

Tendências do Mercado de Trabalho e Formação de Mão de Obra no Setor Nuclear



Profa. Cláudia Pereira

Departamento de Engenharia Nuclear

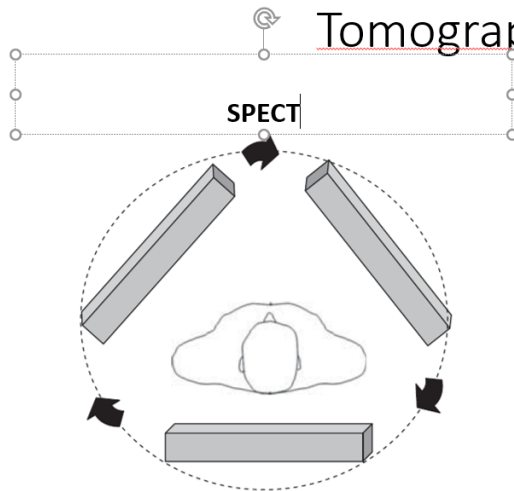
Escola de Engenharia UFMG

- ▶ Ensino
- ▶ Pesquisa e Desenvolvimento
- ▶ Indústria
- ▶ Mercado em geral (industrial e hospitalar)



Radiodiagnóstico

Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)



Características do SPECT

- Utiliza de duas a três gama câmaras;
- Detecta raios- γ ;
- Aquisição de dados por retroprojeção ou técnicas iterativas;
- Gira ao redor do paciente 360° devido a distância fonte-detector afeta a distribuição espacial de espalhamento no corpo;
- Várias imagens em 3D;
- Detector mais utilizado: Nal(Tl).

Single photon emission computed tomography (SPECT)

Positron emission tomography (PET)



