):201–9. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2009.11.001>

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

# Determinação das curvas-resposta de detectores nai(tl) para fins de controle de qualidade de radiofármacos e aplicações de técnicas nucleares

Vinicius Araújo Silva Marques e César Marques Salgado  
Instituto de Engenharia Nuclear – IEN

## INTRODUÇÃO

O detector de radiação é um dispositivo que, colocado em um meio onde exista um campo de radiação, seja capaz de indicar sua presença [1]. Dentre eles, temos o detector de iodeto de sódio NaI(Tl), o qual é muito utilizado para controle de qualidade de radiofármacos e aplicações de técnicas nucleares. Neste estudo, realizamos a calibração de um detector do tipo NaI(Tl) 2x2, para que possa ser utilizado pelo Instituto de Engenharia Nuclear (IEN). Dessa forma, é necessário determinar as características dos detectores que são: a sua tensão de operação, a curva de eficiência energética e a curva de resolução de energia que servem de parâmetros para determinar se o sistema está calibrado. Para o projeto, foram utilizados os seguintes radioisótopos:  $Cs^{137}$ ,  $Co^{60}$ ,  $Ho^{166}$ ,  $Eu^{152}$ , e  $Am^{241}$ .

## OBJETIVO

Objetivo do nosso projeto é realizar a calibração de um sistema de espectrometria gama baseado em um detector NaI(Tl), o qual é utilizado para o controle de qualidade de radiofármacos e aplicações de métodos nucleares, afim de averiguar a confiabilidade do detector.

## METODOLOGIA

Para o trabalho utilizamos fontes encapsuladas de 0,60 cm de diâmetro com 0,30 cm de espessura, encapsuladas com lucite de 2 cm de diâmetro e 0,50 cm de espessura e um detector do tipo NaI(Tl) 2x2 que estava encaixado em um suporte. Para determinar a tensão de operação, realizamos medidas de uma fonte de  $Cs^{137}$ ,

com uma atividade inicial de 585,845 kBq(kilo-Bequerel), com 3 medidas de contagens para cada voltagem de 0 a 1000 Volts, variando de 50 em 50 volts a parti do momento que registramos contagens significativas, com uma distância de 5,6 cm e um tempo vivo de 180 segundos.

Já para a curva de eficiência energética, foi necessário realizar um espectrograma de 3600 segundos para as mesmas fontes. Depois disso, realizamos o cálculo da área sob a curva dos picos de cada fonte através de um software matemático. Com isso, podemos calcular a eficiência do fotóptico de cada fonte, utilizando a Equação 1 [2].

$$\varepsilon = \frac{C}{A.P.t} \quad (1)$$

Onde:

$\varepsilon$  – Eficiência energética;

$C$  – Número de contagens registradas na região fotoelétrica em Energia “E”;

$t$  – Tempo de medida (s);

$A$  – Atividade da fonte radioativa (Bq);

$P$  – Probabilidade de emissão para raios gama na energia “E”.

Com os dados e as incertezas, realizamos um ajuste da curva através da Equação 2.

$$\ln(\varepsilon) = a + b \cdot \ln(E) + c \cdot \ln(E)^2$$

(2)

Onde:

$a, b$  e  $c$  – Constantes;

$E$  – Energia (keV);

$\varepsilon$  - Eficiência energética.

Por fim, para determinar a curva de resolução energética, identificamos os fotópticos e sua energia, além de pegamos o valor da largura à meia altura (FWHM), os quais foram calculados pelo software matemático anterior. Com isso, realizamos o ajuste da curva pela Equação 3.

$$FWHM = a + b \cdot \left( \sqrt{E + c \cdot E^2} \right) \quad (3)$$

Onde:

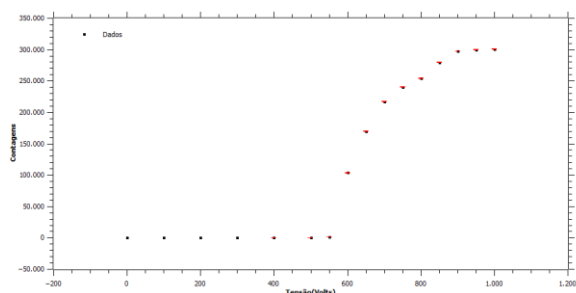
*FWHM* - Valor da largura à meia altura;

*a, b e c* - Constantes;

*E* - Energia (keV).

## RESULTADOS

Com isso para a tensão de operação conseguimos mostra o gráfico da figura 1.



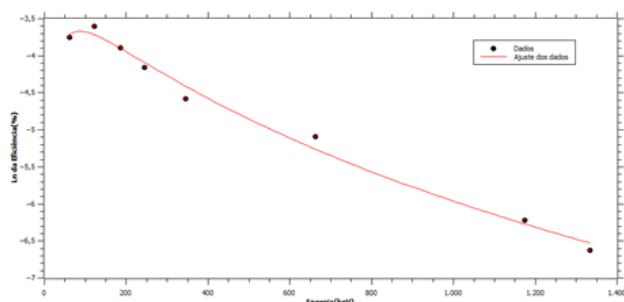
**Figura 1: Curva Tensão de Operação**

Com o gráfico podemos determina que o ponto de maior equilíbrio é a de 900 volts. Contudo não quisemos forçar o detector com uma voltagem muito alta, diminuindo para 850 volts, que também apresenta um platô, além de ser o valor fornecido pela empresa.

Para a curva de eficiência energética calculamos a eficiência pela equação 1, desse modo conseguimos montar o gráfico da Figura 2, obtendo os valores dos coeficientes pelo ajuste da equação 2, mostrados na tabela 1, e obtemos um valor do R<sup>2</sup> de 0,989.

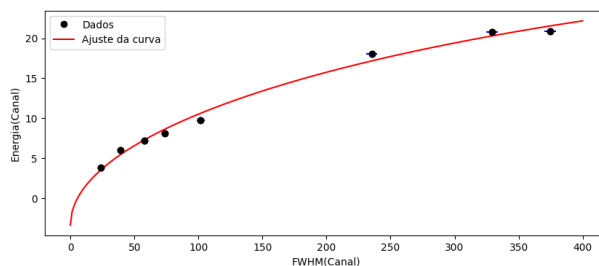
**TABELA 1: Coeficientes do Ajuste da Equação 2.**

Coeficientes	Valores	Incerteza
a	-11	2
b	3.2	0.6
c	0.37	0.05



**Figura 2: Curva de Eficiência Energética**

Para curva de Resolução Energética, pegamos o valor da energia e do FWHM encontrados e montamos o gráfico da figura 3 e realizamos um ajuste através da equação 3, os valores dos coeficientes estão na tabela 2 e obtemos um valor de R<sup>2</sup> de 0,991.



**Figura 3: Curva de Resolução de Energia**

**TABELA 2: Coeficientes do Ajuste da Equação 3**

Coeficientes	Valores	Incerteza
a	-3	1
b	1.4	0.2
c	-0.0005	0.0004

## CONCLUSÕES

Através dos valores encontrados, podemos observa que obtemos bons resultados, considerando que o mesmo valor de tensão de operação disponibilizado pela fabricante foi encontrado e que obtemos R<sup>2</sup> dos ajustes muito próximos de 1. Podemos concluir que o detector apresenta uma boa qualidade e realizou-se uma boa calibração para que ele possa ser utilizado pelo IEN.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Tauhata, L., Salati, I.P.A., Di Prinzio, R., Di Rinzio, M.A.R.R., 2013. "Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 9ª revisão novembro/2013" - Rio de Janeiro - IRD/CNEN. 345p.

[2] Knoll, G. F. (1989). Radiation Detection and Measurement (2 ed.). Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

**INSTITUTO DE PESQUISAS  
ENERGÉTICAS E NUCLEARES**



**ipen**

**instituto de pesquisas  
energéticas e nucleares**

# **Desenvolvimento de membranas poliméricas fiadas com resveratrol para fins de regeneração tecidual**

**Amanda Araujo Moraes, Murilo Álisson Vigilato Rodrigues e Lucas Freitas de Freitas**  
**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

A engenharia de tecidos consiste no uso de biomateriais que possibilitam meios de restaurar a funcionalidade dos tecidos de forma eficaz no tratamento de doenças ou mesmo substituí-los. Biomateriais são descritos como materiais que possuem efeitos desencadeadores ou estimulantes frente às células e tecidos, além de possuírem propriedades e funções adaptadas, podendo ser capazes de responder a estímulos como a variação de pH ou temperatura, por exemplo, e de promover a regeneração tecidual. [1]

A classe de biomateriais mais empregada na engenharia de tecidos é a dos polímeros e isso se deve à compatibilidade destes com os tecidos biológicos. [2] A policaprolactona vem sendo bastante utilizada em sistemas de entregas de drogas, uma vez que sua lenta biodegradação permite uma liberação prolongada do ativo, além de ser compatível com vários tecidos do corpo humano e possuir uma natureza não tóxica. Ademais, o fato de este polímero ser hidrofóbico e possuir propriedades mecânicas como flexibilidade o torna um bom material para ser utilizado como curativo avançado, uma vez que impede sua dissolução nos fluidos biológicos, que são aquosos, permitindo a formação de uma barreira física contra microrganismos. [3,4]

Diante disso, a técnica de fiação por sopro será utilizada para obtenção deste biomaterial polimérico, pois permite a fabricação de fibras por meio de um polímero dissolvido em um solvente volátil e um gás pressurizado, onde será incorporado o resveratrol com intuito de

modular a resposta inflamatória. [5] Este fármaco possui bioatividade e baixa toxicidade, além de possuir efeitos anti-inflamatórios, proliferativos e antioxidantes quando atua na neutralização de radicais livres, o que reduz a inflamação. [6]

## **OBJETIVO**

O projeto visa desenvolver um biomaterial polimérico por meio da técnica de fiação por sopro onde será incorporado o resveratrol, com intuito de formar um curativo avançado para fins de regeneração tecidual.

## **METODOLOGIA**

A solução testada apresentou 18% de PCL dissolvidos em 75% de clorofórmio que, após agitação foi misturada a uma solução 3% de resveratrol (em relação à massa de PCL) dissolvido em 25% de acetona sob agitação magnética, enquanto a solução sem resveratrol foi produzida pela solubilização do PCL na mistura destes solventes. [7] Entretanto, para obter sucesso na produção das fibras é preciso testar diversas variáveis que afetarão a técnica de fiação por sopro, estas podem ser divididas em parâmetros do processo, (distância entre a agulha e o coletor, a pressão do gás e a vazão), parâmetros da solução (massa molar e concentração do polímero e viscosidade da solução) e parâmetros do ambiente (temperatura e umidade). Estes testes foram realizados por meio da coleta das fibras em lâminas que foram analisadas por microscopia ótica.

## **RESULTADOS**

Para o preparo da solução polimérica, a escolha do solvente é muito importante,

uma vez que a interação do polímero com o solvente é capaz de alterar as propriedades das fibras. Assim, com base na leitura de artigos científicos, foi encontrado que clorofórmio e acetona são bons solventes para o PCL. A solução de 18% PCL em clorofórmio misturada com 3% de resveratrol em acetona foi bem-sucedida na fabricação de fibras. Além disso, foi observado que não havia necessidade de aquecimento durante o processo de fiação, uma vez que ambos os solventes são bastante voláteis. Já para os parâmetros do processo, foi necessário o teste de diferentes variáveis e a TABELA 1 mostra alguns dos parâmetros empregados para análise das lâminas.

TABELA 1. Parâmetros

	Vazão (mL/h)	Pressão (Psi)	Distância (cm)
Lâmina 1	24	30	30
Lâmina 2	24	25	30
Lâmina 3	24	40	30
Lâmina 4	24	30	25
Lâmina 5	24	30	35

Estes dados podem ser entendidos considerando que, quando aplicamos vazões maiores ocorria o entupimento da agulha, além de muitas gotas nas lâminas, e para vazões menores a quantidade de fibras diminuía e a de gotas parecia aumentar. Por outro lado, para distâncias menores do que 30 cm foi observado boa quantidade de fibras, porém grande excesso de gotas, enquanto para distâncias maiores, a quantidade de gotas diminuía, mas havia uma redução na quantidade de fibras. Já em maiores valores de pressão ocorria escape das fibras ao coletor e em menores pressões não era produzido um estiramento suficiente das soluções para formar boa quantidade de fibras ao secar.

## CONCLUSÕES

Diante desses resultados, conclui-se que os parâmetros utilizados na lâmina 1 proporcionam melhores resultados, isto é, são capazes de produzir boa quantidade de fibras com a menor quantidade de gotas (solução não evaporada). Assim, foi possível a produção de mantas de fibras de PCL incorporadas com resveratrol, por meio da utilização de um coletor rotativo a 1550 rpm. Por fim, os próximos passos incluem a realização de testes para caracterização físico-química e de viabilidade celular, para análise da citotoxicidade deste biomaterial, além de ensaios de liberação do ativo, por meio do qual será possível um maior entendimento sobre a eficácia desse curativo na entrega do composto bioativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Zhang, K., Wang, S., Zhou, C. et al. Advanced smart biomaterials and constructs for hard tissue engineering and regeneration. *Bone Res* 6, 31 (2018).
- [2] Todros, S. et al. Biomaterials and Their Biomedical Applications: From Replacement to Regeneration. *Processes* 2021.
- [3] Siddiqui, N., Asawa, S., Birru, B. et al. PCL-Based Composite Scaffold Matrices for Tissue Engineering Applications. *Mol Biotechnol* 60, 506–532 (2018).
- [4] Tapan K. Dash et al. Poly-ε-caprolactone based formulations for drug delivery and tissue engineering: A review, 2012
- [5] ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 51, 34951–34963, 2016
- [6] Frémont, L., Biological effects of resveratrol, *Life Sciences*, Volume 66, Issue 8, 2000,
- [7] Almeida, Carolina; Mantas de fibras poliméricas biodegradáveis obtidas por Solution Blow Spinning, 2021

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida (124291/2022-08)

# Síntese pela via química e caracterização por difração de raios X de óxidos multiferroicos com elementos terras raras

Anna Clara Nicolini Gabriel e Artur Wilson Carbonari  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP

## INTRODUÇÃO

A ideia de que certas estruturas cristalinas podem ser magno-elétricas foi apresentada pelo cientista francês Pierre Curie através de seus estudos sobre a simetria interior de cristais [1]. Nesse contexto, dentro da classe de multiferroicos, define-se magno-elétricos os materiais que apresentam características elétricas e magnéticas. Estes materiais, porém, são escassos na natureza [2].

Nanopartículas multiferroicas têm tido espaço relevante em pesquisas hodiernas como, por exemplo, na área biomédica, em virtude de suas propriedades magnéticas torná-las plataformas muito boas para o design de tratamentos contra o câncer, além de apresentar efeitos colaterais insignificantes e ter capacidade de atingir tumores que não podem ser obtidos por outros tipos de nanoestruturas [3]. Deve-se ressaltar que, dentre as diversas nanopartículas com propriedades ferromagnéticas, as nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e hematita ( $\alpha$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são as mais investigadas [4]. Ademais, íons de elementos terras raras são uma classe interessante de dopantes com propriedades magnéticas associadas com suas configurações eletrônicas [5]. Nesse contexto, a interação entre os momentos magnéticos dos íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  leva a uma frustração magnética resultando em um magnetismo e ferroeletricidade complexos.

O presente estudo investigou um método de síntese, bem como o tratamento térmico adequado, para obter óxidos multiferroicos do tipo  $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{Sm}^{3+}$  dopados com 10% de samário.

## OBJETIVO

Sintetizar e caracterizar por técnicas de difração de raios X materiais multiferroicos do tipo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dopadas com samário 10%. Com os resultados, pretende-se analisar a eficiência do método de síntese utilizado.

## METODOLOGIA

Esse estudo utilizou como método de síntese a coprecipitação sob atmosfera inerte no Laboratório de Interações Hiperfinas IPEN. A seguir, foi realizado um tratamento térmico oxidativo e as amostras resultantes foram caracterizadas pela difração de raios X (DRX).

## RESULTADOS

A síntese das nanopartículas pelo método de coprecipitação foi efetiva ao formar um sólido preto magnético e, após o tratamento térmico oxidativo, um sólido de cor vermelho-marrom, aspectos visíveis que apontam para uma provável formação de magnetita e hematita, respectivamente. As estruturas foram comprovadas pela análise da difração de raio X, feita pelo método do pó à temperatura ambiente, mediante o emprego de difratômetro de raios X em um equipamento de marca Rigaku modelo SmartLab. A identificação de fases correspondentes foi feita por comparação com ICDDPDF (International Center of Diffraction Data- powder diffraction file).



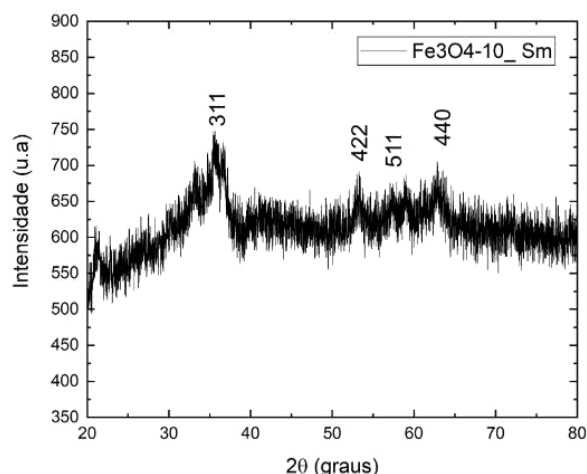


FIGURA 1. Padrão de difração da amostra sem tratamento térmico quando analisada pelo difratômetro. Os picos correspondem aos da estrutura cúbica pertencente ao grupo espacial  $Fd\bar{3}m$  da magnetita, embora seja possível observar um padrão de difração praticamente amorfo. Fonte: autoria própria.

Realizou-se um ajuste de dados com o programa GSAS® para a amostra que foi submetida ao tratamento térmico oxidativo.

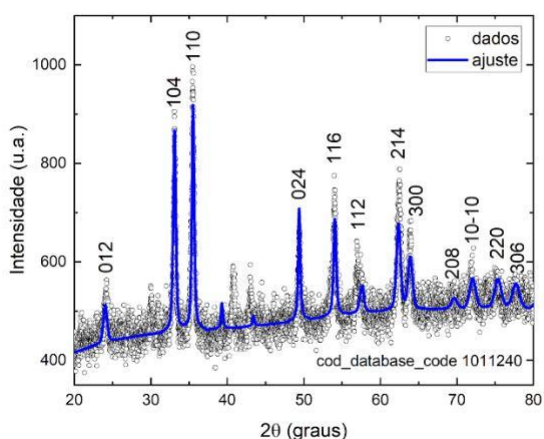


FIGURA 2. Difração de raios X das amostras de  $Fe_2O_3:Sm^{3+}$ . A linha azul representa o ajuste e os círculos são os pontos coletados da difração de raio X da amostra. Os picos correspondem aos da estrutura hexagonal pertencente ao grupo espacial  $R\bar{3}c$  167 da hematita. Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que o método conjunto de coprecipitação seguida de tratamento térmico oxidativo é efetivo na síntese de amostras multiferroicas com hematita dopada com elementos terras raras, como pôde ser visto pelo difratograma de raio X. Nesse contexto, ressalta-se que, após a coprecipitação, conseguiu-se obter uma amostra de  $Fe_3O_4:Sm^{3+}$ , embora sua estrutura estivesse praticamente amorfa. Ademais, o tratamento térmico oxidativo foi essencial no processo de formação de  $Fe_2O_3:Sm^{3+}$  com considerável grau de pureza em uma forma cristalina aceitável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rahul M. Thankachan, Raneesh Balakrishnan, **Chapter 8 - Synthesis Strategies of Single-Phase and Composite Multiferroic Nanostructures**. In Micro and Nano Technologies Synthesis of Inorganic Nanomaterials, 185-211, 2018.
- [2] L. W. Martin, S. P. Crane, Y-H. Chu, et al., **Multiferroics and magnetoelectrics: thin films and nanostructures**. J. Phys.: Condens. Matter 20, 434220, 2008.
- [3] V. F. Cardoso.; et al; **Advances in Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications**. Advanced Healthcare Materials, Vol 7., 2018.
- [4] Roca, A.; Morales, M.; O'Grady, K.; Serna, C. **Structural and magnetic properties of uniform magnetite nanoparticles prepared by high temperature decomposition of organic precursors**. Nanotechnology 2006, 17, 2783.
- [5] Groman, E.V.; Bouchard, J.C.; Reinhardt, C.P.; Vaccaro, D.E. **Ultrasmall mixed ferrite colloids as multidimensional magnetic resonance imaging, cell labeling, and cell sorting agents**. Bioconjugate chemistry 2007, 18, 1763-1771.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq

# EFEITO DE DIFERENTES FONTES DE IRRADIAÇÃO NA REDUÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO E AUMENTO DE ESCALA

Antony Alves de Oliveira e Solange Kazumi Sakata  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O óxido de grafeno (OG) é a forma altamente oxidada do grafeno, e consiste em uma estrutura contida em camadas constituídas por átomos de carbono sp<sup>2</sup> arranjados em estrutura hexagonal, na qual pode ser ligada a diversos radicais oxigenados. A radiação ionizante é uma interessante alternativa para a redução de óxido de grafeno, pois não utiliza solventes tóxicos, envolve um curto tempo de duração e não gera resíduos químicos tóxicos nem produtos secundários.

## OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é o aumento da escala da redução do óxido de grafeno por radiação gama para a aplicação industrial e comparar as taxas de dose e dose recebida. Como objetivos específicos se têm: sintetizar o óxido de grafeno; caracterizar o óxido de grafeno; estudo da dose e métodos para a redução do óxido de grafeno por radiação ionizante; caracterização do óxido de grafeno reduzido por radiação ionizante.

## METODOLOGIA

O óxido de grafeno será sintetizado a partir do pó do grafite (Merck Millipore com 99,99%) utilizando o método de Hummers modificado (Hummers & Offerman, 1958). Foram realizados as irradiações de OG em diferentes volumes: 20 mL e 1000 mL a [1,0 g/L] a 25 e 40 kGy, xxx no irradiador multipropósito de cobalto-60 em localizado no Centro de Tecnologia das Radiações (CETER) do Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (IPEN/CNEN-SP).

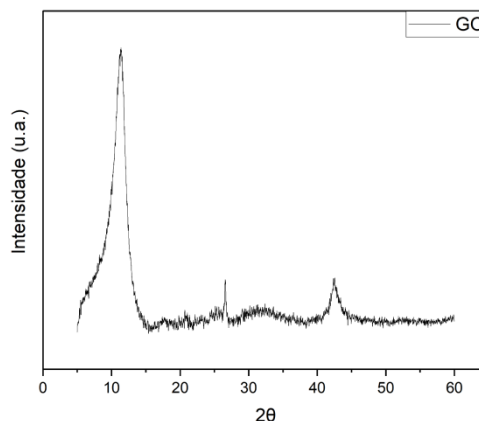
Foram realizadas caracterizações do óxido de grafeno reduzido a partir das técnicas de caracterização de Difração de Raios-X, Termogravimetria.

## RESULTADOS

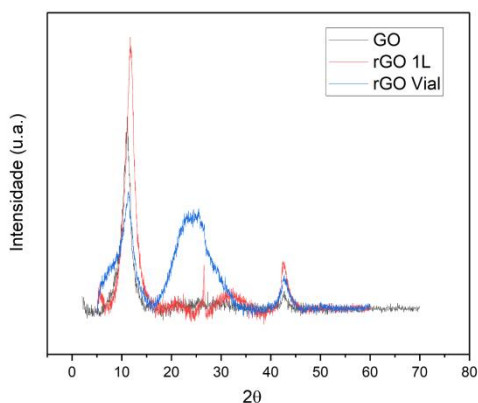
### 1. Difração de Raio-X.

A difração de raios x é uma técnica que utiliza radiação para interagir com uma amostra e a partir da difração causada pelos planos atômicos em relação ao ângulo de incidência do feixe, é possível determinar a estrutura cristalina da amostra analisada.

#### 1.1. 25 kGy



## 1.2. 40 kGy

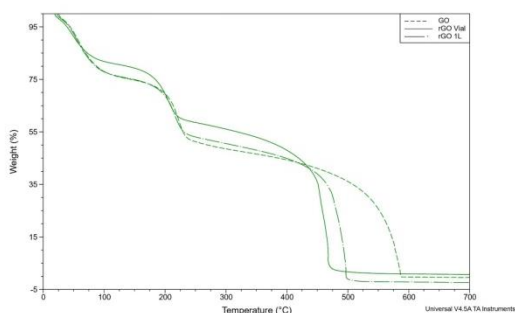


De acordo com a bibliografia consultada, (AL-GAASHANI et al., 2019), o pico em 10 $\theta$  é correspondente a óxido de grafeno, enquanto o pico próximo a 20° óxido de grafeno reduzido, dessa forma o espectro demonstra redução parcial da amostra irradiada no frasco Vial.

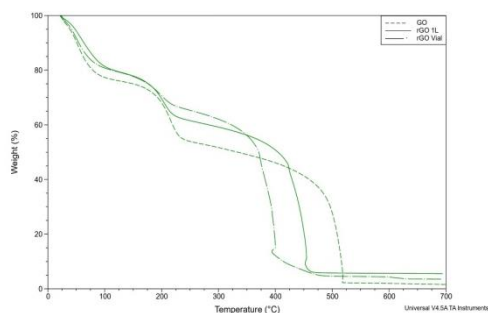
## 2. Termogravimetria

A termogravimetria tem como objetivo visualizar o nível de oxidação do GO e constatar a redução do mesmo a partir da coleta de dados de fluxo de calor e variação de massa simultaneamente.

### 2.1. 25 kGy



### 2.2. 40 kGy



## CONCLUSÕES

A redução do óxido de grafeno por radiação ionizante é uma alternativa benéfica uma vez que não faz uso de solventes orgânicos, reagentes tóxicos, não gera subprodutos e ocorre em temperatura e pressão ambiente, apesar das primeiras caracterizações demonstrarem que não houve a redução em larga escala, não é uma prova definitiva que não é possível, mais estudos devem ser realizados para comprovar a real eficiência desse processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZHANG, Y.; MA, H. L.; ZHANG, Q.; PENG, J.; LI, J.; ZHAI, M.; YU, Z. Z. Facile synthesis of well-dispersed graphene by  $\gamma$ -ray induced reduction of graphene oxide. *Journal of Materials Chemistry*, v. 22, n. 26, p. 13064-13069, 2012.
- [2] TUYEN, L. A.; HUUY, H. T.; DUOC, N. T.; BINH, D.; HOMG, P. T. T. The effect of gamma-irradiation on graphene oxide in a monoglyceride/ethanol solution. *Nuclear Science and Technology*, v. 6, n. 3, p.48-53, 2016.
- [3] FLYUNT, R.; KNOLLE, W.; KAHNT, A.; PRAGER, A.; LOTNYK, A.; MALIG, J.; GULDI, D.; ABEL, B. Mechanistic aspects of the radiation-chemical reduction of graphene oxide to graphene-like materials. *International Journal of Radiation Biology*, v. 90, n. 6, p. 486-494, 2014.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

"IAEA - International Atomic Energy Agency",  
CRP 23111,IPEN-CNEN

# Análise de amostras urinárias de pacientes com câncer de próstata, por espectroscopia raman

Beatriz Miqulino Neto e Maria Helena Bellini  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O câncer de próstata (CaP) é um dos tumores malignos mais comuns no sexo masculino. A American Cancer Society estimou que, em 2020, 191.930 casos de CaP foram diagnosticados acarretando 33.330 mortes. [1]. Amostras urinárias apresentam uma fonte importante e promissora de biomarcadores para câncer pois as abordagens de diagnóstico baseadas na urina não são invasivas. [2].

A espectroscopia Raman é uma técnica poderosa e não invasiva usada para estudar uma variedade de amostras, incluindo amostras biológicas. Essa técnica é baseada no fenômeno chamado espalhamento Raman, no qual a luz interage com as moléculas de uma amostra, resultando em um espectro que fornece informações sobre as vibrações moleculares e a estrutura química da amostra. No contexto de amostras biológicas, a espectroscopia Raman pode ser bastante valiosa pois permite a análise moléculas sem a necessidade de extensa preparação de amostras. [3]

## OBJETIVO

Analisar amostras de urina de pacientes com Câncer de Próstata (CaP) por meio de espectroscopia RAMAN.

## METODOLOGIA

As amostras urinárias foram descongeladas naturalmente em temperatura ambiente e separadas em 500 uL de cada amostra para centrifugação (Eppendorf) a 4000 rpm por 10min a 4°C. Após esse processo foram separados mais 500 uL de cada amostra

pura e sem centrifugação para verificar a possível interferência de debris no espectro a ser gerado.

O equipamento *Raman* modelo Xplora (Horiba Scientific) é equipado com um monocromador Czerny-Turner, um detector CCD e um microscópio Olympus BX41 com objetivas de 05x, 10x, 50x e 100x, sendo a de 100x usada apenas para a calibração utilizando amostra de silício.

Foi usado o laser 785nm com potência de 100 mW posicionadas no ponto desejado da amostra. Os espectros serão analisados em espaço de comprimento de onda de 600 a 1800  $\text{cm}^{-1}$  com amostras aplicadas no *Alum pans & covers* com 20uL de cada uma sendo secas e úmidas.

## RESULTADOS

Nos primeiros ensaios as amostras não centrifugadas foram excitadas com o laser 750nm e analisadas de entre 200 a 600  $\text{cm}^{-1}$ . O espectro gerado pode ser visualizado na figura 1. Observa-se a ausência de linha de base e picos específicos.

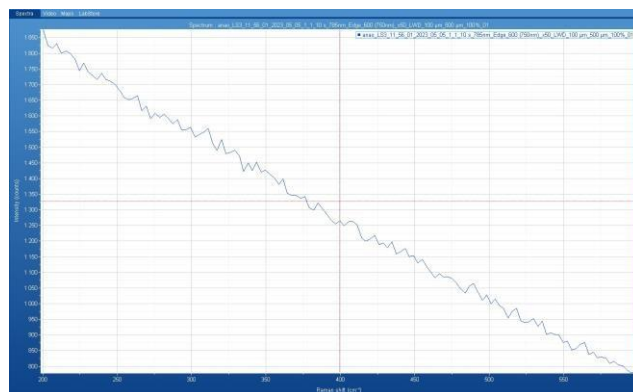


Figura 1. Condição da amostra: líquida não diluída. Espectro adquirido no comprimento de onda de 200 a 600  $\text{cm}^{-1}$  com tempo de aquisição de 10s em quantidade de 10uL sob as *Alum pans*.

Nos seguintes ensaios buscamos nos aprofundar nos conhecimentos da calibração da máquina e em mudar o modo de uso da amostra para seca sob as *Alum pans*. Com isso, obtivemos uma melhora no espectro, mas ainda enfrentando o desafio de ajustar a linha de base. (Figura 2)

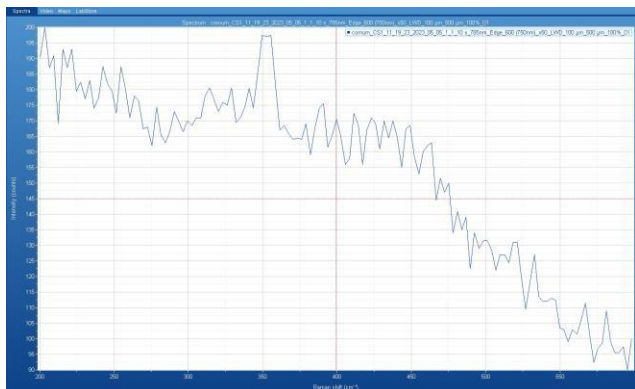


Figura 2. Condição da amostra: seca não diluída. Espectro adquirido no comprimento de onda de 200 a 600  $\text{cm}^{-1}$  com tempo de aquisição de 10s em quantidade de 10uL sob as *Alum pans*.

Nos ensaios que se seguem, fizemos o uso de amostras secas com condições de centrifugação ou não, e a linha de base mais bem ajustada. Com isso, obtivemos picos mais visíveis e mais precisos para o estudo. (Figuras 3 e 4)

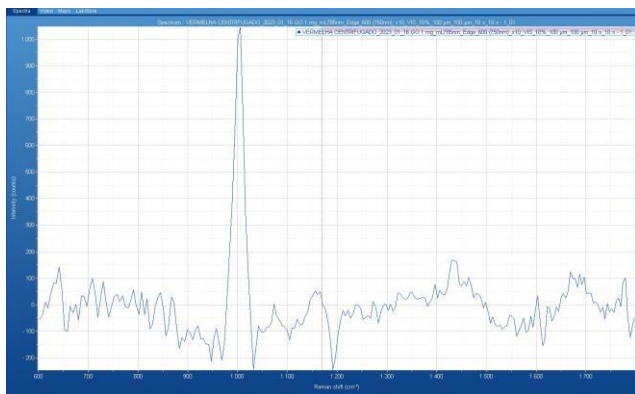


Figura 3. Condição da amostra: seca centrifugada. Espectro adquirido no comprimento de onda de 600 a 1800  $\text{cm}^{-1}$  com tempo de aquisição de 20s em quantidade de 20uL sob as *Alum pans*.

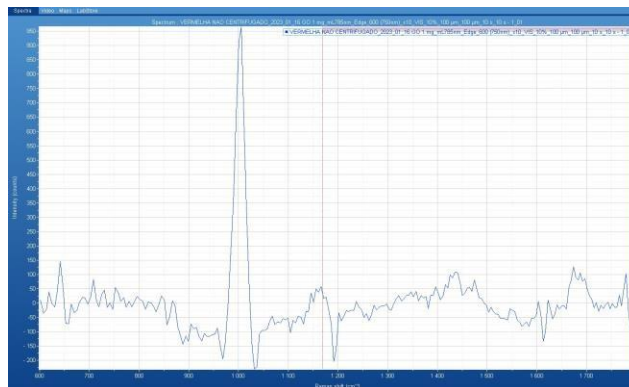


Figura 4. Condição da amostra: seca centrifugada. Espectro adquirido no comprimento de onda de 600 a 1800  $\text{cm}^{-1}$  com tempo de aquisição de 20s em quantidade de 20uL sob as *Alum pans*.

## CONCLUSÕES

Foram vistas semelhanças nos picos próximos ao comprimento de onda de 1000  $\text{cm}^{-1}$  em ambos os espectros de condições diferentes, o que nos leva a pensar que os debrís não influenciam o espectro. Apesar dos avanços obtidos ainda estamos no processo de padronização da técnica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer Statistics, 2020. *CA Cancer J Clin* (2020) 70(1):7–30.doi: 10.3322/caac.21590
- [2] M. Truong, B. Yang, and D. F. Jarrard, "Toward the detection of prostate cancer in urine: a critical analysis," *Journal of Urology*, vol. 189, no. 2, pp. 422–429, 2013.
- [3] CHEN, S.; ZHANG, H.; YANG, X. et al., "Raman Spectroscopy Reveals Abnormal Changes in the Urine Composition of Prostate Cancer: An Application of an Intelligent Diagnostic Model with a Deep Learning Algorithm," *Wiley Online Library*, [s. l.], 2021.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

IPEN/CNEN

# Análise de materiais de referência certificados de ligas metálicas pelo método de ativação com nêutrons

Beatriz Nascimento Silva, Mitiko Saiki e Jesualdo Luiz Rossi  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

## INTRODUÇÃO

As ligas metálicas apresentam inúmeras aplicações nas diversas áreas tecnológicas. Conseqüentemente as determinações de seus elementos são de grande interesse visto que a sua composição elementar pode afetar nas suas propriedades mecânicas, físicas e químicas da liga. Além disso, as análises de ligas são muito requeridas para certificar se o material atende as exigências normativas e suas especificações.

Para o controle da qualidade nas análises de ligas, neste estudo foram analisadas materiais de referência certificados (MRCs) de ligas metálicas para avaliar a precisão e exatidão dos resultados. O método utilizado foi a análise por ativação com nêutrons (NAA) que apresenta vantagens para análise deste tipo de matriz. Dentre estas vantagens estão, principalmente, sua capacidade de análise multielementar e a não necessidade da dissolução das amostras.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi determinar a composição elementar nos materiais de referência certificados (MRCs) de ligas metálicas pelo método de análise por ativação com nêutrons.

## METODOLOGIA

**Materiais:** Os dois MRCs analisados foram; MRC 363 Chromium-Vanadium Steel (Modified) adquirido do National Institute of Standards and Technology (NIST) e MRC BCS/SS No. 464 Austenitic Stainless Steel adquirido da British Chemical Standards ambos na forma de lascas.

