

Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – V SENCIR
Belo Horizonte, 9 a 12 de novembro de 2020

Id: CR_31

ENTRELAÇOS DAS CIÊNCIAS DAS RADIAÇÕES COM A AUTOMAÇÃO: FUNDAMENTAÇÃO HISTÓRICA E PERSPECTIVAS

André F. F. Camargos¹, Leonardo S. M. Silva², Tarcísio P. R. de Campos²

Universidade Federal de Minas Gerais

²Departamento de Engenharia Nuclear; ¹Engenharia de Controle e Automação
Av. Antônio Carlos, 6627 Campus UFMG, PCA 1 - Anexo Engenharia - Pampulha 31270-90 - Belo Horizonte, MG, Brasil E-mail: andrefuza42@ufmg.br, leonardosantiago.lsms@gmail.com,
campos@nuclear.ufmg.br

Palavras-Chave: Artigo revisional; Automação na radiologia; Técnicas medicinais na modernidade.

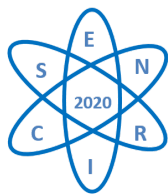
Keywords: Review article; Automation in radiology; Modern healthcare techniques.

RESUMO

O presente artigo aborda o estado da arte da automação na medicina, com foco na radiologia. A metodologia consistiu em buscas atualizadas nos bancos de dados SciELO, redalyc, PubMed, science direct, JURN, google scholar. O artigo aborda tecnologias como raio-X, fluoroscopia e exame PET/CT; bem como a automação e inteligência artificial em procedimentos modernos intervencionistas. São discutidos a precisão de cirurgias robotizadas e o ganho de qualidade do processo robotizado pós-operatório. É revisado a automação na braquiterapia de próstata. Apresenta os processos automatizados no cateterismo - inserção de sonda vascular periférica até o miocárdio, radioguiadas por fluoroscopia. No campo das cirurgias robotizadas, são abordados a prostatectomia e a viabilidade de cirurgias cardíacas operadas remotamente. Também é exposto o emprego da inteligência artificial na radiologia e comprova, com exemplos, os ganhos práticos dessa associação. Conclui-se da presença de um entrelaçamento entre as ciências das radiações, a automação e inteligência artificial.

ABSTRACT

This article addresses the state of the art of automation in medicine, with a focus on radiology. The methodology consisted of updated searches in the SciELO, redalyc, PubMed, science direct, JURN, google scholar databases. The article addresses technologies such as x-ray, fluoroscopy and PET / CT examination, as well as automation of modern interventionist procedures. The accuracy of robotic surgeries and the quality gain of the robotic postoperative process are discussed. Automation in prostate brachytherapy is reviewed - an oncological procedure that involves the insertion of radiation seeds in the prostate. It presents the automated processes in catheterization - insertion of a tube through a peripheral vessel to the heart myocardium, radio guided by fluoroscopy. In the field of robotic surgery, prostatectomy and the feasibility of remotely operated cardiac surgery are unraveled. It also exposes the use of



Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – V SENCIR
Belo Horizonte, 9 a 12 de novembro de 2020

artificial intelligence in radiology and proves, with examples, the practical gains of this association.

1. INTRODUÇÃO

Automação é, por definição, qualquer sistema apoiado em computadores que substitui o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos processos e da rapidez da produção, assim aperfeiçoando os complexos objetivos da indústria e dos serviços. [GLASSER,1993]. O termo tem origem na década de 40, quando a indústria automotiva o utilizou fortemente em seu marketing [GLASSER,1993]. Hoje, a automação compreende esferas como dispositivos móveis de telefonia, tecnologias assistivas, sistemas domésticos e equipamentos com fim medicinal, laboratorial e operatório, entre outros. Percebemos que a automação expandiu e conquistou vários novos mercados. No processo, se inseriu de forma grandiosa no mundo das ciências das radiações voltadas para a medicina.

Objetivos

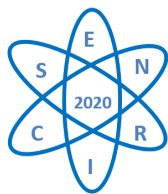
O artigo aborda as fundamentações históricas das tecnologias de raios-X, fluoroscopia e exame PET/CT; bem como da automação e da inteligência artificial. O objetivo é demonstrar a tese da presença de um entrelaçamento entre as ciências das radiações com a automação e inteligência artificial, como base dos avanços científicos nestas áreas nesta década.

2. METODOLOGIA

A metodologia consistiu em buscas atualizadas nos bancos de dados SciELO, redalyc, PubMed, science direct, JURN, google scholar, na tentativa de demonstrar nossa tese.

