XXIX SEPE
Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão
Teaching, Research and Extension Symposium
Presente e futuro:
uso consciente da Inteligência Artificial
Today and tomorrow:
the conscious use of Artificial Intelligence
E-book
ISBN 978-65-5852-415-1
20 A 22 DE OUTUBRO DE 2025
OCTOBER 20th to 22nd, 2025
UFN Universidade Franciscana Franciscan University

DOI: https://doi.org/10.48195/sepe2025.29790

RADIONUCLÍDEOS COMO PROTAGONISTAS DA RADIOTERAPIA MOLECULAR NO CENÁRIO BRASILEIRO

Nathalia Flôres Minozzo[1*], Mariana Zancan Tonel[2]

RESUMO

A medicina nuclear é uma das ramificações da medicina em conjunto com a física médica que vem ganhando cada vez mais força no cenário mundial por conta de sua alta efetividade e capacidade de contribuir no diagnóstico e tratamento de diversas doenças. A radioterapia molecular, uma de suas principais subáreas, utiliza radionuclídeos para terapias de doenças comumente de prognósticos ruins, utilizando o poder da radiação ionizante para causar danos às células doentes, preservando as células saudáveis. A área está em constante desenvolvimento, com recentes descobertas importantes e inovadoras, como o Lutécio 177 e o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais precisas, como o marcador PSMA, utilizado em terapia de câncer de próstata metastático resistente à castração. O objetivo do presente trabalho foi produzir uma descrição simples, de forma geral, referente a cada um dos radionuclídeos utilizados no Brasil, a fim de auxiliar na compreensão de pacientes que buscam esse tipo de tratamento, estudantes e até mesmo profissionais iniciantes na área. Através de pesquisa no website da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), foi possível analisar quais são as instalações autorizadas a trabalharem com quais radionuclídeos, podendo assim limitar a pesquisa apenas àqueles que estão presentes na rotina de clínicas de medicina nuclear brasileiras. Assim, foi possível abordar as principais características físicas, como meia vida, tipo de decaimento e energia, e aplicações terapêuticas já consolidadas e em ascensão de cada um desses radionuclídeos, abordando inclusive sua distribuição nacional e custos disponibilizados ao público pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Palavras-chave: Medicina Nuclear; Radiofármacos; Terapias Oncológicas; CNEN

ABSTRACT

Nuclear medicine, along with medical physics, is one of the branches of medicine that has been gaining increasing traction globally due to its high effectiveness and ability to contribute to the diagnosis and treatment of various diseases. Molecular radiotherapy, one of its main subfields, uses radionuclides to treat diseases with often poor prognoses, harnessing the power of ionizing radiation to damage diseased cells while sparing healthy cells. The field is constantly evolving, with recent important and innovative discoveries, such as Lutetium 177, and the development of increasingly precise technologies, such as markers like PSMA, used in

[1] Bacharel em Física Médica, Universidade Franciscana - UFN, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: nathminozzo@gmail.com

[2] Docente do curso de Física Médica, Universidade Franciscana - UFN, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: marianaztonel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9541-8578

the treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer. The objective of this work was to produce a simple, general description of each of the radionuclides used in Brazil, to aid understanding among patients seeking this type of treatment, students, and even professionals new to the field. Through research on the website of the National Nuclear Energy Commission (CNEN), it was possible to analyze which facilities are authorized to work with which radionuclides, thus limiting the research to those routinely used in Brazilian nuclear medicine clinics. This enabled us to address the main physical characteristics, such as half-life, decay type, and energy, as well as established and emerging therapeutic applications for each of these radionuclides, including their national distribution and costs, which are made available to the public by the Institute for Energy and Nuclear Research (IPEN).

Keywords: *Nuclear Medicine; Radiopharmaceuticals; Oncological Therapies; CNEN*

INTRODUÇÃO

Nas terapias em medicina nuclear, podem ser utilizados radionuclídeos para atacar diretamente o tumor ou o local de infecção. Majoritariamente, são utilizados em terapias oncológicas, mas em alguns casos também podem ser designadas para terapias não oncológicas (Thral et al., 2003). Há um grande cuidado em relação à dosimetria - calculada como dose absorvida -, a fim de que o corpo não sofra efeitos indesejados em tecidos saudáveis, por conta da radiossensibilidade dos tecidos, ou seja, o quão facilmente afetados eles serão pela radiação incidente (Tauhata et al., 2013).