**Procedimento da NAA:** Alíquotas de 25 a 40 mg de cada uma das amostras pesados em invólucros de polietileno foram irradiadas junto com os padrões sintéticos de elementos por 8 h e sob fluxo de nêutrons térmicos da ordem de  $4,3 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  do reator nuclear IEA-R1. Para medir a atividade gama induzida nos padrões e amostras foi utilizado um espectrômetro de raios gama constituído de um detector HGe acoplado ao analisador digital de espectros ambos da marca Canberra. Foram realizadas pelo menos duas séries de medidas para diferentes tempos de decaimento. Nos espectros gama, os radionuclídeos foram identificados pelas energias dos raios gama e meias vidas e as frações mássicas de elementos foram calculadas pelo método comparativo [1].

## RESULTADOS

Os resultados da TABELA 1 do MRC 363 indicam boa precisão com desvios padrão relativos entre 3,3 a 8,9 %, com exceção do Ni. O resultado menos reprodutível foi obtido para Ni, devido este elemento não apresentar características favoráveis para NAA. No caso, o Ni foi determinado pela medida da atividade do  $^{58}\text{Co}$  formado na reação nuclear  $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ . A comparação dos resultados obtidos com os valores do certificado mostra uma boa concordância dos resultados com erros relativos (ER) variando de 2,0 a 12,6% com exceção do Sb que apresentou ER de 15,4 % devido ao seu baixo teor na amostra.

Na TABELA 2 estão os resultados das análises do MRC BCS/SS No. 464 Austenitic Stainless Steel. de duas determinações

TABELA 1. Frações Mássicas de Elementos Obtidos no MRC 363 Chromium-Vanadium Steel (Modified) e Valores do Certificado

Elementos	F± DP	DPR, %	ER, %	Valores do Certificado [2]
As, mg kg <sup>-1</sup>	102,0 ± 7,3	7,1	2,0	100 ± 10
Co, mg kg <sup>-1</sup>	419,4 ± 13,8	3,3	12,6	480 ± 10
Cr, %	1,238 ± 0,056	4,6	5,5	1,31 ± 0,01
Fe, %	91,9 ± 3,2	3,5	-	(94,4)
Ni, mg kg <sup>-1</sup>	3104 ± 795	25,6	3,5	3000 ± 100
Sb, mg kg <sup>-1</sup>	16,9 ± 1,5	8,9	15,4	20 ± 10
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	230,2 ± 19,6	8,5	-	(4)

F± DP = Fração mássica média e desvio padrão de quatro determinações; DPR = Desvio padrão relativo; ER= Erro relativo. Valores entre parênteses indicam dados informativos.

TABELA 2. Frações Mássicas de Elementos Obtidos no MRC BCS/SS No. 464 Austenitic Stainless Steel e Valores do Certificado

Elementos	F± DP	DPR, %	ER, %	Valores do Certificado [3]
As, mg kg <sup>-1</sup>	31,5 ± 4,9	15,6	5,0	30 (4,5) (a)
Co, mg kg <sup>-1</sup>	538,9 ± 11,9	2,2	2,0	540(14,1)
Cr, %	24,5 ± 0,3	1,1	4,5	25,7 (0,067)
Fe, %	50,8 ± 1,9	3,7	-	-
Ni, %	20,67 ± 0,14	0,7	0,14	20,7 (0,045)
Sb, mg kg <sup>-1</sup>	4,30 ± 0,33	7,7	-	-
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	157,0 ± 9,1	5,8	-	-

F± DP = Fração mássica média e desvio padrão de duas determinações. (a)- Valores entre parênteses são de desvios padrão calculados usando resultados individuais do certificado.

Na TABELA 2, verifica-se uma boa reprodutibilidade dos resultados obtidos com desvios padrão variando de 0,7 a 15,6 %. Com relação à exatidão os dados indicam também uma boa concordância com os valores do certificado com percentagens de erros relativos inferiores a 0,14%.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos MRCs apresentaram, de maneira geral, uma boa exatidão e precisão indicando a viabilidade da aplicação do procedimento utilizado neste trabalho na análise de ligas metálicas.

Os resultados menos exatos obtidos para Co e Sb no MRC 363, se deve

provavelmente aos seus baixos teores na amostra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] De Soete, D; Gijbels, R; Hoste, J. Neutron activation analysis, Wiley-Interscience, 1972.
- [2] National Institute of Standards and Technology. Certificate of Analysis. SRM 363 Chromium-Vanadium Steel (Modified), 2012.
- [3] British Chemical Standards. Certificate of Analyses BCS/SS No. 464 Austenitic Stainless Steel, (s.d).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e IPEN.

# Caracterização microbiológica de rejeitos radioativos provenientes do acidente de Goiânia

Beatriz Tossatto Pires Ruivo e Regina Affonso  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O desastre radiológico ocorrido em Goiânia, Brasil, em setembro de 1987, resultou da manipulação inadequada de uma fonte radioativa de Cloreto de Césio-137, levando à contaminação de várias pessoas e locais. A exposição à radiação gama emitida pelo Césio-137 acarreta riscos graves à saúde, incluindo danos ao DNA e risco de câncer.

O incidente enfatiza a importância da gestão adequada de materiais radioativos e as consequências potencialmente devastadoras de sua negligência. Após o desastre, a descontaminação envolveu a remoção e limpeza de áreas contaminadas. Os resíduos radioativos foram armazenados seguindo rigorosas normas de segurança do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), sob supervisão da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).[1]

## OBJETIVO

Este projeto busca analisar o impacto da exposição prolongada a radiação em bactérias isoladas por 30 anos, em caixas contendo rejeitos radioativos de papelão e celulose, avaliando sua capacidade de degradar celulose e seu potencial para remediação ambiental. Além disso, visa buscar estratégias mais sustentáveis de descontaminação, utilizando os princípios da biorremediação.[9]

## METODOLOGIA

Este projeto visou coletar amostras de resíduos radioativos, selecionando 10 caixas do Serviço de Gestão de Rejeitos Radioativos. As amostras foram analisadas

quanto à radiação e tratadas com cuidado. O isolamento bacteriano ocorreu em meio de cultura LB ágar, com as colônias registradas, fotografadas e isoladas para análise. A caracterização envolveu a coloração de Gram, identificando as bactérias quanto a composição de sua parede celular. A degradação de celulose foi testada em meio contendo Carboximetilcelulose, com placas sendo incubadas, lavadas e coloridas com Congo Red para detecção de degradação. Análises futuras estão planejadas, incluindo testes cinéticos e bioquímicos, para entender melhor a ecologia bacteriana e seu potencial na biorremediação de resíduos radioativos.

## RESULTADOS

O material para análise foi coletado e destes foram isoladas 74 bactérias, estas foram armazenadas em freezer - 80°C constituindo o primeiro banco de germoplasma bacteriano.

Quanto a caracterização deste banco, os resultados preliminares revelam que 38,18% das bactérias presentes nos rejeitos são Gram-positivas e 61,81% são Gram-negativas. A hipótese é que a maior espessura da parede celular das bactérias Gram-negativas pode ter contribuído para a maior abundância dessa comunidade no meio, considerando o período de mais de 30 anos de isolamento. Além disso, um próximo passo do projeto envolverá a avaliação do potencial de degradação dessas bactérias através de um experimento de cinética. Nesse experimento, as bactérias serão monitoradas ao longo de uma semana (168 Horas) para analisar seu crescimento



bacteriano e sua capacidade de degradação da celulose, proporcionando uma compreensão mais profunda de suas características e atividades metabólicas.

## CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos conclui-se que a presença de uma diversidade de espécies de bactérias, que se desenvolveram durante o período de 30 anos, muito provavelmente utilizara como fonte de nutrientes a celulose, originária do material contidos nas caixas isoladas do meio externo. As análises da cinética de degradação que serão realizadas poderão confirmar essa premissa.[2]

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Goiânia. IAEA, VIENNA, 1988

[2] Liang, Y-L; Zhang, Z.; Wu, M; Wu, Y; Feng, J-X. Isolation, Screening, and

[3] Identification of Cellulolytic Bacteria from Natural Reserves in the

[4] Subtropical Region of China and Optimization of Cellulase Production by

[5] *Paenibacillus terrae* ME27-1 BioMed Research International, Open

[6] PAGANINI, Thais Pires Martins. Identificação e verificação de atividade celulolítica de microrganismos isolados de compostagem. 2016. Universidade Federal de São Paulo

[7] Smith, R.B.; Tessaro, A. P. G.; Rolindo, N. C.; Vicente, R. Further

[8] Analysis of the Unburied Goiania Accident Packages. Proceedings of the Waste Management Symposium, Phoenix, Arizona, 3-7 March, 2019.

[9]- TEATHER, R. M.; WOOD, P. J. Use of Congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 43, n. 4, p. 777–780, 1982. (UNIFESP), 2016.

[10] Tessaro, A.P.G.; Araujo, L.G.; Silva, T.T.; Coelho, E.; Corrêa, B.; Rolindo, N.C.; Vicente, R. Prospects for fungal bioremediation of unburied waste packages from the Goiânia radiological accident.

[11] *Environmental Science and Pollution Research* volume 30, pp. 41045–41059 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25247-7>

[12] Tessaro, A. P. G.; Geraldo, B.; Souza, D. C. B.; Smith, R. B.; Vicente, R. Opening the Goiânia Accident Unburied Waste Packages. Proceedings of the Waste Management Symposium, Phoenix, Arizona, 18-22 March,

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

IPEN e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

# Descolamento de laminados cerâmicos com *laser* de Er: YAG: análise de esmalte dental por MEV

**Bruna Martins dos Santos e Denise Maria Zezell**  
**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

As peças cerâmicas são utilizadas na odontologia há mais de meio século, a fim de oferecer aos pacientes adequada reabilitação oral e promover a estética do sorriso. Assim, sua constante evolução e utilização permitiu o desenvolvimento de materiais cada vez mais estéticos e com maior durabilidade<sup>1,2</sup>.

No entanto, alguns casos exigem remoção de tais restaurações e para isso pode-se utilizar *lasers* de alta potência, como o Er:YAG<sup>3</sup>.

Desta maneira, o conhecimento das possíveis alterações estruturais de esmalte dental, ocasionadas pelos diferentes parâmetros de irradiação, é necessário para a adequada utilização do *laser* e promoção de protocolos seguros para utilização clínica.

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a análise morfológica do esmalte dental humano após remoção de laminados cerâmicos de Dissilicato de Lítio, bem como o padrão de fratura, utilizando o *laser* de Er:YAG em diferentes parâmetros por meio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

## METODOLOGIA

Foram preparadas 120 amostras de esmalte dental humano e cimentadas às peças cerâmicas.

Posteriormente divididas em grupos de acordo com os diferentes parâmetros utilizados:

- Grupo 1: 4W, 200mJ e 20Hz
- Grupo 2: 5W, 250mJ e 20Hz

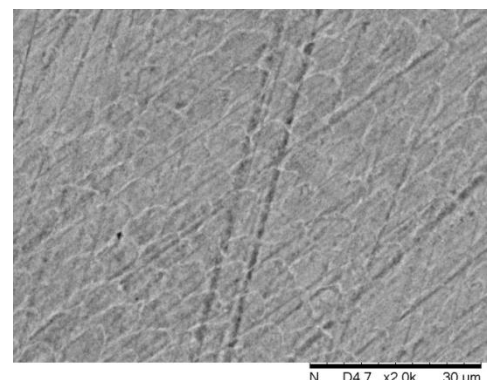
Assim, as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura foram feitas.

## RESULTADOS

Através das imagens registradas com aumento original de 500X, 1000X e 2000X obteve-se os seguintes resultados:

- Sob a superfície dental e cerâmica há resquícios de cimento;
- A cerâmica foi removida por completo;
- Fratura do tipo adesiva (em interface do cimento resinoso);

Figura 1. Imagem representativa de esmalte dental com prismas visíveis em aumento original de 2000X antes da cimentação e irradiação.



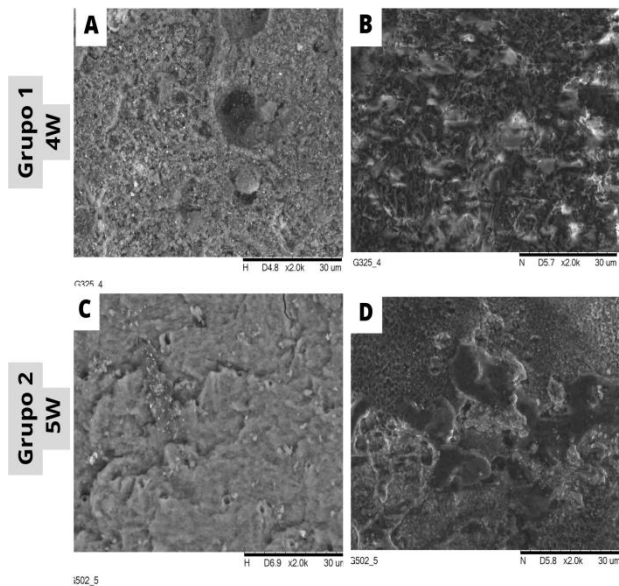


Figura 2. Imagens representativas em aumento original 2000X. Imagem A e C: superfície de esmalte após cimentação e irradiação; B e D: superfície dos laminados cerâmicos após cimentação e irradiação.

## CONCLUSÕES

A remoção de laminados cerâmicos por meio de laser Er: YAG se mostra eficaz e seguro, não havendo alterações morfológicas significativas no esmalte dental depois da irradiação nos diferentes protocolos utilizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eduardo, C.P Fundamentos de Odontologia - Lasers em Odontologia. Guanabara Koogan, 2010.
- [2] Giraldo-Cifuentes, H., España-Tost, A., & Arnabat-Dominguez, J. Er,Cr:YSGG Laser in the Debonding of Feldspathic Porcelain Veneers: An In Vitro Study of Two Different Fluences. Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery, 38(10), 640–645, 2020
- [3] van As G. Erbium lasers in dentistry. Dental clinics of North America, 48(4), 1017–viii, 2004

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq INCT-INTERAS (406761/2022-1), CNPq INCT-INFO (465763/2014-6); CNPq Sisfoton (440228/2021-2), CNPq PQ (314517/2021-9); CAPES Finance code 001. IPEN/CNEN

# Desenvolvimento de membranas poliméricas para aplicação em células combustíveis.

Carolina Fernanda Alvarinho Sepulbeda e Elisabete Inácio Santiago  
IPEN/CNEN

## INTRODUÇÃO

As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem a energia química (hidrogênio) e um oxidante (oxigênio) diretamente em energia elétrica, calor e água. As células a combustível são consideradas uma alternativa promissora às tecnologias tradicionais de geração de energia baseadas em combustão porque são mais eficientes, produzem menos emissões e podem operar em diferentes temperaturas [1, 3]. As membranas de troca aniônica (AEM) permitem a passagem de íons aniônicos e são formadas por polímeros-base não fluorados, parcialmente fluorados ou totalmente fluorados, como PE (polietileno) e o ETFE (poli(etileno-co-tetrafluoroetileno)). [2].

As membranas de troca aniônica são uma alternativa promissora para o desenvolvimento de eletrólitos mais eficientes para as células a combustível alcalinas (AFCs) [3].

## OBJETIVO

O projeto de Iniciação Científica tem como objetivo principal o aprendizado básico de técnicas de laboratório para o desenvolvimento de ionômeros sólidos baseados em filmes poliméricos não fluorados e fluorados por enxertia de monômero de VBC via pré-irradiação e irradiação simultânea e a funcionalização com TMA, visando sua aplicação em eletrodos de difusão de gases de células a combustível alcalinas.

## METODOLOGIA

Os componentes ionoméricos foram obtidos a partir das membranas-base de ETFE e LDPE (polietileno de baixa densidade) por pré-irradiação por feixe de elétrons e irradiação simultânea usando fonte de raios gama a partir de uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ , sendo possível avaliar o efeito do monômero VBC e seus agentes de funcionalização, como o TMA. Para analisar a eficiência da membrana, foram feitas caracterizações para o estudo das propriedades térmicas (TGA e DSC), ensaios mecânicos para analisar a resistência, tenacidade e deformação (INSTRON) e a avaliação dos agrupamentos incorporados no polímero-base (RAMAN).

## RESULTADOS

No equipamento Instron, foi analisado 3 amostras enxertadas com VBC com doses de irradiação diferentes, LDPE Puro (figura 1), LDPE 10kGy (figura 2) e LDPE 20kGy (figura 3). Observa-se que com o aumento da dose de irradiação, o polímero suporta uma tensão de estresse levemente maior.

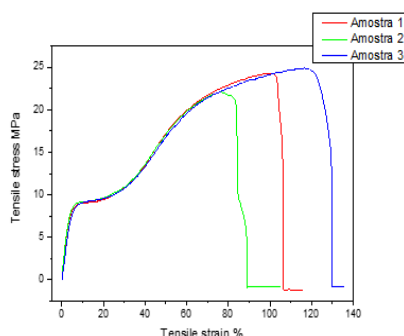


Figura 1 - Amostras de LDPE Puro.

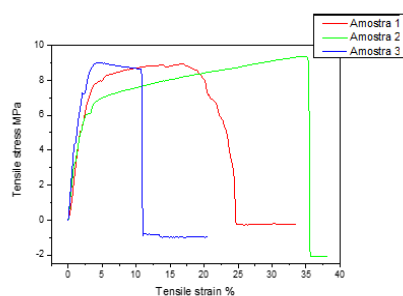


Figura 2 - Amostras de LDPE 10kGy enxertados com 234-VBC.

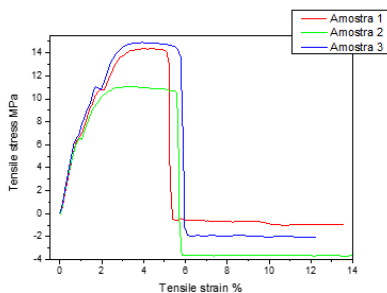


Figura 3 Amostras de LDPE 20kGy enxertados com 234-VBC.

## CONCLUSÕES

Nos ensaios mecânicos realizados na INSTRON, foi possível observar que o filme se adaptou melhor com a dose de irradiação mais alta, pois suportou uma tensão de estresse maior. O LDPE puro possui valores maiores de alongamento até ocorrer a ruptura, isso ocorre porque com a modificação da cadeia polimérica, o material pode se tornar mais rígido. As variações experimentais também podem ocorrer por fatores relacionados ao manuseio e corte das amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]MAMLOUK, M.; HORSFALL, J. A.; WILLIAMS, C.; SCOTT, K. Radiation grafted membranes for superior anion exchange polymer membrane fuel cells performance. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319912012608> Acesso em 21 jul 2023.

[2]HREN, M.; FAKIN, D.; KLEINSCHEK, S. K.; GORGIEVA, S. Alkaline membrane fuel cells: anion exchange membranes and fuels. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/se/d0se01373k#!> Acesso em 21 jul 2023.

[3]CHENG, J.; HE, G.; ZHANG, F. A mini-review on anion Exchange membranes for fuel cell applications: stability issue and addressing strategies. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319915009283>. Acesso em 21 jul 2023.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agência Internacional de Energia Atômica, RC 23708, IPEN/CNEN e CNPq

# Investigação de óxidos multiferróicos do tipo dupla perovskita La<sub>2</sub>TMnO<sub>6</sub> (T= Cr, Co e Ni)

Erick Syuffi Lagedo e Artur Wilson Carbonari  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

## INTRODUÇÃO

Multiferróicos são materiais que exibem ordenamento magnético e ferroeletricidade, com acoplamento magnetoelétrico (ME), ou adicionalmente ferroelasticidade (histerese tensão-deformação) [1, 2]. Os materiais multiferróicos ME ideais, são aqueles que têm uma polarização espontânea intensa associada a uma magnetização intensa, de modo que, invertendo a polarização do primeiro, a magnetização do último pode ser invertida e vice-versa, podendo trocar um bit de informação ao longo da direção de magnetização simplesmente aplicando um campo elétrico. No entanto, os multiferróicos ferromagnéticos são escassos e muito mais incomum é um multiferróico ferromagnético à temperatura ambiente [3]. Um óxido de perovskita muito estudado é LaMnO<sub>3</sub>, um dielétrico que ordena antiferromagneticamente a 140 K [4]. As propriedades exóticas de LaMnO<sub>3</sub> associadas com spin, carga e orbital o ordenamento estimulou a investigação de um tipo específico de doping, denominado dupla perovskita com dois cátions no local B, com a fórmula química La<sub>2</sub>TMnO<sub>6</sub>, onde T geralmente são metais de transição da família 3d, como Ti, V, Cr, Fe, Co ou Ni [5]. O comportamento dielétrico ferromagnético próximo à temperatura ambiente desta família de óxidos abre a possibilidade de aplicações tecnológicas [6].

## OBJETIVO

Caracterizar e investigar os óxidos multiferróicos La<sub>2</sub>TMnO<sub>6</sub> (T = Cr, Ni, Co) por meio das técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura.

## METODOLOGIA

As amostras dos óxidos tipo dupla perovskitas foram realizadas pelo método sol-gel. Neste método que é utilizado o gel, a solução é solidificada como um todo em vez de precipitar ou evaporar para produzir sólidos, passando por processos de calcinação, tratamento térmico em atmosfera controlada (de oxigênio, nitrogênio ou argônio). Após sua confecção, as amostras foram analisadas por difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), permitindo verificar a estrutura cristalina, composição, homogeneidade, distribuição dos grãos e caracterização de defeitos.

## RESULTADOS

1) Difração de Raios-X: Realizando uma calcinação a 500°C por 2 horas do composto La<sub>2</sub>NiMnO<sub>6</sub>, seguido de um tratamento térmico, obteve-se a formação da fase desejada, como é visto na Figura 1:

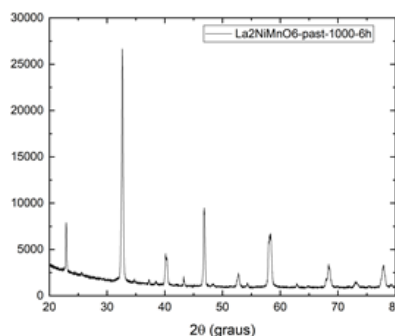
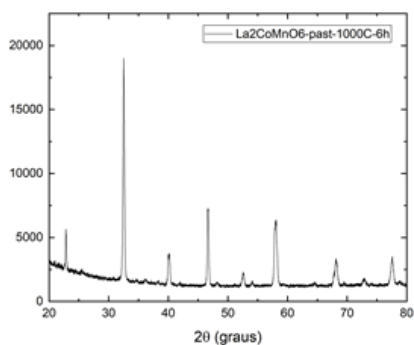
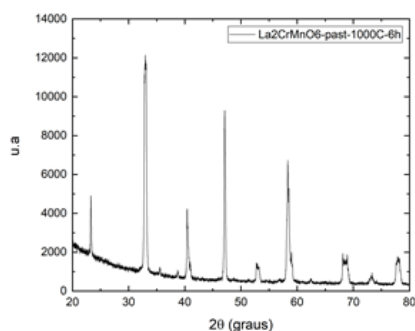


Figura 1. tratamento térmico em 1000°C por 6 horas do composto La<sub>2</sub>NiMnO<sub>6</sub>.

De forma análoga, o mesmo ocorreu para os compostos La<sub>2</sub>CrMnO<sub>6</sub> (Figura 2) e La<sub>2</sub>CoMnO<sub>6</sub> (Figura 3):



**Figura 2. Padrão de difração do composto La<sub>2</sub>CoMnO<sub>6</sub> após o tratamento térmico em 1000°C por 6 horas.**



**Figura 3. Padrão de difração do composto La<sub>2</sub>CrMnO<sub>6</sub> após o tratamento térmico em 1000°C por 6 horas.**

2) Microscopia eletrônica de varredura: A imagem de microscopia eletrônica realizada no composto La<sub>2</sub>CoMnO<sub>6</sub>, mostrou uma superfície porosa, dificultando a identificação correta das partículas.

Para o composto La<sub>2</sub>CrMnO<sub>6</sub>, formou-se um aglomerado de partículas.

## CONCLUSÕES

É visível que foi realizado de forma eficiente a síntese dos e caracterização dos compostos de La<sub>2</sub>TMnO<sub>6</sub> e foi encontrado, depois de diversos testes, o melhor procedimento para a formação dos materiais desejados a partir do método sol-gel.

Embora as imagens de microscopia eletrônica mostraram que os compostos do tipo dupla perovskitas possuem uma superfície porosa, dificultando a medição do tamanho das partículas, os resultados de DRX mostraram que o método sol-gel é eficaz para a formação desses compostos.

Por fim, destaca-se a importância da continuação deste trabalho utilizando outras técnicas como microscopia de transmissão e análise térmica para melhor explorar as propriedades dessa classe de materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Prellier, M. P. Singh, P. Murugavel, The single-phase multiferroic oxides: from bulk to thin film. *J. Phys.: Condens. Matter* 17, R803 (2005).
- [2] N. A. Spaldin, S.-W. Cheong, R. Ramesh, Multiferroics: Past, present, and future. *Physics Today* October, 38-43 (2010).
- [3] J. F. Scott, Room-temperature multiferroic magnetoelectrics. *NPG Asia Mater.* 5, e72 (2013).
- [4] J. Töpfer, J. B. Goodenough, LaMnO<sub>3</sub>+δ Revisited. *J. Solid State Chem.* 130, 117-128 (1997).
- [5] H. Chen, A. Millis, Antisite defects at oxide interfaces. *Phys. Rev. B* 93, 104111 (2016).
- [6] H. J. Zhao, W. Ren, Y. Yang, J. Iniguez, X. M. Chen, L. Bellaich, Near roomtemperature multiferroic materials with tunable ferromagnetic and electrical properties. *Nature Commun.* 5, 4021 (2014).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

IPEN e CNPq.

# Experiências práticas na gestão e valorização de resíduos NORM. Estudo de caso da produção de óxido de titânio

Fernanda Yuri Muta e Barbara Paci Mazzilli  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

Em 2019, o Brasil produziu 145 milhões de toneladas de concentrado de titânio (equivalente a 90 milhões de toneladas de  $TiO_2$ ), correspondendo a 1,2% da produção mundial, classificando-se como o maior produtor da América Latina (Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020).

Urge a preocupação crescente com o destino dos resíduos produzidos por essa indústria, a geração desses resíduos sólidos não faz parte de uma proposta de reutilização ou reciclagem eficaz, a fim de agregar valor ao Ciclo de Vida  $TiO_2$ . Para minimizar o impacto ambiental da quantidade de MNR (minério não reagido) depositado, é necessário oferecer alternativas para o reuso seguro, transformando esse resíduo em um coproduto.

Uma delas é a utilização do resíduo MNR misturado na fabricação de materiais de construção. Entretanto, tal uso somente é possível se a concentração de atividade dos radionuclídeos do produto apresentar valores abaixo dos níveis de isenção e as doses nos indivíduos do público forem triviais (IAEA Management of NORM Residues, 2013).

## OBJETIVO

O presente trabalho visa avaliar as implicações radiológicas da utilização do resíduo da produção de  $TiO_2$  como componente de materiais de construção civil. Para tanto será determinada a concentração de atividade dos componentes do material de construção (blocos, argamassa, concreto, etc) e sua viabilidade para aplicação.

Assim, possibilitando o uso de um material de construção que reduza o consumo de matérias primas naturais, reaproveite um

resíduo industrial, reduza a emissão de gases estufa e, concomitantemente, apresente um desempenho igual ou superior ao do cimento atualmente empregado, com baixo custo de produção.

## METODOLOGIA

A concentração de Ra-226, Ra-228, Pb-210 e K-40 nas amostras de MNR, cal, areia e produtos finais com diferentes proporções do resíduo MNR foi determinada por espectrometria gama de alta resolução. Para a determinação da concentração de U-238 e Th-232 foi utilizada a técnica de análise por ativação com nêutrons.

As amostras, secas e peneiradas, foram transferidas para frascos de polietileno de 100 ml, pesadas, seladas e armazenadas por um período de 30 dias para que fosse atingido o equilíbrio radioativo entre os descendentes da série do U-238, especificamente o Ra-226 e seus produtos de decaimento de meia-vida curta. Após o período de armazenamento, as amostras foram medidas por 86000 segundos, em um detector de germânio hiperpuro (HPGe), da Canberra, modelo 747, de 25 % de eficiência relativa e resolução efetiva de 1.8 keV relativa de 1,33 MeV do  $^{60}Co$ , com eletrônica associada e acoplada a um microcomputador. Os espectros gamas obtidos foram analisados com o programa Interwinner 6.0 da Ortec.

Para a determinação do Ra-226, pressupondo-se o em equilíbrio radioativo, foram utilizados os descendentes Pb-214 e Bi-214. A concentração de Ra-226 não foi determinada diretamente por sua transição gama de 186,2 keV em virtude da baixa intensidade (3,29%) e interferência da transição gama de 185,7 keV emitida pelo U-235. Na série do tório, apenas o equilíbrio



entre o Th-232 e o Th-228 é essencial para determinação da concentração de Th-232, que foi determinada a partir das concentrações de seus descendentes Ac-228 e Pb-212. A concentração de K-40 foi determinada diretamente por meio da transição de 1460 keV.

A determinação de U-238 e Th-232 foi avaliada utilizando-se a técnica de análise por ativação neutrônica, que consiste na irradiação das amostras e materiais de referência certificados, em um fluxo de nêutrons de  $10^{12} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , no reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do IPEN e medir a atividade gama induzida em um detector de germânio hiper puro (HPGe).

## RESULTADOS

Na tabela 01 são apresentados os resultados de concentração de radionuclídeos naturais nas amostras de resíduo e materiais convencionais utilizados no preparo dos materiais de construção. Cada resultado representa a média de 5 determinações.

Tabela 01 – Concentração de atividade média de U-238, Ra-226, Pb-210, Th-232, Ra-228 e K-40 (Bq/kg).

AMOSTRA	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K
MNR	538 ±38	1103 ±49	960 ±92	400 ±19	2906 ±136	119 ±28
CAL	11,0 ±1,6	11,4 ±1,0	<11,0	2,1 ±0,3	<6,00	21,7 ±6,0
AREIA	<15,0	3,3 ±0,3	<7,00	5,5 ±3,4	2,9 ±0,5	24,0 ±4,0
CIMENTO	39,0 ±8,8	50,4 ±2,4	54 ±12	14,0 ±2,4	11,6 ±1,4	215 ±17

Após a blendagem, o produto foi submetido à caracterização em amostras de argamassa com diferentes proporções de MNR explicitados na Tabela 2.

TABELA 2 Concentração de atividade média de U-238, Ra-226, Pb-210, Th-232, Ra-228 e K-40 (Bq/kg) em amostras de argamassa contendo 5%, 10% e 15 % de MNR.

AMOSTRA	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K
5% MNR	17,0 ±4,5	19,0 ±1,6	15,0 ±3,7	12,2 ±3,11	26,8 ±2,05	10,6± 2,4
10% MNR	21,0 ±0,00	25,6 ±2,30	19,0 ±5,24	15,4 ±7,4	45,4 ±3,8	14,6± 6,8
15% MNR	23,6 ±4,6	33,0 ±1,9	24,4 ±4,04	18,0 ±5,3	65,6 ±5,5	16,0± 7,0

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se inicialmente a viabilidade da aplicação do resíduo MNR, visto que todas as composições das 3 misturas de diferentes concentrações de MNR apresentaram uma concentração menor do que 1 Bq/g. Entretanto, visando a proteção radiológica e para a gestão segura dos coprodutos é necessário que seja analisado o índice i, que avalia o nível de exposição da população exposta à radiação dentro da moradia construída com esses materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IAEA Management of NORM Residues (IAEA-TECDOC-1712), Vienna, 2013.

Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020, disponível em <https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>

## APOIO FINANCEIRO

IPEN/CNEN e CNPq

# **Mantas nanoestruturadas de álcool polivinílico com papaína para aplicação como curativos cutâneos**

**Gabriel Clem Albuquerque Sasdelli, Ademar Benévolo Lugão e Murilo Alison V. Rodrigues.  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

A cicatrização de feridas na pele requer alternativas de curativos eficazes, com a papaína desempenhando um papel crucial em várias fases desse processo. Curativos desempenham um papel fundamental na proteção das feridas contra agentes externos, variando desde materiais simples, como gazes, até soluções complexas projetadas para intervir ativamente na cicatrização.[1,3] No entanto, é importante destacar um desafio significativo associado à papaína: ela perde sua eficácia curativa quando fica muito tempo em solução ou é submetida a altas temperaturas. Isso representa um problema a ser resolvido, pois a estabilidade da papaína é fundamental para garantir sua eficácia.

A abordagem para tratar essas feridas depende de vários fatores, como a profundidade, o tamanho, a localização e a presença de infecção. No entanto, a escolha apropriada de materiais para curativos é fundamental, exigindo compreensão dos conceitos de cicatrização e da estrutura da pele. Quando a pele é lesada, como por queimaduras, infecções ou traumas, podem ocorrer consequências adversas, como maior suscetibilidade a infecções e perda de funções protetivas.[1,2] Portanto, o desenvolvimento de curativos à base de papaína representa uma abordagem promissora para melhorar a cicatrização de feridas cutâneas, desde que os desafios relacionados à estabilidade da papaína sejam abordados com sucesso.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste projeto, inicialmente, era desenvolver e caracterizar mantas nanoestruturadas de gelatina e/ou PVA com papaína por meio de técnicas de produção de fibras como a fiação por sopro visando a produção de candidatos viáveis a curativos para feridas cutâneas. Com o desenvolvimento do projeto optou-se para a produção de mantas apenas de PVA com a reticulação das cadeias poliméricas por meio da adição de ácido cítrico.

## **METODOLOGIA**

Através de um método chamado “fiação por sopro”, é possível a formação de fibras de dimensões reduzidas. O mesmo, permite, com estas fibras, a formação de mantas estruturadas por estas. Com as obtenções de mantas de PVA, foi possível medir suas solubilidades em relação a cada porcentagem de ácido cítrico adicionado, foram testadas mantas com 5%,10% e 15% de ácido. Porcentagens de ácido são obtidas através de uma relação entre a massa de ácido com a de PVA. Além da solubilidade, foi possível, também, obter dados da reologia das soluções não fiadas.

## **RESULTADOS**

Os resultados deste estudo revelaram que a umidade do ar e a temperatura exercem um impacto significativo na produção de fibras. Em um dia com alta umidade, atingindo um máximo de 88,3%, observou-se uma produção significativamente maior de fibras em comparação a um dia com baixa umidade,

atingindo um máximo de 93,8%. Além disso, as soluções de PVA apresentaram maior viscosidade com o aumento do teor de ácido cítrico, registrando valores de viscosidade de  $0,9 \pm 0,03$  Pa s e  $1,19 \pm 0,07$  Pa s para 0% e 10% de ácido cítrico (em relação à massa de PVA) a uma taxa de cisalhamento de  $21,5$  s<sup>-1</sup>. Essas descobertas oferecem promissoras perspectivas para a ampliação do uso de mantas de PVA reticuladas em diversos tipos de feridas, destacando-se pela sua menor solubilidade em água em composições com maiores porcentagens de ácido cítrico.

## CONCLUSÕES

Em síntese, este projeto teve como objetivo o desenvolvimento e caracterização de mantas de PVA, priorizando a influência da umidade do ar e da temperatura na produção de fibras. Observamos que condições de alta umidade contribuíram para uma produção mais significativa de fibras, enquanto a adição de ácido cítrico às soluções de PVA aumentou a viscosidade, reduzindo a solubilidade em água das mantas.

É importante ressaltar que, embora tenhamos alcançado sucesso na caracterização das mantas, a inclusão da papaína, um componente fundamental para curativos eficazes, ainda não foi realizada neste estudo. No entanto, com base na estrutura e propriedades das mantas estabelecidas, estamos preparados para futuros testes envolvendo a papaína. Esta pesquisa representa um avanço na busca por curativos mais eficazes para pacientes com feridas cutâneas, enfatizando a necessidade de abordar os desafios relacionados à estabilidade da papaína em investigações subsequentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BÖTTCHER-HABERZETH, S.; BIEDERMANN, T.; REICHMANN, E. Tissue engineering of skin. Burns, v. 36, p. 450-460, 2010.

[2] FERREIRA, M. C.; PAGGIARO, A. O.; ISAAC, C.; TEIXEIRA-NETO, N.; SANTOS, G. B. Substitutos cutâneos: conceitos atuais e proposta de classificação. Revista Brasileira de Cirurgia Plástica, v. 26, n. 4, p. 696-702, 2011.

[3] MANDELBAUM, S. H.; SANTIS, E. P. D.; MANDELBAUM, M. H. S.'A. Cicatrização: conceitos atuais e recursos auxiliares - Parte I. Anais Brasileiros de Dermatologia, v. 78, n. 4, p. 393-410, 2003.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

IPEN, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (164386/2022-0, 383121/2023-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (2017/50332-0).