3. FUNDAMENTAÇÃO HISTÓRICA DAS RADIAÇÕES

Os conhecimentos da radiação surgem a 125 anos com a descoberta do raios-X. Os primeiros experimentos de radiação foram conduzidos separadamente por Wilhelm Conrad Roentgen e Marie Curie, no fim do século XIX. Em 1895, Roentgen, que lecionava na Escola de Würzburgo, observou um fenômeno incomum de fluorescência induzidos por raios catódicos, mesmo após revestir o tubo com uma folha opaca [SARTON, 1937]. Roentgen percebeu que uma chapa fotográfica posicionada a distância continuava sendo velada e concluiu assim, que este agente, nomeado de raios-X, conseguia atravessar superfícies não translúcidas, em intensidades dependentes de sua composição material e espessura [REED, 2011]. Por sua vez, Marie Curie separou o primeiro elemento radioativo. Ela contribuiu com os conceitos básicos de radioatividade e fez a caracterização química do elemento Ra. Estudos radiobiológicos em exposições da superfícies da pele logo surgiram, entre outras nuances. Os Curies também visualizaram diversas aplicações medicinais do Radium. Após a I Guerra Mundial, M.Curie se empenhou para organizar as divisões hospitalares francesas dando início à radiologia e à radioterapia [LANGEVIN,1998].

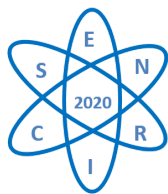


Nos anos seguintes aos estudos de Wilhelm C Roentgen e Marie Curie, cientistas e engenheiros se puseram a buscar aplicações para as radiações nos mais diversos ambientes de conhecimento. O maior beneficiário foi a medicina, sobretudo por causa do recém-descoberto potencial de geração de imagens do interior dos corpos humanos e do efeito letal do Ra em tecidos cancerosos. Essas propriedades justificaram o surgimento de várias novas tecnologias de diagnóstico e tratamento médico ao redor do mundo, fazendo da radiação um recurso medicinal indispensável para a humanidade.

Acredita-se que a fluoroscopia surgiu menos de um ano após a publicação dos textos de Roentgen. No ano de 1896, Thomas Edison, que havia se posto a procurar um método de tornar visíveis os efeitos do Raios-X, construiu um equipamento capaz de gerar os raios com um feixe direcionado, em contraste com o padrão instável do tudo de Roentgen. Também determinou que o tungstato de cálcio era a substância que melhor se destacava pela capacidade de emissão de radiação. Revendo os conceitos de fotografia em vidro, Edison trabalhou em aparelhos de fluoroscopia como método de visualização do interior de tecidos concomitantemente a intervenções médicas nesses locais, tudo isso possível pela incidência de raios-X. Esta tecnologia foi empregada para investigação da estrutura óssea de indivíduos [SHEPHARD, 1977].

Alguns anos mais tarde, uma nova forma de estudar a estrutura interna de pacientes surgiu quando o neurocirurgião português Antonio Egas Moniz propôs fazer pequenas incisões na cabeça de pacientes para inserir contraste radiológico vascular e gerar imagens radiológicas fluoroscópicas do sistema vascular cerebral. Apesar das controvérsias de sua proposição, que muitos alegavam causar lesões cerebrais permanentes [KANTI DAS, 2017; CORREIA, 2006], Moniz, que era dono de certa influência por conta de seu passado político, pôde prosseguir com o estudo, sendo inclusive indicado a cinco prêmios Nobel ao longo da carreira. À parte das controvérsias, por volta de 1927, os testes cumpriram o objetivo proposto e deu-se aí uma nova forma de detectar neoplasias e hematomas cerebrais [LEGO, 2003]. Os passos de Egas Moniz foram seguidos por diversos outros neurocientistas que tentaram aperfeiçoar a técnica.

O seguidor de Moniz que mais obteve notoriedade foi o sueco Sven Ivar Seldinger. No ano de 1957, Seldinger precisou apenas de um cateter, um fio guia e uma agulha para inserir o contraste no sistema vascular dos pacientes, fazendo a incisão longe do cérebro e conduzindo a substância até a posição desejada através da movimentação de sondas pelo sistema vascular. O sueco criou, assim, a angiografia, método que permite alcançar e estudar uma parte do corpo humano sem necessidade de incisão nesse local [PARQUET et al., 2008]. A angiografia logo foi inserida em uma nova especialidade médica que emergia, a radiologia intervencionista: grupo de procedimentos que consistem em uma intervenção radiodiagnóstica guiada por acesso percutâneo [EMIN, 2019]. Ao longo do tempo, a radiologia intervencionista passou a oferecer não apenas diagnósticos, mas aparelhos capazes de curar múltiplas complicações.