SPECT/CT

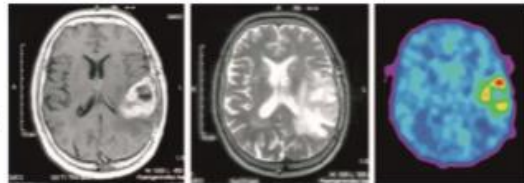


PET/MRI



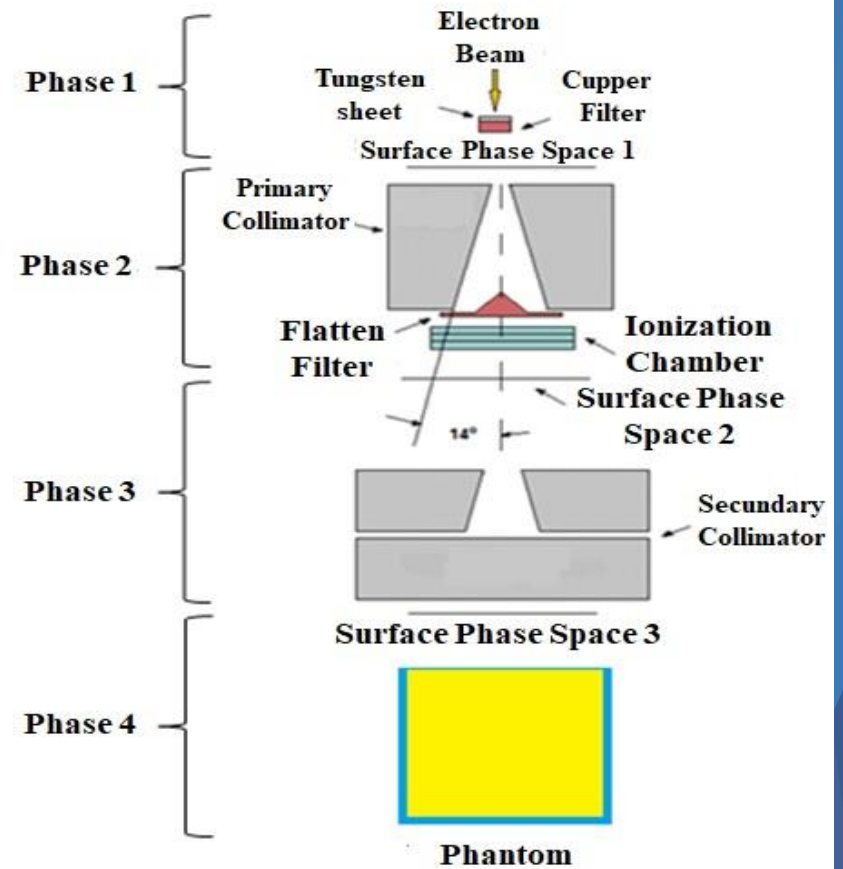
PET/CT

Brain tumour imaged by CT, MRI and PET



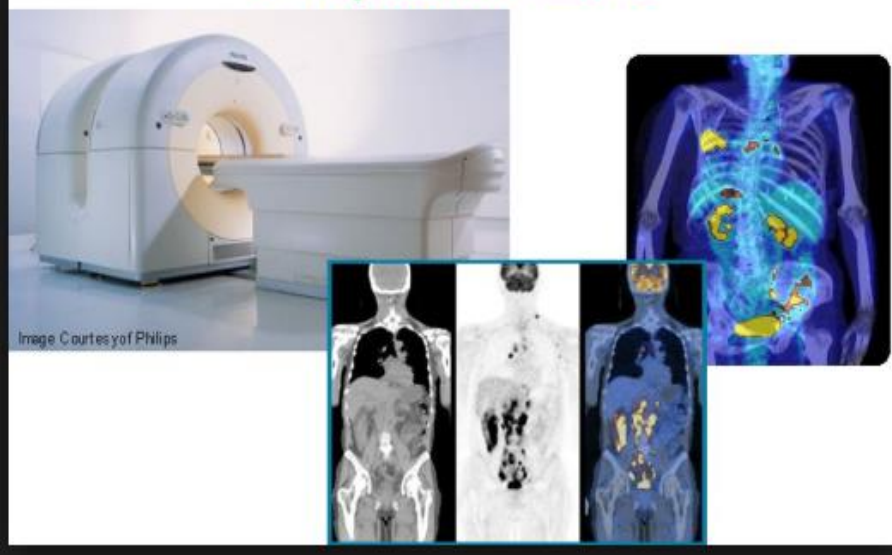
Radioterapia

Aceleradores - VARIAN - ELEKTA



Gamma Câmara - Cintilografia - PET Tomografia por Emissão de Pósitrons

PET/CT – Tomografia por emissão de pósitron/Tomografia computadorizada



Radionuclídeo	Meia vida (min)	Radiotraçador	Aplicação Clínica
^{18}F	109.7	^{18}F FDG Fluorodesoxiglucose	Oncologia, Inflamação, Viabilidade cardíaca
^{11}C	20.4	^{11}C -palmitato	Metabolismo cardíaco
^{15}O	2.07	H_2^{15}O	Fluxo sanguíneo cerebral
^{13}N	9.96	$^{13}\text{NH}_3$	Fluxo sanguíneo cardíaco