# Impacto da dose efetiva coletiva da população da região do vale do aço em exames de tomografia computadorizada durante a pandemia de covid-19

Guilherme da Rocha Lourenço e Julio Takehiro Marumo  
Instituto de Pesquisas e Estudos Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

Em 2005, o Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos das Radiações Atômicas, um órgão da ONU responsável por estimar periodicamente a dose coletiva da população mundial de todas as fontes de radiação, naturais ou causadas pelo homem, aumentou a dose anual global de exames radiológicos de 0,4 mSv para 1 mSv per capita, principalmente devido ao aumento da prescrição de exames tomográficos. Fatores como repetição de exames radiológicos podem influenciar essa estimativa de dose. [1]

Já em 2011, a UNSCEAR expressou preocupação com o aumento de mais de 100% na dose de radiação da população mundial devido a exames de radiologia, que se tornaram a principal fonte de exposição causada pelo homem. A exposição médica é a maior contribuinte para a dose populacional de fontes de radiação ionizante. Europa e nos EUA mostram um aumento no número de procedimentos médicos envolvendo exames diagnósticos, radiologia intervencionista e procedimentos radiológicos odontológicos. Dados da ANS mostram um aumento significativo no número de exames de TC no Brasil, de 5.981.432 em 2014 para 7.386.876 em 2018. A exposição cada vez maior da população a doses elevadas de radiação ionizante pode representar um potencial problema de saúde pública. O uso indiscriminado desse método diagnóstico pode contribuir para o aumento da dose de radiação das exposições médicas. TC para minimizar os riscos da exposição à radiação ionizante. Portanto, pode-se inferir que o número de TCs realizadas durante a

pandemia aumentou, assim como a dose efetiva coletiva nesse período. Embora órgãos nacionais e internacionais tenham monitorado o uso médico da radiação ao longo do tempo, no Brasil ainda é necessário expandir a coleta de dados para incluir um maior número de serviços médicos e regiões do país. A estimativa da dose efetiva coletiva e os riscos associados a essas doses para a população dependem da associação de fatores como o tipo de exame, a dose de radiação de entrada, a dose efetiva, o sexo, a idade do paciente e o número de exames realizados, entre outros. [2]

## OBJETIVO

Estimar a dose efetiva coletiva da população adscrita à região do Vale do Aço, Minas Gerais, decorrente da exposição médica de pacientes que realizaram o exame de radiologia diagnóstica de Tomografia Computadorizada (TC de Tórax) entre o primeiro semestre de 2019 e comparar com o período pandêmico do COVID-19 em 2020 e no primeiro semestre de 2021.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar informações sobre os equipamentos de TC dos serviços investigados;
- Verificar a frequência de execução do protocolo de TC de tórax, a idade e o sexo dos pacientes da amostra no serviço investigado no período reportado.

- Calcular a dose efetiva do protocolo em cada TC de tórax;
- Calcular a dose efetiva coletiva decorrente das TCs nos serviços investigados e no período do projeto.
- Usar esses dados para estimar a dose efetiva coletiva de base populacional da região.].

## **METODOLOGIA**

Trata-se de um estudo documental e descritivo transversal. A amostra será composta por TCs de tórax realizadas em serviços de radiologia da região metropolitana do Vale do Aço – MG, em 2019, e os resultados serão comparados com os exames realizados entre os meses de junho de 2020 a junho de 2021, considerado o maior número de casos examinados durante a pandemia

## **RESULTADOS**

Como resultados tem-se:

[1]Apresentação de seminário sobre o paper: Dosimetric quantities and effective dose in medical imaging: a summary for medical doctors - Carneiro & Meirelles

[2]Apresentação de seminário sobre o paper: Extrapolating radiation-induced cancer risks from low doses to very low doses - David J. Brenner

[3]Apresentação de seminário sobre o paper: Low-dose extrapolation of health risks: Some implications of uncertainty for radiation protection at low doses - Charles E. Land

[4]Trabalho de revisão bibliográfica acerca do tema de dose equivalente em órgão.

## **CONCLUSÕES**

Portanto, podemos concluir que a estimativa da dose efetiva coletiva da população da

região do Vale do Aço em exames de tomografia computadorizada durante a pandemia de COVID-19 teve um impacto muito maior quando comparado com o impacto gerado por esses mesmos exames em um momento anterior a pandemia. [3]

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] ALVES, F. M. T., CALDAS, L. V. E. Determinação da dose em pacientes submetidos a exames de tomografia computadorizada de abdome em um serviço de radiologia e diagnóstico por imagem Brazilian Journal Of Radiation Sciences,2020.

[2] CORREIA, P. D. Estimativa De Dose Efetiva De Radiação Recebida Por Pacientes Submetidos A Exames De Tomografia Computadorizada E Proposta De Registro De Dose Por Paciente Em Sistema De Informação De Radiologia. Ribeirão Preto, 2013. 54 F. Tese De Mestrado Apresentado À Faculdade De Medicina De Ribeirão Preto Da Universidade De São Paulo. Programa De Pós-Graduação Em Clínica Médica – Investigação Biomédica.

[3] MINISTERIO DA SAUDE. Coronavírus – COVID19: Diretrizes para diagnóstico e tratamento da Covid-19. Brasília, 2020.

[4] UNSCEAR. UNSCEAR'S GLOBAL SURVEY OF RADIATION EXPOSURE - Medical Exposure. 2017

[5] STADNYK, L. et al. Dose eficaz coletiva da radiologia diagnóstica na Ucrânia. Irradiar Dosimetria prot. 2015 Jul;165(1-4):146-9. doi: 10.1093/rpd/ncv121.

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

IPEN/CNEN e CNPq

# DETERMINAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS EM SOLOS EM ÁREAS DO BIOMA CAATINGA INSERIDAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Gustavo Pires Bertaco, Renato Semmler, Paulo Sérgio Cardoso Silva e Bruno Fonseca da Silva

## INTRODUÇÃO

A determinação de radionuclídeos em amostras de solos é crucial para o conhecimento dos níveis de radioatividade ambiental por órgãos competentes, além de servir como ferramenta para estudos geoquímicos. Ao tratar de solos degradados, a região semiárida brasileira possui uma extensa área suscetível à desertificação, podendo os radioisótopos, como os pertencentes às série do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , fornecer um panorama relacionado aos níveis de degradação ocorrentes nesses ambientes [2].

Na literatura, não há registros de informações quantitativas de radionuclídeos em solos de áreas em processo de desertificação no semiárido brasileiro, sendo essa informação de suma importância para uma gestão ambiental eficiente pelas entidades governamentais.

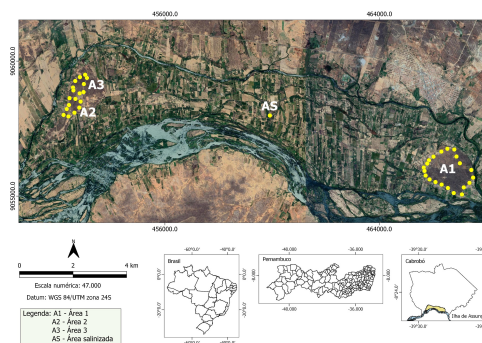


Fig. 1: Mapa de localização da Ilha de Assunção, Pernambuco, Brasil.

## OBJETIVO

Determinar os radionuclídeos da série do  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  em amostras de solo de áreas preservadas e degradadas, sob processo de desertificação no núcleo de desertificação do semiárido brasileiro por Espectrometria Gama de Alta Resolução utilizando detectores de germânio Hiper Puro.

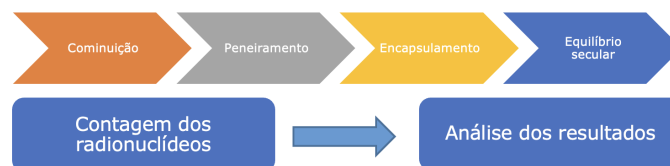


Fig. 2: Fluxograma da metodologia.

## METODOLOGIA

As amostras de solo (total de 120), da camada 00-20 cm, foram coletadas de áreas em diferentes estados de regeneração no núcleo de desertificação do semiárido brasileiro (três de uma área em processo de regeneração da vegetação e uma salinizada) na ilha de Assunção, município de Cabrobó[3], Pernambuco, Brasil (Figura 1), a qual foram preparadas em fracos cilíndricos de polipropileno com diâmetro de 5 cm e altura de 1,5 cm para análises (figura 2).

A respectiva área encontra-se inserida no núcleo de desertificação de Cabrobó. O processo de degradação ocorre principalmente pela utilização do desmatamento para implementação de atividades agrícolas e a utilização da técnica de inundação do solo para a irrigação [4].

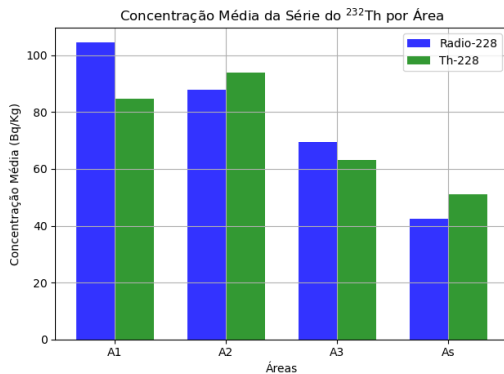
## RESULTADOS

Os resultados (valores médios das 120 amostras) são apresentados na Tabela 1.

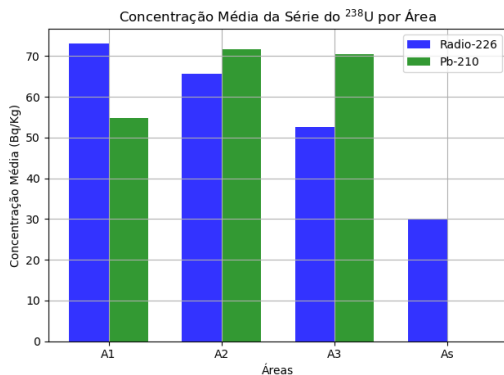
Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentados os gráficos com os radionuclídeos das séries. A figura 3 é do  $^{232}\text{Th}$ , a 4 do  $^{238}\text{U}$  e a 5 do  $^{40}\text{K}$ .

Area	Série do $^{232}\text{Th}$		Série do $^{238}\text{U}$		Série $^{40}\text{K}$
	$^{228}\text{Ra}$	$^{228}\text{Th}$	$^{22}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{40}\text{K}$
A1	104 ± 19	85 ± 17	73 ± 8	55 ± 10	1275 ± 91
A2	88 ± 17	94 ± 20	66 ± 7	72 ± 12	455 ± 34
A3	70 ± 14	63 ± 13	53 ± 6	70 ± 12	327 ± 25
As	43 ± 10	51 ± 9	30 ± 4	< LD	547 ± 41

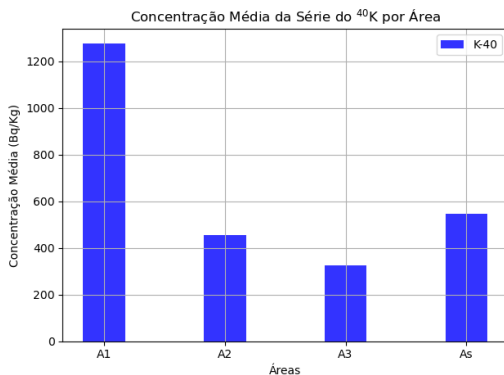
TABLE I: Tabela de concentração e incerteza em Bq/kg. LD = limite de detecção.



**Fig. 3:** Distribuição da série do <sup>232</sup>Th.



**Fig. 4:** Distribuição da série do <sup>238</sup>U.



**Fig. 5:** Distribuição da série <sup>40</sup>K.

Apenas para o K a concentração de atividade é maior em A1. Para o <sup>228</sup>Ra e <sup>228</sup>Th, A1 e A2 estão bem parecidas. Para <sup>226</sup>Ra A1 e A2 são bem parecidas e para <sup>210</sup>Pb A2 e A3 são maiores que A1.

O <sup>40</sup>K apresentou maior concentração em comparação aos demais radionuclídeos para a área em regeneração 1 (A1), bem como com relação à média mundial (400 Bq/Kg) que apresenta um valor 3 vezes menor.

Já o <sup>226</sup>Ra, na área A1 apresenta uma média em torno de 2 vezes a média mundial (35 Bq/Kg), enquanto a área salinizada (AS) apresenta um valor próximo da média

mundial.

Quanto aos demais radioisótopos, foi possível observar que a área AS é a que apresenta os menores valores e mais próximos aos da média mundial [5].

## CONCLUSÃO

Foram quantificados os radionuclídeos das séries de decaimento radioativo do <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th e <sup>40</sup>K em amostras de solo da região do núcleo de desertificação do Cabrobó. Foram observados valores acima da média mundial principalmente nas regiões de regeneração enquanto que a região desertificada apresenta valores mais próximos a essa média.

Os resultados serão avaliados no sentido de avaliar o comportamento dos radionuclídeos diante do processo de desertificação.

## REFERÊNCIAS

- [1] MIRANDA, Márcia Valéria de Fátima da Encarnação Sá. Níveis de CS-137 nos solos florestais de uma parcela permanente de Mata Atlântica. 2017.
- [2] MABIT, L. et al. Assessment of soil erosion and sedimentation: the role of fallout radionuclides. 2014.
- [3] DE SOUSA SILVA, Ivamauro Ailton. Núcleos de desertificação do nordeste brasileiro: suscetibilidade e dinâmica pluviométrica. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 1768-1776, 2017.
- [4] SILVA, Andrezza Karla de Oliveira. Avaliação ambiental do município de Cabrobó-PE, com ênfase aos níveis de degradação da vegetação e biorremediação do solo na ilha de Assunção. 2018.
- [5] United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000, Sources and effects of ionizing radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes United Nations New York.
- [6] GALHARDI, Juliana A. et al. Rare earth elements and radionuclides. In: Emerging Freshwater Pollutants. Elsevier, 2022. p. 309-329.
- [7] ZORER, Özlem Selçuk. Evaluations of environmental hazard parameters of natural and some artificial radionuclides in river water and sediments. Microchemical Journal, v. 145, p. 762-766, 2019.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)  
 Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)  
 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo: 2020/16120-9)

# Fabricação e avaliação de consolidados de pós de ligas de titânio fabricados por fusão seletiva a laser

Gustavo Revoredo Braga, Luis C.E. da Silva e Mauricio D.M. das Neves.  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

## INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão em 3D, é um processo de prototipagem rápida, capaz de fabricar componentes com geometrias complexas e personalizadas [1-2]. Uma técnica usada na MA é a Fusão Seletiva a Laser (FSL) em leito de pó. No processo de FSL um feixe laser incide na superfície da camada de pó, provocando sua fusão e consolidação com a camada anterior de forma sucessiva. A FSL vem sendo usada na consolidação de pós da liga de Ti6Al4V para a área da saúde com vantagens em relação aos processos tradicionais de fabricação.

## OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo é avaliar a influência dos parâmetros de potência e velocidade do feixe laser e tamanho da hachura na consolidação de pós da liga Ti6Al4V por FSL.

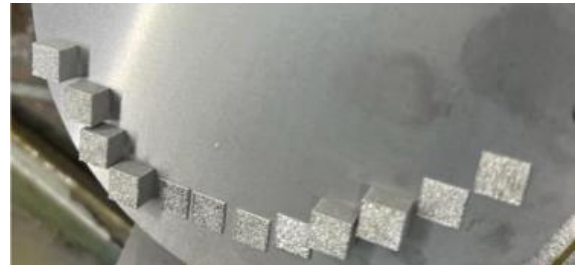
## METODOLOGIA

A matéria prima usada neste estudo, pó da liga de Ti6Al4V, foi adquirida de Guangzhou Sailong Ltd. Foram realizados os ensaios de caracterização física e química do material particulado. Os ensaios efetuados no pó de partida foram: densidade aparente, batida e por picnometria de hélio, área de superfície específica, escoabilidade, fluorescência de raio X e difração de raios X.

A consolidação do pó foi realizada por FSL, no fabricante OmniTek Tecnologia. Foram usados os parâmetros contidos na Tabela 1. Na Figura 1 é vista a imagem das amostras. TABELA 1 - Consolidação da amostra Guangzhou Sailong Ltd.

Cond.	V (mm/s)	P (W)	Hachura. (um)	Espessura. (um)	E (J/mm <sup>3</sup> )	Resultados
1	138	700	60	30	109,52	Consolidado
2	138	900	60	30	85,18	Consolidado
3	179	700	60	30	142,06	Não Consolidado
4	179	900	60	30	110,49	Não Consolidado
5	138	700	70	30	93,88	Consolidado
6	138	900	70	30	73,02	Consolidado
7	179	700	70	30	121,76	Não Consolidado
8	179	900	70	30	94,71	Não Consolidado

Figura 1: Imagem de amostras consolidadas conforme os parâmetros da Tabela 1.



Após consolidar o material foram realizados os ensaios de densidade geométrica, hidrostática. Amostras foram preparadas por técnicas de metalografia (embutimento em resina a quente, lixamento e polimento). Amostras de pós de partida e consolidadas foram analisadas por microscopia. Os pós foram analisados, usado o microscópio eletrônico de varredura - MEV (HITACHI, TM3000). As amostras consolidadas foram analisadas por microscopia óptica - MO (OLYMPUS, BX51M) e com auxílio do programa *ImageJ* foram estimadas as porosidades nas seções paralela e perpendicular, a direção empregada na fabricação por FSL.

## RESULTADOS

Os valores obtidos nos ensaios de densidade aparente ( $D_a$ ), batida ( $D_b$ ) e por picnometria de hélio ( $Ph$ ), além da escoabilidade ( $E_c$ ) estão mostrados na

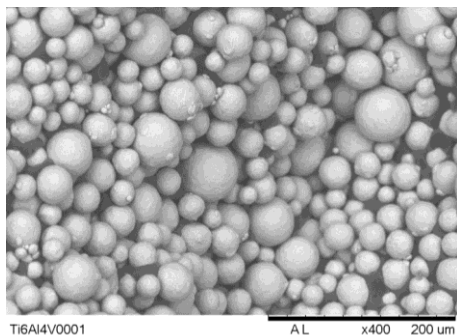


tabela 2. Na figura 2 está apresentada a imagem do pó usado. Observa-se que as partículas eram esféricas e dimensões adequadas para FSL.

TABELA 2 - Propriedades físicas do pó.

Da (g/cm <sup>3</sup> )	Db (g/cm <sup>3</sup> )	As (m <sup>2</sup> /g)	Ph (g/cm <sup>3</sup> )	Ec (Tempo)
2,58	2,94	0,64	4,407	2min27seg

Figura 2: Imagem obtida por MEV do pó.



Na Tabela 3 são apresentados os resultados das densidades, geométrica e hidrostática das amostras consolidadas. A densidade teórica da liga de Ti6Al4V é de 4,43 g/cm<sup>3</sup>. Observa-se que as amostras com potência de 179 Watts não consolidaram, em razão da alta potência usada, o que acarretou em alta quantidade de respingos.

TABELA 3 - Densidades geométrica e hidrostática das amostras consolidadas.

Amostra	Dens. Geométrica (g/cm <sup>3</sup> )	Dens. Hidrostática (g/cm <sup>3</sup> )
1.1	3,812	3,775
1.2	3,802	3,78
2.1	3,584	3,562
2.2	3,641	3,654
5.1	3,613	3,536
5.2	3,804	3,779

Na Figuras 3 são mostradas imagens com a presença de poros (regiões escuras). As imagens obtidas por MO foram ajustadas e processadas pelo programa *ImageJ* e obtida a porosidade, vide Tabela 4.

Figura 3: Imagens obtidas por MO, (a) e (b) seção perpendicular e (c) e (d) seção transversal ao sentido de crescimento.

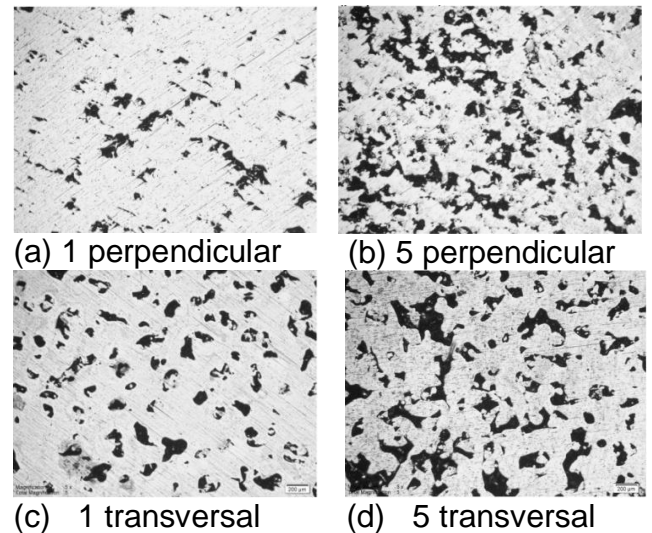


Tabela 4 - Valores de porosidade

Amostra	Valores Médios
1 perpendicular	15,82±1,34
2 perpendicular	28,30±2,64
5 perpendicular	21,74±2,27
1 transversal	7,82±2,09
2 transversal	14,85±4,18
5 transversal	31,67±7,11

## CONCLUSÕES

A partir das propriedades físicas obtidas é possível afirmar que o pó usado é indicado para processamento por FSL.

Nas condições de FSL foi possível obter amostras com densidades de 14 a 20% da densidade teórica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- CHUA, C. K.; WONG, C. H.; YEONG, W. Y. Standards, Quality Control, and measurement Sciences in 3 D Printing and Add. Manuf. Academic Press. 2017. p. (2; 13) [2] - STUCKER, B.; GIBSON, I.; ROSEN, D. Add Manuf Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing Springer-Verlag New York, 2015 p. (2)

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Pesquisa apoiada pela CNPq

# **Apoio no processamento de cargas de agro-resíduos com micro-ondas, para a síntese de óxido de grafeno reduzido**

**Isadora de Almeida Cardoso, Sumair, Gouveia de Araújo e Liliane Landini  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

A purificação de águas residuais, normalmente contaminadas com poluentes orgânicos e inorgânicos, como metais tóxicos, corantes, entre outros, tem estimulado o desenvolvimento de novas tecnologias, com o objetivo de remover estes poluentes encontrados em resíduos líquidos.

Os materiais de grafeno ganharam destaque nos últimos anos, devido à suas excepcionais propriedades eletrônicas, térmicas e mecânicas. O óxido de grafeno (OG) e o óxido de grafeno reduzido (OGr) normalmente são sintetizados a partir de grafite, mas os agro-resíduos (biomassa) também tem sido usados como materiais alternativos, em virtude da grande quantidade de carbono, pelo método de produção a partir de grafite ser complexa, de alto custo e envolver tratamento com produtos químicos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. O OGr, em particular, tem várias aplicações, como em filtros de membrana para purificação de água. Ele é comumente derivado da redução do OG, que é formado quando o grafite é oxidado (geralmente empregado método Hummers e suas modificações).

Conseqüentemente, têm sido explorados métodos ecologicamente mais corretos, a fim de minimizar todos estes impactos. Sendo assim, as micro-ondas (MO) têm sido aplicadas como recurso tecnológico, para reduzir óxido de grafeno. Além disso, os agro-resíduos representam um grande desafio quanto à sua valorização, destinação segura e uso potencial como energia ambientalmente sustentável. Em literatura, são citados o processamento de

óxido de grafite (com baixo custo), esfoliado por micro-ondas, para produção de grafeno de alta qualidade e altamente eficiente, além de avanços na produção assistida por micro-ondas de óxido de grafeno reduzido [1-6].

## **OBJETIVO**

O objetivo geral foi apoiar o processamento de agro-resíduos com micro-ondas, para a síntese de OGr e aplicação posterior em purificação de água.

## **METODOLOGIA**

Neste trabalho, foi empregado bagaço de cana-de-açúcar (coletado na feira local/USP), como agro-resíduo e reagente à base de ferro. O bagaço foi seco ao sol, triturado em forma de pós e separado em diversas granulometrias (30mesh-400mesh).

Os experimentos foram realizados em um forno mufla e na unidade reacional de batelada, com micro-ondas, instalada no IPEN [7], que permite monitoração online de variáveis do processo, como temperatura (°C), pressão (bar), potência de micro-ondas (W), entre outras informações, que ficam disponíveis em telas dedicadas, com históricos das principais ocorrências e gráficos de tendências. O forno mufla foi usado como método comparativo de literatura e da unidade reacional de batelada. Nele, as amostras foram colocadas em cadinhos cerâmicos e os testes foram feitos em pressão atmosférica ou gás N<sub>2</sub> (2 bar), com programação de temperatura de 300°C e tempos de reação de 10min. e 20min. Em ambos equipamentos, os testes foram feitos com

proporções em massa de agro-resíduos e reagente de 5:1. Na unidade reacional de batelada, os testes foram realizados com amostras sob agitação, micro-ondas de 2,45GHz de frequência e potência máxima de 2kW, temperatura até 500°C e tempo de reação até 20min.

As amostras iniciais e os produtos obtidos foram coletados em temperatura ambiente e enviados para análise, por Difração de Raios-X (DRX) e Fluorescência de Raios-X (FRX).

## RESULTADOS

Na Figura 1, podem ser vistas algumas amostras de cana-de-açúcar, após a trituração e classificação granulométrica.



Figura 1 - Amostras de bagaço de cana-de-açúcar trituradas.

Na figura 2, podem ser vistas imagem de amostra final e tela de operação de um teste, com curva de temperatura da amostra indicando máximo de 500°C.

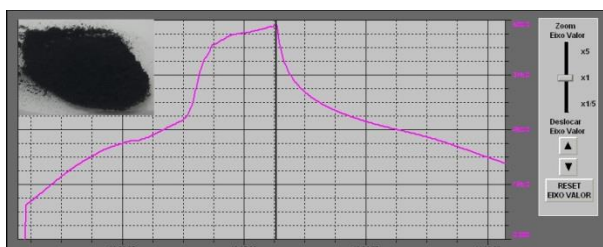


Figura 2 – Vistas da amostra final e tela de operação de temperatura.

Os testes realizados no forno mufla e na unidade reacional de batelada foram bastante reprodutivos. Os resultados de FRX de amostras iniciais indicaram a

presença de grande quantidade de material orgânico (CHNO), 97,5% e pequena quantidade de matéria inorgânica. Isto contribuiu para a observação de baixa percentagem de contaminantes nas amostras finais. As curvas de DRX indicaram a presença de picos de  $2\theta$  em torno de  $26,5^\circ$ , demonstrando a formação de OGr, em diversas amostras.

## CONCLUSÕES

Neste período, foram realizados vários testes, sendo obtido OGr, mas os resultados ainda devem ser melhor investigados, por meio de outros tipos de caracterizações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] WANG, Z.; WU, A.; CIACCHI, L.C.; WEI, G. *Nanomaterials*, vol.8,p. 65, 2018.
- [2] RAMLI, R.; HIDAYAT, R.; IKRAM, M.; MAQSOOD; A. BASHIR, A. *Graphene*, IntechOpen, 2022.
- [3] ZHU, Y.; MURALI, S.; CAI, W.; LI, X.; SUK, J. W.; POTTS, J. R.; RUOFF. R. S. *Adv. Mat.*, 22(35), 3906-3924, 2010.
- [4] FODAH, E.M.; GHOSAL, M.K.; BEHERA, D. *Int. J. of Environmental Science and Technology* 19, p.2195–2220, 2022.
- [5] ZOU, X.; HAO, J.; QIANG, Y.; XIANG, B.; LIANG, X.; SHEN, H. *Journal of Colloid and Interface Science*, V. 565, p. 288-294, 2020.
- [6] XIE, X.; ZHOU, Y.; HUANG, K. *Front. Chem.*, 7, article 355, 2019.
- [7] MOREIRA, E.M.; CARDOSO, M.J.B.; ARAUJO, S.G.; TAKAHASHI, J.; ALENCAR, M.S. *US Patent* 2008/0264934 A1.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Este trabalho foi apoiado pelo IPEN e CNPq.

# Síntese de Nanocompósitos de Óxido de Grafeno e Nanopartículas de prata

Isadora Lopes Rodrigues e Aryel Heitor Ferreira  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
IPEN

## INTRODUÇÃO

Na área biomédica e farmacêutica, o óxido de grafeno (GO) e as nanopartículas de prata (AgNPs) são nanomateriais que têm sido muito explorados pela comunidade científica devido a apresentarem atividade antimicrobiana.

As nanopartículas de prata reagem com os grupos tióis presentes nas paredes celulares das bactérias de forma a rompê-las, combatendo os microrganismos<sup>[1]</sup>. Já o óxido de grafeno atua por outros mecanismos como o stress oxidativo e o comprometimento da integridade das membranas que entram em contato com suas bordas “atomicamente afiadas”<sup>[2]</sup>.

A elevada área superficial do GO e a presença de diversos grupos oxigenados em sua estrutura permitem a adsorção das AgNPs, formando um nanocompósito. Esta combinação revela-se interessante devido a fortalecer a atividade bactericida com o somatório das propriedades dos dois nanomateriais<sup>[3]</sup>.

## OBJETIVO

O objetivo central é a síntese de nanocompósitos de óxido de grafeno (GO) e nanopartículas de prata (AgNPs), utilizando-se de diferentes formulações de AgNPs e diferentes tipos de GO, com o intuito de analisar a melhor condição de ocorrência da adsorção da nanopartícula de prata no substrato de GO.

## METODOLOGIA

Para a síntese das nanopartículas de prata foi escolhido o método da redução química. Foram utilizadas solução de nitrato de prata (precursor), borohidreto de sódio

(agente redutor), com a ausência ou presença de um agente passivante que pode ser acetato de polivinila (PVA) ou polivinilpirrolidona (PVP). Variando-se o tipo de passivante e a temperatura de síntese foram obtidas suspensões de AgNPs distintas. Além disso, vários tipos de óxido de grafeno também foram explorados, com diferenças no precursor de grafite da síntese, grau de oxidação e tamanho de flake.

A preparação dos nanocompósitos foi realizada misturando-se as suspensões de nanopartículas de prata e de óxido de grafeno em um eppendorf, que era agitado em um shaker 2D por no mínimo 48h. Após isso, havia uma etapa de lavagem, e subsequente análise no UV-VIS.

## RESULTADOS

É notável a ausência da banda de AgNP (400 nm) em todas as amostras que envolviam a nanopartícula preparada sem estabilizante, independentemente do tipo de óxido de grafeno que foi utilizado. Além disso, todos os testes realizados com o óxido de grafeno com tempo de oxidação de 3 dias (NGO 3D) também não obtiveram sucesso, pois os espectros indicavam que as nanopartículas ficavam somente na fase do sobrenadante, não havendo adsorção.

Os espectros dos nanocompósitos preparados com as nanopartículas de AgNP PVA e AgNP PVP apresentaram, em todas as combinações, formatos de banda diferentes. Isto é um indício de que o plásmom das nanopartículas estão apresentando diferenças entre si no que diz respeito à tamanho e até mesmo morfologia. Isto é observado nas Figuras 1 e 2 que mostram os espectros dos nanocompósitos preparados com óxido de grafeno com tempo

de oxidação de 22 dias, funcionalizado com aminopropiltriétoxissilano (GO22-APTES).

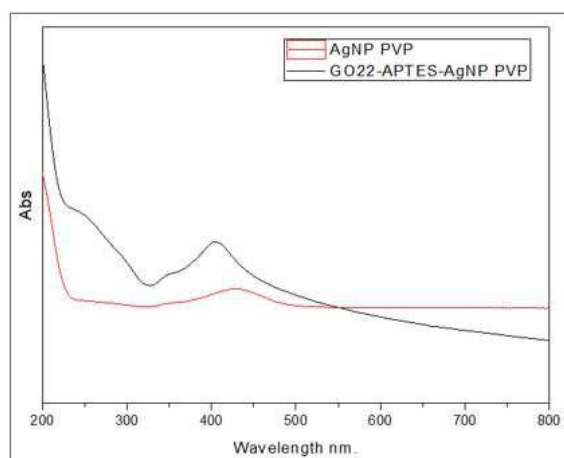


Figura 1: espectros de AgNP PVP (linha vermelha) e do nanocompósito de GO22-APTES-AgNP PVP (linha preta).

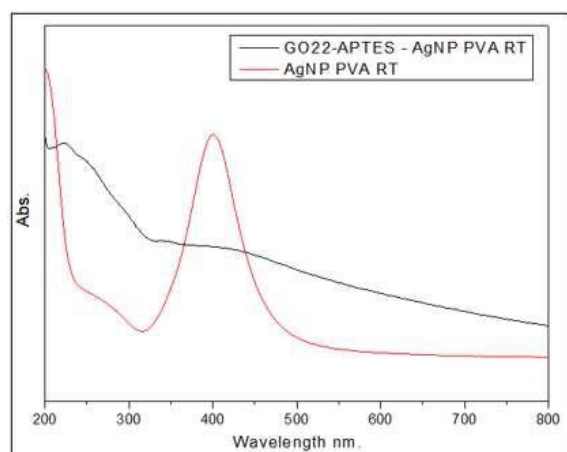


Figura 2: espectros da AgNP PVA RT (linha vermelha) e do nanocompósito de GO22-APTES-AgNP PVA RT (linha preta).

A agitação magnética, em substituição à agitação no shaker 2D, mostrou-se ineficaz, mesmo utilizando recipientes do mesmo material dos eppendorfs e prolongando o tempo de agitação. Outro fator que interferiu na síntese do nanocompósito foi a troca do eppendorf por um falcon de 15 mL: o aumento do comprimento do recipiente de síntese do nanocompósito eleva o grau de adsorção de tal maneira que o material chegou a sofrer precipitação por perda de estabilidade em suspensão. Isto possivelmente se dá pelo fato de a agitação mais vigorosa promover

que as nanopartículas de prata tenham contato com maior parcela da área superficial dos flakes de óxido de grafeno.

## CONCLUSÕES

Com relação à síntese das nanopartículas metálicas é correto afirmar que a presença e o tipo de estabilizante escolhido é determinante no processo de adsorção, além de responsável pela alteração do plásmon das nanopartículas, como observado nos espectros.

O próximo foco da pesquisa se concentra em refinar a escolha do tipo de óxido de grafeno utilizado no nanocompósito, principalmente no que diz respeito ao tamanho de flake. Essa propriedade é fundamental na determinação de como ocorre o processo de oxidação do precursor, estabilidade em suspensão e carga superficial predominante – dessa forma, a atração das nanopartículas de prata pela superfície do material é dependente dessas questões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rai, M., A. Yadav, and A. Gade (2009) Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol. Adv.* 27: 76-83.
- [2] PERREAULT, François; FÁRIA, Andreia Fonseca de; NEJATI, Siamak; ELIMELECH, Menachem. Antimicrobial Properties of Graphene Oxide Nanosheets: why size matters. *ACS Nano*, [S.L.], v. 9, n. 7, p. 7226-7236, 25 jun. 2015. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsnano.5b02067>.
- [3] Gao, N., Y. Chen, and J. Jiang (2013) Ag@Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GO nanocomposites prepared by a phase transfer method with long-term antibacterial property. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 5: 11307-11314.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- IPEN/CNEN

# Determinação de elementos químicos em plásticos pelo método de análise por ativação com nêutrons

Janaina Rocha Ponciano e Mitiko Saiki  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

Os plásticos são considerados poluentes de grande preocupação devido aos efeitos prejudiciais no meio ambiente e na saúde humana. Assim, pesquisas sobre este material têm despertado grande interesse e, dentre estes estudos destaca-se a análise elementar de polímeros para a identificação das suas origens, de seus elementos contaminantes e das impurezas que podem afetar suas propriedades e aplicações. Os materiais poliméricos podem conter elementos tóxicos originários de sua própria síntese ou produção, dos aditivos acrescentados para melhorar as suas propriedades, da adsorção de contaminantes do meio ambiente e da reciclagem.

Face ao exposto, julgou-se de grande importância analisar os materiais poliméricos quanto ao conteúdo dos elementos químicos para a identificação das suas origens que podem ser dos aditivos, da contaminação ambiental ou da sua síntese.

Neste trabalho são apresentados os resultados das análises de material de referencia certificado (MRC) e de três amostras de poli(cloreto de vinila) (PVC) adquiridos pós síntese, determinados pelo método de análise por ativação com nêutrons (NAA).

## OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi aplicar o método de ativação com nêutrons na análise do MRC de polietileno para avaliar a precisão e exatidão dos resultados e analisar amostras de polímero PVC.

## METODOLOGIA

**Materiais:** O MRC analisado foi o BCR-681 Polyethylene (low level), em forma de pellets adquirido da European Joint Research Centre. As três amostras de PVC analisadas designadas de PVC K65, PVC homopolímero e PVC copolímero adquiridas virgens na forma de pó foram analisadas sem nenhum tratamento prévio de limpeza.