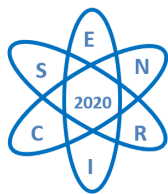
Entretanto, até que essa evolução fosse possível, outra ferramenta de obtenção de imagem se firmou como um dos pilares da aplicação medicinal das radiações ionizantes. No mesmo período em que Antonio Moniz pesquisava a eficiência do contraste intravenoso, Ernest Orland Lawrence concluía, nos Estados Unidos, o projeto do ciclotron [LUIZ et al. 2011], um acelerador de partículas movido por campo magnético uniforme. À época, a principal contribuição do ciclotron foi a capacidade de produzir variedades específicas de radionuclídeos, ou seja, radioisótopos instáveis que decaem por diferentes processos nucleares, com múltiplas aplicações médicas. Com a possibilidade do uso de radionuclídeos, no Massachusetts General Hospital, Gordon L Brownell e William Sweet, que já vinham pesquisando a dinâmica de partículas nucleares no tratamento de neoplasias [BROWNELL, 1952] no Massachusetts General Hospital, desenvolveram um método de rastreamento que rastreou radionuclídeos para fins de identificação de tumores cerebrais [Nutt, 2002]. No início dos anos 60, outra dupla de cientistas, Kuhl e Edwards, construiu o primeiro aparelho capaz de executar uma tomografia a partir do mapeamento de radionuclídeos emissores de pósitrons. Surge o equipamento PET - tomografia por emissão de prótons [NUTT, 2002].

O complemento dessa técnica veio nos anos 70, quando Godfrey Hounsfield, insatisfeito com a baixa qualidade das imagens bidimensionais de raios-X produzidos pela fluoroscopia ou raios-X convencional, desenvolveu junto a Dr. James Ambrose um aparelho de imageamento por secções transversais, que, quando sobrepostas, formam uma imagem tridimensional: surgiu o aparelho de tomografia computadorizada (CT) [SHAMPO et al,1996]. Juntos, e substancialmente incrementados com as tecnologias atuais de processamento de dados e eficiência computacional, as tecnologias de diagnóstico de CT e PET se juntaram e deram origem ao PET-CT, o principal exame de monitoramento oncológico existente hoje [GRIFFETH, 2005].

4. ENTRELAÇOS DAS CIÊNCIAS DAS RADIAÇÕES E AUTOMAÇÃO

Um outro elemento essencial na trajetória da radiologia e da oncologia em direção ao estado altamente automatizado atual foi a internet, cujas raízes remontam a 1957 e à alta atividade científica da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa) em meio à Guerra Fria. [LADEIRA, 2018]. A internet, à época ARPAnet, teve seu uso originalmente restrito aos militares americanos mas não tardou a ser difundida entre os civis. A possibilidade de usar a internet tornou possível às máquinas comunicar-se rapidamente com bancos de dados especializados e atuar em tempo real remotamente [NITZAN & ROSEN, 1976]. Isso motivou a publicação de uma grande quantidade de novas pesquisas e protótipos, sob o imaginário de que, se personalidades como Thomas Edison, Sven Seldinger e J Hounsfield haviam sido capazes de contribuir significativamente para o mundo da medicina privados dos recursos da internet, projetos que fizessem uso da rede teriam boas chances de obter sucesso.

As descobertas feitas desde então passadas demonstram que o fim do século XX e início do século XXI será um momento fértil para as ciências médicas. Com o advento da

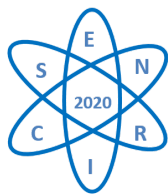


automação e da conexão de internet em banda larga, avanços tecnológicos já foram percebidas em praticamente todas as áreas da medicina - desde a infectologia à geriatria, medicina legal e o mercado de próteses. Entretanto, foi a medicina cirúrgica que se tornou o principal objeto de interesse desse período de novas tecnologias, e a precursora da aliança entre tecnologia contemporânea e medicina.