^{82}Rb	1.27	$^{82}\text{RbCl}_2$	Perfusão cardíaca

Radiofármacos para SPECT e Cintilografia

Radiotraçador	Meia-vida (horas)	Energia da radiação gama (keV)	Aplicação Clínica
^{99m}Tc	6.0	140	Varias
^{67}Ga	76.8	93, 185, 300, 394	Detecção de Tumores
^{201}Tl	72	167	Viabilidade miocárdica
^{133}Xe	127.2	81	Ventilação pulmonar
^{111}In	67.2	171, 245	inflamação

Aplicações na Indústria

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

GAMMAGRAFIA INDUSTRIAL



Irradiación de alimentos



No irradiado irradiado

Trazadores radioactivos

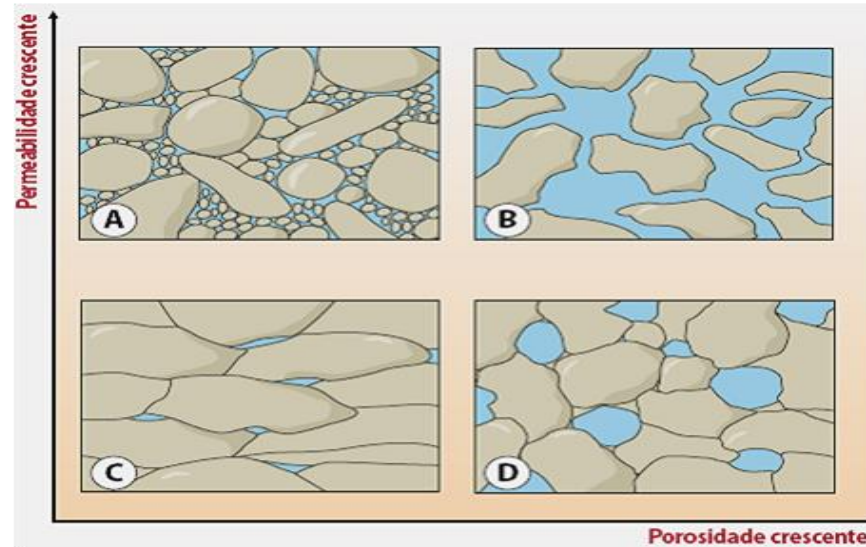
Radiotrazadores en estudio de transporte de contaminantes derivados de la actividad minera e industrial.