**Procedimento da NAA:** Alíquotas de 150 a 230 mg de cada material pesadas em invólucro de polietileno foram irradiadas no reator nuclear IEA-R1, juntamente com os padrões sintéticos de elementos sob fluxo de nêutrons térmicos da ordem de  $4,5 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Os tempos de irradiação de longa duração foram de 8 ou 16h e as de curta foram de 5 a 60s. A medição das atividades gama dos padrões e amostras foi realizada utilizando detector de HGe da Canberra acoplado a um analisador digital de espectro. Foram realizadas pelo menos duas séries de contagens para diferentes tempos de decaimento. Os radioisótopos dos espectros gama foram identificados pela meia vida e energias dos raios gama. Os teores de elementos foram calculados pelo método comparativo [1].

## RESULTADOS

Na TABELA 1, estão os resultados de elementos determinados no MRC BCR-681 juntamente com valores do certificado. Nesta TABELA 1, os valores de  $Z_{\text{score}}$  foram calculados segundo Konieczka e Namiesnik [2]. Os resultados indicam boa precisão e exatidão com DPR e ER inferiores a 14,6% e a 16,5%, respectivamente. Os resultados de  $Z_{\text{score}}$  obtidos foram menores que 2,

demonstrando a boa exatidão dos dados obtidos, segundo o critério [2].

TABELA 1. Frações Mássicas Médias de Elementos (em  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Obtidos no Material de Referência Certificado BCR-681 e Valores da Literatura

Elementos	F $\pm$ DP*	DPR, %	ER, %	Z <sub>score</sub>	Ref [3]
Al	20,1 $\pm$ 2,5	12,6	-	-	(19)**
As	3,54 $\pm$ 0,14	4,0	-9,9	-1,2	3,93 $\pm$ 0,15
Ba	302,4 $\pm$ 6,0	2,0	-	-	(306)
Br	100,1 $\pm$ 5,1	5,1	2,1	0,19	98 $\pm$ 5
Cd	20,7 $\pm$ 1,2	5,9	-4,6	-0,40	21,7 $\pm$ 0,7
Cl	97,9 $\pm$ 8,4	8,7	-4,2	-0,23	92,9 $\pm$ 2,8
Cr	16,38 $\pm$ 0,83	5,1	-7,5	-0,75	17,7 $\pm$ 0,6
Cu	15,3 $\pm$ 2,2	14,6	-	-	(13,6)
Hg	5,24 $\pm$ 0,70	13,4	16,5	0,53	4,50 $\pm$ 0,15
Sb	0,866 $\pm$ 0,056	6,5	-	-	(0,82)
Ti	534 $\pm$ 53	9,9	-	-	(534)

\*F $\pm$ DP - média da fração mássica e desvio padrão de 2 a 5 determinações; \*\* - números entre parênteses indicam valores informativos, não certificados

Na TABELA 2, os resultados de PVC indicam que além do Cl, dependendo da amostra pode conter As, Ba, Br, Cd, Cr e Sb em teores muito baixos da ordem de  $\text{ng g}^{-1}$ . Resultados de Zn variaram de 0,124 a

4,076  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Os resultados de PVC, não apresentaram uma boa reprodutibilidade devido principalmente às baixas quantidades de elementos nas amostras.

TABELA 2. Frações Mássicas Médias de Elementos das Amostras de Poli(cloreto de vinila)

Elementos	PVC K65		PVC Homopolímero		PVC Copolímero	
	F $\pm$ DP	DPR, %	F $\pm$ DP	DPR, %	F $\pm$ DP	DPR, %
As, $\text{ng g}^{-1}$	<b>2,14 <math>\pm</math> 0,26 (*)</b>	-	<b>2,54 <math>\pm</math> 0,19</b>	-	ND	-
Ba, $\text{ng g}^{-1}$	700 $\pm$ 130	18,0	<b>960 <math>\pm</math> 190</b>	-	990 $\pm$ 60	5,7
Br, $\text{ng g}^{-1}$	161 $\pm$ 14	8,9	97,0 $\pm$ 7,1	7,3	368 $\pm$ 44	11,9
Cd, $\text{ng g}^{-1}$	ND	-	<b>310 <math>\pm</math> 44</b>	-	ND	-
Cl, %	62,1 $\pm$ 5,1	8,2	62,4 $\pm$ 4,0	6,4	<b>52,30 <math>\pm</math> 0,76</b>	-
Cr, $\text{ng g}^{-1}$	ND	-	ND	-	46 $\pm$ 11	23,4
Sb, $\text{ng g}^{-1}$	3,23 $\pm$ 0,68	21,1	4,6 $\pm$ 2,4	52,0	2,50 $\pm$ 0,42	16,8
Zn, $\mu\text{g g}^{-1}$	3,92 $\pm$ 0,18	4,5	<b>4,076 <math>\pm</math> 0,046</b>	-	0,124 $\pm$ 0,018	14,7

ND = não detectado; (\*) em negrito itálico - resultado de uma única determinação com valor da incerteza

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram a viabilidade da aplicação da NAA na análise de polímeros, visto que os dados do MRC apresentaram uma boa precisão e exatidão. As amostras de PVC apresentaram As, Ba, Br, Cd, Cr, Sb e Zn em baixos teores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] De Soete, D; Gijbels, R.; Hoste, J. Neutron activation analysis, Wiley Interscience, 1972.

[2] Konieckca, P.; Namiesnik, J. Quality assurance and quality control in the analytical chemical laboratory, CRC Press, 2009.

[3] Lamberty, A.; Van Borm, W.; Quevauviller, P. Fresenius Journal Analytical Chemistry, v. 370, p. 811-818, 2001.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ e IPEN (Projeto Intercentros).

# Determinação de $^{210}\text{Pb}$ em amostras pluviométricas coletadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

Júlia Oliveira Castro e Sandra Regina Damatto  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

## INTRODUÇÃO

Os radionuclídeos naturais estão localizados na superfície terrestre e na atmosfera, majoritariamente pertencentes às séries radioativas naturais do  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  (Paatero *et al.*, 2017). Suas concentrações podem se alterar conforme a localização geográfica, ações antropogênicas e origem geológica dos solos (Huh *et al.*, 2006). Ainda, alguns destes radionuclídeos são empregados como traçadores em estudos ambientais, sendo possibilitada a análise do impacto humano de contaminantes sob os ecossistemas, a exemplo do  $^{210}\text{Pb}$ .

O  $^{210}\text{Pb}$  é um emissor beta com meia-vida de 22,3 anos. A principal fonte de  $^{210}\text{Pb}$  na atmosfera é dada pelo decaimento gasoso do  $^{222}\text{Rn}$  na atmosfera, o qual decai do radionuclídeo  $^{226}\text{Ra}$ , da série  $^{238}\text{U}$  (Peck, Smith, 2000). O  $^{210}\text{Pb}$  retorna à terra como *fallout* seco ou é retirado da atmosfera pela chuva, de modo que o tipo de processo de remoção dependente do clima da região analisada (Winkler e Rosner, 2000).

Em locais onde a quantidade de chuva é baixa, a deposição ocorre por precipitação seca (*fallout* seco), enquanto em locais onde há uma quantidade relativamente maior de chuva, ocorre por precipitação úmida (Winkler e Rosner, 2000), sendo que neste caso, a deposição do  $^{210}\text{Pb}$  por precipitação úmida é justificada por esse radionuclídeo estar presente em partículas de aerossol em modo de acumulação com diâmetro aerodinâmico em uma escala nanométrica ( $1\text{ nm} < 1\text{ }\mu\text{m}$ ) (Paatero *et al.*, 2017). Em geral, a concentração de

atividade do  $^{210}\text{Pb}$  varia conforme os valores dos índices pluviométricos.

Com as deposições do  $^{210}\text{Pb}$ , pode-se calcular suas concentrações de atividade em amostras de água de chuva, de modo que a precipitação atmosférica deste radionuclídeo sobre uma área específica seja constante ao longo do tempo devido a consistência do processo (Huh *et al.*, 2006). Assim, o estudo referente a concentração do  $^{210}\text{Pb}$  permite visualizar sua variação sazonal conforme a quantidade de chuva registrada.

## OBJETIVO

Determinar a concentração de atividade do radionuclídeo natural  $^{210}\text{Pb}$  em amostras pluviométricas coletadas ao longo de dois anos, no campus do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo.

## METODOLOGIA

As amostras pluviométricas foram coletadas nos anos de 2021 e 2022 no campus do IPEN. Após a coleta, a amostra total foi filtrada e acidificada com  $\text{HNO}_3$  a  $\text{pH} < 2$  e concentradas em chapa aquecedora para um volume final de 100 mL, as quais foram divididas em duas alíquotas de 50 mL, diluídas em 1L de água superpura e a concentração de atividade medida do  $^{210}\text{Pb}$  em  $\text{mBq/L}$ . O método analítico para a medida do  $^{210}\text{Pb}$  utilizado foi a medida beta total após separação radioquímica em detetor proporcional fluxo gasoso de baixa radiação de fundo, marca Berthold, modelo LB770.



## RESULTADOS

Na Fig. 1 são apresentados os valores médios de concentração de atividade mensal do  $^{210}\text{Pb}$  em  $\text{mBq L}^{-1}$  e valores médios dos índices pluviométricos em mm, para o período estudado. A concentração de atividade média variou de  $35,8 \pm 3,7 \text{ mBq L}^{-1}$  a  $913 \pm 11 \text{ mBq L}^{-1}$ . Os menores valores de concentração de atividade foram obtidos nos meses de maiores índices pluviométricos e vice-versa, devido ao efeito de diluição da amostra. [3]

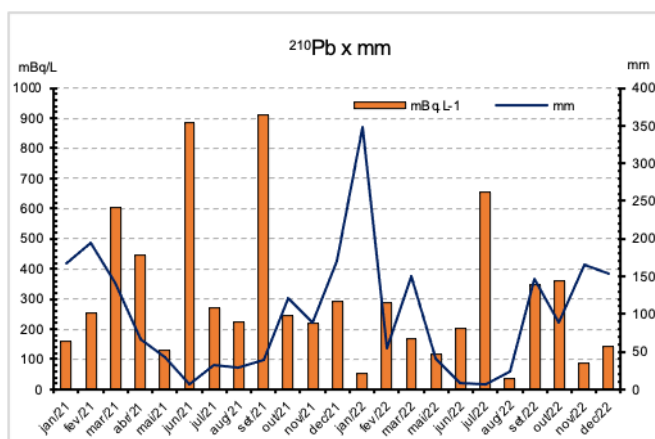


Figura 1: Concentração média de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{mBq L}^{-1}$ ) e índices pluviométricos médios, mm, para o período estudado.

Na Fig. 2 são apresentados os valores médios de concentração de atividade do  $^{210}\text{Pb}$  por estação do ano e os índices médios de pluviosidade.

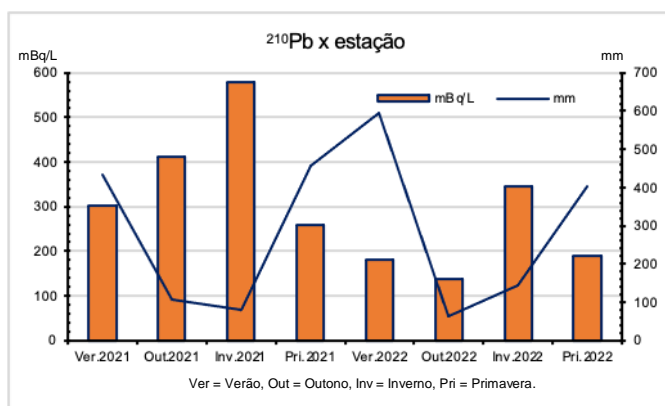


Figura 2: Concentração média de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{mBq L}^{-1}$ ) e índices pluviométricos médios, mm, por estação do ano.

Para todo o período estudado, verificou-se que as maiores concentrações médias de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  foram obtidas nos meses

de inverno, estação que ocorre menos chuvas, o que causa menor diluição da amostra e, conseqüentemente, maiores concentrações de  $^{210}\text{Pb}$ . [3]

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos de concentração de atividade média do radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$ , em  $\text{mBq L}^{-1}$  no período estudado, apresentaram correlação inversamente proporcional com os índices pluviométricos com valores mais elevados na estação inverno devido aos menores volumes de chuva. [2]

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Paatero, J., Ioannidou, A., Ikonen, J., Lehto, J.: Aerosol particle size distribution of atmospheric lead-210 in northern Finland. *J. Environ. Radioact.*, 172, p.10–14, 2017.
- [2] HUH, C. A., SU, C. C., and SHIAU, L. J.: Factors controlling temporal and spatial variations of atmospheric deposition of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in northern Taiwan, *J. Geophys. Res.*, 111, 2006.
- [3] PECK, G.A; SMITH, J.D. Determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in rainwater using measurements of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Bi}$ . 2020. *Anal. Chim. Acta.*, 422, p.133-120, 2020.
- [4] WINKLER, R. & ROSNER, G. Seasonal and long-term variation of  $^{210}\text{Pb}$  concentration in air, atmospheric deposition rate and total deposition velocity in south Germany. *Sci. Total Environ.*, 263, p. 57-68, 2000.
- [5] Mohan, M.P., Souza, R.S.D., Nayak, S.R., Kamath, S.S., Shetty, T., Kumara, K.S., Yashodhara, I., Mayya, Y.S., Karunakara, N.: A study of temporal variations of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  concentrations and their correlations with rainfall and other parameters in the Southwest Coast of India. *J. Environ. Radioact.*, 192, 194–207, 2018.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Ao IPEN e ao CNPq pela bolsa de Iniciação.

# Determinação elementar em amostras de soja utilizando a técnica de análise por ativação com nêutrons

Julia Ponchio Muraro e Iberê Souza Ribeiro Junior  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

## INTRODUÇÃO

A soja ocupa lugar de destaque na economia nacional - segundo informativo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, lançado em junho de 2021, 51,7% das exportações do agronegócio foram devidas ao complexo da soja.

As técnicas mais utilizadas na preparação do solo para o plantio empregam fertilizantes químicos, lodo de esgoto, resíduos industriais e pesticidas [1], que eventualmente, podem promover a elevação das concentrações de Cd, Pb e Hg, que são exemplos de metais tóxicos, e de alguns elementos como As, Cu, Fe e Zn, As que, dependendo da concentração, também exercem efeitos deletérios à saúde humana.

Dessa forma, a aplicação sem controle desses agentes químicos, pode promover o aumento da concentração desses elementos no solo e, conseqüentemente na planta, podendo resultar na inclusão desses elementos na cadeia alimentar.

O manejo biológico é um método alternativo que vem sendo estudado/empregado no cultivo de soja que dispensa o uso de agrotóxicos e pesticidas para a manutenção do bom rendimento do plantio. Nessa metodologia são utilizados agentes biológicos que promovem a solubilização e fixação de micro e macro elementos essenciais para o desenvolvimento da planta sem a necessidade de utilização de pesticidas e agrotóxicos que causam danos ao meio ambiente e consumidores.

A determinação da concentração desses micro e macro elementos requer o uso de

técnicas analíticas com alta sensibilidade, em virtude da presença de elementos em baixas concentrações. Nesse sentido a Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (da sigla em inglês INAA) é uma técnica particularmente adequada pois é capaz de detectar elementos em concentrações muito baixas, na ordem de ppm.

O presente projeto de pesquisa tem como objeto de estudo determinar a presença dos micro e macro nutrientes essenciais para o desenvolvimento da soja presente, nos grãos de soja, em cultivos feitos pelo manejo biológico e os métodos tradicionais utilizando a INAA.

## OBJETIVO

O projeto de pesquisa tem como objetivo principal desenvolver metodologias para a análise de elementos químicos presentes em grãos de soja utilizando a INAA. Comparando os resultados obtidos com os elementos determinados por INAA reportados na literatura.

## METODOLOGIA

As amostras de soja foram previamente trituradas utilizando um liquidificador com lâminas de Ti, após esse primeiro processo de moagem as amostras foram maceradas em um pistilo de ágata até atingir a granulometria adequada. Foi utilizado o método dos quartis para garantir a homogeneização das amostras. Em seguida foram utilizadas alíquotas com aproximadamente 200 mg para a determinação do teor de umidade, para tal

determinação as amostras foram secas em uma estufa com uma temperatura de 80°C até que as amostras apresentassem massa constante.

Para a determinação elementar foram irradiadas alíquotas com aproximadamente 120 mg por períodos que variaram entre 8 e 16 h no reator IEA-R1, sob um fluxo de nêutrons de aproximadamente  $10^{12}$ . A identificação dos radioisótopos presentes nas amostras foi realizada por espectroscopia gama com um detector de germânio Hiperpuro (HPGe).

## RESULTADOS

Nos resultados apresentados na Tabela 1 pode ser verificada a presença de elementos essenciais Mg, Zn e Mn indicando sua absorção pela planta. Na quarta coluna da Tabela 1 são apresentados os valores de concentração de um estudo reportado na literatura por [xx] indicando que a INAA pode ser aplicada em uma etapa futura para a determinação desses elementos em amostras cultivadas pelo manejo biológico e pelos métodos tradicionais de cultivo agrícola para essa leguminosa

TABELA 1 – Elementos determinados nas amostras de soja

Elemento	Energia (keV)	CPS*±In**	Concentração (ppm)
<sup>27</sup> Mg	1014	50,0±0,6	3100±200
<sup>56</sup> Mn	847	66,2±1,1	38±3
<sup>28</sup> Al	1780	9,0±0,3	4±1
<sup>99</sup> Mo	140	0,475±0,030	2
<sup>69</sup> Zn	1115	0,075±0,019	52±6
<sup>24</sup> Na	1368	13,18±0,03	4±1

<sup>60</sup> Co	1332	0,428±0,003	0,24±0,02
<sup>140</sup> La	487	0,046±0,005	NI***
<sup>46</sup> Sc	1121	0,018±0,001	<0,01
<sup>59</sup> Fe	1099	0,053±0,002	NI***

\*CPS=contagens por segundo; \*\*In=Incerteza; \*\*\*NI= Não Informado.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que INAA possui sensibilidade suficiente para se determinar a concentração dos elementos presentes na soja, pois a Tabela comparativa apresentada nesse trabalho mostra que, mesmo os elementos presentes em baixas concentrações foram detectados seguindo os protocolos de análise desenvolvidos nesse estudo.

As metodologias desenvolvidas nesse estudo serão aplicadas em uma próxima etapa para a determinação da concentração dos elementos presentes na Tabela 1 em amostras cultivadas pelo manejo biológico e cultivo convencional que já estão disponíveis para análises.

No entanto, é necessário realizar comparações e estudos metodológicos com a soja do manejo biológico, uma vez que essas análises ainda não foram conduzidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 6. Armelin, M. J. A.; Trevisan, A. R.; Abreu JR, C. H.; Saiki, M. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 278, p. 513-516, 2008.
- [2] Osborn, T. W. J. Abriç. Food. Chem. V. 25, p. 229-232, 1999.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradecimento ao CNPq pela bolsa concedida e ao IPEN/CNEN.

# Biossorção de radionuclídeos em solução aquosa: uma revisão sistemática

Kailaine Abreu Silva Alexandre e Sabine Neusatz Guilhen  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O uso de materiais radioativos pode causar dispersão de partículas radioativas no meio ambiente, gerando diversos problemas ambientais, como a contaminação de ambientes aquáticos<sup>[1]</sup>. Em ambientes urbanos, as maiores preocupações estão ligadas à presença de radionuclídeos das cadeias de decaimento do urânio e tório, com regulações rígidas sobre os valores máximos permitidos no Brasil e no mundo<sup>[2],[3],[4]</sup>. Nesse contexto, os processos de adsorção são considerados atrativos para a remediação de água contaminada por radionuclídeos<sup>[4]</sup>. Os processos de adsorção se baseiam na retenção do material (adsorbato) na superfície do material adsorvente e, em especial, os de biossorção partem da biomassa, material abundante e de baixo custo, para produzir materiais com grande capacidade adsortiva.

Uma pesquisa realizada no dia sete de junho de 2023 na plataforma Google Scholar utilizando os termos “*radionuclide*” e “*biosorption*” retornou, aproximadamente, 12.000 documentos, evidenciando sua importância.

É de suma importância que o conhecimento adquirido até aqui pelos diversos grupos seja devidamente sistematizado, analisando os dados obtidos em um processo de meta-análise que consiga extrair adequadamente as informações necessárias para que conclusões acerca dos pontos convergentes e divergentes dos estudos sejam adequadamente assinaladas, levando a conclusões confiáveis. Deste modo, esta pesquisa propõe uma revisão sistemática, com uso de meta-análise de dados, sobre a temática da biossorção de radionuclídeos em soluções aquosas, com foco nos

radioisótopos de urânio, amerício, céσιο, plutônio e estrôncio.

## OBJETIVO

Realizar uma revisão sistemática dos artigos referentes aos processos de biossorção de radionuclídeos presentes na literatura, com base na meta-análise dos dados obtidos. As fontes de informações para este estudo foram artigos escolhidos para análise, provenientes do banco de dados pertencente à plataforma Scopus.

Realizou-se uma busca de artigos para análise de dados utilizando as palavras-chave “*biosorption*” e “*radionuclides*” com o operador “AND”. Os dados foram analisados por análise bibliométrica utilizando a linguagem de programação “R” e a plataforma “RStudio”. Foram utilizadas as bibliotecas “*bibliometrix*” e “*ggplot2*” para, respectivamente, análise de dados e plotagem de gráficos, a exemplo de número de documentos publicados por ano, países mais produtivos, etc.

## RESULTADOS

A análise bibliométrica retornou 230 documentos, sendo 152 do tipo “*article*”, 1 do tipo “*book*”, 29 do tipo “*book chapter*”, 14 do tipo “*conference paper*”, 1 “*editorial*”, 2 “*retracted*”, 30 “*review*” e 1 “*short survey*”. Os dados para a produção científica anual obtida no período de 1983 a 2023 estão exibidos na Figura 1.

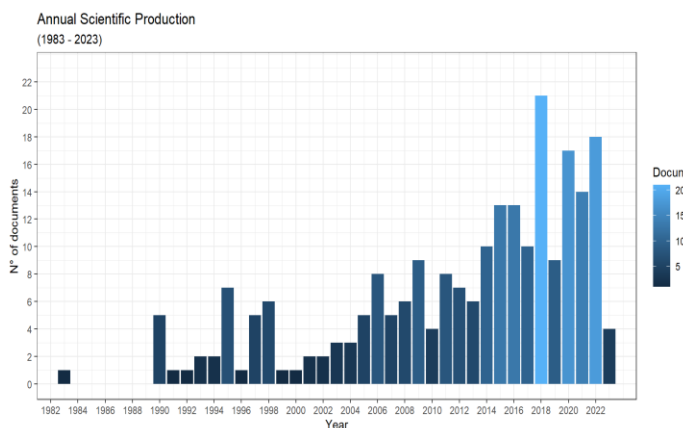


Figura 1. Produção científica anual.

Observa-se uma baixa produção no início, em 1983, uma pausa entre 1984 e 1989, sem publicações, e uma retomada, sem recuos, a partir de 1990. As produções anuais oscilam, crescem e decrescem ano após ano. A partir de 2014 crescem majoritariamente, tendo um pico em 2018 com 27 publicações, enquanto que em 2017 houve apenas 10 publicações. Um levantamento dos países com maior número de publicações também foi realizado (Figura 2).

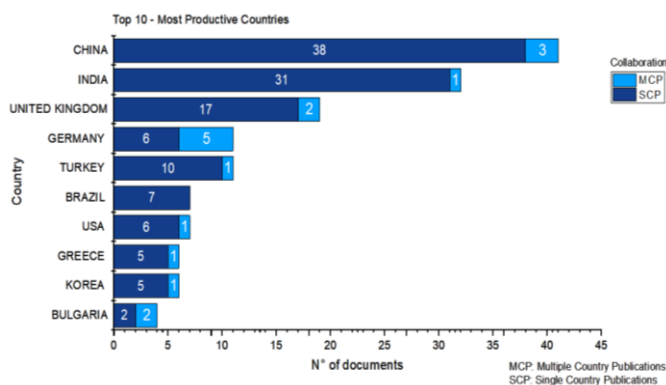


Figura 2. Top 10 países mais produtivos.

Observa-se que a China lidera as publicações, tendo 41 publicações, sendo 38 do tipo “Multiple Country Publications” (MCP), colaboração entre outros países, e 3 do tipo “Single Country Publications” (SCP), colaboração sem países externos, seguida da Índia com 31 SCP e 1 MCP. O Brasil

ocupa a 6ª posição, com apenas 7 publicações SCP.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que os estudos envolvendo radionuclídeos e processos de bioabsorção são diversificados em termos de países. A China é o país que mais detém estudos sobre esse tema em relação à publicação de artigos. Além disso, o tema vem se destacando com uma continuidade razoável de publicações anualmente, evidenciando seu interesse e sua importância. A próxima etapa dessa pesquisa será estudar esses dados a partir de outros tipos de análises, como a meta-análise e técnicas de machine learning, a fim de explorar os métodos utilizados na literatura no que diz respeito ao tratamento de rejeitos radioativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CUNHA, I. I. L.; FIGUEIRA, R. C. L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. Química Nova, v.21, n.1, p. 73–77, 1998.
- [2] DE OLIVEIRA, J. et al. Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State, Brazil and consequent population doses. Journal of Environmental Radioactivity, v.53, p. 99–109, 2000.
- [3] AIETA, E. M.; SINGLEY, J. E.; TRUSSELL, A. R. Radionuclides in drinking water: an overview. Journal – American Water Works Association, v.79, n.4, p. 144–152, 1987.
- [4] GUPTA, N. K. et al. Biosorption – an alternative method for nuclear waste management: a critical review. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.6, n.2, p. 2159–2175, 2018.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradecemos a bolsa CNPq/PIBIC

# Experiências práticas na gestão e valorização de resíduos NORM. Estudo de caso da produção de Alumina

Aluna: Lara Vitória Santos Couto e Barbara Paci Mazzilli  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

A bauxita é a matéria prima que dá origem à alumina (também conhecida como óxido de alumínio), passando pelo refinamento conhecido como processo de Karl Bayer. Em 2021, segundo o Anuário Estatístico Alumínio 2021, editado pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), o Brasil produziu 11 milhões de toneladas de alumina, sendo o terceiro maior produtor mundial. Durante o processo é formado um resíduo, conhecido como lama vermelha, que é estocado em pilhas a céu aberto, causando sérios impactos ambientais.

Para cada tonelada de alumina produzida, aproximadamente uma ou duas toneladas de lama vermelha são geradas (WANG et al, 2019), sendo que a cada ano são produzidos 120 milhões de toneladas desse resíduo no mundo. Estima-se que a produção de lama vermelha no Brasil é de 7 a 10 milhões de toneladas/ano.

A bauxita utilizada como matéria prima apresenta traços de radionuclídeos naturais das séries do U e do Th que podem se concentrar no resíduo formado durante o processo industrial. A política que tem sido adotada de empilhamento de resíduos NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) gera, a longo prazo, custos elevados de manutenção e segurança, além de causar impacto ambiental. Para minimizar o impacto ambiental do descarte do resíduo torna-se necessário oferecer alternativas para o seu reuso seguro, transformando esse resíduo em um coproduto. Uma alternativa viável é a utilização do resíduo como componente de materiais de construção. A utilização da lama vermelha na fabricação de materiais de construção somente é possível se a concentração de atividade dos radionuclídeos do produto final apresentar valores abaixo dos níveis de isenção e as

doses nos indivíduos do público forem inferiores a 1 mSv. Por essa razão, o resíduo não pode ser utilizado em sua forma pura, mas misturado com outros materiais já utilizados em construção civil. Como a distribuição de radionuclídeos naturais em materiais de construção não é uniforme, um índice radiológico comum, denominado índice de concentração de atividade (*I*) foi estabelecido pela Comissão Europeia (CE, 1999). Esse índice foi calculado a partir da concentração de atividade de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$ , de acordo com a seguinte equação 1.

$$I = \frac{C_{\text{Ra}}}{300\text{Bq/kg}} + \frac{C_{\text{Th}}}{200\text{Bq/kg}} + \frac{C_{\text{K}}}{3000\text{Bq/kg}} \quad \text{Eq (1)}$$

A recomendação é de que o índice de concentração de atividade seja inferior a 1 para garantir que a dose recebida pelos indivíduos expostos à radiação gama presente em materiais de construção não exceda o valor de 1 mSv/a.

## OBJETIVO

O presente trabalho visa avaliar as implicações radiológicas da utilização do resíduo da produção de alumina como componente na fabricação de cimento e concreto. Para tanto, será determinada a concentração de atividade dos materiais utilizados na fabricação do cimento e concreto (areia, brita, *fly ash* e resíduo) e nos produtos finais com diferentes proporções de resíduo. Essa prática possibilitará a utilização de um material de construção que reduza o consumo de matérias primas naturais, reaproveite um resíduo industrial, reduza a emissão de gases estufa e, concomitantemente, apresenta um desempenho igual ou superior ao do cimento atualmente empregado, com baixo custo de produção.

## METODOLOGIA

As amostras de areia, brita, *fly ash*, lama vermelha, cimento e concreto com várias proporções de resíduo foram analisadas utilizando-se a técnica de espectrometria gama, para a determinação da concentração de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$ . As amostras, secas e peneiradas, foram transferidas para frascos de polietileno de 100 ml, pesadas, seladas e armazenadas por um período de 30 dias para que fosse atingido o equilíbrio radioativo entre os descendentes da série do  $^{238}\text{U}$ , especificamente o  $^{226}\text{Ra}$  e seus produtos de decaimento de meia-vida curta.

A determinação da concentração de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  nas amostras foi feita por espectrometria gama utilizando-se um detector de germânio hiper puro da Camberra: modelo 747, com 25 % de eficiência relativa e resolução efetiva de 1,8 keV relativa ao pico de 1,33 MeV do  $^{60}\text{Co}$ . Os espectros gamas obtidos foram analisados com o programa Interwinner 6.0 da Ortec.

Para a determinação do  $^{226}\text{Ra}$ , pressupondo-se o equilíbrio radioativo, foram utilizados os descendentes  $^{214}\text{Pb}$  e  $^{214}\text{Bi}$ . A concentração de  $^{226}\text{Ra}$  não foi determinada diretamente por sua transição gama de 186,2 keV em virtude da baixa intensidade (3,29%) e interferência da transição gama de 185,7 keV emitida pelo  $^{235}\text{U}$ . Na série do tório, apenas o equilíbrio entre o  $^{232}\text{Th}$  e o  $^{228}\text{Th}$  é essencial para determinação da concentração de  $^{232}\text{Th}$ , que foi determinada a partir das concentrações de seus descendentes  $^{228}\text{Ac}$  e  $^{212}\text{Pb}$ . A concentração de  $^{40}\text{K}$  foi determinada diretamente por meio da transição de 1460 keV.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos para a concentração de atividade das amostras analisadas e para o Índice de concentração de atividade (Índice *I*) são apresentados na tabela 1.

TABELA 1. Concentração de atividade de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  em Bq/kg e Índice de concentração de atividade (*I*)

AMOSTRA	K-40	Ra-226	Th-232	I
Cimento	114 ± 12	42,1 ± 4,7	18,4 ± 1,5	0,3
Cimento	152 ± 13	61,0 ± 5,1	125 ± 8	0,9
Cimento	159 ± 13	69,2 ± 5,6	168 ± 5	1,1
Cimento	139 ± 10	45,7 ± 5,6	56,3 ± 0,3	0,5
Concreto	429 ± 16	29,5 ± 0,6	9,3 ± 1,4	0,3
Concreto	432 ± 20	44,3 ± 1,5	28,9 ± 0,6	0,4
Concreto	592 ± 22	42,7 ± 1,2	24,7 ± 2,3	0,5
Concreto	557 ± 22	36,0 ± 0,8	19,1 ± 2,0	0,4
Areia	789,6 ± 36,2	27,3 ± 2,4	38,7 ± 4,5	0,5
Brita	1054 ± 35	74,6 ± 2,0	16,5 ± 1,0	0,7
Fly Ash	348 ± 24	50,5 ± 5,3	36,4 ± 3,2	0,5
lama vermelha	99,8 ± 7,5	165,6 ± 7,5	558 ± 21	3,4

Dos materiais analisados, a lama vermelha apresentou as maiores concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{232}\text{Th}$  e a menor concentração de  $^{40}\text{K}$ . Deve-se ressaltar, entretanto, que a composição dos materiais de construção não é feita somente pelo resíduo. As amostras de cimento e concreto preparadas com proporções variadas do resíduo, apresentaram Índices de concentração de atividade próximos ou inferiores a 1, indicando que a dose recebida pelos indivíduos expostos à radiação gama presente nesses materiais são inferiores ao valor de 1 mSv/a

## CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a utilização da lama vermelha como componente de materiais de construção não vai acarretar doses nos indivíduos do público acima de 1 mSv e sua utilização não implica em riscos adicionais à população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira do alumínio. Anuário Estatístico Alumínio 2021, 2022.
- [2] Li Wang, Ning Sun, Honghu Tang, Wei Sun. A Review on Comprehensive Utilization of Red Mud and Prospect Analysis. *Minerals*, 9(6), 362, 2019.
- [3] European Commission. Radiation protection 112. Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, 16 p., 1999.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPQ

# Produção de mantas de policaprolactona para liberação de curcumina: efeito no crescimento celular

Larissa Sabino dos Santos, Murilo A. Vigilato Rodrigues e Ademar B. Lugão  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEM

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a pesquisa e o desenvolvimento de biomateriais e curativos avançados (*advanced wound dressings* — *AWD*) vêm sendo cada vez mais difundidos. Estes curativos ditos avançados apresentam outras funções além de servirem como barreiras físicas e químicas, podendo ter atividade antimicrobiana ou capacidade de resposta a estímulos como calor, pH ou umidade. [1-4]

A policaprolactona (PCL) é um polímero biodegradável comumente usado para produção de biomateriais para liberação de fármacos. Extraída do rizoma da *Curcuma longa*, a curcumina (CC) é um polifenol com propriedades antimicrobiana, anti-inflamatórias e sensível ao pH. [5-7]

## OBJETIVO

O presente estudo visa a produção de mantas de policaprolactona incorporadas com curcumina por meio da técnica de *Solution Blow Spinning*, técnica que permite a produção de fibras ultrafinas, e sua caracterização quanto à citotoxicidade *in vitro*, sensibilidade ao pH, solubilidade e liberação de curcumina em água.

## METODOLOGIA

Foram preparadas soluções de PCL a 18 % em clorofórmio/acetona (3:1) sob agitação durante 2 horas a 60°C. As soluções de PCL/CC foram preparadas adicionando 3% em massa de CC – em relação à massa do

polímero. Uma seringa de vidro foi utilizada para alimentar a solução polimérica a 25 cm de distância do coletor, usando uma pressão de 25 psi e vazão de 30 mL/h em coletor rotativo a 430 rpm. Células L929 foram utilizadas para avaliar a citotoxicidade das membranas com e sem CC sobre células saudáveis. Foram realizados testes de solubilidade das mantas e de liberação da CC em água a 37 °C sob agitação magnética, com quantificação do composto liberado por meio da técnica de espectroscopia no UV/visível. Além disso, também foi avaliada a sensibilidade ao pH das mantas com CC por meio de sua imersão em soluções de diferentes valores de pH.

## RESULTADOS

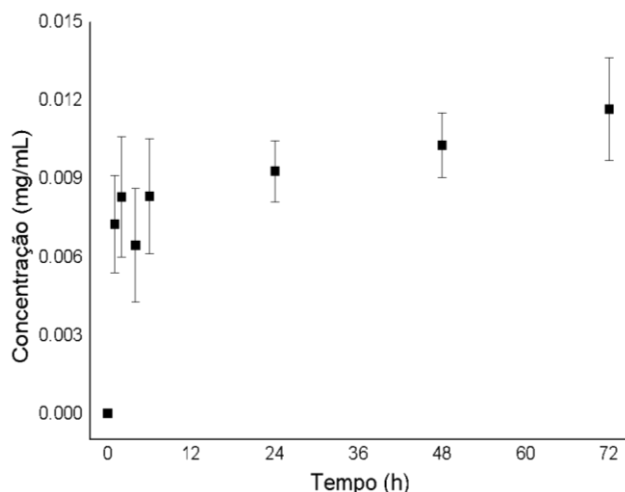
As mantas PCL apresentaram coloração branca enquanto as mantas PCL/CC resultaram em coloração amarela brilhante que se torna laranja e avermelhada com o aumento do valor de pH das soluções testadas. Embora algumas alterações de cor tenham sido observadas com o aumento do pH, na faixa de pH observada nas feridas (entre 4,0 e 9,0) [8] não foram observadas alterações de cor significante, não permitindo a observação visual direta das alterações de pH nas feridas, uma vez que são observadas alterações de cor mais perceptíveis acima de pH 9,0.

O valor de solubilidade em água observado após 72 h foi de 11,66 ug/mL para membranas de PCL/CC, já as membranas



de PCL não se solubilizam. Apesar da natureza hidrofóbica da curcumina, este composto bioativo foi liberado na água, o que indica a capacidade das membranas PCL/CC em entregar esta potencial molécula antimicrobiana.