A primeira incorporação da tecnologia automatizada nos procedimentos operatórios ocorreu em instalações militares nos anos 70, entretanto, infelizmente, de maneira secreta e com pouquíssimos registros públicos a respeito. Pelos civis, a experiência das cirurgias robotizadas teve de esperar mais pelo menos vinte anos, até o começo dos anos 90. Mais precisamente até 1994, ano em que foi inventado o AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning, Sistema Endoscópico Automatizado para Posicionamento Otimizado), um sistema de controle de voz para endoscopia que tinha como principal finalidade assistir os médicos durante o procedimento. Sete anos depois, uma nova estrutura mecânica, com sistema operacional mais robusto, incorporou o AESOP e foi lançado com o nome de Zeus Robotic Surgical System. O ZRRS, ou Zeus, como ficou conhecido, foi revolucionário por ser o primeiro aparelho capaz de efetivamente realizar intervenções no corpo dos pacientes [SUNG, 2001], não apenas facilitar o trabalho dos cirurgiões como faziam seus contemporâneos. A hegemonia do Zeus, todavia, durou pouco no ramo das cirurgias automatizadas. No ano 2000, foi testada e aprovada a primeira versão do Da Vinci, robô cirurgião com quatro braços funcionais, dois de cada lado do paciente. Seus primeiros testes em pacientes se deram em julho de 2006, e, a partir daí, ele se firmou no mercado como grande concorrente do Zeus [SUNG, 2001]. Os dois sistemas da robótica operatória foram alvo de inevitáveis comparações, mas, apesar de suas diferenças de projeto, foram ambos bem aceitos pela comunidade científica. Graças à confiabilidade desses dois modelos, foi provado que o auxílio de braços robotizados em procedimentos delicados e o uso da automação como ferramenta assistiva garantem maior precisão em operações de acesso dificultado e obtenção de imagem de alta qualidade, geram diagnósticos exponencialmente mais precisos e reduzem o tempo de recuperação dos pacientes operados [SIDDAIAH-SUBRAMANYA, 2017].

Outros exemplos de tecnologia automatizada na medicina, de lançamentos posteriores, são a linha Artis, da Siemens, especializada em angiografias, diagnóstico por imagem e radiologia intervencionista, o Preceyes para cirurgias oculares e o maior competidor contemporâneo do Da Vinci, o Versius (CMR Surgical), que alega maior flexibilidade em relação à movimentação dos braços e demanda menos espaço e recursos em sua montagem.

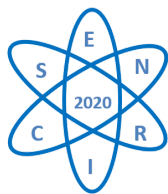
No contexto atual, os robôs cirurgiões estão lentamente sendo incorporados aos hospitais e ainda estão em uma fase extremamente precoce em substituição de procedimentos cirúrgicos clínicos, não atingindo todo o seu potencial [SIDDAIAH-SUBRAMANYA, 2017]. Entretanto, em um nicho específico, as cirurgias robotizadas já se tornaram a forma mais viável de cuidar dos enfermos: trata-se da proceder a prostatectomia automatizada .



Prostatectomia, a remoção de parte ou de toda a próstata, é o último recurso em casos graves de hiperplasia prostática ou da presença de tumores prostáticos em estágio avançados. Tradicionalmente, esse procedimento era feito via abdominal, requerendo uma incisão do umbigo até o osso púbico. Dessa forma, os efeitos colaterais pós-operatórios eram severos e a recuperação da operação era sofrida. Entretanto, com o avanço das cirurgias minimamente invasivas e das videolaparoscopias robô-assistidas, foi possível reduzir significativamente os impactos ao bem estar do paciente na fase de recuperação. Acredita-se que a prostatectomia robotizada, performada por exemplo pelo Da Vinci, reduz a perda de sangue durante a cirurgia, reduz a dor remanescente e reduz o tempo de recuperação pós-operatório [Health Quality Ontario, 2017]. Porém, quanto a incontinência urinária e disfunções sexuais, ainda não foi provada nenhuma vantagem pela intervenção robótica [EL-HAKIM, 2004].

Caso o tumor prostático detectado no paciente não seja de estágio tão avançado, a automação moderna também oferece uma solução mais cômoda que a tradicional. Se trata da braquiterapia robotizada. Em definição, braquiterapia corresponde a uma intervenção radioterápica em que pequenas concentrações de radiação são inseridas diretamente na região do tumor, combatendo as células cancerosas pela deposição de dose absorvida no tecido através do decaimento radioativo da fonte radioativa [LEITE, 2019]. Essa prática, antes do incremento da automação, se provou eficiente quando bem executada, mas, devido à difícil curva de aprendizado relativa à inserção das cápsulas radioativas [POPESCU, 2015], ocorrências esporádicas de erros de posicionamento e execução restringiram rigorosamente as indicações desse procedimento. A solução para esses erros veio novamente na forma da intervenção robótico-automatizada. Equipamentos automatizados de braquiterapia de próstata praticamente anulam os erros e complicadores na inserção, graças à capacidade dos computadores de registrar sua posição com precisão milimétrica e reduzir tremores e ruídos nas medições a quase zero [FICHTINGER et al, 2008]. O custo disso é uma alta complexidade de hardware e software empregado [FICHTINGER et al, 2008], o que desacelera as tentativas de popularizar e ampliar estes procedimentos cirúrgicos.