Como descrito por Alnabhani (2021) o uso da radioimunoterapia se mostrou capaz de tratar um vasto número de doenças que a medicina comum não foi capaz. Essas terapias, pouco difundidas nos meios de informação por conta do alto custo e difícil disponibilidade, são de extrema importância para pacientes em vários estágios do tratamento radioterápico, como demonstrado por Takalkar et al. (2014). Além disso, existe uma atenção necessária à meia vida do radionuclídeo, que deve ter um valor suficientemente alto para que a eficácia seja dentro do escopo considerável, mas não o bastante para que cause demasiado dano em tecidos saudáveis. Os radionuclídeos empregados em terapias oncológicas são, em sua maioria, emissores β^-, por conta da dose emitida ser uniforme - apesar de se depositar heterogeneamente nos tecidos. Quando a radiação precisa ter um alcance menor, são utilizados emissores α (Oliveira et al, 2006).

De acordo com Payolla, Massabni e Orvig (2019) são realizadas mais de 20 milhões de aplicações médicas com radionuclídeos por ano nos Estados Unidos, e 10 milhões na Europa. No Brasil, o número de serviços de medicina nuclear vem crescendo cada vez mais, proporcionando terapias eficazes para diferentes patologias, especialmente em casos de câncer. São usados diversos radionuclídeos, cada um direcionado para tratamento em determinados tipos de tecido, conforme afinidade. Cada radionuclídeo possui propriedades físicas e biológicas específicas, tais como tipo de decaimento, energia média emitida e meia vida, que influenciam sua interação com os tecidos e sua eficácia terapêutica (Pozzo et al., 2014).

No presente trabalho, foi feito um detalhamento dos radionuclídeos presentes no mercado brasileiro de radioterapia molecular, abordando suas características físicas, decaimento, tratamentos indicados, alguns estudos relevantes sobre, custos de dose e distribuição no país, de acordo com dados do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). A descrição dos radionuclídeos permite que alunos, pacientes e interessados na área conheçam as possibilidades de tratamento em território nacional, permitindo uma base de entendimento para futuras pesquisas.

METODOLOGIA

O presente trabalho adotou uma abordagem descritiva e exploratória, com foco na caracterização dos radionuclídeos utilizados na prática clínica da radioterapia molecular no Brasil.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa documental no website da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), com o objetivo de identificar as instalações autorizadas e, consequentemente, os radionuclídeos presentes na rotina de serviços de medicina nuclear no país. Essa etapa permitiu delimitar o escopo da investigação apenas aos radioisótopos efetivamente disponíveis para uso clínico em território nacional.

Em seguida, foi realizada uma busca bibliográfica na base de dados PubMed, selecionada por sua abrangência na área biomédica. Foram utilizados descritores relacionados ao nome de cada radionuclídeo, suas propriedades físicas (meia-vida, tipo de decaimento, energia de emissão), aplicações terapêuticas, eficácia clínica e pesquisas recentes em andamento. Os critérios de inclusão contemplaram artigos de revisão, ensaios clínicos e estudos originais publicados preferencialmente nos últimos 20 anos, em inglês e português. Trabalhos que abordassem aplicações exclusivamente experimentais sem relação com a prática clínica foram excluídos.

Complementarmente, foram consultadas informações disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), órgão vinculado à CNEN e principal responsável pela produção e fornecimento de radiofármacos no Brasil. Essa etapa teve como finalidade descrever a disponibilidade nacional de determinados radionuclídeos e seus respectivos custos, conforme dados públicos atualizados em 2024. Por ausência de informações oficiais, não foram considerados os radionuclídeos distribuídos exclusivamente por empresas privadas.

A análise dos dados buscou apresentar uma descrição clara e objetiva de cada radionuclídeo identificado, enfatizando suas principais características físicas, aplicações clínicas consolidadas e emergentes, bem como aspectos logísticos relacionados à distribuição e ao custo. A metodologia priorizou a simplicidade e a acessibilidade das informações, visando atender não apenas pesquisadores e profissionais da área, mas também pacientes e estudantes que desejem compreender de forma introdutória a relevância desses agentes terapêuticos.