Perfilagem de poços de petróleo



- ▶ GR (Th,U,K),RHOB (perfil de densidade) e NPHI (perfil de porosidade - neutrônico)





NASA's Curiosity rover is powered by a ^{238}Pu RTG, meaning it can continue to operate under intense Martian dust storms. ESA is looking to develop RTGs based on ^{241}Am (Image: NASA-JPL-Caltech-MSSSS)

Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG). Source: NASA

MMRTG technology is being used in the NASA [Mars Science Laboratory](#) mission's rover *Curiosity* (see below image), which at 890 kg is about five times the mass of previous Mars rovers. Another rover project, Mars 2020, will utilise the MMRTG, and is planned for launch in 2020.

Radioisotopes production for nuclear medicine

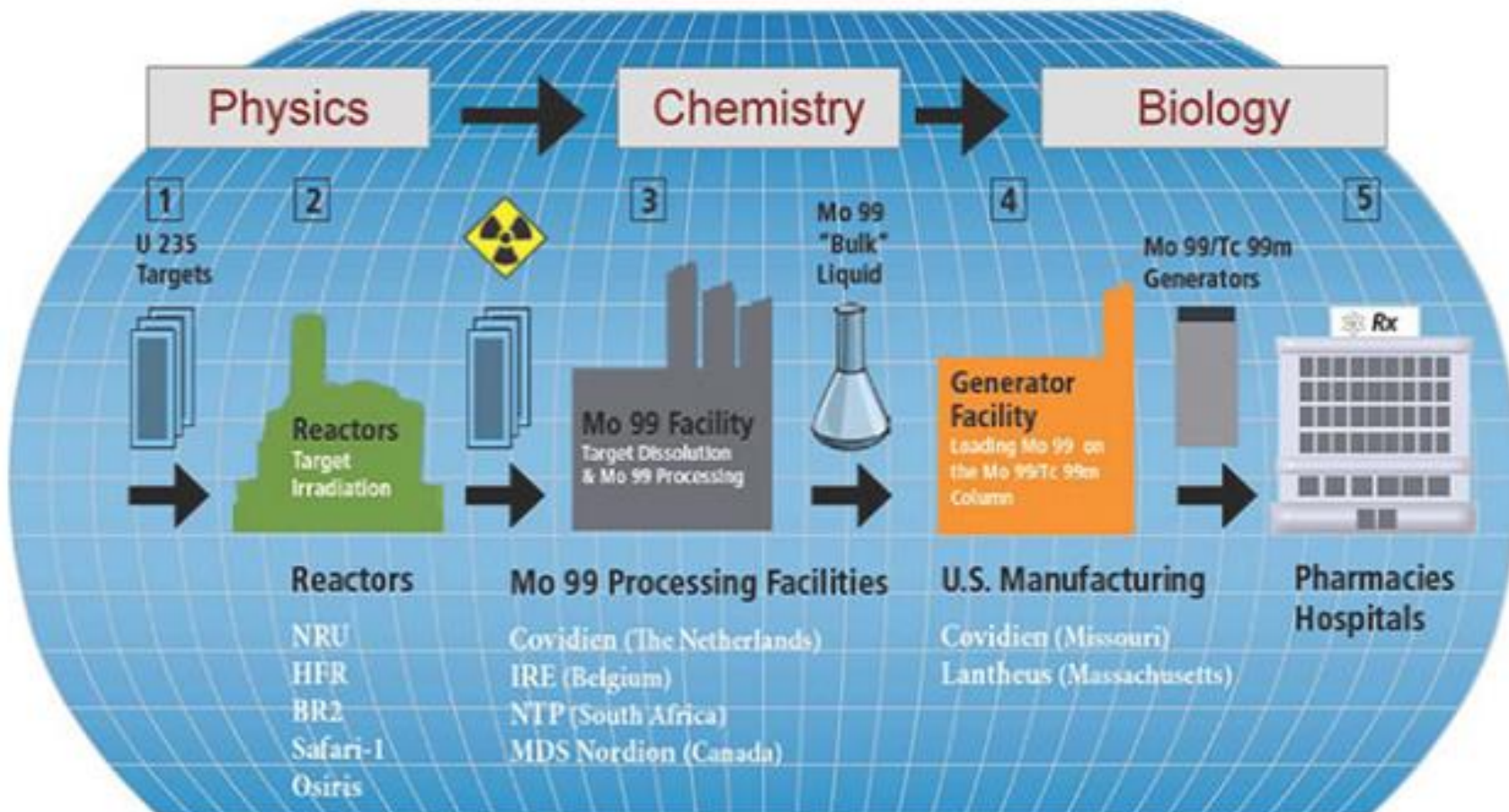
Currently there are in Europe over 12 million medical procedures per year (diagnostic and therapy) using radioisotopes, i.e. more than 30,000 procedures per day. About 90% of radioisotopes are used for diagnostic purposes and 10% for therapies.