Por mais eficientes que sejam os procedimentos robóticos de prostatectomia, entretanto, estes não correspondem à realidade de toda a automação cirúrgica. Mesmo com todos os avanços tecnológicos atuais, a possibilidade de desenvolver procedimentos complexos, como cirurgias cardíacas performadas de maneira completamente autônoma, é ainda remota. Isso porque as metodologias menos invasivas reduzem muito o acesso ao órgão e comprometem a obtenção de informações sobre o verdadeiro estado de saúde do paciente. Também impossibilitam o uso dos sentidos alternativos, sobretudo o tato, de que muitos cirurgiões lançam mão para distinguir entre estruturas de aspecto visual muito semelhante, sem mencionar a falta de preparo da máquina para reagir a imprevistos. Dessa forma, por mais que o uso da tecnologia robótica apresente vantagens, tal tecnologia não supera os riscos envolvidos em uma grande variedade de procedimentos e pode vir a contrariar a ideia de que menos invasiva é necessariamente mais indicada positivo que os procedimentos tradicionais [HARKY, 2019].

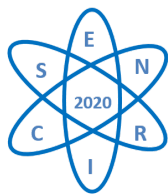


Uma vez levantada essa ponderação sobre o devido uso da tecnologia minimamente invasiva, é possível argumentar que, No cenário atual, o maior potencial do entrelaçamento entre medicina e automação é permitir a chegada de procedimentos médicos a locais com baixa infraestrutura de forma eficiente e segura. Em detrimento dos procedimentos cirúrgicos complexos feitos com mínima supervisão humana em centros altamente especializados, defende-se a introdução de procedimentos simples feitos de forma remota em situações precárias com alta supervisão médica, fazendo uso de tecnologias robotizadas de custo acessível.

A principal razão por trás disso é o reduzido acesso a equipamentos de ponta, que além de serem produzidos escala mínima, são distribuídos a custos exorbitantes. Frente a essa realidade, um uso alternativo que possibilita tratar múltiplas enfermidades, enquanto requer pouca mão de obra especializada, é um grande trunfo da automação. Aliam-se a esta tese a diversidade e potencial de recursos humanos em automação produzidos nos países em desenvolvimento. Felizmente, essa possibilidade se concretiza na forma de equipamentos cirúrgicos de funcionamento remoto, que estabelecem comunicação em tempo real com um médico especialista que pode estar situado em qualquer hospital. Nesses procedimentos, o paciente é posicionado junto ao robô operador pela maior autoridade clínica presente, e ao médico é entregue o controle do maquinário, com o trânsito de comandos e feedbacks sendo realizados por redes de computadores. Essa montagem, ao mesmo tempo que se aproveita da expertise do profissional de saúde, pode ser instalada em diversas localidades que não contam com especialistas da área, evitando que seja necessário transportar o doente para um centro cirúrgico de maior porte e desmantelando a urgência de um médico se deslocar grandes distâncias para fazer o atendimento.

A primeira cirurgia remota registrada na história foi uma laparoscopia envolvendo um paciente em Strasbourg, na França, e um cirurgião em Nova York, Estados Unidos, em 7 de setembro de 2001 [ANVARI, 2005], tendo sido concluída com sucesso. Mesmo assim, muitos questionamentos foram levantados sobre a reprodutibilidade desse experimento, principalmente pelo custo de levar a tecnologia usada a todos os locais necessitados [ANDREONI, et al, 2004]. De qualquer forma, o método foi provado como eficiente e as expectativas são, até hoje, que populações carentes possam ter acesso a procedimentos semelhantes.

Porém, antes de firmar a nova dinâmica tecnológica do século XXI como dotada apenas de vantagens, é preciso levantar uma reflexão acerca de como estamos lidando com tantas novidades. Ainda que a possibilidade de intervenções cirúrgicas remotas ajude a levar a medicina a locais de menor infraestrutura, a modernidade tecnológica não é composta apenas de benefícios. Uma vez que a quantidade de dispositivos conectados entre si foi crescendo, a obtenção de dados e o fluxo de informações se expandiu de forma incontável. Como consequência, a distribuição consciente de recursos na esfera dos cuidados humanos se tornou um desafio de proporções sem precedentes. A solução para a problemática do excesso de informação, dito big data, foi encontrada na



inteligência artificial. Recurso computacional que visa simular o raciocínio humano, a inteligência artificial tem se popularizado nos últimos anos por seu potencial de reconhecer e classificar padrões, resolver problemas lógico-matemáticos e processar dados em volume muito maior que um cérebro humano. Tendo em mente que a sobrecarga de informações ameaçava a eficiência de muitos hospitais e clínicas, a IA passou a ser largamente empregada pelos pesquisadores da área da saúde.