Figura 1. Liberação da curcumina em água



O teste de citotoxicidade, realizado com células de fibroblastos de camundongos, resultou em  $92,3 \pm 7,4$  % e  $116,3 \pm 11,1$  % de células viáveis para membranas PCL e PCL/CC, respectivamente. Como curativos avançados estão diretamente envolvidos no crescimento de células de fibroblastos durante o reparo de feridas cutâneas, este resultado indica ambas as mantas como candidatos promissores para produzir um AWD.

## CONCLUSÕES

No presente estudo foi confirmada a eficácia de membranas de policaprolactona fiadas por sopro em liberar curcumina mesmo em meio aquoso. Além disso, observou-se que o crescimento celular foi maior nas membranas com curcumina do que nas membranas de policaprolactona, um provável efeito resultante das atividades antioxidante e antimicrobiana deste

composto bioativo. Já a mudança de cor de acordo com alterações no pH não se mostrou vantajosa para as aplicações de interesse, já que não há alterações visualmente perceptíveis na faixas de valores de pH típicos de feridas cutâneas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Akrami-Hasan-Kohal, M. et al., *New J. Chem.* 44, 10343–10351, 2020.
- [2] Merrell, J. G. et al., *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 36(12), 1149–1156, 2009.
- [3] Barnes, C. P.; Sell, S. A.; Boland, E. D.; Simpson, D. G.; Bowlin, G. L. Nanofiber technology: Designing the next generation of tissue engineering scaffolds. *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 59 (14), p. 1413–1433, 2007.
- [4] Pires, A. L. R.; Bierhalz, A. C. K.; Moraes, A. M. Biomateriais: Tipos, aplicações e mercado. *Química Nova*, v. 38 (7), p. 957-971, 2015.
- [5] Merrell, Jonathan G.; McLaughlin, Tie, Lu.; Laurencin, Cato T.; Chenf, Alex F.; Naird, Lakshmi S. Curcumin Loaded Poly( $\epsilon$ -Caprolactone) Nanofibers: Diabetic Wound Dressing with
- [6] Antioxidant and Anti-inflammatory Properties. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2009 December; 36(12): 1149–1156.
- [7] Yallapu, Murali M.; Nagesh, Prashanth K. Bhusetty.; Jaggi, Meena.; Chauhan, Subhash C. Therapeutic Applications of Curcumin Nanoformulations, v. 17, 1341-1356, nov 2015.
- [8] Biomaterials Science – An Introduction to Materials in Medicine. Ratner, B. D.; Hoffman, A. S.; Schoen, F. J.; Lemons, J. E., eds; Elsevier: Oxford, 2013,

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (144106/2023-0) e IPEN/CNEN

# Caracterização de materiais à base de grafeno sintetizados a partir de diferentes fontes de grafite

Laura Falcão Castro, Pedro Vitor Duarte da Cruz,  
Rafael Nogueira Bonifácio e Dolores Ribeiro Ricci Lazar  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O grafeno é um nanomaterial de estrutura bidimensional formado por átomos de carbono, organizados em arranjo hexagonal, com propriedades físicas superlativas, com o destaque para sua condutividade elétrica. Essa característica lhe garante diversas aplicações tecnológicas tais como componentes de sensores, suportes eletrocatalíticos, membranas de células combustíveis e eletrodos de supercapacitores [1].

Uma das maneiras de obtenção de compostos de grafeno é a esfoliação química do grafite, baseada no método de *Hummers*. A aplicação deste método se deve ao baixo custo de produção e ao emprego de técnicas simples, além da reação ter sido amplamente estudada. Neste método obtém-se o óxido de grafeno (GO) que é um isolante elétrico. Para a recuperação da sua condutividade elétrica, é necessário que haja sua redução, obtendo-se o produto denominado óxido de grafeno reduzido (RGO). Recentemente, este método foi modificado visando torná-lo ambientalmente amigável [1, 2].

## OBJETIVO

A presente pesquisa tem com objetivo a avaliação da influência da granulometria e morfologia do grafite na estrutura cristalina, morfologia e defeitos nas folhas de óxido de grafeno reduzido (RGO). A estrutura cristalina do óxido de grafeno (GO) também foi avaliada. Utilizou-se para síntese o método de *Hummers* modificado por Marcano et. al. [2], seguido de redução com ácido ascórbico [3].

## METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada utilizando-se grafite na forma de flocos (Sigma-Aldrich) e grafite em pó (Synth). De maneira sucinta, a reação de esfoliação/oxidação consistiu na adição do grafite a uma mistura de ácido sulfúrico e fosfórico e permanganato de potássio, mantendo-se o sistema reacional a 50 °C por 12 horas, sob agitação. Após resfriamento adicionou-se água oxigenada para interromper a oxidação. As suspensões foram submetidas a etapas de centrifugação/lavagens com água destilada e ácido clorídrico para eliminar impurezas metálicas e neutralizar o sobrenadante. A centrifugação foi realizada em ciclos de 1 h a 8000 rpm. Na última etapa de lavagem utilizou-se etanol para minimizar a agregação do produto (GO), o qual foi seco em estufa, desagregado em almofariz e reduzido a 90 °C por uma hora, com solução de ácido ascórbico [3]. Novas etapas de centrifugação, lavagens, secagem e desagregação das amostras de RGO foram realizadas. Os produtos foram caracterizados por difração de raios X (Multiflex, Rigaku), espectroscopia Raman (Horiba Scientific MacroRam) e microscopia eletrônica de transmissão (JEM-2100, Jeol).

## RESULTADOS

Os resultados de difração de raios X (Figura 1) indicam que o GO obtido a partir de grafite em flocos apresenta contaminantes que não foram eliminados nas etapas de lavagem. Por outro lado, o GO proveniente do grafite em pó é mais puro. Após a redução, as amostras obtidas a partir das duas fontes de grafite são constituídas por mistura de GO e RGO, comprovada pela

presença dos picos em  $2\theta$  próximos a 12 e 25 graus, respectivamente. Os espectros de Raman (Figura 2) das amostras obtidas após redução mostram a presença das bandas D e G próximas a  $1350$  e  $1600\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente. A maior intensidade relativa da banda D indica a presença de defeitos nesses materiais [4]. Observa-se nas imagens de microscopia eletrônica de transmissão (Figura 3) que a esfoliação foi possível com as duas matérias-primas (grafite em flocos e particulado). A análise qualitativa das imagens mostrou que as folhas obtidas a partir de flocos são maiores.

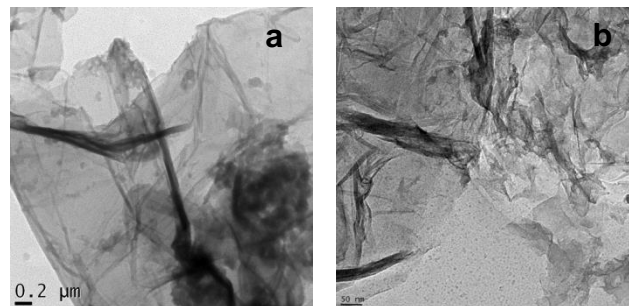


Figura 3: Imagens de microscopia eletrônica de transmissão do RGO proveniente do grafite em flocos (a) e grafite particulado (b)

## CONCLUSÕES

O processo de esfoliação/oxidação/redução de diferentes fontes de grafite mostrou-se eficiente para obtenção de mistura de GO/RGO. O uso de grafite particulado facilita a remoção de contaminantes metálicos no processo de lavagem e permite a obtenção de folhas de menor dimensão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kumar, s. s. a.; Bashir, s.; Ramesh, k.; Ramesh, S. Journal of Materials Science, 57, p. 12236-12278. 2022.
- [2] Marcano, D.C.; Kosynkin, D. V.; Berlin, J. M.; Sinitskii, A.; Sun, Z.; Slesarev, A.; Alemany, L.B.; Lu, W. Tour, J. M. ACS Nano, 4, p.806-814, 2010.
- [3] Zhang, J.; Yang, H.; Shen, G.; Cheng, P.; Zhang, J.; Guo, S. Chemical Communications, 7, p. 1112-1114, 2010.
- [4] Hu, Y.; Song, S.; Lopez-Valdivieso, A. Journal of Colloid and Interface Science, v. 450, p. 68-73, 2015.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

À CNEN/IPEN pelos recursos financeiros (Projeto Intercentros 2020.06.IPEN.05) e Bolsa PROBIC

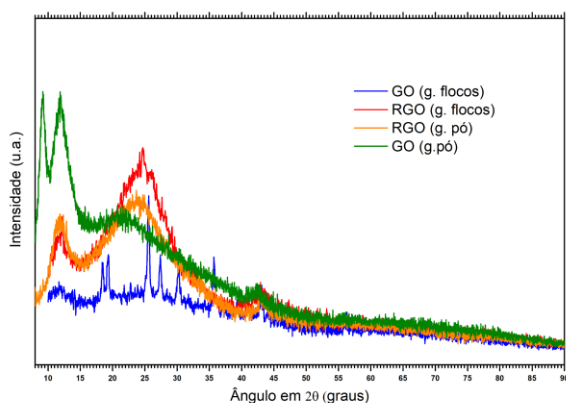


Figura1: Difratogramas de raios X das amostras de GO e RGO.

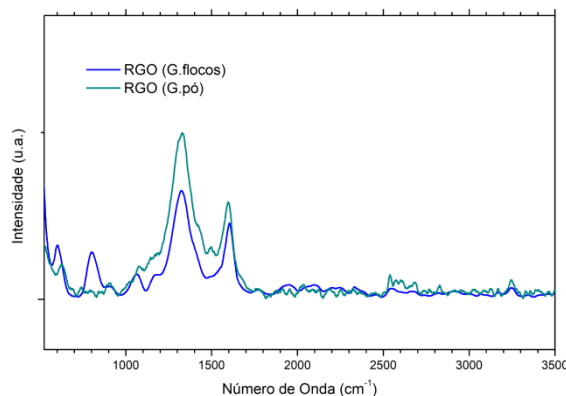


Figura 2: Espectros de Raman das amostras de RGO.

# **Estudo da variação dos parâmetros e condições de enxertia polimérica em filmes de polietileno, utilizando radiação ionizante, para aplicações em células a combustível**

**Laura Nami Nakashima e Yasko Kodama**  
**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

As células a combustível são sistemas que convertem energia química em energia elétrica por meio de alimentação contínua de combustível. Estes sistemas representam uma tecnologia alternativa de energia elétrica com eficiência alta e vasta aplicabilidade em áreas como residencial, comercial e industrial [1,2,3].

Muitas pesquisas têm relatado sobre o uso de polímeros fluorados, parcialmente fluorados e à base de hidrocarbonetos na forma de filmes para se fazer a enxertia polimérica induzida por radiação ionizante [3,4]. Esses filmes serão utilizados na forma de membranas trocadoras de ânions, com aplicação em células a combustível.

As membranas trocadoras de ânions com base em polímeros fluorados ou parcialmente fluorados têm sido muito estudadas devido às suas propriedades superiores de estabilidades químicas e térmicas quando comparadas às com base de hidrocarbonetos.

## **OBJETIVO**

Esse projeto de Iniciação Científica tem como objetivo principal o aprendizado básico de técnicas de laboratório para o desenvolvimento de materiais poliméricos que compõem eletrólito e eletrodos de difusão de gases para a aplicação em células a combustível alcalinas (AFCs).

## **METODOLOGIA**

Os componentes ionoméricos foram obtidos a partir de membranas-base de LDPE

(polietileno de baixa densidade) por enxertia induzida por radiação ionizante (RIG), pelo método direto usando fonte de raios-gama do  $^{60}\text{Co}$ . Tem sido avaliado o efeito do monômero, tais como o VBC, de solventes em variadas concentrações, além dos agentes de funcionalização, tal como a trimetilamina (TMA). Foram feitas caracterizações para avaliar a enxertia polimérica por meio de medidas gravimétricas para se determinar o grau de enxertia (DoG), TG-DTA e DSC para poder avaliar as propriedades térmicas, Raman para a avaliação da enxertia do monômero no filme base e Instron para caracterização mecânica. Adicionalmente, as membranas produzidas e funcionalizadas foram avaliadas com relação às propriedades eletroquímicas, tais como condutividade, capacidade de troca iônica (IEC), estudo de variação de potencial com a temperatura em célula.

## **RESULTADOS**

No equipamento RAMAN, pode-se observar o espectro de cada amostra. As amostras possuem DoG de 16%, 35%, 67% e 77% (Figura 1). Observa-se nos espectros Raman que as membranas enxertadas possuem tanto bandas referentes ao LDPE puro (Figura 2) quanto bandas referentes ao poly- VBC puro (Figura 3). Porém quanto maior o grau de enxertia, maior a intensidade das bandas referentes ao VBC.

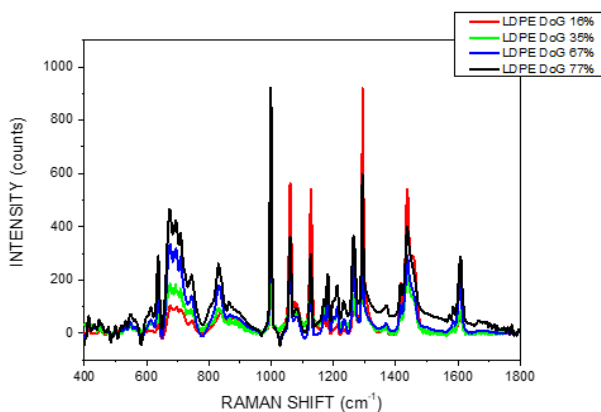


Figura 1. Espectro Raman dos Filmes de LDPE g-poly VBC: DoG 16%, 35%, 67% e 77%.

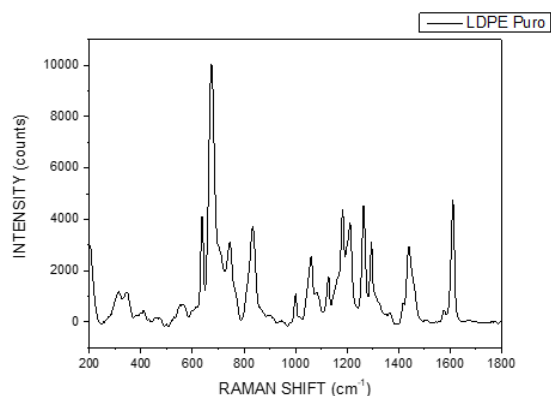


Figura 2. Espectro Raman do Filme de LDPE puro.

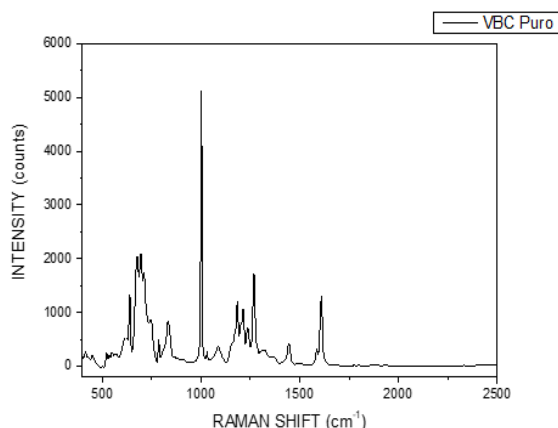


Figura 3. Espectro Raman do Filme poly-VBC.

## CONCLUSÕES

Nos espectros RAMAN, observa-se que quanto maior o DoG (grau de enxertia) das

amostras, maior intensidade dos picos referentes ao VBC, principalmente em  $1000\text{ cm}^{-1}$ . Isso pode ser devido ao fato dos filmes serem melhor enxertados e com maior uniformidade na enxertia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Hamada Y, Nakamura M, Kubota H, Ochifuji K, Murase M, Goto R. Field performance of a polymer electrolyte fuel cell for a residential energy system. *Energy*. 9,345-362, 2004.

[2] John R. Varcoe, Plamen Atanassov, Dario R. Dekel AMH, Michael A. Hickner, Paul A. Kohl, Anthony R. Kucernak WEM, Kitty Nijmeijer, Keith Scott TX and LZ. Anion-exchange membranes in electrochemical energy systems. *Energy Environ Sci*. 3135-3191, 2014

[3] Nasef MM, Hegazy ESA. Preparation and applications of ion exchange membranes by radiation-induced graft copolymerization of polar monomers onto non-polar films. *Prog Polym Sci*. 29(6),499-561, 2004.

[4] Nasef MM, Radiation-grafted membranes for polymer electrolyte fuel cells: Current trends and future directions. *Chem Rev*, 114(24), 12278-12329, 2014.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e IAEA RC 23708

# Funcionalização de nanopartículas com PEG para aplicações em células tumorais

Maysa Müller Ferreira Gesserame e Maria Elisa Chuery Martins Rostelato  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve esforços significativos para encontrar tratamentos mais específicos e eficazes contra o câncer, buscando minimizar os efeitos colaterais dos tratamentos convencionais e superar a resistência dos tumores. A nanotecnologia recente tem permitido avanços no tratamento do câncer, através do desenvolvimento de métodos mais eficientes que reduzem os efeitos adversos dos tratamentos quimioterápicos tradicionais. A nanomedicina introduziu uma abordagem inovadora utilizando nanopartículas revestidas com membranas celulares diversas, permitindo a liberação controlada de medicamentos (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ; MANZANO; VALLET-REGÍ, 2020).

As nanopartículas de ouro (AuNPs) são um exemplo notável, devido à sua estrutura nanométrica atrativa e versátil, estabilidade e baixa toxicidade. Elas podem ser usadas isoladamente ou como transportadoras de medicamentos, com superfícies que podem ser facilmente funcionalizadas. As AuNPs com diâmetro abaixo de 50 nm, em formas esféricas ou tubulares, têm sido empregadas para carregar agentes terapêuticos como anticorpos e nucleotídeos para tratamento. Esse enfoque visa aumentar a eficácia terapêutica nos alvos desejados, minimizando os danos às células saudáveis (SOUZA et al., 2021).

## OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo desenvolver nanopartículas de ouro (AuNPs), através do método de síntese química que são funcionalizadas com PEG

e posteriormente, serão revestidas com membranas celulares para estudos focalizados no tratamento do câncer.

## METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido para a produção de nanopartículas de ouro baseando-se em um método bem aceito e difundido na literatura por Turkevich, Stevenson e Hillier (1951), que utiliza o citrato de sódio com agente redutor. O composto de ouro é dissolvido em água régia. A solução resultante é agitada e gradualmente aquecida adicionando-se ácido clorídrico para remover o ácido nítrico residual. Com a verificação de pH, é possível confirmar a formação de ácido cloroáurico ( $\text{HAuCl}_4$ ), precursor da síntese de nanopartículas.

A partir da solução de  $\text{HAuCl}_4$  juntamente com o polietilenoglicol (PEG - agente estabilizante) e água são homogeneizados e posteriormente, adicionados reagentes redutores e/ou de nucleação à base de sódio (citrato de sódio) para a formação da solução de AuNPs.

Para avaliar a relação de tamanho de acordo com a quantidade de solução do agente de nucleação, as AuNPs foram produzidas com 0,3; 0,5; 0,8 e 1,1 ml da solução de citrato de sódio, esta solução tem uma concentração 0,04 M de citrato de sódio dissolvido em água Milli-Q.

Para caracterizar, as amostras foram medidas por Dispersão de Luz Dinâmica (DLS) para analisar a dispersão e o diâmetro hidrodinâmico das AuNPs.

## RESULTADOS

O produto deste processo resultou numa solução nanoparticulada de ouro que mostra diferente coloração de acordo com a variação de tamanho (Figura 1 e 2).

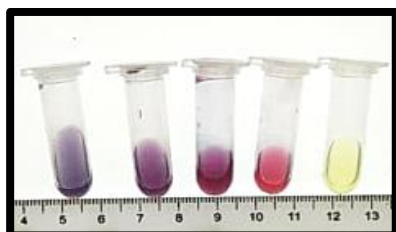


Figura 1 – Variação da coloração de AuNPs com a mudança do tamanho variando entre 1,3 e 31,4 nm e em amarelo o ácido cloroáurico (da esquerda para a direita).

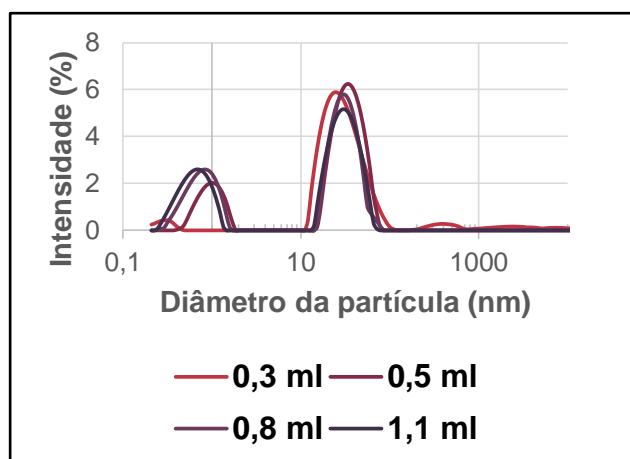


Figura 2 – Distribuição do diâmetro das AuNPs com variação da solução de citrato de sódio em 0,3; 0,5; 0,8 e 1,1 ml.

O tamanho das nanopartículas é influenciado pela concentração do agente de nucleação, quanto maior a quantidade de citrato de sódio na solução menor é o diâmetro da partícula. Percebe-se uma diminuição de tamanho conforme vai aumentando a quantidade do agente de nucleação, as amostras com 0,3; 0,5; 0,8 e 1,1 ml obtiveram um tamanho aproximado de 31,45; 21,84; 15,16 e 1,30 nm respectivamente.

## CONCLUSÕES

Estes resultados foram condizentes com o trabalho de Turkevich, Stevenson e Hillier (1951), entretanto em relação a coloração, os resultados não foram como esperados. Sitarski reproduziu a mesma técnica de síntese e obteve diferente coloração (SITARSKI, 2017) em comparação ao que foi produzido neste trabalho.

Contudo, é necessário avaliar por outros métodos, como a microscopia eletrônica de transmissão (MET) ao que se deve essa diferença de cores, que podem estar relacionadas com o agente estabilizador (PEG) e com a espessura do recobrimento para padronizar a quantidade dos reagentes para uniformizar a síntese. Também é necessário utilizar mais uma técnica, como a espectroscopia de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis), para estimar o tamanho do núcleo das AuNPs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, C.; MANZANO, M.; VALLET-REGÍ, M. Nanoparticles coated with cell membranes for biomedical applications. *Biology*, v. 9, n. 11, p. 406, 2020.
- [2] SOUZA, C. D. et al. New gold-198 nanoparticle synthesis to be used in cancer treatment. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, v. 9, n. 1A, 2021.
- [3] TURKEVICH, J.; STEVENSON, P. C.; HILLIER, J. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discussions of the Faraday Society*, v. 11, p. 55-75, 1951.
- [4] SITARSKI, A. M. Development of Spectroscopic Methods for Dynamic Cellular Level Study of Biochemical Kinetics and Disease Progression. 2017. 239 p. Tese (Doutorado em Filosofia em Engenharia Biomédica). Universidade de Maine, Maine.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

**IPEN e CNEN**

# Desenvolvimento de um Radiofármaco Para Diagnóstico de Câncer de Mama HER2 Positivo

Pedro Henrique Silva Araujo e Emerson Soares Bernardes  
Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN

## INTRODUÇÃO

O câncer surge a partir de células que apresentam uma proliferação descontrolada e que, portanto, não respondem aos mecanismos de controle comum do ciclo celular, em alguns casos, essas células migram por vasos sanguíneos e linfáticos, causando metástase, sendo esta a principal causa de morte por câncer [1]. O câncer de mama possui subtipos histológicos por diferenciação, proliferação e fenótipo celular. O diagnóstico e a classificação se dão por tipo de tumor, tamanho e grau histológico, sendo divididos em três subtipos de expressão de receptores hormonais positivos: estrógeno, progesterona e receptor dois do fator de crescimento epidérmico humano (HER2), podendo também não apresentar receptores hormonais [2].

O método utilizado para classificação do tumor é a biópsia, contudo, em casos de metástase esse recurso nem sempre pode ser utilizado e por vezes se mostra inconclusivo. Em casos de pacientes com metástase é realizada a administração do radiofármaco fluorodeoxyglucose-<sup>18</sup>F (FDG-<sup>18</sup>F), porém este possui afinidade por áreas inflamadas e órgãos saudáveis, sendo também incapaz de identificar o subtipo de tumor que o paciente possui [3].

O anticorpo Trastuzumabe é atualmente utilizado para o tratamento de câncer HER2 positivo e, devido a sua alta afinidade pelo receptor, será conjugado ao quelante HYNIC-NHS e radiomarcado com <sup>99m</sup>Tc a fim de se observar sua viabilidade para diagnóstico do câncer de mama [4].

## OBJETIVO

O objetivo deste presente trabalho é desenvolver um radiofármaco que seja capaz de diagnosticar tumores de mama com receptor HER2 positivo a partir do anticorpo monoclonal Trastuzumabe.

## METODOLOGIA

### Cultivo celular

As linhagens SKBR-3 e MDA-MB-231 serão cultivadas em meio DMEM e 10% de SFB, mantidas a 37°C com 5% CO<sub>2</sub>. Quando as células atingirem a concentração de 80% serão utilizadas para experimentações in vivo e in vitro.

### Marcação e controle de qualidade

O anticorpo Trastuzumabe será conjugado com o quelante HYNIC-NHS (Futurechem – Coreia do Sul) para posterior adição do radioisótopo <sup>99m</sup>Tc e grupos componentes de sua complexometria. Após a marcação, a pureza radioquímica será determinada por cromatografia ascendente em camada delgada (CCD), cujas fitas serão lidas em um TLC-scanner AR-2000.

### Teste de estabilidade

O Trastuzumabe-HYNIC-<sup>99m</sup>Tc será incubado em solução salina e plasma de camundongo. Nos tempos 0, 15 e 30 minutos, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 24 horas serão feitas fitas de CCD para leitura no contador gama Hidex Automatic. O estudo será realizado em duplicata e os dados serão analisados no software Prisma a fim de determinar a estabilidade do composto.

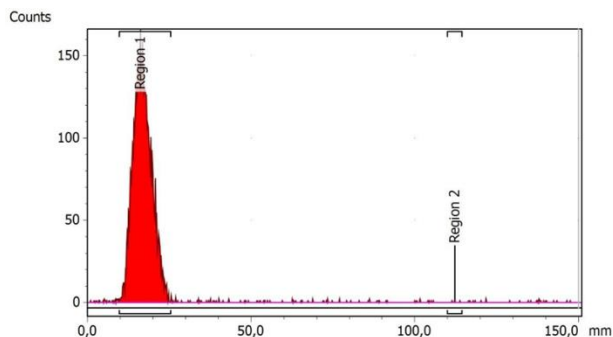


## RESULTADOS

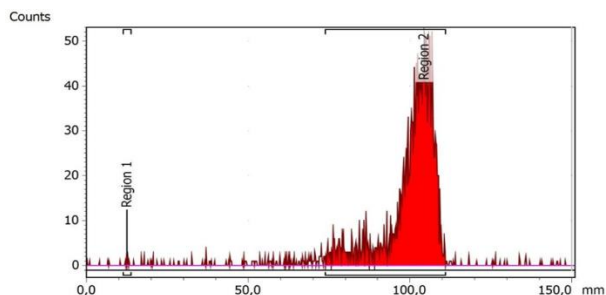
### Marcação e controle de qualidade

200ug do anticorpo Trastuzumabe são conjugados ao quelante HYNIC e deixados sob agitação por 1 hora. Em seguida, a amostra é submetida a um filtro Amicon 3KDa para a separação do HYNIC livre. Posteriormente, são adicionados: tricina e ethylenediaminetetraacetato (EDDA) para formação complexométrica do  $^{99m}\text{Tc}$ -HYNIC. Aproximadamente 7mCi de  $^{99m}\text{Tc}$  é adicionado juntamente do cloreto estanhoso para que a reação seja possível. Por fim, amostras são colhidas para análise em CDD.

Solvente 1: MEK ( $^{99m}\text{TcO}_4$  livre migra e Trastuzumabe-HYNIC- $^{99m}\text{Tc}$  fica na origem).



Solvente 2: Salina Trastuzumabe-HYNIC- $^{99m}\text{Tc}$  migra e  $^{99m}\text{TcO}_2$  fica na origem).

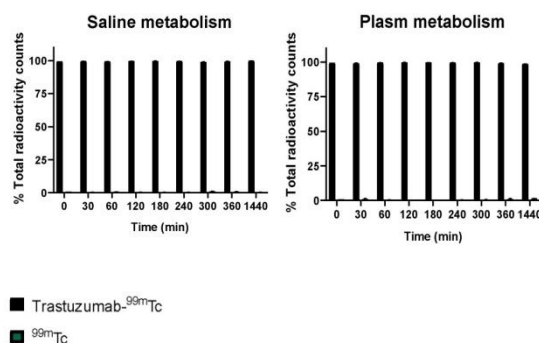


A marcação ocorreu e a pureza se manteve acima de 95%.

### Teste de estabilidade

Após medidas as amostras de 24 horas, foi estabelecido um gráfico comprovando a

estabilidade do composto mesmo após longos períodos diluído em salina e plasma.



## CONCLUSÕES

O composto Trastuzumabe-HYNIC- $^{99m}\text{Tc}$  é promissor, possuindo características desejáveis a qualquer radiofármaco em desenvolvimento, caso o resultado de experimentos mais complexos demonstrem alta captação, pode alcançar a fase clínica, auxiliando no diagnóstico de câncer de mama HER2 positivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Câncer. 2020. Disponível em: Acesso em: 19 Jan, 2022. ROSA, M. Advances in the Molecular Analysis of Breast Cancer: Pathway toward Personalized Medicine. Sagepub. Abril, 2015.
- [2] Rosa M. Advances in the Molecular Analysis of Breast Cancer: Pathway toward Personalized Medicine. Cancer Control. 2015. doi: 10.1177/107327481502200213
- [3] NADIA, H. Advances in targeting HER2-positive breast cancer. v. 30 i. 1 p. 55-59. Current Opinion in Obstetrics and Gynecology. Fevereiro, 2018. DOI: 10.1097/GCO.0000000000000431. Disponível em: Advances in targeting HER2-positive breast cancer : Current Opinion in Obstetrics and Gynecology (lww.com). Acesso em: 3 Dez, 2021.
- [4] DEWULF, J; ADHIKARI, K; VANGESTEL, C; WYNGAERT, T, V, D; ELVAS, F. Development of Antibody Immuno-PET/SPECT Radiopharmaceuticals for Imaging of Oncological Disorders—An Update. <https://doi.org/10.3390/cancers12071868>. Disponível em: Development of Antibody Immuno-PET/SPECT Radiopharmaceuticals for Imaging of Oncological Disorders-An Update - PubMed (nih.gov). Acesso em: 19 Abr, 2022.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

O presente trabalho foi possível por conta do suporte da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNEN-IPEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear – Instituto de Pesquisa Energética Nuclear) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

# Obtenção de nitreto de silício poroso por gelcasting de espuma

Regina Oliveira da Silva e Cecilia Chaves Guedes e Silva  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

## INTRODUÇÃO

Biocerâmicas têm sido usadas na reparação de partes do corpo doentes ou danificadas [1]. Classificam-se conforme o tipo de resposta que provoca na interface com o tecido hospedeiro. Se durante a implantação houver a formação de uma camada de hidroxiapatita carbonatada (HCA) na sua superfície, essas cerâmicas são denominadas bioativas. No entanto, se o material implantado não formar ligações químicas superficiais como o tecido ósseo adjacente, a biocerâmica é bioinerte [2]. Quando se trata de substituições ósseas o ideal seria a utilização de cerâmicas bioativas cuja alta reatividade *in vivo* tende a favorecer a fixação biológica com o implante, evitando a formação de tecido fibroso interfacial e micro movimentos, minimizando a probabilidade de falhas. No entanto, esses materiais apresentam baixa resistência mecânica, o que limita seu campo de aplicação a situações de baixa sollicitação mecânica [2,3].

Assim, biocerâmicas com fases bioativas e bioinertes têm sido uma alternativa, que possibilita a produção de implantes com elevadas propriedades mecânicas e alta bioatividade. Cerâmicas de nitreto são promissoras para promover essa combinação de propriedades, pois embora sejam bioinertes, seus métodos de fabricação permitem a introdução de fases bioativas [3]. Além disso, a presença de porosidade tende a estimular o processo de osseointegração, pois permite a vascularização e crescimento ósseo no interior do material.

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é obter cerâmicas de nitreto de silício bioativas e

porosas pelo de *gelcasting* para aplicações biomédicas.

## METODOLOGIA

Como materiais de partida, foram utilizados  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{CaCO}_3$ . Inicialmente, os pós foram dosados para formar a composição  $90\text{Si}_3\text{N}_4\text{-}5\text{CaO}\text{-}5\text{SiO}_2$  contendo 90% em massa de  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 5% em massa de  $\text{CaO}$  e 5% em massa de  $\text{SiO}_2$ . Os pós foram moídos em moinho de bolas por 24 horas, utilizando álcool isopropílico como meio líquido. Após a moagem, foi realizada a secagem no rotoevaporador a  $90^\circ\text{C}$ . Um estudo reológico das suspensões foi realizado para definição dos melhores teores de sólidos e pH. Para tanto, as curvas de viscosidades foram obtidas pelo viscosímetro rotacional, em dez ciclos.

Suspensões contendo a cerâmica, Isobam 110 e espumante (lauril sulfato de sódio) foram obtidas à temperatura ambiente, sob agitação mecânica. As espumas foram vertidas em moldes de silicone e mantidas à temperatura ambiente. Após a gelificação, os materiais foram desmoldados e sinterizados em atmosfera de nitrogênio a  $1700^\circ\text{C}$  por 1 hora. As amostras foram caracterizadas pelo método de Arquimedes, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura.

## RESULTADOS

Os ensaios reológicos foram realizados em suspensões com 34% e 27% em volume de sólidos e diferentes pHs, Figura 1. As curvas com diferentes teores de sólidos apresentaram resultados bem próximos, demonstrando comportamento típico de fluidos não-Newtonianos. No entanto, a suspensão com 27% em volume de sólidos apresentou característica mais fluida. O pH 10,8 em comparação ao pH 11,6

demonstrou mais eficiência em aumentar a fluidez da suspensão (Figura 1b).

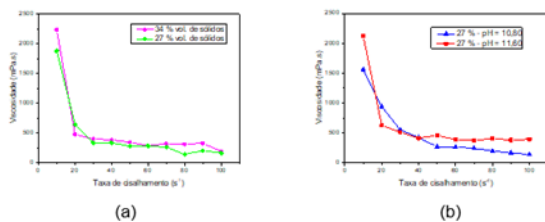


Figura 1: Variação da viscosidade das suspensões com (a) diferentes teores de sólidos e (b) diferentes pHs.

A partir da Tabela 1, observa-se que o aumento na quantidade de Isobam gerou uma diminuição na densidade relativa e aumento da porosidade das amostras. Além disso, houve a transformação da fase  $\alpha$  para  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  nas cerâmicas sinterizadas, como poder observado pelo difratograma de raios X da amostra obtida a partir da suspensão contendo 0,5 % em massa de isobam, representando as demais na Figura 2. Pode-se notar, ainda, a formação da fase secundária  $\text{CaSiO}_3$ , como resultado da solidificação da fase líquida formada durante a sinterização.

Tabela 1 - Densidade e porosidade aparente das amostras sinterizadas a 1700°C por 1 hora, obtidas a partir de suspensões contendo Isobam.

Isobam (% em massa)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Porosidade aparente (%)
0,20	1,96 ± 0,12	62,05 ± 3,81	37,75 ± 7,10
0,35	1,86 ± 0,07	58,99 ± 2,32	30,96 ± 5,03
0,50	1,61 ± 0,08	51,08 ± 2,51	49,32 ± 8,14

A Figura 3 mostra a presença de  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  em todas as amostras analisadas. Nota-se que houve uma maior concentração de poros interconectados nas amostras preparadas com maior teor de Isobam.

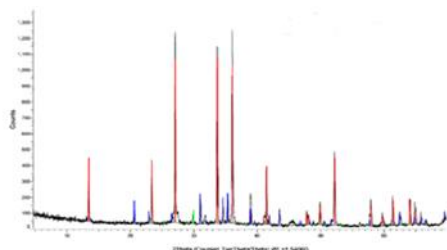


Figura 2: Difratograma de raios X da amostra obtida a partir da suspensão contendo 0,5 % em massa de Isobam, sinterizada a 1700°C por 1 hora.