RESULTADOS

A radioterapia molecular tem avançado significativamente nas últimas décadas, consolidando-se como uma alternativa terapêutica promissora e de grande impacto clínico. O uso de radionuclídeos em aplicações diagnósticas e terapêuticas tem ampliado as possibilidades de tratamento, especialmente em oncologia, oferecendo abordagens direcionadas e, muitas vezes, menos invasivas. Cada radionuclídeo apresenta características físicas e biológicas específicas — como meia-vida, tipo de radiação emitida, penetração tecidual e possibilidades de marcação, as quais determinam sua aplicabilidade clínica e orientam sua logística de uso.

No contexto brasileiro, a produção, distribuição e custo desses radiofármacos estão diretamente ligados a instituições como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e a regulamentações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Dessa forma, compreender o perfil de cada radionuclídeo disponível, suas indicações, vantagens e limitações torna-se essencial para avaliar a realidade nacional e os caminhos futuros da radioterapia molecular, tanto para pacientes na busca de tratamento, quanto para estudantes e profissionais buscando aprofundamento em seus conhecimentos.

A tabela 1 apresenta os dados coletados de forma objetiva, contendo as propriedades físicas, produção e distribuição pelo IPEN. Os resultados a seguir apresentam uma síntese das principais características físicas, aplicações clínicas consolidadas e em andamento, disponibilidade na venda nacional e custos dos radionuclídeos de maior relevância no cenário brasileiro, permitindo uma análise crítica sobre seu papel atual e potencial nas práticas médicas.

Tabela 1 - Principais informações referentes aos radionuclídeos usados em radioterapia molecular no Brasil

Radionuclídeo	**Meia-vida**	**Decaimento principal**	**Energia emitida**	**Forma de produção**	**Custo mínimo pelo IPEN**
Iodo 131	8,2 dias	Beta menos	606 keV	Reator	R$ 257,80
Lutécio 177	6,64 dias	Beta menos	497 keV	Reator	R$ 3.900,90
Rádio 223	11,43 dias	Alfa	5.716 keV	Gerador	-
Samário 153	46,28 horas	Beta menos	694 keV	Reator	R$ 773,80
Ítrio 90	64 horas	Beta menos	2.280 keV	Reator	R$ 2.994,80
Actínio 225	9,9 dias	Alfa	5.830 keV	Gerador	-
Estrôncio 89	50,56 dias	Beta menos	1.501 keV	Reator	-
Fósforo 32	14,27 dias	Beta menos	1.711 keV	Reator	R$ 114,10
Hólmio 166	26,8 horas	Beta menos	1.773 keV 1.854 keV	Reator	-
Rênio 188	17 horas	Beta menos	2.120 keV	Reator	-

Fonte: Construção das autoras

IODO 131

O I^{131} foi o primeiro radionuclídeo disponível comercialmente, na década de 1950 (Payolla et al., 2019), descoberto em 1938 por Livingood, Seaborg e Segre (Alnabhani, 2021). Pode ser comercializado em formato de cápsulas ou na forma líquida, com administração via oral. Suas aplicações incluem doenças de tireóide e doença de Graves (Saha, 2004), com uso comum em carcinoma diferenciado da tireóide pós tireoidectomia (Yavuz e Puckett, 2023). É um radionuclídeo teranóstico, com uso possível em diagnóstico e terapias, e também possui estudos referentes a sua eficácia no tratamento de feocromocitoma e paraganglioma (Zhang et al., 2022). Com meia vida de 8,2 dias, possui decaimento beta menos e gama, com energia de 606 keV, sendo produzido em reator nuclear (Yavuz e Puckett, 2023). No Brasil, a distribuição ocorre pelo IPEN, com custos a partir de R$ 257,80 (1 mCi), podendo chegar a R$ 7.696,20 (300 mCi) (CNEN, 2024), conforme a dose prescrita pelo médico responsável.