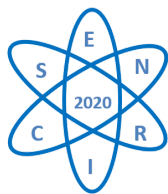
As aplicações dos algoritmos de inteligência já implementadas atualmente são múltiplas. No campo da radiologia, destacam-se a identificação de lesões torácicas, cardíacas e cerebrais [PAKDEMIRLI, 2019], a classificação de anormalidades dentre as patologias conhecidas e o treinamento de estudantes e futuros especialistas na área [YASAKA, 2018]. Na oncologia, por sua vez, a inteligência artificial vem sendo largamente usada para otimizar as doses em procedimentos radioterápicos e para calcular o risco de planejamentos radioterápicos ou riscos de câncer radioinduzido [HOSNY, 2018]. Quanto à aceitabilidade do corpo clínico, o receio da redução da presença humana com o emprego de autômatos auto suficientes vem diminuindo. A razão dessa maior aceitação é que a acurácia da IA tem sido considerada baixa para se permitir uma atuação sem o gerenciamento de um radiologista [BEREGI et al, 2018], o que não quer dizer que ela não seja capaz de contribuir com esforços significativos no diagnóstico radiológico. O ideal é combinar a inteligência computacional e a supervisão de um profissional humano, chegando assim, a diagnósticos mais rápidos, precisos e seguros.

5. CONCLUSÃO

Uma vez relatados alguns dos múltiplos desafios que os profissionais das ciências médicas enfrentaram em sua missão ao longo do tempo, e exposto o longo caminho percorrido por pesquisadores e inventores até o mundo altamente conectado de hoje, fica evidente que o entrelaçamento entre as ciências das radiações e a automação é consequência de um esforço ávido exercido pelas duas partes. Também fica evidente que, por mais diferentes que duas áreas tecnológicas possam parecer, a união entre elas pode trazer benefícios inimagináveis. Por fim, é importante mencionar que o estado em que a medicina automatizada se encontra hoje é bastante efêmero e não tardará a receber novas ideias e elementos de pesquisa. O potencial da inclusão de equipamentos modernos em técnicas tradicionais de cuidados humanos está iniciando neste século e tem muitos benefícios reservados, o que torna essencial que se mantenham os esforços e os investimentos destinados a essa proposta.

AGRADECIMENTOS

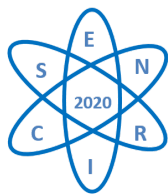
Ao Grupo NRI - Núcleo de Radiações Ionizantes, à pró-reitoria de pesquisa da UFMG, à CNPq pelo investimento e a todo o DEN - Departamento de Engenharia Nuclear da UFMG.



Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – V SENCIR
Belo Horizonte, 9 a 12 de novembro de 2020

REFERÊNCIAS

- [1] SARTON, G. **The Discovery of X-Rays**. *Informativo Impresso da Universidade de Chicago*. Volume 26 nº2. Páginas 349-369. Publicado em Março de 1937. Disponível em: www.jstor.org/stable/224922. Acesso em 1 de Junho de 2020
- [2] REED, Amy B. **The history of radiation use in medicine**. *Journal of Vascular Surgery*: Volume 53, 1 edição, páginas 3S-5S, Janeiro de 2011. [disponível online] [acesso em 18 de Maio de 2020] Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0741521410017271>
- [3] LANGEVIN-JOLIOT, H. **Radium, Marie Curie and Modern Science**. *Radiation Research*, vol. 150, no. 5, 1998, pp. S3–S8. JSTOR, www.jstor.org/stable/3579803. Acesso em 20 de maio de 2020.
- [4] SHEPHARD, David. **The contributions of Alexander Graham Bell and Thomas Alva Edison to medicine**. *Bulletin of the History of Medicine*, vol. 51, no. 4, 1977, pp. 610–616. JSTOR, www.jstor.org/stable/44450472. Acesso em 20 de maio 2020.
- [5] DAS, Nilay Kanti; SIL, Amrita. **Evolution of Ethics in Clinical Research and Ethics Committee**. *Indian Journal of Dermatology*, volume 62, nº4, páginas 373-379. Julho de 2017. NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5527717>. Acesso em 2 de Junho de 2020.
- [6] CORREIA, Manuel. **Egas Moniz e a leucotomia pré-frontal: ao largo da polémica**. *Anál. Social, Lisboa*, n. 181, p. 1197-1213, 2006. Acesso em 02 de junho de 2020. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0003-25732006000400013&lng=pt&nrm=iso.
- [7] LEGO, BL. **History of developments in imaging techniques: Egas Moniz and angiography**. *Seminars in Pediatric Infectious Diseases*, Volume 14, 2ª edição, abril de 2003, páginas 173-181. [disponível online] [acesso em 22 de Maio de 2020] Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1045187003700296?via%3Dihub>
- [8] PARQUET, Romina A; BIOLCHI, Rodolfo E. **Sven Ivar Seldinger**. *Ata Gastroenterológica Latinoamericana*, vol. 38, num. 2, p. 104. Buenos Aires, Argentina: Sociedade Argentina de Gastroenterologia, junho de 2008. Disponível em: <http://www.actagastro.org/numeros-anteriores/2008/Vol-38-N2/Vol38N2-PDF06.pdf> Acesso em 20 de junho de 2020
- [9] EMIN, Elif Iliria. **Are interventional radiology and allied specialities neglected in undergraduate medical education? A systematic review**. *Annals of Medicine and Surgery*. Volume 40, páginas 22-30. Elsevier, abril de 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2049080119300159>. Acesso em 20 de junho de 2020.