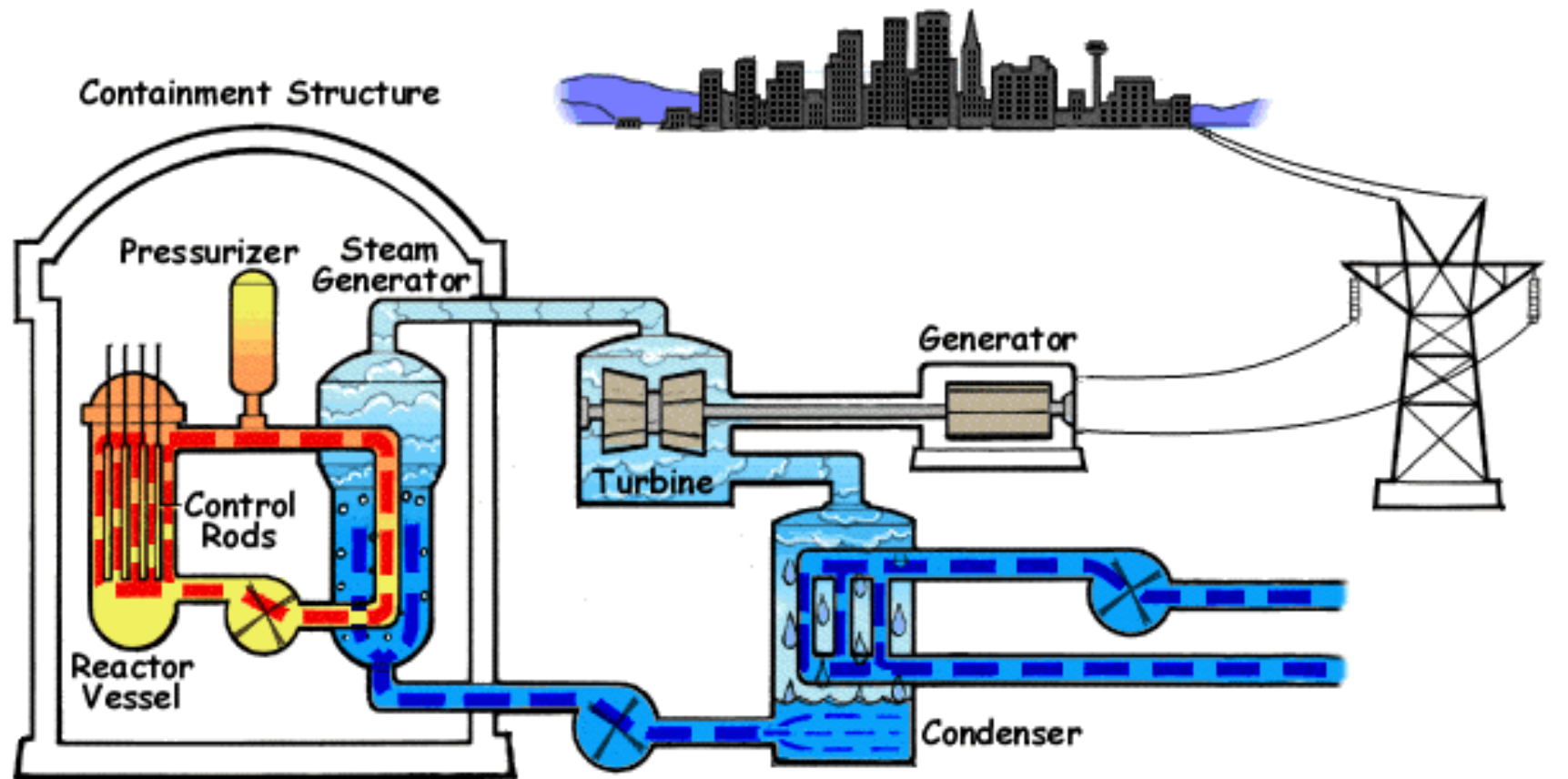
Radioisotopes production with a cyclotron

Invented in the early 1930s by the American physicist Ernest Lawrence, the cyclotron was the first particle accelerator. It is used today in large hospitals to locally produce radioactive very short lived tracers such as fluorine-18 used in Positron Emission Tomography in the screening and localization of cancerous cells.