LUTÉCIO 177

Sendo produzido em reator, o Lu 177 tem decaimento beta menos e gama com média de energia emitida de 497keV e meia vida de 6,64 dias - valor alto que oferece vantagem logística para o transporte a maiores distâncias do reator (TAN et al., 2020). O radionuclídeo é uma das apostas do mercado de medicina nuclear por conta da gama de marcações possíveis e como possível substituidor do Y^{90} (Boschi, Martini e Uccelli, 2017). Com DOTA, se torna um análogo da somatostatina e pode ser usado contra tumores neuroendócrinos (Carvalho, 2014), juntamente com o conjugado DOTATE, que também pode ser usado em metástases de feocromocitoma e paraganglioma (Jha et al., 2021) (Abbott et al., 2018). Quando marcado com PSMA, pode ser usado no tratamento de tumores de próstata metastáticos resistentes à castração, com aprovação recente no Food and Drug Administration, em 2022 (Sartor et al., 2021). A distribuição do IPEN fornece apenas a molécula DOTATE, com custo de R$ 3.900,90 para 1 mCi (CNEN, 2024), conforme prescrito pelo médico responsável.

RÁDIO 223

O Ra^{223} possui decaimento alfa e gama com energia média de 5.716 keV, meia vida de 11,43 dias e produção via gerador. Análogo a hidroxiapatita, composto de cálcio presente nos ossos, pode ser usado de forma paliativa para metástases ósseas (Carvalho, 2014). Seu destaque ocorre por ser o primeiro emissor alfa usado em metástases ósseas de pacientes com câncer de próstata resistente à castração, aprovado em 2013 pelo FDA, onde mostrou resultados promissores, apesar de não ser eficaz na diminuição do marcador tumoral PSA (Shimada et al., 2022) (Bidkar et al., 2024). O tratamento é utilizado para aumentar a sobrevida e diminuir o desconforto dos pacientes, sendo de grande destaque no Brasil. Sua distribuição ocorre principalmente pela empresa Bayer, com nome comercial de Xofigo (cloreto de Ra^{223}).

SAMÁRIO 153

Produzido em reator, pode ser distribuído na forma de hidroxiapatita e da molécula EDTMP, que age como tratamento paliativo de metástases ósseas de câncer de mama e próstata (Carvalho, 2014), e menos comumente para radiosinovectomia. Possui meia vida de 46,28 horas, decaimento beta menos e gama, com energia média de 694 keV. Sua produção ocorre por reator, através do Sm^{152} estável. Com penetração média de 0,8 mm nos tecidos, a emissão de radiação gama permite o uso em teranóstica, para terapia e produção de imagens diagnósticas. A molécula EDTMP foi aprovada pelo FDA em 1997, e desde então, o radiofármaco tornou-se referência no mercado mundial, e, consequentemente, no mercado brasileiro (Tan et al., 2020). A distribuição desse radiofármaco pelo IPEN possui custo de R$ 773,80 por dose (70 a 100 mCi) (CNEN, 2024).

ÍTRIO 90

Usado em tratamentos de radioimunoterapia e radioembolização, através de microesferas (Lakouas et al, 2017), possui decaimento beta menos, com penetração média no tecido de 2,5 mm (Drude et al, 2017), meia vida de 64h e emissão de 2.280 keV. Seu uso em radioembolização ganhou força considerável nos últimos anos, com fortes indicações para o tratamento de tumores neuroendócrinos (Titano, Kim e Patel, 2019). Além disso, pesquisas recentes mostram o sucesso do tratamento com Ítrio 90 em radiosinovectomia para o tratamento de doenças como hemartrose recorrente em pacientes com hemofilia (Magalhães et al, 2021) e para metástases hepáticas de câncer colorretal, trazendo resultados promissores

(Gulec, 2016). Sua produção ocorre por meio de reator, e no Brasil pode ser adquirido através do IPEN em formato de hidroxiapatita, com custo de R$ 2.994,80 para 1 mCi e acréscimo de 182,70 para cada mCi adicional (CNEN, 2024), conforme a dose prescrita pelo médico responsável.

ACTÍNIO 225

Sugerido como agente terapêutico em 1993, o Ac^{225} possui eficácia terapêutica agregado a molécula PSMA, para tratamento de câncer de próstata metastático resistente à castração e em pacientes que não tem indicação para quimioterapia (Langbein, 2019). Com meia vida de 9,9 dias e decaimento alfa e beta, libera até quatro partículas alfa por decaimento com penetração média de 40 a 100 µm, maximizando o potencial do radionuclídeo. Sua produção ocorre por meio de gerador, com energia média de 5.830 keV. Estão em fase de estudo várias outras pesquisas com outros ligantes para o Ac^{225} - com destaque para aplicações com anticorpos monoclonais - porém nenhum ainda com a importância e eficácia mostrada pelo PSMA (Bidkar et al., 2024). Atualmente o radionuclídeo não possui venda e distribuição pelo IPEN, sendo acessível apenas através de importação (CNEN, 2024).