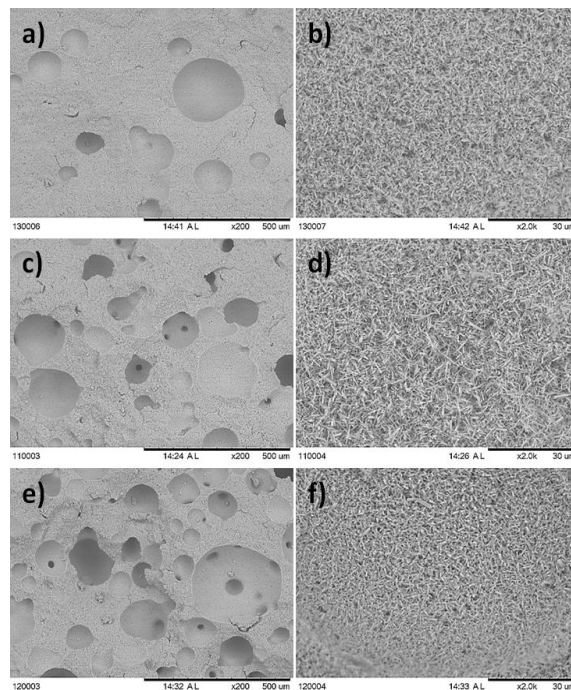


Figura 3. Micrografias eletrônicas de varredura das amostras sinterizadas a 1700 °C por 1 hora, obtidas a partir de suspensões contendo Isobam: nas seguintes concentrações em % em massa de sólidos:(a) e (b) 0,2, (c) e (d) 0,35% e (e) e (f) 0,5.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que a concentração de sólidos e o teor de Isobam presentes no material influenciaram o processo de aeração e, conseqüentemente, a densidade e porosidade das amostras. O pH das suspensões interferiu na sua viscosidade bem como na formação dos poros e na etapa de moldagem das cerâmicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M Vallet-Regí, AJ Salinas, Bone Repair Biomaterial 8 (2019) 141-178.
- [2] LL Hench, J. Am. Ceram. Soc, 74 (1991) 1487-510.
- [3] D Shekhawat, A Singh, A Patnaik, MK Banerjee, T Singh, Ceram. Int. (2020) In Press.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Viabilização governamental da instalação de módulos fotovoltaicos nos bairros periféricos e em projetos sociais.

**Rennan de Almeida Franco e Thadeu Neves Conti**  
**Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

Desde a segunda revolução industrial, a utilização de combustível fóssil como o petróleo, carvão mineral e gás natural para geração de energia elétrica foi aumentando devido a sua abundância e custo benefício, entretanto, a utilização dos mesmos vem gerando consequências graves ao meio ambiente. Ao queimar esse tipo de combustível, são liberados diversos poluentes, sendo um deles o gás dióxido de carbono, principal causador do aquecimento global, tema recorrente dentro das reuniões ambientais mais importantes das últimas décadas, devido a seus impactos negativos como derretimento das geleiras, elevação do nível do oceano, mudanças climáticas como enchentes, furacões, secas e entre outros problemas que foram muito presenciados em 2021 pelo planeta [1].

Hoje no Brasil, quando não se tem uma grande quantidade de chuva para abastecer as hidroelétricas para o ano todo, tem-se o aumento da conta de luz, atingindo bandeira vermelha. Isso acontece por conta de o país no período de seca depender da importação de carvão mineral para usar nas termoelétricas, algo que gera uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> e aumento do custo da energia elétrica. Portanto, esse estudo tem como foco mostrar meios para redução de CO<sub>2</sub> e ajuda econômica.

## **OBJETIVO**

O objetivo do estudo é analisar e discutir, por meio de pesquisas, cálculos próprios e literatura, sobre a rentabilidade da energia fotovoltaica nas casas e além de verificar de forma quantitativa e qualitativa a capacidade de uma iniciativa governamental

com o objetivo de sustentabilidade e acréscimo da energia renovável.

## **METODOLOGIA**

Inicialmente foram coletados os dados a serem analisados, como empresas, módulos fotovoltaicos entre outros. Em sequência foram todos computados utilizando a linguagem de programação Python como foco na biblioteca pandas, após isso a análise para escolha de empresa e módulo foi feita.

Com a análise feita, utilizando o mapa de irradiação solar da Global Atlas Solar, foi notado que o Brasil possui uma irradiação praticamente igual em todo o país, logo, sem necessidade de escolher uma região específica para o projeto.

Por fim, foram realizados os cálculos para demonstrar a possibilidade de uma iniciativa governamental e após a obtenção final dos resultados foi discutido de forma analítica se há viabilidade ou não do projeto, suas vantagens e motivos para realização.

## **RESULTADOS**

Em função da metodologia foram obtidos resultados utilizando a linguagem de programação Python, análise de dados e cálculos de viabilidade.

Pelo mapa de irradiação solar do Global Atlas Solar é possível ver que no Brasil a irradiação é a praticamente a mesma no país todo, logo, é indiferente a região a ser escolhida, todas teriam uma irradiação de aproximadamente 5,153kWh/m<sup>2</sup>/dia [2].

Em 2021 teve-se bandeira vermelha e escassez hídrica praticamente durante todo o ano, em 2022 a bandeira verde foi

prevalecida [3]. Para fins comparativos foi criado a tabela 1.

TABELA 1. Consumo em kWh Mais Gastos de 2021 e 2022:

Consumo kWh + gasto 2021 (R\$)	Consumo kWh + gasto 2022 (R\$)	Diferença no gasto (R\$)
311 - 318,47	301 - 234,88	93,59
369 - 353,68	377 - 293,26	68,42
428 - 389,59	416 - 327,74	61,85
458 - 396,47	466 - 388,44	16,83

Autor: Próprio Autor

Para os cálculos, as seguintes estimativas foram feitas para o ano de 2021:

- gasto médio 2021: R\$364,552;
- casa: 55m<sup>2</sup>;
- área Telhado: 75m<sup>2</sup>;
- instalação: R\$21.000.
- vida útil: 30a;
- irradiação Solar: 5,153 kWh/m<sup>2</sup>/dia;
- tarifa: R\$0,098 por 1kWh.

Agora para o cálculo da energia mensal gerada pelos módulos fotovoltaicos temos e sendo  $A_t$  corresponde à área do telhado,  $I_m$ , a irradiação média e o  $E_p$ , a eficiência dos painéis:

$$E_{mensal} = A_t \times I_m \times E_p \times n^\circ \text{ de dias} \quad (1)$$

$$E_{mensal} = 75 \times 5,153 \times 21,6\% \times 30$$

$$E_{mensal} = 2434,8 \text{ kWh/mês}$$

Em seguida, para o cálculo da economia mensal:

$$Economia = E_{mensal} \times tarifa \quad (2)$$

$$Economia = 2434,8 \times 0,098 = R\$238,610/\text{mês}$$

Para o cálculo do valor final no mês:

$$V_F = Gasto_{médio} - Economia \quad (3)$$

$$V_F = 364,552 - 238,610 = R\$125,942$$

Estimando inicialmente que a conta então fosse fixa em R\$200,00, para o cálculo do lucro mensal temos:

$$Ganho = \text{valor da conta} - V_F \quad (4)$$

$$Ganho = 200 - 125,942 = R\$74,058/\text{mês}$$

Assim, seria possível lucrar por mês:

$$Lucro = Ganho \times n^\circ \text{ de meses} \times n^\circ \text{ de anos} \quad (5)$$

$$Lucro = 74 \times 12 \times 30 = R\$26.640,00$$

E o lucro total após 30 anos em relação a 1 casa:

$$Lucro_{total} = Lucro - \text{custo de instalação}$$

(6)

$$Lucro_{total} = 26.640 - 21.000 = R\$5.640,00$$

## CONCLUSÕES

Como resultado, o governo lucraria aproximadamente R\$5640,00 após 30 anos. Caso fosse realizado esse projeto de instalação para 30 casas iguais dentro de um condomínio ou de uma iniciativa governamental como o projeto habitação popular Minha casa, Minha vida, o lucro para as 30 casas então seria de 30 vezes R\$5640,00.

Com esse investimento não seria mais necessário a existência da bandeira vermelha, nem a compra de carvão para termoelétricas, caso fosse aplicado em todas as casas do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FEY, Angela. **Combustíveis fósseis: por que eles prejudicam o meio ambiente?** 2017. Disponível em: <https://www.bioblog.com.br/combustiveis-fosseis-por-que-eles-prejudicam-o-meio-ambiente>. Acesso em: 28 mar. 2022

[2] ATLAS, Global Solar. **Global Solar Atlas:** energy data info. Energy Data Info. 2023. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-15.156974,-54.360352,4&r=BRA>. Acesso em: 02 ago. 2023.

[3] NOVAPALMAENERGIA. **Bandeiras Tarifarias.** 2023. Disponível em: <https://novapalmaenergia.com/index.php/bandeiras-tarifarias/>. Acesso em: 02 ago. 2023

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradecimento ao apoio CNPQ/PIBIC.

# Prevenção de cárie dental além do pH crítico, utilizando aplicação tópica de flúor e laser de Nd:YAG

Sabrina Gardiano Avelino e Denise Maria Zezell  
Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O laser tem sido aproveitado em várias áreas da odontologia, como uma possibilidade de prevenção, devido às mudanças que acontecem nos tecidos dentais – FTIR.<sup>1</sup> Quando o laser é mutuamente utilizado com flúor, reforça a ação do mesmo, aumentando assim a resistência à cárie.<sup>2</sup> O conhecimento da composição química do esmalte irradiado por meio da análise em FTIR parece ser um bom método para avaliar a desmineralização mais aprofundada.<sup>3</sup> Da mesma forma, a análise MEV do esmalte no tratamento proposto e em condições diferentes de pH, permitirá contribuir com a literatura a respeito da ácido resistência.

## OBJETIVO

Avaliar a utilização da irradiação com laser de Nd:YAG como forma de expandir a prevenção da cárie dental alcançada pelo flúor e investigar o efeito do tratamento proposto sob condições ácidas diferentes.

## METODOLOGIA

180 amostras de esmalte dental humano (CAAE02854118.3.0000.0075), foram preparadas e também homogeneizadas por microdureza de superfície, e em seguida separadas em 4 grupos:

- Controle Negativo
- Controle positivo: Flúor (FFA 1,23%)
- Nd:YAG
- Nd:YAG + Flúor (FFA 1,23%)

Após simulação do processo cariioso in vitro durante a ciclagem de pH, as amostras foram analisadas em Espectroscopia de absorção no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) – ATR Foram. Além disso, foram feitas análises com a Microscopia Eletrônica de Varredura, Tomografia de Coerência Óptica e Microdureza pós-tratamento.

## RESULTADOS

Na análise de FTIR, analisando a banda do fosfato (900-1200) e fazendo teste t não pareado, não houve diferença significativa entre nenhum grupo de tratamento, em nenhum pH, como mostra a figura abaixo.

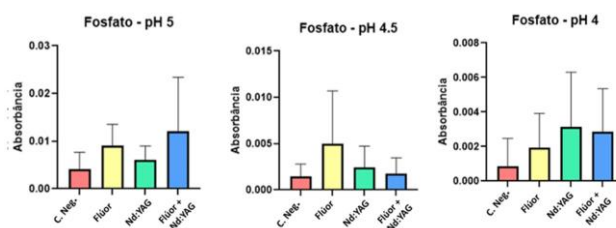


Figura 1. Análise de absorbância em FTIR (fosfato 900-1200)

Foi possível analisar morfologicamente a estrutura desmineralizada. Em pH 4.5, o grupo flúor + laser apresentou maior integridade da estrutura, sendo sugestivo de menos desmineralização do que os demais grupos, como mostra a figura abaixo.

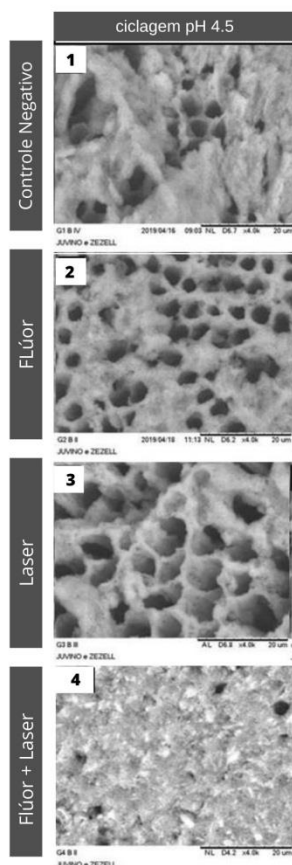


Figura 2. Imagens representativas de cada grupo em magnificação 4000x. **Imagem 1:** microcavitações; **imagem 2:** perda majoritária da porção central dos prismas, mas sem descontinuidade da superfície; **imagem 3:** microcavitações; **imagem 4:** superfície sugestiva de pouso cristalográfico de irradiação a laser.

Um menor coeficiente de atenuação foi encontrado no grupo Flúor + Laser em todos os pHs, assim como menor %PDS, ambos indicam menor desmineralização (ANOVA + Teste de Tukey  $p > 0,05$ )

## CONCLUSÕES

Concluiu-se que o tratamento com Flúor (ATF) e Laser de Nd:YAG tem efeito preventivo além do pH crítico para o esmalte na presença do flúor isolado.

## REFERÊNCIAS

[1] Ana, P.A.; Bachmann, L.; Zezell, D. M. Lasers Effects on Enamel for Caries Prevention. *Laser Physics*, v. 16, n. 5, p. 865- 875, 2006.

[2] Zamataro, C.B. Estudo in situ da resistência à desmineralização do esmalte dental submetido à irradiação com laser Er,Cr: YSGG associado ao uso de produtos fluoretados. 2012. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

[3] Lopes, C.C, Limirio P.H, Dechichi, V.R. (2018) Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) application chemical characterization of enamel, dentin and bone, *Applied Spectroscopy*

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

FAPESP/PDIP 17/50332-0, CNPq-INCT 465763/2014-6, Sisfoton MCTI/CNPq 440228/2021-2, Capes Finance code 001

# Validação do método de medida de pH em amostras de efluente líquido do IPEN/CNEN-SP

Stella Ros Blat e Marycel Elena Barboza Cotrim  
Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

A legislação ambiental brasileira [1,2] estabelece um limite de valores de pH para os efluentes líquidos lançados em rede coletora de esgoto. O texto do decreto estadual 8468/76 estabelece que os “efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados direta ou indiretamente” desde que seus valores de pH estejam entre 5,0 (cinco inteiros) e 9,0 (nove inteiros). A fim de se produzir medidas precisas e exatas que atendam a legislação, os procedimentos de análise no laboratório devem ser tais para que a medida tenha seus resultados medidos com qualidade. Uma das principais etapas de garantia da qualidade consiste na validação dos procedimentos de ensaio de pH. O presente trabalho apresenta as atividades e resultados preliminares da validação da medida de pH realizada no CEQMA/IPEN para atendimento do Programa de Monitoramento Ambiental do Ipen [3].

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os dados preliminares de validação das medidas de pH em amostras de efluentes líquidos do IPEN.

## METODOLOGIA

A validação das medidas foi realizada considerando-se diversas fontes de incerteza sobre as medidas. Algumas das fontes de incerteza avaliadas até o momento foram: 2 equipamentos, 5 analistas, 5 soluções em diferentes valores de medição de pH (4,00, 6,86, 7,415, 9,183 e 10,014).

Assim sendo, 5 soluções tampão foram medidas diariamente durante um período de 3 meses, em 2 peagmetros (IDT45 e IDT86, Gehaka, modelo PH2000), sendo realizada por 5 analistas anonimizados e identificados de A a E.

Para todos os ensaios foi calculado o valor de  $\Delta\text{pH}$ , que consiste na diferença entre o valor teórico e o valor nominal da solução medida

Uma vez que os dados de  $\Delta\text{pH}$  foram tabulados, um teste estatístico de análise de variância (ANOVA) fatorial de multi parâmetros foi aplicado para se identifica e quantificar se houve e quanto foi a contribuição de cada fator avaliado na incerteza da medição.

## RESULTADOS

Os resultados de  $\Delta\text{pH}$  calculados são mostrados na Figura 1 por solução, analista e por equipamento. Como o mostrado na Figura 1, houve diferença significativa entre as medidas de cada instrumento. Para os quais o instrumento de IDT45 teve uma tendencia a fornecer valores mais baixos que os valores nominais de pH (Ver Figura 1A e C). Enquanto, o equipamento de IDT86 se mostrou sem tendencia de medida.

Observou-se ainda que apenas o Analista E teve resultados médios distintos e mais baixos que os demais analistas (Ver figura 1B).



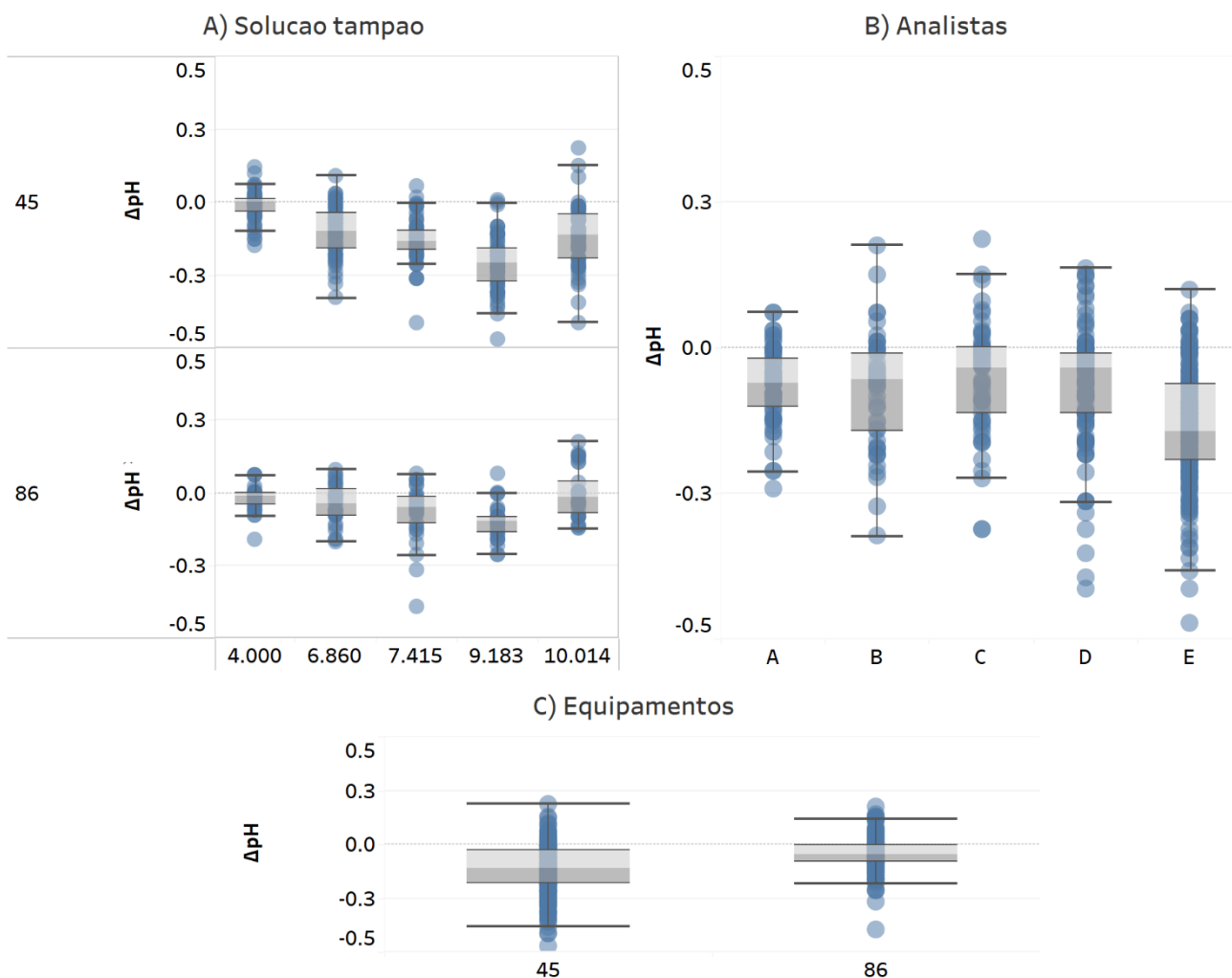


Figura 1: Resumo dos experimentos de validação de pH, com os valores de  $\Delta\text{pH}$  por A) solução tampão medida, B) por analista e por C) instrumento utilizado para a medida.

As análises de causas bases desses comportamentos ainda estão em andamento, tais como do tratamento dos resultados estatísticos.

## CONCLUSÕES

Os resultados preliminares da validação de pH foram satisfatórios e permitem que os ensaios analíticos do efluente líquido do Ipen, sejam realizados de forma precisa e exata, atendendo a legislação ambiental vigente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [Decreto estadual 8468/76](#)
- [2] [Resolução CONAMA 430/2011](#)
- [3] PMA-Q -Plano de monitoramento químico e Ambiental do Ipen

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e Projeto de Pesquisa Institucional-Licenciamento Ambiental.

# **Análise multielementar de suplementos alimentares utilizando raios-x**

**Thales Zanin dos Santos de Oliveira e Cibele Bugno Zamboni**  
**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN**

## **INTRODUÇÃO**

Os suplementos alimentares são produtos que fornecem vitaminas, minerais, proteínas e outras substâncias com o intuito de complementar uma alimentação deficitária, para o bom funcionamento do organismo. Portanto, só devem ser utilizados por indivíduos que apresentem carência de algum nutriente ou por atletas de alto rendimento e com indicação realizada por nutricionistas ou profissional habilitado. Entretanto, com a popularização de corpos musculosos associado à ideia de saudável, indivíduos que não apresentem nenhuma carência nutricional têm utilizado suplementos, sem a devida orientação médica/nutricional, o que pode levar a problemas de saúde, como problemas nos rins e fígado [1].

No Brasil, segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Suplementos Nutricionais e Alimentos para Fins Especiais (Brasnutri) [2], entre 2010 e 2016 o faturamento do mercado de suplementação passou de R\$600 milhões para R\$ 1,5 bilhão, tornando o Brasil o segundo maior mercado de suplementos alimentares do mundo, depois dos Estados Unidos. Em 2019 uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira da Indústria de Alimentos para Fins Especiais e Congêneres (ABIAD) constatou mudanças no comportamento do consumidor durante a pandemia, pelo menos uma pessoa consumiu algum suplemento alimentar em 59% dos domicílios do país, levando a um aumento de 10% em relação a dados avaliados em 2015 [3].

Ainda, segundo o Euromonitor (pesquisa de mercado sobre produtos de consumo, indústrias comerciais, tendências

demográficas e estilos de vida dos consumidores no Brasil) os minerais mais consumidos foram o cálcio (13%), seguido pelo ferro (4%).

Recentemente, um ponto importante que associa melhorias nesse mercado no Brasil pode ser atribuído a publicação da RDC ANVISA nº243/2018 [4], que define os requisitos sanitários dos suplementos alimentares e caracteriza-se como um marco regulatório no país. Até então não havia uma definição legal para esses produtos. Apesar do conjunto de normas estabelecido pela ANVISA é provável que essas mudanças não sejam imediatamente adotadas, pois foi concedido prazo de 5 anos para que as empresas possam se adequar ao cumprimento integral das normas. Além disso, o número de novos produtos ou reformulação das marcas já existentes é constante. Com base no exposto, a realização de pesquisas científicas que investiguem a composição elementar desses suplementos é de relevância no âmbito nutricional para consumidor, bem como para o profissional para correta prescrição, pois a legislação nacional ainda não obriga o fabricante a declarar o teor dos minerais, com exceção do sódio.

## **OBJETIVO**

Avaliação da composição multielementar de suplementos alimentares, com foco no comércio local da cidade de São Paulo, utilizando a técnica analítica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (FRXDE).

## METODOLOGIA

As amostras (total de 16) foram adquiridas no comércio local da cidade de São Paulo. As amostras (preparadas em triplicata) foram peneiradas, homogeneizadas e compactadas em forma de pastilhas (~50 mg) e acondicionadas em suporte circular com base de filme fino (6 µm). Nesta primeira etapa do estudo foi realizada a medida da concentração de Ca e Fe.

A técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (FRXDE) [5] é baseada na excitação de uma amostra por raios X provenientes de um tubo de RX: a interação do feixe com a amostra faz com que o material seja excitado/ionizado e no processo de desexcitação raios X característicos do material (amostra em análise) são emitidos. As medidas de FRXDE foram realizadas utilizando um espectrômetro de FRX constituído por um tubo de Raios X com alvo Au e detector SDD (Silicon Drift Detector 25 mm 2 x 500µm) com janela de Berílio (12,5 µm). As condições otimizadas de medidas foram estabelecidas por: 5µA, 30KeV e 300s. Os espectros foram obtidos usando softwares dedicados fornecidos pelo fabricante [6].

## RESULTADOS

Tabela 1. Concentração de Ca e Fe em suplementos alimentares por FRXDE

Amostras	Elementos, g/kg	
	Ca	Fe
S1	0,11 ± 0,11	0,125 ± 0,079
S2	6,92 ± 0,36	0,144 ± 0,070
S3	0,13 ± 0,10	0,114 ± 0,074
S4	21,7 ± 0,6	11,60 ± 0,29
S5	9,1 ± 0,4	0,158 ± 0,071
S6	0,05 ± 0,01	0,131 ± 0,067
S7	0,05 ± 0,01	0,46 ± 0,18
S8	118 ± 2	0,094 ± 0,042
S9	0,14 ± 0,10	0,073 ± 0,056
S10	1,30 ± 0,18	0,129 ± 0,074
S11	6,57 ± 0,35	1,65 ± 0,12
S12	0,52 ± 0,13	10,3 ± 0,3
S13	0,84 ± 0,15	0,091 ± 0,048
S14	0,76 ± 0,15	0,061 ± 0,005
S15	1,94 ± 0,22	0,162 ± 0,063
S16	0,69 ± 0,18	0,28 ± 0,09
range	0,05 – 21,77	0,06 - 11,60

Para complementar essa análise serão realizadas as medidas de FRXDE dos demais elementos identificados na análise qualitativa (P, Cl e K).

## CONCLUSÕES

Os resultados das concentrações de Ca e Fe foram comparados com os fornecidos pelo fabricante e para maioria dos suplementos não são compatíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.12,p.96770-96784 dec. 2020. ISSN 2525-8761

[2] Disponível em: <https://www.revistasuplementacao.com.br/impreso/detalhes/113-historia-dos-suplementos-brasil---probiotica.html>

[3] <http://www.brasnutri.org.br/>

[4] Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/perguntas-e-respostas/arquivos/suplementos-alimentares.pdf>

[5] POTTS, P J; ELLIS, AT; KREGSAMERP., et al. Atomic spectrometry update: X-ray fluorescence spectrometry. J. of Analytical Atomic Spectrometry, v;19, n.10, p.1397(2004).

[6] AMPTEK, DPPMCA Display & Acquisition Software, R. CAPOTE, E. LÓPEZ, AND E. MAINEGRA. Disponível em: <https://www.amptek.com/software/dpp-mca-display-acquisition-software> (2019).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

# Desenvolvimento de Visita Virtual para divulgação científica e ensino de tecnologia nuclear

Thalita Alves Colofatti Barbosa, Gaiânê Sabundjian e Patrícia Andrea Paladino  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)

## INTRODUÇÃO

As Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) integradas ao projeto pedagógico das instituições de ensino tornou-se tema primordial na época da pandemia causada pelo COVID19. Acrescenta-se o fato de que nem todos conseguem ter acesso às pesquisas realizadas por instituições científicas como o IPEN, seja pela distância ou por conta do acesso restrito às algumas instalações e há pouca divulgação das vantagens e contribuições da energia nuclear para a sociedade.

As instalações do Centro de Tecnologia das Radiações (CETER) no IPEN foram o cenário deste trabalho. O CETER aplica a tecnologia das radiações e dos radioisótopos na indústria, saúde, agricultura e no meio ambiente. É o maior complexo de laboratórios destinados a disseminar e consolidar essas aplicações no Brasil. Entre suas instalações destacam-se o Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 e o Laboratório de Fontes Intensas de Radiação, constituído por 2 Aceleradores de Elétrons, 1 irradiador de Cobalto-60 tipo panorâmico e 1 tipo Gammacell [2].

A TDIC a ser trabalhada foi a Realidade Virtual (RV). A RV fornece experiências interativas com a capacidade de alterar a percepção do mundo pelo usuário. Com o uso de capacetes ou óculos RV, tem-se a ilusão visual de estar fisicamente em uma realidade alternativa [1]. No mundo real, os olhos enxergam através da visão estereoscópica, isto é cada olho enxerga apenas uma imagem com um diferente ângulo de visão e, no cérebro, ocorre o processo de fusão binocular, produzindo

uma imagem tridimensional (3D). O cenário para RV é modelado em 3D para que a imersão se aproxime do ambiente real e a diferença de angulação é reproduzida utilizando duas câmeras, como na Fig. 1.

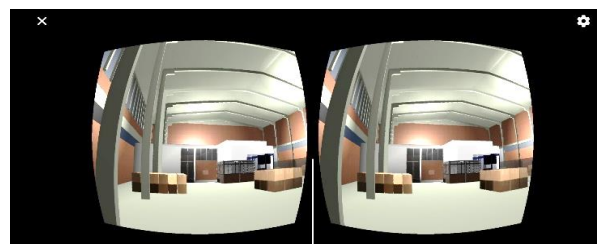


Figura 1. Imagem gerada no aparelho celular em RV – duas câmeras

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é ampliar a divulgação e acesso remoto às pesquisas desenvolvendo uma visita em Realidade Virtual às instalações do CETER no IPEN.

## METODOLOGIA

A metodologia escolhida para alcançar o objetivo foi o domínio das habilidades fornecidas pelos softwares disponíveis de forma livre na internet, técnicas e documentações para construção de jogos virtuais. As plantas e fotografias do local foram base para construção do cenário em 3D para que a interação seja semelhante à do ambiente real equivalente. A animação e programação foram realizadas utilizando motor de jogo. Os motores de jogos são softwares destinados à produção de jogos eletrônicos com editores e ferramentas que tornam mais ágil o processo de desenvolvimento de aplicações.

Neste trabalho foi utilizado o Unity [3], que fornece uma ferramenta completa para o

desenvolvimento do jogo e usa linguagem C sharp (C#). Possui vasta documentação, modelos, texturas, códigos e treinamentos e seu acesso é gratuito para faturamento até \$100.000 dólares anuais.

Como interface de visualização, utilizou-se óculos RV para a imersão e um dispositivo móvel. O dispositivo precisa ter um giroscópio para permitir o posicionamento do aparelho no espaço de acordo com a gravidade, além de determinar sua direção.

## RESULTADOS

Os ambientes das instalações foram modelados em 3D utilizando os softwares apropriados e posteriormente importados para o Unity. As Fig. 2, 3 e 4 mostram o resultado desta modelagem.



Figura 2. Modelo do Irradiador Multipropósito Cobalto-60

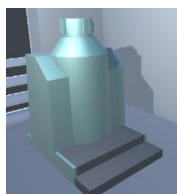


Figura 3. Modelo do Gamacell

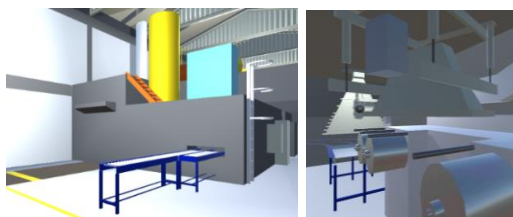


Figura 4. Modelo do Acelerador de Elétrons (parte externa / interna)

Para navegar pelo ambiente, foram implementados controles para o avatar representando o visitante em primeira pessoa. Os movimentos são programados de forma que seja possível a livre rotação da cabeça ao longo do percurso. Como alternativa, pode ser utilizado um joystick. A interação com o ambiente simulado é feita por meio de uma interface com botões. O visitante tem assim a possibilidade de

escolher os ambientes que deseja visitar, além de interagir com explicações técnicas áudio visuais pertinentes a visita.

## CONCLUSÕES

O processo de modelagem de uma visita virtual é complexo, envolvendo diversas áreas do conhecimento tais como teoria e programação de realidades digitais, modelagem em 3D, além do domínio do tema científico escolhido, neste caso, os benefícios da energia nuclear. Observou-se que a modelagem das paredes como *quad* ao invés de plano resultou em significativa redução do tempo de resposta e ganho de desempenho, diminuindo a sobrecarga do processamento e tornando a aplicação de texturas mais eficiente. Levando em conta a bibliografia estudada, observa-se uma melhor experiência de navegação, interação e absorção de conteúdos técnicos quando a visualização é complementada por uma interface com botões e arquivos de áudio.

Este trabalho tem a intenção de contribuir futuramente na divulgação das pesquisas científicas em institutos de forma remota.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Fialho, A. B., Realidade Virtual e Aumentada: tecnologias para aplicações profissionais, Editora Érica, 2018.

[2] Institucional Sobre o IPEN. [https://www.ipen.br/portal\\_por/portal/interna.php?secao\\_id=10](https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=10). (2021).

[3] UNITY 3D, versão 2020.3.7f1, <https://unity.com/> (2021).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

IPEN e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP-SP).

# Determinação de elementos traços em testemunhos de sedimento do reservatório Biritiba-Mirim, São Paulo utilizando a técnica de INAA

Thiago Costa Silva e Sandra Regina Damatto  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso atualmente indispensável para a humanidade. Visando sua produção, diversas barragens são construídas em ambientes aquáticos de forma a armazenar grandes quantidades de água, que servirão de geradores de energia em usinas hidrelétricas e no abastecimento público. O armazenamento de água contudo, pode se mostrar prejudicial, pois a água dos reservatórios está sujeita à contaminação ambiental.

Elementos traço são aqueles presentes em baixas concentrações no ambiente ( $<0,1\%$  ou  $<100$  ppm) (PIERZYNSKI et al., 1994) e estão diretamente relacionados com a geoquímica dos substratos rochosos: solos e sedimentos. Concentrações elevadas de tais elementos em sedimentos, quando comparadas a valores de referência, podem indicar uma provável contaminação antrópica do local (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Assim, a determinação de elementos traço nos diferentes compartimentos do meio ambiente auxilia a compreensão dos processos envolvidos na deposição de contaminantes em ambientes aquáticos (ALEXANDER et al., 1993); como por exemplo, um reservatório.

## OBJETIVO

Determinar as concentrações dos metais – Na, K, Rb, Cs, Ca, Ba, Cd, Co, Cr, Ta, Sn, Hf, Zn, Fe; dos não metais - Sb, As, Br e Se e dos elementos Terras Raras – Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu em amostras de sedimento coletados em testemunhos no reservatório Biritiba-Mirim, localizado na sub-bacia do Alto do Tietê, estado de São Paulo utilizando a técnica analítica de

Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental – INAA.

## METODOLOGIA

Foram coletados três testemunhos de sedimento no reservatório Biritiba-Mirim utilizando um amostrador de testemunhos tipo pistão core. No laboratório os testemunhos foram abertos com serra elétrica e fatiados a cada dois centímetros. Até o momento foram analisados dois testemunhos, BMSE 1 de 56 cm e BMSE 2 de 45 cm.

Os elementos Na, K, Rb, Cs, Ca, Ba, Cd, Co, Cr, Ta, Sn, Hf, Zn, Fe, U e Th; os não metais - Sb, As, Br e Se e os elementos Terras Raras – Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu foram determinados por INAA. As amostras de sedimento e materiais de referência foram irradiados por um período de 6h, no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN (DAMATTO, 2010).

Como materiais de referência certificados (CRM) foram utilizados: Lake Sediment - SL3 da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), Montana Soil II - SRM 2711, Inorganic Marine Sediment - SRM 2702, ambos do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST). Para a medida foi utilizado um detector de Germânio Hiperpuro (HPGe) com eficiência relativa de 23% e resolução de 2,1 keV relativo ao  $^{60}\text{Co}$ , da marca INTERTECHNIQUE, com um sistema eletrônico associado.

## RESULTADOS

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados médios de concentração, valores mínimos e máximos, bem como os valores

de referência da Crosta Continental Superior – CCS, em  $\text{mg kg}^{-1}$ , para os testemunhos BMSE 1 e BMSE 2, respectivamente, para os elementos que apresentaram valores maiores que os da CCS.

Os elementos Ba, Co, Cr, Fe, K, Na e Rb apresentaram valores menores que os da CCS em ambos os testemunhos, além dos elementos Cs e Sc no testemunho BMSE2.

Tabela 1 – Concentração média, valores mínimos, máximos e valores da CCS,  $\text{mg kg}^{-1}$ , testemunho BMSE 1.