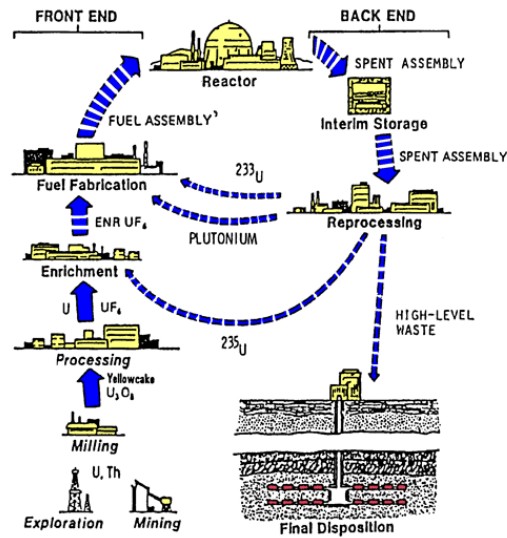
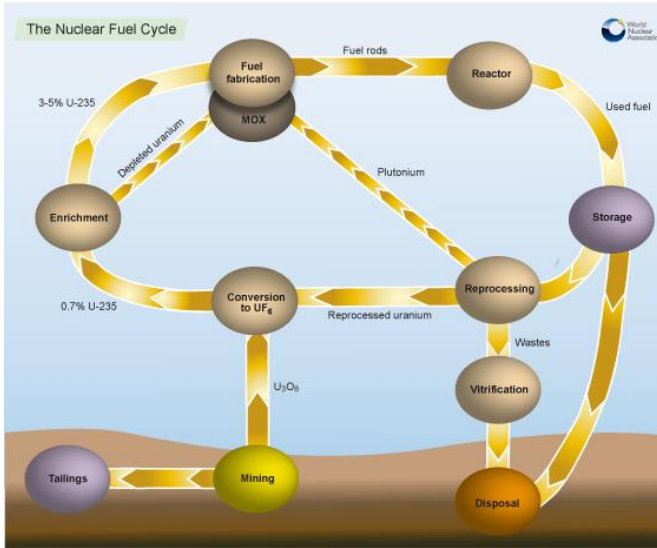
©FP et hôpital Saint-Louis



PWR - Tipo Angra I, II e III



Engenharia Nuclear



Major Long-lived Nuclides in Spent Nuclear Fuel

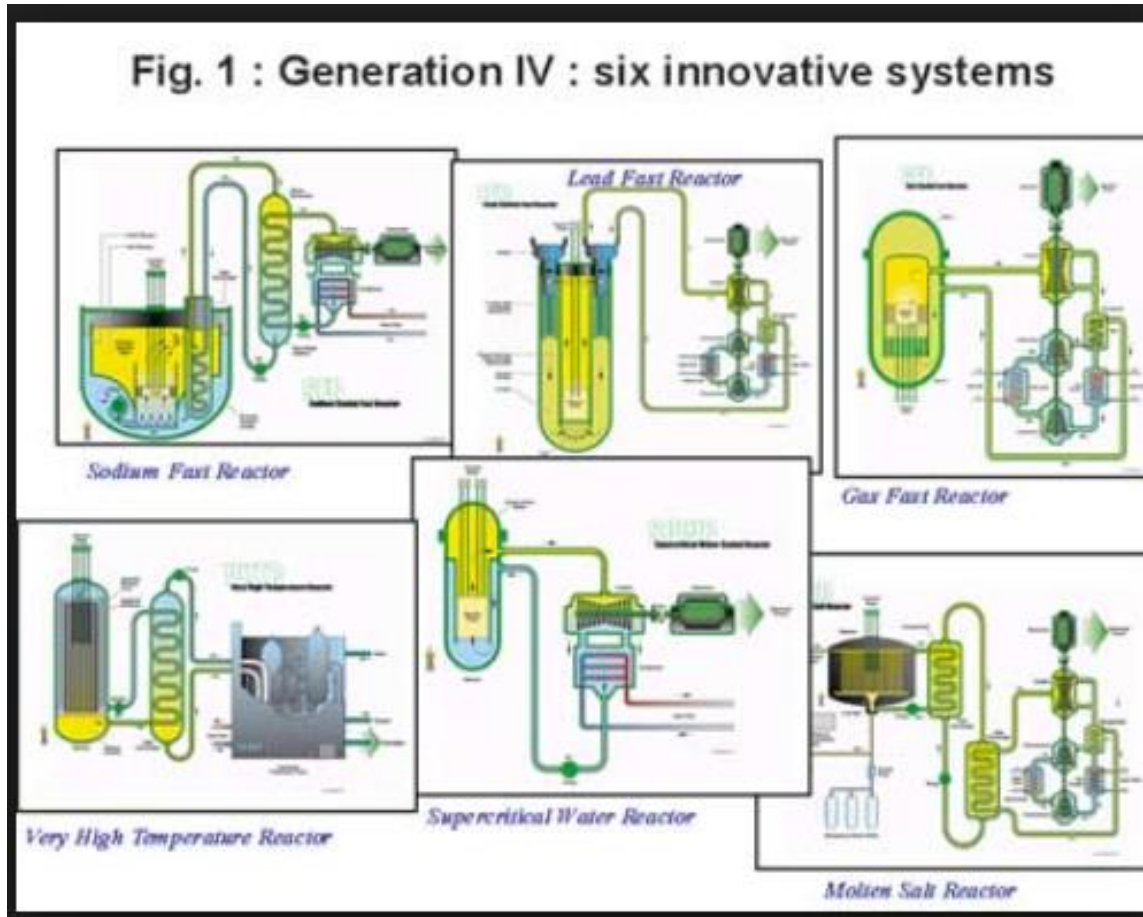
Actinides			
Trans-uranic elements (TRU)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
U-235	0.7B	47	10kg
U-238	4.5B	45	930kg
Minor actinides (MA)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Pu-238	87.7	230	0.3kg
Pu-239	24k	250	6kg
Pu-240	6.6k	250	3kg
Pu-241	14.3	4.8	1kg
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Np-237	2.14M	110	0.6kg
Am-241	432	200	0.4kg
Am-243	7.4k	200	0.2kg
Cm-244	18.1	120	60g