ESTRÔNCIO 89

Usado majoritariamente em forma de tratamento paliativo para metástases ósseas por conta da afinidade natural do radionuclídeo pela atividade metabólica óssea (Santos e Bolognesi, 2014), o Sr^{89} ganhou popularidade após década de 1990, com o início da comercialização do Metastron (cloreto de Sr^{89}), usado em metástases ósseas de câncer de próstata e mama (Ballinger, 2018). Tem sua produção por meio de reator, com decaimento beta menos e energia média de 1.501 keV. Com meia vida de 50,56 dias, o radionuclídeo possui alto custo de produção na atividade adequada (Liberal, 2016) e atualmente não possui venda e distribuição pelo IPEN (CNEN, 2024).

FÓSFORO 32

Podendo ser usado em braquiterapia de glioma (Shao et al, 2018), de câncer pancreático (Bhutani et al, 2019), e em metástases ósseas (Santos e Bolognesi, 2014), o Fósforo 32 foi um dos primeiros radionuclídeos usados em terapias, com os primeiros estudos datando de 1981. Atualmente, uma das indicações mais fortes do radionuclídeo é para policitemia vera (Carvalho, 2014). O P^{32} possui uma meia vida de 14,27 dias, com decaimento beta menos e energia média de 1.711 keV. Sua produção ocorre por meio de reator, e pela distribuição do IPEN, destaca-se o baixo custo - aumentando assim sua acessibilidade - de R$ 114,10 para 1 mCi, com valores tabelados até 5 mCi e com acréscimo a partir deste valor (CNEN, 2024).

HÓLMIO 166

Possui meia vida de 26,8 horas, decaimento beta menos e gama com picos de energia de 1.773 keV e 1.854 keV e pode ser produzido por reator. Pode ser usado em radiosinovectomia e ablação de medula óssea no tratamento de mielomas múltiplos, com penetração média de 2,2 mm, podendo chegar a 10,2 mm. Além disso, possui eficácia em câncer de pele, tumores cerebrais, dores articulares e metástase óssea (Tan et al., 2020) e é altamente paramagnético, o que o torna bom candidato para detecção por meio de ressonância magnética (RM) (Chopra, 2013). É um radionuclídeo relativamente novo no mercado, com

baixa adesão, conforme mostram os dados coletados anteriormente. Atualmente não possui venda e distribuição pelo IPEN (CNEN, 2024).

RÊNIO 188

Com meia vida de 17h, decaimento beta menos e gama com energia média de 2.120 keV e produção por reator, o Re^{188} possui média de penetração de 10 mm de partículas beta no tecido. Dentre suas aplicações, destaca-se o uso em radiosinovectomia, com eficácia em condições inflamatórias crônicas nas articulações do joelho, e as possibilidades de marcação do radionuclídeo com peptídeos e anticorpos monoclonais (Boschi, Martini e Uccelli, 2017). Além disso, também possui aplicações em metástases ósseas oriundas de tumores de bexiga, mama, pulmão, próstata e rins, com destaque para a baixa toxicidade e efeitos adversos do radionuclídeo (Tan et al., 2020). Atualmente não possui venda e distribuição nacional pelo IPEN, apenas através de importação (CNEN, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou oferecer a estudantes, profissionais da saúde e pacientes um panorama acessível e sistematizado acerca das principais características físicas, aplicações clínicas, formas de distribuição e custos dos radionuclídeos com potencial terapêutico disponíveis no Brasil. A análise realizada permitiu compreender não apenas a aplicabilidade de cada radioisótopo em diferentes contextos terapêuticos, mas também suas limitações, disponibilidade nacional e viabilidade econômica, aspectos essenciais para o planejamento e a adesão a determinados tratamentos.

Ao reunir informações científicas, regulatórias e mercadológicas, este estudo cumpre o papel de guia introdutório, favorecendo o entendimento de terapias já consolidadas, como aquelas empregadas no tratamento de doenças da tireoide e metástases ósseas, e também de terapias emergentes, que despontam como promissoras no cenário internacional e começam a ganhar espaço no contexto brasileiro. Essa perspectiva contribui para a autonomia de pacientes em busca de informações, auxilia profissionais iniciantes no contato com a medicina nuclear terapêutica e serve de apoio pedagógico para a formação acadêmica.