Elemento	Média	Mín.	Máx.	CCS
As	39,3	11,6	87,5	4,8
Br	53,3	25,1	90,4	1,6
Ce	118	92	151	63
Cs	6,06	4,35	7,83	4,9
Eu	1,06	0,75	1,74	1
Hf	19,2	10,7	24,3	5,3
La	65,8	50	89,9	31
Lu	0,58	0,32	0,87	0,31
Nd	45	30	68	27
Sb	1,23	0,67	1,95	0,4
Sc	14,4	9,9	20,2	14
Se	5,86	3,43	9,67	0,09
Sm	7,9	5,5	13,4	4,7
Ta	3,05	2,08	3,9	0,9
Tb	0,99	0,66	1,52	0,7
Th	39,6	31	49,4	10,5
U	6,27	2,88	9,06	2,7
Yb	3,31	1,67	5,11	2

Tabela 2 – Concentração média, valores mínimos, máximos e valores da CCS,  $\text{mg kg}^{-1}$ , testemunho BMSE 2.

Elemento	Média	Mín	Máx	CCS
As	7	3,4	10,8	4,8
Br	16	13,5	23,3	1,6
Ce	147	118	164	63
Eu	2,03	1,45	2,5	1
Hf	12,4	7,7	16,7	5,3
La	83,3	68,5	94,1	31
Lu	0,44	0,31	0,56	0,31

Nd	77	46	107	27
Sb	0,44	0,28	0,63	0,4
Se	3,65	2,64	5,1	0,09
Sm	11,7	8,1	13,7	4,7
Ta	2,78	2,16	3,37	0,9
Tb	1,3	0,77	1,96	0,7
Th	27,6	26,6	29,5	10,5
U	5,65	4,44	7,35	2,7
Yb	2,82	2,13	3,75	2

## CONCLUSÕES

Em ambos os testemunhos se observou um enriquecimento dos elementos terras raras Ce, La, Lu, Nd, Sm, Tb, Yb e Eu; e dos não metais Se e Br. O testemunho BMSE1 apresentou maior enriquecimento para os elementos As, Br, Sb e Se, com concentrações elevadas, quando comparadas aos valores da CCS. O testemunho BMSE2 apresentou enriquecimento nos elementos terras raras, com destaque para La, Ce, Nd, Eu e Sm.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D., & Turekian, K. K. (2003). Composition of the continental crust. *The crust*, 3, 1-64.
- [2] KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- [3] DAMATTO, S. R. Determination of natural radionuclides from U and Th series, trace and major elements in sediment cores from baixada Santista and evaluation of impacted areas. 2010.
- [4] Alexander, Ian T; Kroon, Dick; Thompson, Roy (1993): Sedimentology, mineral magnetism, and oxygen isotope stratigraphy of ODP Hole 133-819A. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.785608>
- [5] Pierzynski GM, Sims JT, Vance GF (1994) Soils and environmental quality. Boca Raton: Lewis, 313p.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

# Expressão do fator de crescimento semelhante à insulina-1 de camundongo (mIGF-1) em células HEK293 utilizando diferentes vetores de expressão

Valentina Andreatta Dutton e Cibele Nunes Peroni  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

## INTRODUÇÃO

Um possível tratamento para deficiência de hormônio de crescimento seria a terapia gênica, que visa tratar e prevenir doenças, por meio da adição ou substituição de genes ou mudando seu padrão de expressão [1]. O fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) é o principal efetor do hormônio de crescimento (GH) e neste projeto foi realizada a construção de um vetor de expressão, contendo a região poli-A do gene de IGF-1 de camundongo (mIGF-1), com intuito de aumentar a eficiência de expressão do mRNA [2] e, conseqüentemente da proteína de interesse *in vitro* (células HEK293) e *in vivo* (camundongos anões).

## OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo principal a construção de um vetor de expressão contendo a sequência de cDNA do gene mIGF-1 e sua região *downstream* (pUC-UBI-mIGF-1+3'), e determinar os níveis de expressão desta proteína em células HEK293 utilizando este vetor e de mais dois vetores: pcDNA3.4-mIGF-1 e pUC-UBI-mIGF-1.

## METODOLOGIA

Para a obtenção da sequência *downstream* para a construção do plasmídeo pUC-UBI-mIGF-1+3' foi necessário encontrar o sinal de

poliadenilação. As sequências regulatórias associadas a esse sinal são essenciais para seu reconhecimento e para o processamento do pré-mRNA. Dessa maneira, foi selecionada a sequência *downstream* a ser inserida no vetor pUC-UBI-mIGF-1.

Os plasmídeos pUC-UBI-mIGF-1 e pcDNA3.4-Downstream (que continha a sequência *downstream* de interesse) foram digeridos com as enzimas EcoRI e NdeI e submetidos à eletroforese em gel de agarose e os fragmentos foram purificados. Os fragmentos do vetor e do inserto foram unidos utilizando a enzima T4 Ligase. O resultado da reação de ligase foi submetido a sequenciamento de Sanger.

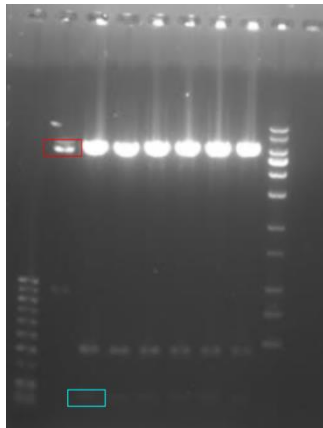
Em seguida, os três vetores foram amplificados e está sendo realizada transfecção em células HEK293 aderidas.

## RESULTADOS

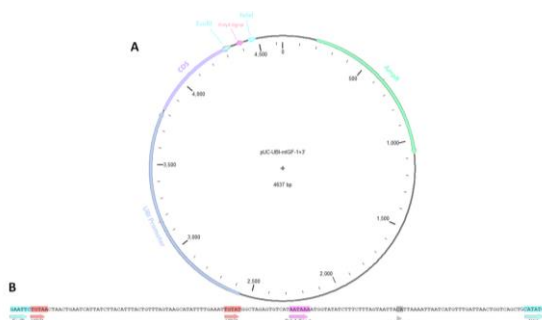
Após a digestão dos vetores pUC-UBI-mIGF-1 e pcDNA3.4-Downstream com as enzimas EcoRI e NdeI foram obtidas 2 bandas de interesse, uma correspondente ao vetor (~ 6000 bp) e uma relativa ao inserto (~150 bp) (**Figura 1**). O resultado final da reação de ligase corresponde ao vetor pUC-UBI-mIGF-1+3' (**Figura 2**), que apresenta a sequência *downstream* contendo o sinal de poliA e seus elementos regulatórios. O sequenciamento confirmou que a



construção foi bem sucedida para dar prosseguimento às próximas etapas do projeto (**Figura 3**).



**Figura 1** - Gel de agarose resultante da digestão dos plasmídeos pUC-UBI-miGF-1 e pcDNA3.4-Downstream com as enzimas de restrição EcoRI e NdeI, destacadas as bandas do vetor (~ 6000 bp, em vermelho) e do inserto (149 bp, em azul)



**Figura 2** (direita) - A: vetor de expressão gênica pUC-UBI-miGF-1+3'; B: sequência downstream inserida entre os sítios de restrição para EcoRI e NdeI

```

10      20      30      40      50
ACACCCACGCA TCCCTTAATT CAGGCCTCCG GTCCTCGTGA GCCCTGATGG
60      70      80      90     100
CTGAGATCTC CAATAATTTA GAAAAGGAG GCTGCCGGTG AGGAAAGATT
110     120     130     140     150
GCTTGGCCCT CTTTAAAGG GGGGGGAGCC CGCCATTGTT CGGATATCGC
160     170     180     190     200
TTTTGGGAT CCCCAGGCC TCCCAAGCCC TACTAAGAAA GTGGTCATAG
210     220     230     240     250
TTTTGAATAT TCCTCTGGCT TTGGCTTCGT CCTACCCGCT CTPCATCCCG
260     270     280     290     300
TCTGGGCAAC AAATCGGTTT GAACCACTCA CCGCCTTAC CCTCTCTTT
310     320     330     340     350
CATGG

```

**Figura 3** - Sequenciamento de Sanger da CDS do gene de miGF-1 e da sequência downstream presentes no vetor pUC-UBI-miGF-1+3', resultado da reação de ligase

## CONCLUSÕES

A partir da digestão dos plasmídeos, foram obtidos os fragmentos esperados relativos ao vetor e ao inserto. Após a reação de ligase, o sequenciamento confirmou a construção do vetor pUC-UBI-miGF-1+3'. Esses resultados permitirão a realização de um ensaio *in vitro* utilizando células HEK293 para confirmar a capacidade de expressão dos vetores e, posteriormente, um bioensaio em camundongos anões *lit/lit* para comparar as eficiências de expressão de cada um dos três vetores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Van Gaal, E.V.B. et al. Plasmid engineering for controlled and sustained gene expression for nonviral gene therapy. **Pharm. Res.**, v. 23, p. 1053-1074, 2006.

[2] Proudfoot, N.J. Ending the message: poly(A) signals then and now. **Genes Dev.**, v. 25, p. 1770-1782, 2011.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

# Nanopartículas proteicas: síntese induzida por radiação ionizante em substituição aos métodos convencionais

Victória Martins Alves e Ademar Benévolo Lugão  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

A albumina é a proteína mais abundante no plasma humano e serve como um importante nutriente no corpo humano, sendo uma fonte endógena de aminoácidos [1]. A albumina tem papéis importantes, incluindo a regulação da pressão oncótica do sangue, assim como o transporte e distribuição de íons bivalentes, hormônios, bilirrubina, esteróides, e ácidos graxos [2].

A albumina vem emergindo como uma plataforma para entrega de drogas versátil devido a sua boa biocompatibilidade, não toxicidade e não imunogenicidade [3]

O método mais comum para a síntese de nanopartículas de albumina é a desolvatação. Em resumo, as NPs de albumina são precipitadas pelo enfraquecimento e remoção da camada de solvatação por meio de agentes desidratantes como o etanol. Depois, as NPs são mais densificadas e estabilizadas através da reticulação química. E, por fim, é realizada uma purificação para a remoção do solvente orgânico e o agente de reticulação [1].

Na busca de um método mais sustentável (*green nanotechnology*), outras vias de síntese estão sendo exploradas, como a síntese radiolítica, que permite o controle adequado do processo de *crosslinking* sem necessidade de agentes redutores [4]. Além da vantagem de não gerar resíduos, outras vias que não utilizam esses solventes também podem manter a integridade e a atividade biológica da albumina, minimizando a ocorrência de problemas de imunorreatividade no corpo humano [3].

O objetivo principal do trabalho é o estudo da síntese e caracterização de sistemas nanométricos baseados em albumina para carreamento de drogas e/ou radionuclídeos diagnósticos através de síntese induzida por radiação ionizante, em substituição aos métodos convencionais.

## METODOLOGIA

### Síntese das Nanopartículas

As nanopartículas foram sintetizadas nas concentrações 0,5, 2,5, 5, 7,5 e 10 mg/mL, com 30% de etanol (v/v), em tampão fosfato (50mM) e tris-HCl (50mM), todos em atmosfera de NO e sob banho de gelo, segundo a técnica de Varca et. al (2014 e 2016). Após a homogeneização e repouso por 6 horas em refrigerador, as amostras foram submetidas ao processo de irradiação.

### Irradiação

A irradiação foi realizada no Centro de Tecnologia das Radiações (CETER-IPEN) no Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 variando a dose de 5 a 25 kGy. As amostras foram mantidas refrigeradas em recipiente isolante térmico.

### Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)

As análises por espalhamento dinâmico de Luz foram realizadas em um Litesizer 500 (Anton Paar, AT) por 10 segundos à 25 °C utilizando ângulo automático.

### Avaliação de Bitirosina

A formação de bitirosina foi analisada através da fluorescência em um SpectraMax i3 Multi-Mode Microplate Reader (Molecular Devices, USA) usando comprimento de onda de excitação de 350 nm, varredura de comprimento de onda de emissão variando de 350 a 500 nm e

larguras de banda de excitação e emissão de 9 e 15 nm.

## RESULTADOS

Os gráficos ilustram a variação do tamanho hidrodinâmico das nanopartículas em relação à concentração de albumina nas diferentes doses de radiação e nos diferentes tampões.

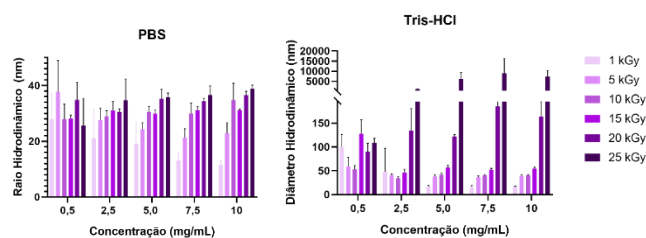


Figura 1: Tamanho hidrodinâmico das nanopartículas de albumina sintetizadas em tampão Fosfato e tris-HCl variando a concentração de 0,5 a 10 mg/mL e as doses de 1 a 15 kGy.

O estudo da formação da bitirosina foi feito através da comparação de determinadas concentrações em diferentes doses. Verifica-se a formação de bitirosina em todas as doses, porém em doses mais altas vê-se maior formação de bitirosina, evidenciando a influência da dose na formação das nanopartículas.

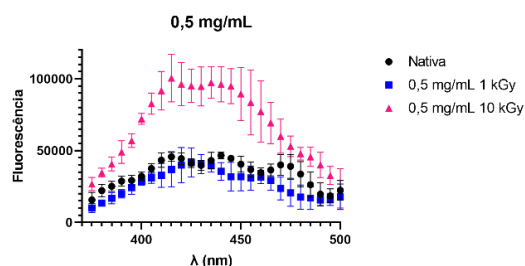


Figura 2: Formação de Bitirosina na concentração 0,5 mg/mL.

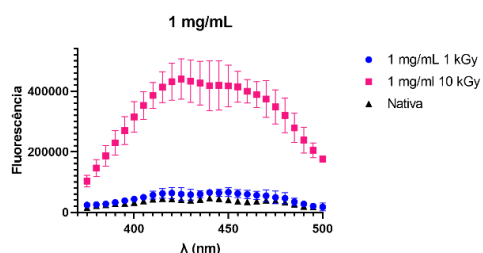


Figura 3: Formação de Bitirosina na concentração 1 mg/mL.

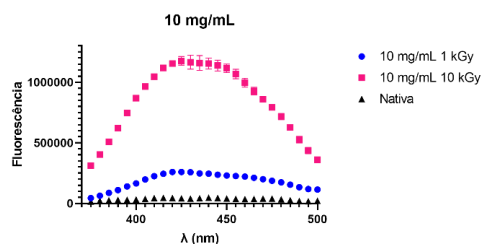


Figura 4: Formação de Bitirosina na concentração 10 mg/mL.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o tampão tris-HCl está associado a valores maiores de tamanho de nanopartícula do que o tampão fosfato. Mostram também que a irradiação apresenta associação positiva referente ao tamanho da nanopartícula. Já a concentração não apresenta associação significativa no tamanho das nanopartículas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lei, C., Liu, X. R., Chen, Q. B., Li, Y., Zhou, J. L., Zhou, L. Y., & Zou, T. (2021). Hyaluronic acid and albumin based nanoparticles for drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 331, 416–433.
- [2] Tan, Y. L., & Ho, H. K. (2018). Navigating albumin-based nanoparticles through various drug delivery routes. *Drug Discovery Today*, 23(5), 1108–1114.
- [3] Qu, N., Sun, Y., Li, Y., Hao, F., Qiu, P., Teng, L., Xie, J., & Gao, Y. (2019). Docetaxel-loaded human serum albumin (HSA) nanoparticles: synthesis, characterization, and evaluation. *BioMedical Engineering OnLine*, 18(1).
- [4] de Freitas, L. F., Varca, G. H. C., Batista, J. G. D. S., & Lugão, A. B. (2018). An Overview of the Synthesis of Gold Nanoparticles Using Radiation Technologies. *Nanomaterials*, 8(11).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq

**INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E  
DOSIMETRIA**



**INSTITUTO DE  
RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA**

# Doses de radiação em tomografia computadorizada de tórax: avaliação de comprometimento pulmonar em decorrência da COVID-19

Beatriz Soares Pereira e Simone Kodlulovich Renha  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

A partir de março de 2020, quando a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarou a pandemia de COVID-19, a população global passou a enfrentar os impactos do vírus SARS-CoV-2, o agente causador da doença. Com a decodificação do genoma do SARS-CoV-2, o método de diagnóstico principal tornou-se o RT-PCR [1]. A Tomografia Computadorizada (TC) do tórax ganhou importância crucial tanto na identificação de alterações pulmonares como no acompanhamento de pacientes já afetados pela doença, além de ser útil no monitoramento pós-COVID-19.

É crucial reconhecer que o uso da TC expõe os pacientes à radiação ionizante, portanto, é necessário otimizar os protocolos de exame para minimizar os riscos envolvidos. Além disso, como a TC do tórax afeta órgãos sensíveis à radiação, como pulmões, mamas e tireoide, existe um maior potencial de risco de câncer radioinduzido, especialmente em pacientes com casos graves da doença, que frequentemente são submetidos a múltiplos exames.

Apesar da ausência de um limite de dose estabelecido para pacientes, os níveis de referência são definidos com o objetivo de manter as exposições dos pacientes no mínimo necessário para obter imagens com qualidade adequada para fins clínicos. No entanto, mesmo em doses baixas, a incidência de cânceres sólidos continua associada à radiação ionizante, seguindo o modelo linear sem limiar (LNT). Com base nessas informações, é fundamental avaliar os riscos associados aos procedimentos de tomografia computadorizada.

## OBJETIVO

Avaliar as doses de radiação recebidas pelos pacientes com suspeita ou com COVID-19 em exames de tomografia computadorizada de tórax e seu risco potencial devido à exposição.

## METODOLOGIA

Será conduzido um estudo retrospectivo em um hospital público na cidade do Rio de Janeiro, no qual será avaliada uma amostra composta por dez pacientes a cada mês. Esses pacientes serão selecionados com base na suspeita ou confirmação de infecção por COVID-19 e terão passado por exames de tomografia de tórax durante o período de 2020 a 2022. O estudo incluirá diversos aspectos, tais como:

**Avaliação de Desempenho e Qualidade de Imagem:** Serão realizados testes para avaliar o desempenho dos tomógrafos utilizados no hospital, bem como a qualidade das imagens produzidas.

**Dosimetria e Comparação de Valores:** Será efetuada uma análise de dosimetria para determinar as doses de radiação absorvidas pelos pacientes. Esses valores serão comparados com as informações fornecidas nos consoles dos equipamentos e nos relatórios de dose.

**Registro de Dados:** Um registro detalhado de dados será mantido, incluindo parâmetros técnicos dos procedimentos de tomografia, descritores de dose como CTDI volumétrico ( $CTDI_{vol}$ ) e DLP (Produto de Comprimento e Dose) para cada exame de TC, além dos dados dos pacientes, tais como idade, peso, altura, indicação clínica e fatores de risco.

Determinação de Doses Absorvidas: As doses absorvidas nos órgãos dos pacientes serão determinadas por meio do uso do programa computacional CALDose\_XCT. Medidas obtidas a partir de simuladores antropomórficos, como o simulador Alderson, e o simulador de torso ECT também serão empregadas nesse processo.

## RESULTADOS

Durante o andamento deste projeto, foram acompanhadas cerca de 3 dosimetrias em diferentes clínicas do Rio de Janeiro para fins de aprendizado. Além disso, acompanhei um curso quanto a Tomografia Computadorizada no Instituto Nacional de Câncer (INCA).

Foi desenvolvido um protocolo completo de calibração para os dosímetros LiF:Mg,Ti, seguido pela execução das irradiações correspondentes na qualidade de feixe RQT 9 (conforme IEC 61267) [2]. Posteriormente, foi efetuada a leitura dos dosímetros e realizada a seleção dos dosímetros que serão empregados nos procedimentos de Tomografia Computadorizada (TC).

A aquisição de dados de pacientes suspeitos ou diagnosticados com COVID-19, juntamente com os parâmetros de exposição empregados em cada exame de TC de tórax, além dos valores de CTDIvol e DLP para cada procedimento foram coletados. Até o momento, informações de aproximadamente 210 pacientes foram reunidas e anonimizadas.

Estamos atualmente engajados em pesquisas relacionadas ao posicionamento ideal dos dosímetros termoluminescentes (TLDs) no simulador de corpo, como parte do processo de avançar para a próxima fase do projeto.

## CONCLUSÕES

Durante este período, conseguimos efetuar a coleta dos dados dos pacientes

essenciais por meio do sistema hospitalar associado ao projeto. Isso nos permitirá realizar uma comparação entre as avaliações e estimativas de dose absorvida nos órgãos, obtidas por meio do programa CALDose\_XCT, e os valores resultantes das exposições dos TLDs no simulador Alderson Rando, conforme os protocolos estipulados no tomógrafo.

A análise estatística dos resultados está em curso, paralelamente à formulação do trabalho de conclusão de curso que se baseia nessa investigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DHAMA, Kuldeep et al. Coronavirus disease 2019–COVID-19. *Clinical microbiology reviews*, v. 33, n. 4, p. 10.1128/cmr.00028-20, 2020.

[2] LIMEDE, Patrícia Isabel Baptista Jorge de Medeiros. Caracterização das qualidades de radiação X de diagnóstico, segundo a norma internacional IEC 61267. 2009. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

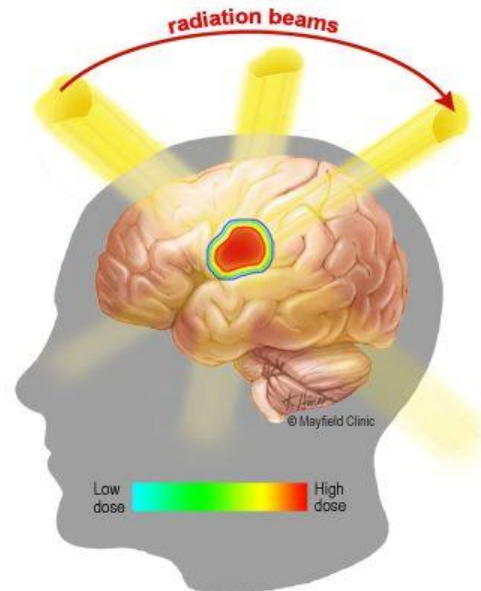
Os responsáveis por este estudo expressam sua gratidão ao IRD pela valiosa oportunidade de conduzir essa pesquisa e á CNEN pelo suporte financeiro que viabilizou o progresso contínuo do projeto.

# Estudo do uso de radioterapia por feixe externo de fótons no tratamento de tumores cerebrais

Davi Dallapicola Coelho e Eduardo De Paiva  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

O uso de grandes aceleradores lineares clínicos permite o tratamento de várias neoplasias malignas [1,2]. Em particular, o uso de radioterapia por feixe externo de fótons para o tratamento de tumores cerebrais tem aumentado de importância com o crescimento dos números de casos no país. Um tumor cerebral é constituído por uma massa ou aglomerado de células anormais no cérebro, e que tem a possibilidade de colocar em risco a vida do paciente devido à sua capacidade de invadir tecidos vizinhos saudáveis e também formar metástases [3,4]. Dada a complexidade das técnicas e formas de tratamento o estudo das distribuições de doses provenientes da incidência do feixe de radiação em tumores de cérebro e sua interação com os tecidos adjacentes ao tumor é de grande importância para se obter parâmetros seguros de tratamento e estimar os riscos de incidência de câncer secundário radioinduzido. As figuras a seguir ilustram um acelerador o tratamento de um tumor cerebral com o uso de radiação ionizante.



## OBJETIVO

Os principais objetivos a serem alcançados neste projeto são:

- i. Estudar os tipos de câncer que acometem a região cerebral, fatores de risco e percentual de incidência.
- ii. Conhecer os tipos de tratamento por radioterapia por feixe externo prescritos para cada tipo de câncer cerebral.
- iii. Estudar as distribuições de dose absorvida para cada forma de irradiação com feixes de fótons de alta energia.
- iv. Estudar os modelos de previsão de câncer induzido em tecidos saudáveis nas vizinhanças do tumor.
- v. Estudar os efeitos adversos tardios da radioterapia cerebral terapêutica após longos períodos após o tratamento por teleterapia.
- vi. Estudar o aumento de risco de tumor cerebral após exposição a altas

- doses terapêuticas de radiação ionizante.
- vii. Familiarização com o uso do sistema planejamento de tratamento Eclipse.

## **METODOLOGIA**

Dados sobre tumores cerebrais serão obtidos em revistas especializadas e sites confiáveis da internet. Modelos de previsão de risco de câncer secundário induzido após irradiação com altas doses de fótons serão computacionalmente modelados. Utilizando um software de planejamento em radioterapia, feixes de radiação serão incididos no tumor de acordo com modelos pré-definidos para analisar posteriormente a dose absorvida em determinados tecidos, realizando um levantamento dos riscos associados *versus* quantidade de dose depositada no tecido.

## **RESULTADOS**

O estudo e análise dos textos especializados sobre tumores cerebrais permitiu entender/conhecer:

- i. Os tipos mais comuns de tumores cerebrais.
- ii. O percentual de incidência em homens e mulheres.
- iii. A abordagem do tratamento radioterápico em crianças.
- iv. O percentual de incidência no Brasil e no mundo.
- v. A classificação dos tumores cerebrais, baseado principalmente em sua capacidade de crescimento.
- vi. As técnicas de radioterapia mais utilizadas.
- vii. As doses de radiação típicas utilizadas.
- viii. O percentual de re-incidência após tratamento com radiação.
- ix. O tempo médio de vida do paciente após o tratamento com radioterapia.

- x. Compreender os modelos de análise de risco para os órgãos saudáveis.
- xi. Compreender os benefícios e malefícios de técnicas para aprendizagem de máquinas.

## **CONCLUSÕES**

Neste projeto foi possível compreender vários aspectos do uso de radiações ionizantes no tratamento de tumores cerebrais. O uso de radioterapia com o uso de feixes externos de fótons tem um papel importante no tratamento destes tumores. Em particular o uso de tecnologias e técnicas modernas de tratamento tem contribuído bastante para administrar uma alta dose de radiação no tumor e ao mesmo comprometendo o mínimo possível os tecidos saudáveis adjacentes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] A. C. Begg, F. A. Stewart, C. Vens. Strategies to improve radiotherapy with targeted drugs. *Nature Review Cancer* 11, 239 (2011).
- [2] E. B. Podgorsak. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA (2005).
- [3] N. J. DeNunzio, T. I. Yock. Modern radiotherapy for pediatric brain tumors. *Cancers* 12, 1533 (2020).
- [4] S. Chatterjee, F. A. Nizamani, A. Nürnberger, O. Speck. Classification of brain tumours in MR images using deep spatio-spatial models. *Scientific Reports* 12, 1505 (2022).

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.



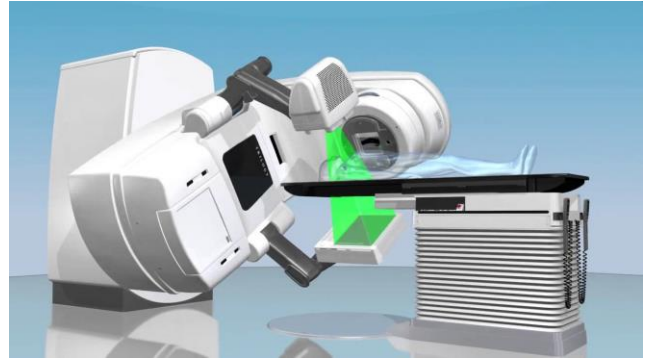
# Estudo de novas tecnologias em radioterapia por feixe externo de fótons e proteção radiológica associada

Elen Aparecida Silva Martins e Eduardo de Paiva  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

O uso de grandes aceleradores lineares clínicos (LINAC's) permite o tratamento de várias neoplasias malignas. Em especial o uso de radioterapia com feixe externo de fótons (teleterapia) para o tratamento de tumores têm aumentado de importância devido ao crescimento do número de casos no país. Nas últimas décadas a radioterapia vivenciou um significativo avanço tecnológico em vários aspectos da administração das doses de radiação, aprimorando o manejo de vários tipos de câncer.

Tais avanços recentes incluem o uso de radioterapia por intensidade modulada (*intensity-modulated radiotherapy* – IMRT), irradiação de corpo inteiro (*total body irradiation* – TBI), terapia em arco volumétrico modulado (*volumetric-modulated arc therapy* -VMAT), radioterapia guiada por imagem (*image-guided radiation therapy* – IGRT) e radiocirurgia estereotática (*stereotactic radiosurgery* – SRS). Estas técnicas permitem a entrega de altas taxas de doses de radiação de volume alvo, ao mesmo tempo que reduzem os efeitos secundários nos tecidos adjacentes quando comparados com a radioterapia conformacional 3D (3D-CRT). Portanto, dada a complexidade destas técnicas e formas de tratamento, uma atenção especial aos princípios de proteção radiológica nas instalações de radioterapia que as utilizam se faz necessário. Na figura a seguir é mostrada uma visão geral de um acelerador linear que utiliza a técnica de IGRT.



## OBJETIVO

Os objetivos a serem alcançados neste projeto são:

- i. Estudo dos principais tipos de câncer no Brasil, fatores de risco e percentual de incidência.
- ii. Estudo do funcionamento de um acelerador linear clínico.
- iii. Estudo dos tipos de tratamento em radioterapia por feixe externo prescritos para cada tipo de tratamento.
- iv. Estudo e familiarização com os equipamentos típicos de uma instalação de radioterapia convencional.
- v. Estudo e familiarização com os princípios de proteção radiológica em uma instalação de radioterapia convencional.
- vi. Estudo de novas tecnologias e técnicas de tratamento disponíveis (IMRT, TBI, VMAT, IGRT E SRT).
- vii. Comparação entre as diferentes técnicas em termos de eficácia e efeitos secundários de longo prazo.
- viii. Estudo e familiarização com os princípios de proteção radiológica

em uma instalação de radioterapia que utiliza técnicas avançadas.

## **METODOLOGIA**

Dados e informações sobre técnicas e novas tecnologias em teleterapia foram obtidos em revistas especializadas e sites confiáveis da internet. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as novas tecnologias e técnicas de tratamento. Um painel comparativo está sendo montado após analisar todos os dados obtidos neste último ano, porém ainda há informações a serem avaliadas para completá-lo. Este painel mostrará as várias técnicas de tratamento destacando-as em termos de eficácia e efeitos de toxicidade em longo prazo, bem como suas indicações clínicas e vantagens.

## **RESULTADOS**

O estudo e análise dos textos pesquisados sobre novas tecnologias e técnicas em radioterapia por feixe externo possibilitou entender as várias vantagens em seu uso clínico. Também permitiu entender que a proteção radiológica dos profissionais ocupacionalmente expostos, assim como os pacientes, adquire uma maior importância devido às altas taxas de doses envolvidas.

## **CONCLUSÕES**

O uso dos feixes externos de radiações ionizantes (radioterapia) em medicina desempenha um papel importante no tratamento de várias doenças e nas últimas décadas surgiram novos avanços tecnológicos que enriqueceram os mecanismos de entrega da dose de radiação. Contudo, com a melhora dos resultados clínicos dos tratamentos de tumores e um aumento de expectativa de vida dos pacientes faz-se necessário minimizar as toxicidades relacionadas a radioterapia. O surgimento de técnicas de radioterapia tais como IMRT, VMAT, IGRT,

SBRT e TBI permitem uma administração de tratamento mais precisa, entregando uma alta dose ao tumor, ao mesmo tempo em que reduz nos tecidos saudáveis adjacentes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Technical Advances in Radiation Therapy for Brain Tumors. C. Scaringi, et al. *Anticancer Research* 38, 6041 (2018).

Intensity-modulated radiation therapy: a review with a physics perspective Byungchul Cho. *Radiation Oncology Journal* 36, 1 (2018).

Emerging radiotherapy technologies and trends in nasopharyngeal cancer. M.Tseng, et al. *Cancer Communications* 40, 395 (2020).

Technological Advancements in External Beam Radiation Therapy (EBRT): An Indispensable Tool for Cancer Treatment. Krishna Koka, et al. *Cancer Management and Research* 14, 1421 (2022).

Advances in External Beam Radiation Therapy and Brachytherapy for Cervical Cancer. C. W. Willianson, et al. *Clinical Oncology* 33, 567 (2021).

A review of stereotactic body radiotherapy - is volumetric modulated arc therapy the answer? Sapkaroski D, Osborne C, Knight KA. *J Med Radiat Sci.* 62, 142-151 (2015).

Contemporary radiotherapy: present and future. R. A. Chandra, et al. *The Lancet* 398, 171 (2021).

Modern radiotherapy in cancer treatment during pregnancy. R. Mazzola, et al. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 136, 13 (2019).

M. D. Faye, J. Alfieri. *Advances in Radiation Oncology for the Treatment of Cervical Cancer.* *Current Oncology* 29, 928-944 (2022). doi: 10.3390/currenocol29020079.

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

Bolsista da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

# Estudo das aplicações das partículas beta no tratamento de câncer

Iris Arruda Silva e Eduardo de Paiva  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

A radioterapia é uma prática médica na qual feixes de radiações ionizantes são usadas para o tratamento de tumores malignos, e segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO), até o ano de 2040 o número estimado da incidência de novos casos de câncer é de 29,5 milhões [1]. Doses de radiações provenientes de partículas betas possuem importantes aplicações em medicina no tratamento de vários tipos de tumores, tais como tumores na tireoide, fígado, tumores oculares (como o retinoblastoma e os melanomas da coróide) e tumores superficiais de pele [2-5]. Em particular, a braquiterapia intravascular com fontes cilíndricas contendo P-32 e Y-90 possui grande importância quando se leva em conta o grande aumento de número de casos de doenças cardiovasculares em todo o mundo [3]. Alguns dos núclídeos beta emissores usados em braquiterapia ou com potencial para serem usados são P-32, V-48, Sr-90, Y-90, Ru-106, Xe-133, Pr-144, W-188 e Re-188. As placas ou aplicadores contendo os elementos beta emissores podem se apresentar em várias formas geométricas, como por exemplo sementes cilíndricas; placas planas retangulares e esféricas; placas concavas simétricas e assimétricas, e aplicadores multi-poço. As partículas beta possuem um curto alcance no meio tornando-as bastante adequadas para uso em braquiterapia de tumores superficiais. No entanto, um problema que surge é a difícil determinação das distribuições de dose absorvida em torno de tais fontes/aplicadores, principalmente devido a seu curto alcance e aos acentuados gradientes de dose. Por conta disso, mais as várias aplicações clínicas das radiações beta

e a complexidade das técnicas e formas de tratamento, o estudo das distribuições de doses provenientes da incidência de feixes de radiação beta é de grande importância. Neste sentido, métodos numéricos e simulações são importantes para calcular as distribuições de dose em torno dos aplicadores beta.

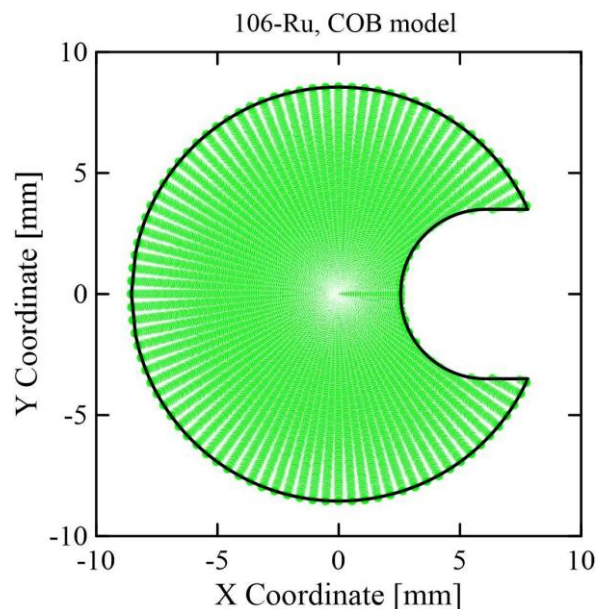
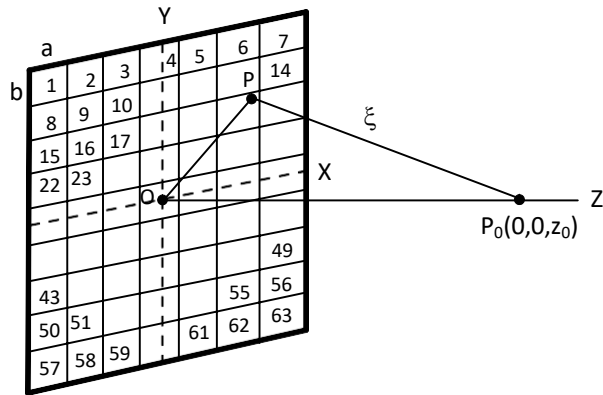
## OBJETIVO

Os principais objetivos a serem alcançados neste projeto são estudar os vários tipos de câncer que podem ser tratados com fontes beta emissoras, fatores de risco e percentual de incidência; conhecer os tipos de tratamento por braquiterapia com o uso de aplicadores beta prescritos para cada tipo de câncer; estudar as distribuições de dose absorvida para cada forma de irradiação com aplicadores beta; estudar os modelos de cálculo de distribuições de doses disponíveis na literatura, estudar os vários tipos de emissores beta e suas aplicações em radioterapia, bem como continuar estudando os métodos de determinação das distribuições de dose em torno dos aplicadores clínicos.