[10] LUIZ, Leandro da Conceição; MONTEIRO, Keila Thaís da Silva; BATISTA, Rafaela Tavares. **Os aceleradores de partículas e sua utilização na produção de radiofármacos.** *Revista Brasileira de Farmácia*, 92(3). Páginas 90-95. Associação Brasileira de Farmacêuticos, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Leandro_Luiz/publication/279931293_Os_aceleradores_de_particulas_e_sua_utilizacao_na_producao_de_radiofarmacos/links/559e999e08ae99dba59909e4/Os-aceleradores-de-particulas-e-sua-utilizacao-na-producao-de-radiofarmacos.pdf Acesso em 26 de maio de 2020

[11] MANUCHER, Javid; BROWNELL, Gordon L; SWEET, William H. **The possible use of neutron-capturing isotopes such as boron10 in the treatment of neoplasms.** Computation of the radiation energies and estimates of effects in normal and neoplastic brain. *The Journal of Clinic Investigation*, Volume 32, nº6. páginas 604-610. The American Society of Clinical Investigation, junho de 1952. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC436458/?page=1> Acesso em 4 de junho de 2020

[12] NUTT, Ronald. **The History of Positron Emission Tomography.** *Molecular Imaging and Biology* Vol. 4, Nº 1, páginas 11–26. Knoxville: Elsevier, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1095039700000510>. Acesso em 20 de junho de 2020.

[13] SHAMPO, Marc A. et al. **Godfrey Hounsfield—Developer of Computed Tomographic Scanning.** *Mayo Clinic Proceedings*, Volume 71, Issue 10, 990. Disponível em: [https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196\(11\)63774-9/fulltext](https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196(11)63774-9/fulltext). Acesso em 8 de Maio de 2020

[14] GRIFFETH, LK. **Use of PET/CT scanning in cancer patients:** technical and practical considerations. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*. Outubro de 2005; 18(4): 321–330. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1255942/>. Acesso em 8 de Maio de 2020. [14]

[15] LADEIRA, João Damasceno Martins. **Cientistas, militares e burocratas: O Desenvolvimento da Arpanet e o Sistema Norte-Americano de Inovação.** *Portal Metodista de periódicos científicos e acadêmicos*. Capa, volume 40, nº1. São Paulo, 2018.

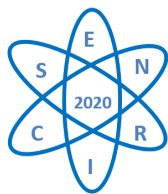
[16] NITZAN; ROSEN. **Programmable Industrial Automation.** *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-25, no. 12, pp. 1259-1270, Dec. 1976.

[17] ANDREONI, Cássio et al. **Telerobotic-assisted laparoscopic operation performed at a remote site:** initial experience. *Acta Cir. Bras. São Paulo*, v. 19, n. 3, p. 308-313, junho de 2004. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-86502004000300013&lng=en&nrm=iso. Acesso em 09 de junho de 2020.