Adicionalmente, destaca-se a relevância de fomentar pesquisas contínuas no campo da radioterapia molecular, uma vez que a área encontra-se em constante evolução, com novos radiofármacos, tecnologias de marcação molecular mais específicas e estratégias terapêuticas direcionadas surgindo a cada ano. No contexto nacional, a ampliação da produção e distribuição de radionuclídeos, associada à redução de custos e ao fortalecimento da infraestrutura hospitalar e laboratorial, representa um desafio estratégico, com impacto direto na acessibilidade e na qualidade da assistência em saúde.

Assim, além de sistematizar conhecimentos atuais, o presente trabalho reforça a necessidade de iniciativas que integrem ciência, política pública e mercado, de modo a consolidar a radioterapia molecular como uma ferramenta cada vez mais eficaz e disponível para o enfrentamento de doenças de alto impacto clínico e social.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, A. et al. Guidance on 177Lu-DOTATATE Peptide Receptor Radionuclide Therapy from the Experience of a Single Nuclear Medicine Division. **J Nucl Med Technol,** v. 46, p. 237-244, agosto de 2018.

Agência Internacional de Energia Atômica. **Isotope Browser.** Produzido por: Nuclear Data Services, 2021. Aplicativo. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=iaea.nds.nuclides&hl=de>.

ALNABHANI, K. **Applications of nuclear and radioisotope technology: the atom for peace and sustainable development.** Elsevier, 2021.

BALLINGER, J. R. Theranostic radiopharmaceuticals: established agents in current use. **British Journal of Radiology,** Londres, v. 91, 1091 ed., março de 2018.

BHUTANI, M. S. et al. An open‐label, single‐arm pilot study of EUS‐guided brachytherapy with phosphorus‐32 microparticles in combination with gemcitabine +/‐ nab‐paclitaxel in unresectable locally advanced pancreatic cancer (OncoPaC‐1): Technical details and study protocol. **Spring Media Publishing Co. Ltd,** v. 9, 1º ed., janeiro/fevereiro de 2020.

BIDKAR, A. P. et al. Actinium-225 targeted alpha particle therapy for prostate cancer. **Theranostics,** v. 14, nº 7, p. 2969-2992, maio de 2024.

BOSCHI, A.; MARTINI, P.; UCCELLI, L. 188Re(V) Nitrido Radiopharmaceuticals for Radionuclide Therapy. **Pharmaceuticals,** v. 10, nº 12, janeiro de 2017.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Instalações Autorizadas.** Disponível em <https://appasp2019.cnen.gov.br/seguranca/cons-ent-prof/entidades-aut-cert.asp>. Acesso em 18 abr. 2025.

CARVALHO, E. B. **Revisão dos principais radiofármacos utilizados no Brasil e suas aplicações na detecção e terapia de patologias.** Orientador: Luiz Antonio Andrade de Oliveira. 2014. 82 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia-Bioquímica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

CHOPRA, A. [166Ho]-Loaded poly(L-lactic acid) microspheres. **Molecular Imaging and Contrast Agent Database (MICAD),** Bethesda, outubro de 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK47330/>. Acesso em 17 jun. 2025.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Tabela de preços dos produtos e serviços da CNEN: vigência agosto 2024.** Rio de Janeiro: CNEN, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/tabela_de_precos_cnen_2024.pdf. Acesso em: 17 jun. 2025.

DRUDE, N.; TIENKEN, L.; MOTTAGHY, F. M. Theranostic and nanotheranostic probes in nuclear medicine. **Elsevier,** v. 130, p. 14-22, novembro de 2017.

GULEC, S. A. Y-90 Radiomicrosphere Therapy for Colorectal Cancer Liver Metastases. **Seminars in Nuclear Medicine,** v. 46, nº 2, p. 126-134, março de 2016.

JHA, A. et al. High-specific-activity 131I-MIBG vs 177Lu-DOTATATE targeted radionuclide therapy for metastatic pheochromocytoma and paraganglioma. **Clin Cancer Res,** v. 27, nº 11, p. 2989-2995, junho de 2021.