## METODOLOGIA

Este estudo está sendo realizado por meio da busca e análise da literatura relacionada ao tema. Dados sobre neoplasias malignas tratáveis com fontes beta emissoras estão sendo obtidos em revistas especializadas e sites confiáveis da internet. As propriedades físicas dos radionuclídeos que decaem por emissão de partículas beta estão sendo estudadas, assim como os vários formatos dos aplicadores; radionuclídeos com potencial para serem usados no futuro também estão sendo estudados. Métodos

teóricos de cálculo de distribuições de doses em torno de fontes beta emissoras continuarão sendo estudado. Duas opções viáveis e disponíveis são estimativas obtidas por método de Monte Carlo e por meio do formalismo da *beta-point source dose function* [4,5]. As figuras a seguir ilustram dois tipos de aplicadores beta (extraídas de [4,5]).



## RESULTADOS

A análise dos textos pesquisados sobre aplicadores com fontes emissoras de partículas beta permitiu identificar várias vantagens em seu uso clínico. O alcance de poucos milímetros dessa radiação no tecido pode aumentar a proteção da estrutura saudável ao redor do tumor quando o tratamento é realizado.

## CONCLUSÕES

O estudo das aplicações das radiações beta em radioterapia (braquiterapia) indicou uma grande vantagem em seu uso no tratamento de várias doenças, tais como tumores oftalmológicos, doenças cardiovasculares, e cancer superficial de pele. Contudo, o uso clínico das radiações beta precisa de um adequado conhecimento das distribuições de doses em torno das fontes/aplicadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] World Health Organization. Disponível em <http://gco.iarc.fr/tomorrow/home>.
- [2] The International Commission on Radiation Units and Measurements. Dosimetry of beta rays and low-energy photons for brachytherapy with sealed sources. ICRU Report No. 72 (2004).
- [3] E. De Paiva. Data on estimations of relative dose rates along central axis of symmetric and asymmetric 106 Ru/ 106 Rh applicators used in eye brachytherapy. Data in Brief 34, 106620 (2021).
- [4] E. De Paiva. Estimates of relative beta radiation doses on central and lateral axes of ruthenium/rhodium COB-type plaque used in eye brachytherapy. Applied Radiation and Isotopes 156, 108991 (2020).
- [5] E. De Paiva, M. Robotjazi, A. Pashazadeh. Calculations of beta radiation doses from multiwell Phosphorus-32 and Yttrium-90 applicators designed to be used in the treatment of superficial skin tumors: comparison of Monte Carlo and analytical methods. European Physical Journal Plus 137, 916 (2022).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

# Estudo de blindagens e materiais em radioterapia por feixe externo de fótons

Jossana Almeida de Oliveira e Eduardo De Paiva  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

Radioterapia com feixe externo utiliza aceleradores lineares avançados para tratar diversos tipos de tumores. O emprego da radioterapia de feixe externo, usando fótons, está ganhando destaque devido ao aumento dos casos de câncer no país. Uma preocupação fundamental é calcular as espessuras das barreiras nas salas de tratamento para garantir que a radiação não ultrapasse os limites seguros nas áreas adjacentes. Esse estudo abrange tanto radioterapia convencional quanto técnicas mais avançadas, explorando diversos materiais para as barreiras e levando em consideração os aspectos financeiros. A imagem abaixo apresenta um exemplo de acelerador linear utilizado na radioterapia.[1]



## OBJETIVO

O projeto tem como principais objetivos realizar uma análise detalhada das interações físicas entre a radiação e os materiais de proteção, bem como investigar os fatores que exercem influência no cálculo dessas estruturas na radioterapia. Além disso, o estudo visa aprofundar o conhecimento das equações fundamentais

que regem o dimensionamento das proteções em tratamentos de feixe externo. Outro foco importante é a avaliação criteriosa dos materiais convencionais empregados nas estruturas de proteção, bem como a exploração de alternativas viáveis. Nesse sentido, será dedicada atenção à análise dos aspectos financeiros associados a ambas as opções, buscando uma compreensão completa dos custos envolvidos.

Um elemento chave do projeto é o desenvolvimento de um software inovador que permitirá automatizar os cálculos essenciais para determinar as dimensões adequadas das estruturas de proteção, garantindo sua conformidade com os padrões regulatórios estabelecidos. Isso contribuirá para uma implementação mais eficiente e segura dos procedimentos de radioterapia com feixe externo.

## METODOLOGIA

Neste estudo, o método de cálculo das barreiras envolve uma análise profunda das leis físicas subjacentes às estimativas de espessura, bem como a exploração dos parâmetros essenciais para obter resultados precisos. Além disso, ocorre a definição dos tipos de barreiras, a realização de cálculos iniciais usando cimento comum como referência e a geração de estimativas para diferentes modalidades de radioterapia. O estudo também abrange a pesquisa de materiais alternativos na literatura, a análise comparativa dos custos envolvidos no uso de alternativas em relação ao cimento comum e o desenvolvimento de um software personalizado para automatizar os cálculos de proteção.[2]

## RESULTADOS

A avaliação das proteções estruturais em salas de radioterapia projetadas para abrigar aceleradores lineares médicos, os quais emitem feixes de fótons de alta energia, desempenha um papel fundamental na elaboração de diretrizes para a proteção radiológica. A dimensão de cada barreira é condicionada por parâmetros intrínsecos ao equipamento. Essas dimensões, por sua vez, são influenciadas não apenas por especificações técnicas, mas também pelas características específicas dos tratamentos realizados e pelo volume de pacientes atendidos diariamente. Além disso, as espessuras das proteções são sensíveis à finalidade da área protegida e à sua ocupação. A distância entre a fonte de radiação e a energia do feixe de fótons têm impacto direto nas espessuras necessárias. Adicionalmente, a natureza do material utilizado na construção da barreira e os limites de radiação permitidos no ponto de interesse influenciam a definição das dimensões apropriadas. A complexidade desse processo de dimensionamento é um fator crítico para garantir ambientes seguros em conformidade com os padrões regulatórios na prática da radioterapia.[4]

## CONCLUSÕES

Sabendo que grandes aceleradores lineares clínicos têm um papel crucial na geração de feixes de fótons de alta energia, principalmente na radioterapia. Nesse quesito é primordial o cálculo preciso das espessuras das proteções das salas que alojam esses aceleradores. Ademais, o intuito é manter a radiação nos arredores da sala dentro de níveis seguros. Nesse contexto, este estudo se baseia nas leis essenciais de inverso do quadrado da distância e atenuação exponencial da intensidade da radiação, empregadas para estimar as dimensões ideais das paredes de uma sala de radioterapia padrão.

Adicionalmente, é imperativo levar em consideração o impacto das técnicas modernas de radioterapia, como IMRT, VMAT, SBRT e IGRT, ao conduzir essa análise. Essas abordagens avançadas exigem uma abordagem metódica para garantir que as estimativas de espessura das proteções permaneçam eficazes, assegurando um ambiente seguro para os procedimentos de tratamento.[5]

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NCRP - National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities. NCRP Report 151, Bethesda: NCRP (2005).

[2] Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes básicas de proteção radiológica. CNEN-NN-3.01, Rio de Janeiro: CNEN (2005).

[3] E. De Paiva. Princípios do cálculo de blindagem em radioterapia. Revista Brasileira de Ensino de Física 36, 1 (2014).

[4] E. De Paiva. The inverse square law and the exponential attenuation law used to the shielding calculation in radiotherapy on a high school level. The Physics Teacher 54, 239 (2016).

[5] E. De Paiva. A study on the cost of concrete shielding in a standard radiotherapy facility room. Brazilian Journal of Radiation Sciences 6, 1 (2018).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

# **Desenvolvimento de um Dispositivo para Medição de Dose Glandular Mamária**

**Kelly Pinto de Oliveira e José Guilherme Pereira Peixoto**  
**Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD)**

## **INTRODUÇÃO**

A mamografia é um exame fundamental na detecção precoce do câncer de mama e a dose glandular mamária é um fator crítico nesse processo, pois uma exposição excessiva a radiação pode aumentar os riscos para os pacientes. Será criado um dispositivo para medir a dose glandular, permitindo estudos detalhados para que futuramente se tenha um controle mais efetivo da exposição a radiação durante os exames mamográficos.

## **OBJETIVO**

Estudar a dose recebida na glândula, saber de fato quanto de dose a mama recebe em cada exame realizado e se há alguma interferência em relação a dose recebida para mais tarde poder pensar no limite de dose para a mama. Mais à frente pode-se passar a possibilidade de ser realizado uma mamografia por períodos longos ou mais curtos de 6 meses ou uma a cada 5 anos.

## **METODOLOGIA**

Será criado um sutiã que possa ser comprimido junto com a Mama, preenchido com gel dosímetro, tinta dosimétrica ou criar algum dispositivo que permita captar resultados precisos. Primeiramente será usado

esse sutiã para testes em exames de mamografia permitindo realizar estudo de doses de quanto a mama recebe de dose em cada exame realizado.

## **RESULTADOS**

Foi obtido uma pesquisa com pacientes que passaram pelo exame de mamografia, e foi constatado estatisticamente que cerca de 99% dos pacientes relatam que existe um desconforto na realização desse exame causando dor e constrangimento e desejam que num futuro breve essa tecnologia avance e os exames tenham conforto.

## **CONCLUSÕES**

A distribuição de dose em relação a compressão mamária é um fator importante na mamografia. A compressão adequada e a distribuição uniforme de dose são essenciais para obter imagens de alta qualidade e minimizar a exposição à radiação. Considerações clínicas e técnicas, juntamente com a formação adequada dos profissionais de saúde, são fundamentais para otimizar a distribuição de dose durante o exame de mamografia e

garantir a segurança e o benefício para os pacientes. Será realizada mais pesquisas em relação a esse projeto que justamente darei continuidade, aperfeiçoando a ideia e verificando outros dispositivos que possam adaptar-se melhor a realização dos exames obtendo uma melhor resposta possível.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] ACR. Practice Guideline for the Performance of Whole Breast Digital Mammography - (Res.7), 2001.

[2] BONTRAGER, H. L. et al. Tratado de Técnica Radiológica e Base Anatômica. 4º ed. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1999.

[3] MEDEIROS, R. B. Controle de Qualidade da Imagem. In: Claudio Kemp; Fausto Farah Baracat; Román Rostagno. (Org.). Lesões não palpáveis da MAMA Diagnóstico e Tratamento. Revinter, Rio de Janeiro, 2002, p. 3-16.

[4] DE OLIVEIRA, Nancy et al. Mamografia: Posicionamentos Radiológicos. Brasil: Corpus, 2008.

[5] SILVA, João Henrique Hamann da. GEL DOSÍMETRO TIPO BANG-1: Aplicação em planejamentos de tratamento por radioterapia e avaliação qualitativa através de imagens obtidas em ressonância magnética. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de

Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

[6] Wink Consatti, K. C. et al. (2022) "Avaliação computacional da distribuição da energia depositada na região mamária durante mamografia de pacientes com implante de silicone", Revista Brasileira de Física Médica, 16, p.683. doi:10.29384/rbfm.2022.v16.19849001683.

[7] Kalaf JM, organizador. Mamografia: uma história de sucesso e de entusiasmo científico [Internet]. Vol. 47. Radiol Bras; 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-3984.2014.47.4e2>

## **APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**

Agradeço ao CNPq e a CNEN por proporcionar o apoio financeiro desse projeto.



# Avaliação de incerteza da reta de calibração do espectro de fótons do Am-241 utilizando o software DPPMCA

Matheus Rebello do Nascimento e José Guilherme Pereira Peixoto  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD)

## INTRODUÇÃO

Na espectrometria de raios X, a calibração do espectrômetro é uma etapa fundamental para que permita mensurar as grandezas da energia média e resolução espectral. Esses parâmetros são necessários para uma análise quantitativa da qualidade de radiação, que são requisitos utilizados para estabelecer a rastreabilidade do feixe (NASCIMENTO, M. R., et al, 2021).

Sendo assim, para analisar o feixe de forma quantitativa a avaliação da incerteza na calibração dos espectros é uma primeira etapa na construção do *uncertainty budget*. Porém, a literatura usualmente não avalia a incerteza e assim se baseiam em análises qualitativas na validação dos resultados (Santorio-Fernandes, V., et al, 2020).

## OBJETIVO

Com isto o trabalho realiza uma análise preliminar acerca da incerteza da calibração em energia do espectrômetro utilizando os dados e ferramentas do software DPPMCA.

## METODOLOGIA

Diante desta necessidade foi medido o espectro de uma fonte selada de Am-241 em um detector de CdTe da Amptek controlado pelo software DPPMCA na versão 1.0.0.22, de livre distribuição.

Após a aquisição dos dados, o DPPMCA foi utilizado para realizar sua análise selecionando os picos de interesse automaticamente e realizando um ajuste gaussiano dos picos, fornecendo de resultado o FWHM e o centróide. Esses dados foram exportados para realizar a

calibração através da regressão linear com pesos implementada em Python 3, que considera a incerteza do centróide e a incerteza na energia dos dados do XGAMA da IAEA (Oguri, et.al, 2013).

## RESULTADOS

O espectro de Am-241 obtido experimentalmente segue disposto na figura 1, com os quatro picos utilizados na calibração rotulados com sua energia. Os demais na faixa de energia de 13,90 keV e 20,82 keV foram desconsiderados por serem sobreposições de linhas de raios X característicos do radionuclídeo filho, assim como os picos entre as emissões gama de 26,3446 keV e 59,5409 keV que são picos de escape do CdTe.

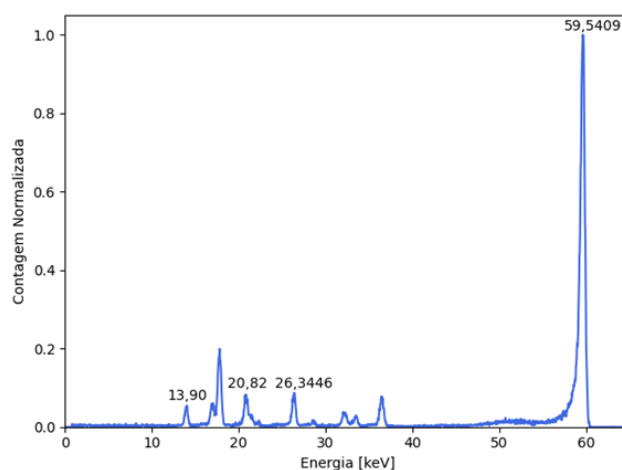


FIGURA 1: Espectro de Am-241.

A associação destes valores de energia ao centróide dos picos foi realizada pela regressão linear ( $y = a \cdot x + b$ ), em que  $x$  são os canais. Os valores dos coeficientes obtidos estão dispostos na tabela 1 com as incertezas com fator de abrangência  $k = 1$ .

TABELA 1: Coeficientes da Regressão Linear.

a [keV]	b [keV]
$3,5861(5) \times 10^{-6}$	$9,0(7) \times 10^{-2}$

Propagando a incerteza de a e b para a energia, equação (1), foi obtida a incerteza percentual da energia, disposta na figura 2, cujo resultado se aproxima de um valor assintótico da incerteza de  $\frac{u_a}{a}$  dividida por  $k$ , conforme os canais tendem ao infinito, equação (2).

$$u_E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial a}\right)^2 u_a^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial b}\right)^2 u_b^2 + 2r \left(\frac{\partial E}{\partial a}\right) \left(\frac{\partial E}{\partial b}\right) u_a u_b} \quad (1)$$

$$\lim_{c \rightarrow \infty} \frac{u_E}{E} = \frac{\sqrt{c^2 u_a^2 + u_b^2 + 2rc u_a u_b}}{a \cdot c + b} = \frac{u_a}{a} \quad (2)$$

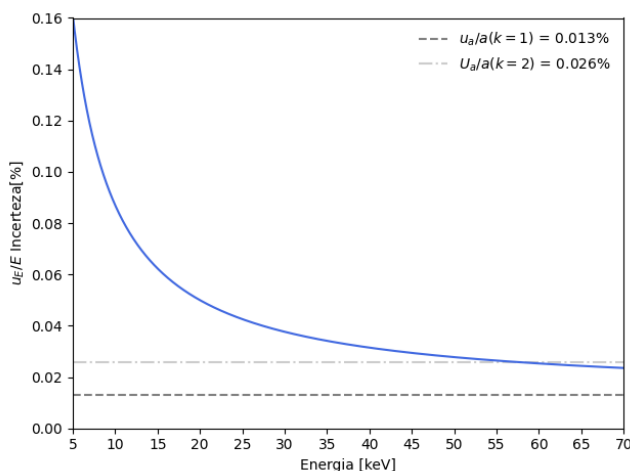


FIGURA 2: Incerteza percentual da energia.

Uma incerteza percentual constante seria de relevância para uma maior simplicidade da construção do uncertainty budget para a posterior análise de espectros de feixes de raios X. Nesse sentido, cabe investigar se é possível obter curvas de incerteza percentual que consigam convergir rapidamente a partir de 5 keV elevando o total de canais do espectrômetro e/ou reduzindo o fator de ganho.

## CONCLUSÕES

Conforme o trabalho apresentou, o erro percentual tender a um valor finito e praticamente constante é um dado de suma relevância para o início da descrição do *uncertainty budget* das grandezas energia média e resolução espectral de espectros de raios X. Algo que até o momento, os autores não possuem conhecimento de trabalhos publicados sobre essa questão.

Entretanto, o DPPMCA na versão 1.0.0.22 não corrige distorções espectrais documentadas em diversas bibliografias, como o escape de raios X característico, platô Compton e armadilhamento de cargas sendo uma software deficitário para a análise de dados científica, já que seu objetivo principal não é este. Sendo assim, é necessário buscar softwares ou códigos auxiliares para pesquisas que envolvam o uso do XR-100T associado ao DPPMCA versão 1.0.0.22.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NASCIMENTO, M. R. et al. Intrinsic challenges in x-ray spectrometry instrumentation with CdTe diode detector. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 9, n. 2C, 8 ago. 2021.
- [2] Santoro-Fernandes V, Santos JC, Mariano L, et al. **Uncertainty estimation and statistical comparative methodology for mammography x-ray energy spectra**. Biomed Phys Eng Express 2020; 6: 035018.
- [3] Oguri V. **Estimativas e erros em experimentos de física**. 3 edição. EdUERJ, 2013.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de fomento número 141565/2022-5 e à CNEN pela continuidade do financiamento.

# Levantamento e análise bibliográfica da evolução do uso das nanopartículas de ouro no diagnóstico e no tratamento do câncer de mama

Roberta Ferreira dos Santos e Carlos Eduardo Bonacossa de Almeida  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

## INTRODUÇÃO

O câncer de mama é considerado a neoplasia maligna de maior incidência em mulheres de todo o mundo [1] e possui uma das mais altas taxas de mortalidade, geralmente devido ao seu desenvolvimento metastático. De acordo com os dados do GLOBOCAN 2020, o número de novos casos estimados em todo o mundo foi de 2,3 milhões, sendo a quinta causa de morte relacionada ao câncer [2]. Nanopartículas de ouro (AuNPs) podem ser utilizadas tanto para o diagnóstico quanto para o tratamento do câncer de mama. As AuNPs podem ser úteis para aumento de contraste em imagens, possuem área de superfície que possibilita o carregamento de drogas e além disso, podem permear e permanecer na vasculatura tumoral, dependendo de seu tamanho [3].

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar a evolução do uso das AuNPs no diagnóstico e tratamento do câncer de mama através de uma revisão bibliográfica.

## METODOLOGIA

A base de dados PubMed foi utilizada para as buscas de bibliografia sobre a evolução do uso das Nanopartículas de Ouro no diagnóstico e no tratamento do câncer de mama. O levantamento foi realizado, utilizando-se os seguintes critérios:

1) palavras chaves para pesquisa: “gold nanoparticle breast cancer” (GNBC); “gold nanoparticle breast cancer diagnosis” (GNBCD); “gold nanoparticle breast cancer therapy” (GNBCT); “gold nanoparticle breast cancer ionizing radiation” (GNBCIR) e “gold nanoparticle mammography”(GNM).

2) Idade da publicação: filtros com anos referentes à publicação dos artigos serão aplicados de 20, 10, 5 anos e 1 ano.

3) Idioma da publicação: artigos publicados na língua inglesa serão aceitos. Em outros idiomas, não.

4) Critérios de exclusão: os artigos que não tratem especificamente da aplicação das AuNPs no câncer de mama tanto no diagnóstico, quanto no tratamento, serão excluídos.

## RESULTADOS

As buscas com as palavras chaves foram realizadas na ordem descrita acima. Quando foram adicionadas na busca, resultaram em uma quantidade muito grande de artigos, como por exemplo “gold nanoparticle breast cancer, foram encontrados 1230 artigos. Sendo assim, foi adicionado o filtro “title”, onde seriam selecionados artigos em que houvessem as

palavras chaves em seus títulos. Na tabela 1, encontra-se o resultados das buscas que foram filtrados.

Tabela 1. Quantidade de artigos selecionados para serem lidos

	GN BC	GNBC D	GNB CT	GNBC IR	G N M
20 anos	0	0	0	0	3
10 anos	4	0	3	0	6
5 anos	8	2	3	0	2
1 ano	8	1	0	1	2

Esses artigos tiveram seus abstracts lidos, a fim de verificar se eles de fato se referem ao tema abordado. Com a quantidade de artigos reduzida e específica ao tema, foi possível observar o quanto o uso das AuNPs vêm se mostrando inovadora e funcional.

## CONCLUSÃO

As AuNPs têm o potencial como um agente diagnóstico e terapêutico para o câncer de mama. Elas podem ser utilizadas para entrega de drogas ou outros agente terapêuticos às células tumorais aumentando as suas ações citotóxicas com menor risco de efeitos deletérios às células saudáveis. Alguns estudos concluíram que AuNPs podem ser usadas como agentes de contraste para imagiologia, permitindo a visualização de tumores de mama em exames de imagem, como a Ressonância Magnética e a Tomografia Computadorizada. Foi possível observar também que AuNPs menores são mais eficazes do que as AuNPs maiores. Elas podem ser um novo método promissor para a sensibilização de células tumorais

à radiação ionizante. Porém, mais pesquisas são necessárias para validar esses resultados em modelos *in vivo* e em ensaios clínicos.

## REFERÊNCIAS

- [1] INCA. A situação do câncer de mama no Brasil: Síntese de dados dos Sistemas de Informação. Ministério da Saúde, 2019.
- [2] Lukasiewicz, S., Czezelewski, M., Forma, A., Baj, J., Sitarz, R., Stanislawek, A., 2021. Breasts Cancer – Epidemiology, Risk Factors, Classification, Prognostic Markers, and Current Treatment Strategies – Na Updated Review.
- [3] Lee, J., Chatterjee, D. K., Lee, M. H., Krishnan, S, 2014. Gold nanoparticles in breast cancer treatment: promise and potencial pitfalls. Cancer Lett. 2014.
- [4] Akter, Z., Khan, F. Z. and Md. Asaduzzaman Khan. Gold Nanoparticles in Triple-Negative Breast Cancer Therapeutics. 2023
- [5] Musielak M., Bós-Liedke A., Piwocka O., Kowalska K., Markiewicz R., Szymkowiak B., Bakun P., Suchorska W. The Role of Funcionalization and Size of Gold Nanoparticles in the Response of MCF-7 Breast Cancer Cells to Ionizing Radiation Comparing 2D and 3D in vitro Models. 2023.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Agradeço ao IRD pela oportunidade e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## Resposta a Fótons de um Monitor de Nêutrons de Albedo

Thalys Matheus Gama de Oliveira e Denison de Souza-Santos  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD)

### INTRODUÇÃO

O IRD opera um serviço de monitoração de dose individual de nêutrons utilizando um monitor de nêutrons de albedo desenvolvido no próprio instituto [2].

### OBJETIVO

Estudar a resposta do monitor a campos de fótons usados na calibração de monitores individuais.

### METODOLOGIA

Foi utilizado o kit de ferramentas de Monte Carlo Geant4 (G4). Para fazer a calibração do monitor para campos de fótons, foram escolhidos os espectros das séries N60, N80, N100 e N150 da norma ISO 4037-1. Foi desenvolvida uma simulação no G4 para produção dos espectros. Em seguida foi implementado um código que utiliza a definição alternativa de fluência para método monte carlo e essa fluência foi utilizada para calcular o kerma [3]. Utilizou-se essa grandeza para calcular a camada semi redutora (CSR) do filtro de cobre como uma forma de validar os espectros. O monitor é constituído por dois pares de Dosímetros Termoluminescentes (TLD)  $^6\text{LiF}$  e  $^7\text{LiF}$ . Um par posicionado superficialmente no dosímetro e o outro par perto do corpo humano, como mostra o esquema da figura 1.

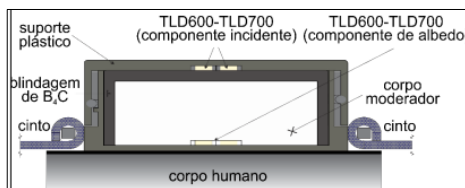


Figura 1 – Esquema da montagem do monitor.

O monitor foi irradiado com os espectros N60, N80 e um feixe monoenergético correspondente ao  $^{137}\text{Cs}$  sobre o Slab

Phantom da ICRU e sem o mesmo. Foram avaliadas Dose e Kerma nas componentes incidentes e de albedo. A irradiação com os espectros da série N da norma ISO 4037-1 foram feitas com uma distância de 1,5 m entre a fonte e o monitor. Já a irradiação com a fonte de césio foi feita com uma distância de 50 cm entre a fonte e o detector. As grandezas foram normalizadas pela fluência incidente para comparação.

### RESULTADOS

Séries	$\bar{E}_{\text{ISO}}$ [keV]	$\bar{E}_{\text{MC}}$ [keV]	$\text{CSR}_{\text{ISO}}$ [mm]	$\text{CSR}_{\text{MC}}$ [mm]
N60	47,9	48,1	0,234	0,12
N80	65,2	64,7	0,578	0,54
N100	83,3	77,3	1,09	0,46
N150	118	107,4	2,3	0,94

Tabela 1 – Energia média dos espectros e 1° CSR

TLD	Sem Phantom		Com Phantom	
	Dose	Kerma	Dose	Kerma
$^6\text{LiF}_i$	$0,50 \pm 0,02$	$0,526 \pm 0,002$	$0,510 \pm 0,003$	$0,505 \pm 0,001$
$^7\text{LiF}_i$	$0,51 \pm 0,01$	$0,524 \pm 0,002$	$0,55 \pm 0,01$	$0,579 \pm 0,004$
$^6\text{LiF}_a$	$0,43 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,02$	$0,59 \pm 0,02$	$0,579 \pm 0,001$
$^7\text{LiF}_a$	$0,41 \pm 0,01$	$0,430 \pm 0,002$	$0,48 \pm 0,01$	$0,506 \pm 0,001$

Tabela 2 - valores de kerma e dose normalizados pela fluência incidente [ $\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$ ] da irradiação com a N60.

TLD	Sem Phantom		Com Phantom	
	Dose	Kerma	Dose	Kerma
$^6\text{LiF}_i$	$0,38 \pm 0,01$	$0,376 \pm 0,001$	$0,54 \pm 0,01$	$0,571 \pm 0,002$
$^7\text{LiF}_i$	$0,34 \pm 0,01$	$0,524 \pm 0,002$	$0,52 \pm 0,01$	$0,559 \pm 0,001$

${}^6\text{LiF}_a$	$0,30 \pm 0,01$	$0,319 \pm 0,001$	$0,56 \pm 0,01$	$0,570 \pm 0,003$
${}^7\text{LiF}_a$	$0,41 \pm 0,01$	$0,312 \pm 0,003$	$0,52 \pm 0,01$	$0,553 \pm 0,002$

Tabela 3 - valores de kerma e dose normalizados pela fluência incidente [ $\text{pGy.cm}^2$ ] da irradiação com a N80.

TLD	Sem Phantom		Com Phantom	
	Dose	Kerma	Dose	Kerma
${}^6\text{LiF}_i$	$3,0 \pm 0,1$	$2,903 \pm 0,002$	$3,2 \pm 0,1$	$3,12 \pm 0,01$
${}^7\text{LiF}_i$	$2,9 \pm 0,2$	$2,89 \pm 0,01$	$3,10 \pm 0,08$	$3,110 \pm 0,001$
${}^6\text{LiF}_a$	$2,90 \pm 0,06$	$2,785 \pm 0,004$	$3,1 \pm 0,1$	$3,07 \pm 0,05$
${}^7\text{LiF}_a$	$2,8 \pm 0,1$	$2,78 \pm 0,01$	$3,08 \pm 0,04$	$3,04 \pm 0,01$

Tabela 4 - valores de kerma e dose normalizados pela fluência incidente [ $\text{pGy.cm}^2$ ] da irradiação com  ${}^{137}\text{Cs}$ .

## CONCLUSÕES

Analisando os valores de energia média, foi possível concluir que os espectros gerados na simulação Monte Carlo são compatíveis com os espectros da norma, porém, dos valores de CSR encontrados, somente a N60 e N80 são compatíveis com a norma e, por isso, só estas foram utilizadas na simulação para irradiar o monitor

A resposta do monitor às séries N60 e N80 sem o Slab Phantom concordou com as expectativas. Os valores de kerma e dose da componente de albedo são menores que da incidente, uma vez que não há retroespalhamento. Além disso, a dose é maior que o kerma na componente de albedo. Assim, nota-se que a condição de equilíbrio eletrônico transiente ocorre [4].

Ainda sobre a resposta às séries N60 e N80, a adição do slab phantom forneceu a condição de equilíbrio eletrônico devido ao retroespalhamento. Os valores de kerma e dose na componente de albedo aumentaram significativamente.

Analisando a irradiação do monitor com o feixe de  ${}^{137}\text{Cs}$ , é possível notar que os valores de dose são maiores que o kerma. Essa resposta destoa da esperada,

condição de equilíbrio eletrônico transiente para fótons com energia de até 3 MeV, desconsiderando as perdas radiativas [4]. Acredita-se que isso se dê por causa da distância fonte-detector que é diferente da especificada pela norma ISO 4037-3.

Posteriormente, pretende-se realizar simulações irradiando o monitor com as séries N100 e N150. Em seguida, realizar medidas com o monitor no próprio IRD e comparar esses resultados experimentais com os das simulações. Além disso, como o monitor é sensível tanto a fótons, quanto a nêutrons, é de interesse da pesquisa avaliar a influência que a componente de fótons tem sobre a de nêutrons e vice versa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CNEN, Norma. 3.0. 1: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, RJ, aprovada pela resolução, v. 164, p. 14, 2011.
- [2] MARTINS, M. M. Desenvolvimento e caracterização de um sistema de monitoração individual de nêutrons tipo albedo de duas componentes usando detectores termoluminescentes. 2008. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [3] ISO - International Organization for Standardization. Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate 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. 2019 ISO 4037-3.
- [4] ATTIX, Frank Herbert. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. John Wiley & Sons, 2008

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

# **Estimativas de doses absorvidas no coração e no sistema circulatório em exames de Angiografia Coronariana por Tomografia Computadorizada (CCTA) em pacientes com COVID e seguimentos**

**Wesley Ramos Barbosa e Simone Kodlulovich Renha  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD**

## **INTRODUÇÃO**

Após o início da pandemia de COVID-19 diversos países adotaram diferentes medidas políticas para reduzir a propagação do vírus e a saturação dos sistemas de saúde, como bloqueios e fechamento de lojas não essenciais. [1]

A infecção pela síndrome respiratória aguda grave Coronavírus 2 (SARS-CoV-2) é responsável por iniciar respostas inflamatórias graves que podem levar a trombose. A associação da COVID-19 com a coagulopatia tem sido evidenciada, pois alguns pacientes acometidos por essa doença viral apresentam coagulação intravascular disseminada (CID) e a consequente coagulopatia de consumo. Verificou-se também, em pacientes críticos com COVID-19, isquemia aguda de membros e doença arterial periférica, além de doença arterial coronariana e acidente vascular cerebral isquêmico como manifestação geralmente associada ao desconforto respiratório. No entanto, ainda não é conhecido o tempo em que a inflamação e os distúrbios trombóticos podem durar após a recuperação dos sintomas do Covid-19 [2].

Além disso, angio-TC é a modalidade preferencial para a avaliação da Embolia Pulmonar. O exame é rápido, não invasivo, de alta precisão na detecção de defeitos de enchimento embólico nas artérias pulmonares e pode ter menos complicações em comparação com a angiografia convencional.

De fato, devido à sua elevada precisão na detecção dos defeitos de enchimento

embólico nas artérias pulmonares, a Angiografia Pulmonar por TC (CTPA) tornou-se fundamental em pacientes com COVID-19 com suspeita de embolia aguda da artéria pulmonar [3]

Deste modo, considerando ainda que muitos pacientes realizam múltiplos exames durante a fase de contaminação como também na fase de seguimento, as doses recebidas pelos pacientes devem ser estimadas, em especial as doses em órgãos radiosensíveis. Assim, é necessário um estudo aprofundado das doses de radiação nos pacientes com COVID que se submetem a exames de CCTA, pois é fundamental conhecer as doses obtidas, o impacto da dose no coração, no sistema circulatório e os riscos associados a este procedimento. Ademais, pretende-se avaliar os protocolos de aquisição e buscar a otimização destes procedimentos de forma a buscar a redução do risco do paciente decorrente da exposição à radiação.

## **OBJETIVO**

Avaliar o as doses absorvidas no coração e no sistema circulatório de pacientes com COVID ou em fase de seguimento que foram submetidos a Angiografia Coronariana por Tomografia Computadorizada (CCTA).

## **METODOLOGIA**

Participará deste estudo um hospital universitário do Rio de Janeiro. Serão realizados testes de desempenho dos tomógrafos, incluindo a dosimetria e a

avaliação da qualidade de imagem. Serão registrados dados antropométricos em fase de uma amostra com mais de 20 pacientes com COVID-19 ou seguimento. Para cada exame, serão coletados parâmetros de exposição e os valores de CDTivol e DLP. A partir destes dados serão estimadas as dose sabsorvidas e a dose efetiva,

## RESULTADOS

Foram realizadas visitas em hospitais para verificar a atuação do serviço de radiologia durante a pandemia de COVID 19, de forma a verificar sua potencial participação no projeto. Nesta avaliação, verificou-se que apenas o hospital universitário aceitava a presença de alunos e que havia realizado um número alto de tomografias em pacientes com COVID 19 ou suspeita. A partir da escolha do referido hospital, iniciou-se um acompanhamento da rotina dos físicos médicos para familiarização com o serviço de radiologia.

O formulário para coleta de dados de pacientes e do equipamento em EXCEL já está pronto, no entanto a coleta de dados está condicionada a aprovação da Plataforma Brasil.

A calibração dos TLDs foi realizada e estão prontos para serem utilizados. Esta atividade está programada para outubro de 2023.

## CONCLUSÕES

Foram enfrentadas diversas barreiras para o desenvolvimento do trabalho. Uma delas e mais importante problema foi a demora da resposta da plataforma Brasil que impediu a coleta de dados. Outro foi os problemas relacionados com o bom funcionamento do equipamento, que também impossibilitaram realizar as medições necessárias.

Apesar de todas as dificuldades, verifica-

se que muitas das atividades programadas poderão ser realizadas ainda este ano..

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Task Force for the management of COVID-19 of the European Society of Cardiology, Corrigendum to: European Society of Cardiology guidance for the diagnosis and management of cardiovascular disease during the COVID-19 pandemic: part 1— epidemiology, pathophysiology, and diagnosis; and ESC guidance for the diagnosis and management of cardiovascular disease during the COVID-19 pandemic: part 2—care pathways, treatment, and follow-up, *European Heart Journal*, 2021;, ehab866
- [2] Maria Pia Borrelli, et al. Arterial Thrombotic Sequelae After Covid-19: Mind the Gap, *Annals of Vascular Surgery*, Volume 75, 2021, Pages 128-135, ISSN 0890-5096
- [3] Elissa Driggin, et al. Cardiovascular Considerations for Patients, Health Care Workers, and Health Systems During the COVID-19 Pandemic. *Journal of the American College of Cardiology*, Volume 75, Issue 18, 2020, Pages 2352-2371
- [4] (Arnaldo Scardapane, et al. "Pulmonary Artery Filling Defects in COVID-19 Patients Revealed Using CT Pulmonary Angiography: A Predictable Complication?", *BioMed Research International*, vol. 2021, Article ID 8851736, 8 pages, 2021.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

### CNPQ