Fission products (FP)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Se-79	0.3M	2.9	6g
Sr-90	28.8	28	0.6kg
Zr-93	1.53M	1.1	1kg
Tc-99	0.21M	0.64	1kg
Pd-107	6.5M	0.037	0.3kg
Sn-126	0.23M	4.7	30g
I-129	15.7M	110	0.2kg
Cs-135	2.3M	2.0	0.5kg
Cs-137	30.1	13	1.5kg

Dose Coefficient:

Committed dose (Sv) per unit intake (Bq), indicating the magnitude of influence of radioactivity to human body. α -activity is more influential than β, γ -activity.

Reatores de quarta geração

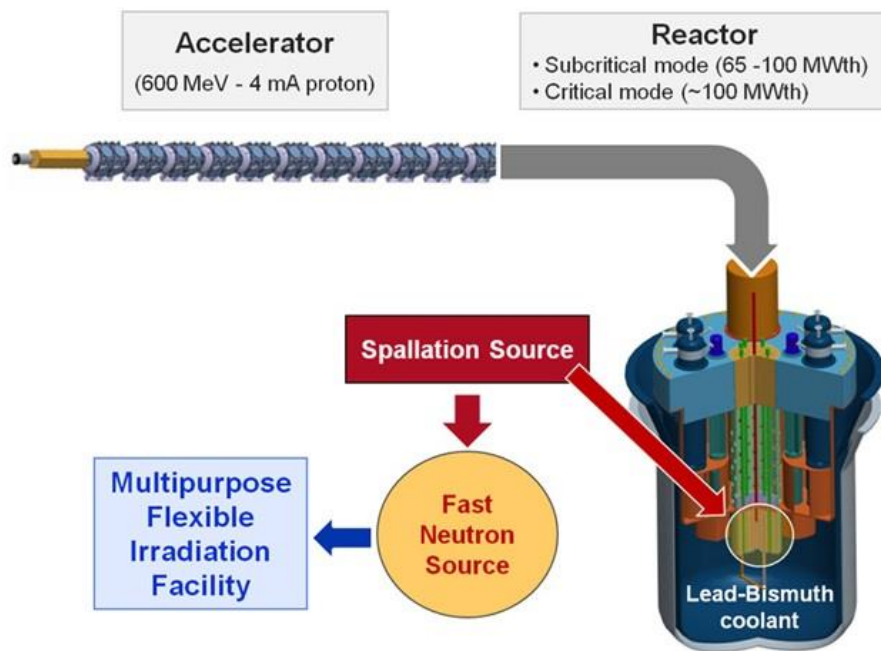


Small Modular Reactors

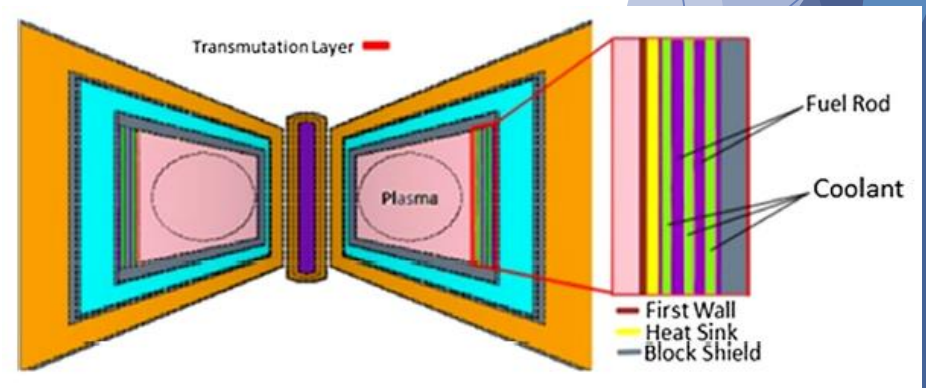


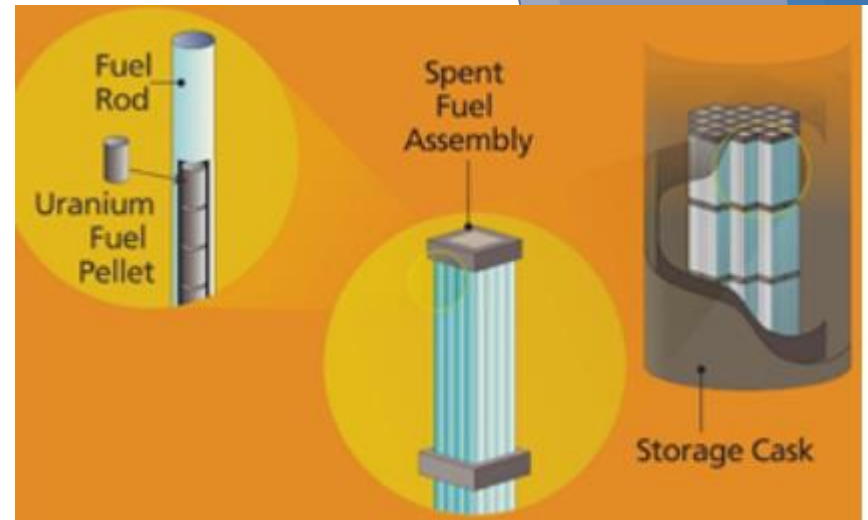
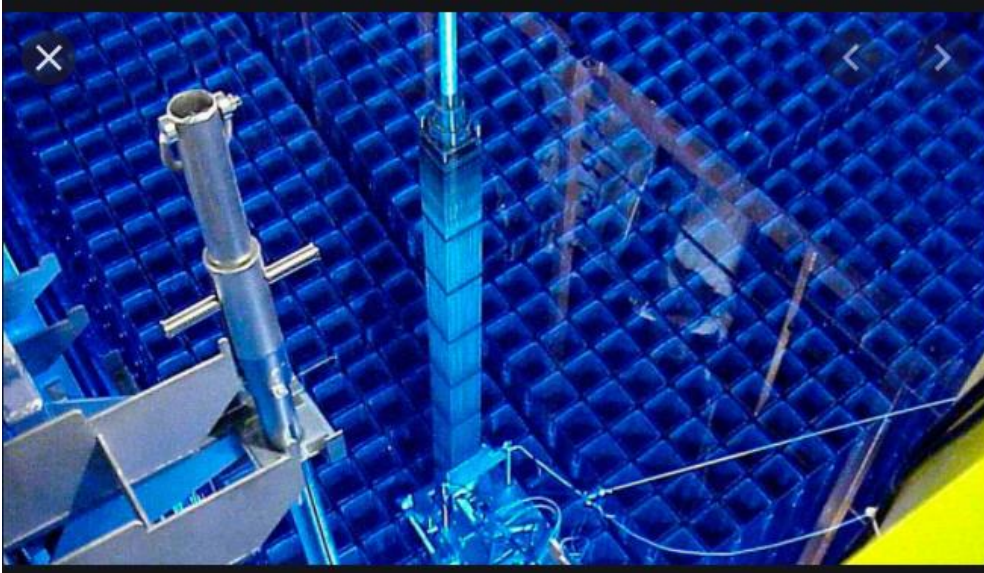
Sistemas Híbridos - Transmutação e Geração de Energia