[18] SUNG, Gyung Tak; GILL, Inderbir S. **Robotic laparoscopic surgery:** a comparison of the da Vinci and Zeus systems. *Urology*: Volume 58, nº 6, páginas 893-898. Elsevier, dezembro de 2001. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0090429501014236?casa_token=u6Sg2QXy



[3ZYAAAAA: yYOOq1ecYXpW9Ssbh50-75W_HiGUqX_0XnBYuKwVAnq6kqClBrq5_iU36B-Hqr2qp2SOhu81_k](#). Acesso em 08 de junho de 2020

[19] SIDDIAIAH-SUBRAMANYA, Manjunath; TIANG, Kor Woi; NYANDOWE, Masimba. **A New Era of Minimally Invasive Surgery: Progress and Development of Major Technical Innovations in General Surgery Over the Last Decade.** *The Surgery Journal*, 3(4): e163–e166. Nova York, outubro de 2017. Publicado online em 9 de novembro de 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5680046/>. Acesso em 08 de junho de 2020

[20] Health Quality Ontario. **Robotic Surgical System for Radical Prostatectomy: A Health Technology Assessment.** *Ontario Health Technology, Assessment Series*. Volume 17, edição 11. Páginas 1-172. 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5515322/>. Acesso em 09 de junho de 2020.

[21] EL-HAKIM, Assaad; TEWARI, Ashutosh. **Robotic Prostatectomy -- A Review.** *Medscape General Medicine*, volume 6, nº4, página 20. Publicado online em 25 de outubro de 2004. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1480556/>. Acesso em 9 de junho de 2020.

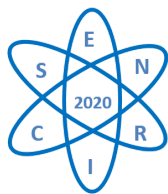
[22] LEITE, Elton Trigo Teixeira et al. **Prostate brachytherapy with iodine-125 seeds: analysis of a single institutional cohort.** *Int. braz j urol.* Rio de Janeiro, v. 45, n. 2, p. 288-298. Abril de 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-55382019000200288&lng=en&nrm=iso. Acesso em 10 de junho de 2020.

[23] POPESCU, Tiberiu et al. **Brachytherapy next generation: robotic systems.** *Journal of contemporary brachytherapy*, volume 7, nº6. Páginas 510-514. Dezembro de 2015. Publicado online em 30 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4716136/>. Acesso em 10 de junho de 2020

[24] FICHTINGER, Gabor et al. **Robotic assistance for ultrasound-guided prostate brachytherapy.** *Medical Image Analysis*, volume 12, nº5, páginas 535-545. Outubro de 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361841508000613?casa_token=oWypi7TSUn4AAAAA:mn_dstz-yIKkUfZ5ymbUBxhtixJdejMdti-14H9tB_Jojjr4PrYjbGQNP6k-8K7t5TTwjXKd3TL. Acesso em 10 de junho de 2020.

[25] HARKY, Amer; HUSSAIN, Syed Mohammad Asim. **Robotic Cardiac Surgery: The Future Gold Standard or An Unnecessary Extravagance?** *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*, volume 34, nº4. São José do Rio Preto, Agosto de 2019. Publicado online em 15 de agosto de 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-76382019000400004&lang=en. Acesso em 11 de junho de 2020.

[26] ANVARI, Mehran; MCKINLEY, Craig; STEIN, Harvey. **Establishment of the World's First Telerobotic Remote Surgical Service For Provision of Advanced Laparoscopic Surgery in a Rural Community.** *Annals of surgery*, volume 241, nº3. Páginas 460-464. Março



Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – V SENCIR
Belo Horizonte, 9 a 12 de novembro de 2020

de 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1356984/>. Acesso em 16 de junho de 2020

[27] ANDREONI, Cássio et al. **Cirurgia laparoscópica robotizada a distância: experiência inicial.** *Acta Cirúrgica do Brasil*. vol.19 no.3. São Paulo, junho de 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-86502004000300013&lang=en. Acesso em 16 de junho de 2020.

[28] PAKDEMIRLI, Emre. **Artificial intelligence in radiology: friend or foe?** Where are we now and where are we heading? *Acta radiologica open*, volume 8, nº2. Fevereiro de 2019. Publicado online em 21 de Fevereiro de 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6385326/>. Acesso em 17 de junho de 2020.

[29] YASAKA, Koichiro; ABE, Osamu. **Deep learning and artificial intelligence in radiology:** Current applications and future directions. *PLoS Med*, volume 15 nº11. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002707>. Acesso em 18 de junho de 2020.

[30] HOSNY, Ahmed et al. **Artificial intelligence in radiology.** *Nat Rev Cancer*, volume 18, nº 8. Páginas 500-510. Agosto de 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6268174/>. Acesso em 19 de junho de 2020.

[31] BEREGI, JP et al. **Radiology and artificial intelligence:** An opportunity for our specialty. *Diagnostic and Interventional Imaging*, volume 99, nº 11, páginas 677-678. Publicado em novembro de 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211568418302596?via%3Dihub>. Acesso em 18 de junho de 2020.