LAKOUAS, D. K. et al. Nuclear medicine for photodynamic therapy in cancer: planning, monitoring and nuclear PDT. **Elsevier,** v. 18, p. 236-243, junho de 2017.

LANGBEIN, T.; WEBER, W. A.; EIBER, M. Future of Theranostics: An Outlook on Precision Oncology in Nuclear Medicine. **The Journal of Nuclear Medicine,** v. 60, nº 9, p. 13-19, setembro de 2019.

LIBERAL, F. D. C. G.; TAVARES, A. A. S.; TAVARES, J. M. R. S. Palliative treatment of metastatic bone pain with radiopharmaceuticals: A perspective beyond Strontium-89 and Samarium-153. **Applied Radiation and Isotopes,** v. 110, p. 87-99, abril de 2016.

MAGALHÃES, A. F. et al. Yttrium-90 radiosynovectomy in knees and ankles (25 joints in 22 hemophilic patients). Short-term results. **Hematology, Transfusion and Cell Therapy,** v. 43, no 1, p. 15-20, janeiro/março de 2021.

OLIVEIRA, R. et al. **Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações.** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, SP, v. 42, n. 2, janeiro de 2006.

PAYOLLA, F. B.; MASSABNI, A. C.; ORVIG, C. Radiopharmaceuticals for diagnosis in nuclear medicine: a short review. **Eclética Química Journal,** São Paulo, v. 44, nº 3, p. 11-19, 2019.

POZZO, L. et al. **O SUS na medicina nuclear do Brasil: avaliação e comparação dos dados fornecidos pelo Datasus e CNEN**. Radiol Bras, v. 47, n. 3, p. 141-148, maio/junho de 2014.

SANTOS, C. A. C; BOLOGNESI, L. **Aplicações Terapêuticas em Medicina Nuclear.** Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v. 5, n. 2, dezembro, 2014.

SARTOR, O. et al. Lutetium-177–PSMA-617 for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer. **The New England Journal of Medicine,** v. 385, p. 1091-1103, junho de 2021.

SHAO, G. et al. Investigation of Newly Prepared Biodegradable 32P-chromic Phosphate-polylactide-co-glycolide Seeds and Their Therapeutic Response Evaluation for Glioma Brachytherapy. **Contrast Media & Molecular Imaging,** v. 2018, abril de 2018.

SHIMADA, T. et al. Ra-223 and Ethinylestradiol Combination Therapy in Castration-resistant Prostate Cancer. **Anticancer Research,** v. 42, nº 2, p. 1065-1071, fevereiro de 2022.

TAKALKAR, A; ADAMS, S; SUBBIAH, V. Radium-223 dichloride bone-targeted alpha particle therapy for hormone-refractory breast cancer metastic to bone. **Experimental Hematology & Oncology,** Londres, v. 3, n. 23, setembro, 2014. Disponível em: <https://ehoonline.biomedcentral.com/articles/10.1186/2162-3619-3-23>. Acesso em: 30 set. 2024.

TAN, H. Y. et al. Neutron-activated theranostic radionuclides for nuclear medicine. **Nuclear Medicine and Biology,** v. 90-91, p. 55-68, novembro/dezembro de 2020.

TAUHATA, L. et al. Radioproteção e dosimetria: fundamentos. **Comissão Nacional de Energia Nuclear**, Rio de Janeiro, 9º revisão, novembro de 2013.

THRAL, J. H.; ZIESSMAN, H. A. **Medicina Nuclear.** 2º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

TITANO, J. J.; KIM, E.; PATEL, R. S. Yttrium-90 Complications: Prevention and Management. **Tech Vasc Interv Radiol,** v. 22, nº 2, p. 87-92, junho de 2019.

YAVUZ, S.; PUCKETT, Y. Iodine-131 Uptake Study. **StatPearls Publishing,** Treasure Island, outubro de 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559283/>. Acesso em 18 de junho de 2025.

ZHANG, X. et al. I-131 metaiodobenzylguanidine therapy is a significant treatment option for pheochromocytoma and paraganglioma. **Nuklearmedizin,** v. 61, nº 3, p. 231-239, junho de 2022.

Este trabalho de acesso aberto está licenciado sob Creative Commons - Atribuição (CC BY 4.0).