ADS

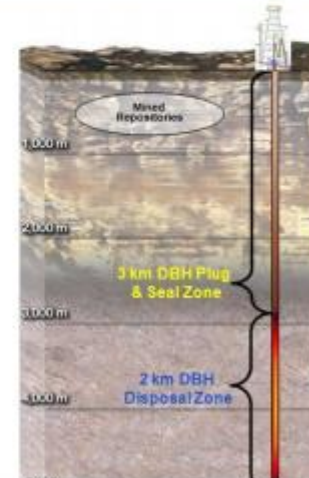
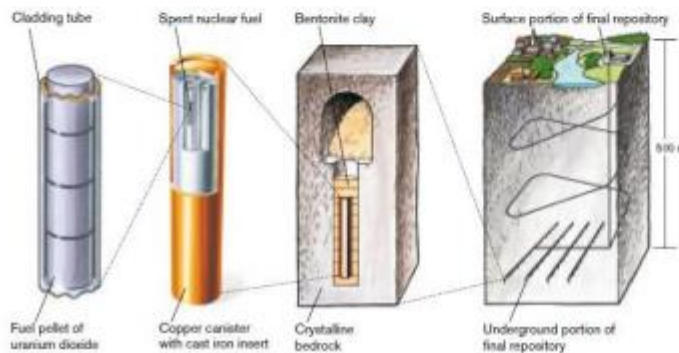
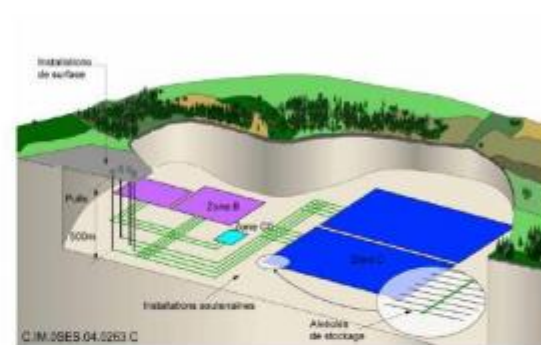
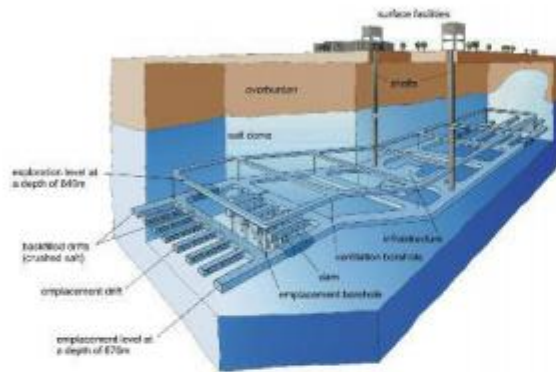


Fusão Nuclear





Deep geologic disposal has been planned since the 1950s



Áreas de atuação profissional

- ▶ - **Universidades e órgãos públicos**, como os institutos ligados à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN);
- ▶ - Fábricas da Indústrias Nucleares do Brasil (INB);
- ▶ - Eletrobrás Eletronuclear; na NUCLEP ou nas usinas nucleares de Angra dos Reis.
- ▶ - Empresas estrangeiras: Tecnatom, Westinghouse, Rosatom e a Areva, atualmente presentes no Brasil.
- ▶ - Amazul (Amazônia Azul Tecnologias de Defesa): empresa pública criada em 2013 para desenvolver tecnologia para o Programa Nuclear Brasileiro e para o setor nuclear da Marinha (submarino nuclear, RMP).
- ▶ - O governo acaba de criar a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear.
- ▶ - Hospitais e empresas associadas à radioproteção, imagem, radiodiagnóstico, radioterapia e medicina nuclear: VARIAN, ELEKTA (atuação em todo o país)
- ▶ - Atuação nas áreas de **física de reatores, engenharia de reatores, análise de segurança e física nuclear aplicada**. A Região Sudeste concentra o maior número de oportunidades.

Exterior

- ▶ FRAMATOME
- ▶ HOLTEC
- ▶ ORANO
- ▶ NEWCLEO
- ▶ TERRAPOWER

All candidates must meet the following minimum requirements to be considered for this opportunity:

- BS in Nuclear Eng'g/Eng'g Tech. plus a minimum of 3 years of engineering experience. An advanced degree may be substituted for related exp. (MS 1-2 yrs. or PhD 1-3 yrs.). In applicable states a PE license will be accepted in lieu of a 4 yr. engineering degree.

The following may be used to differentiate candidates who apply for this position:

- Possess good verbal and written skills.
- Possess a pro-active approach to problem identification and resolution.
- Ability and attitude to learn a variety of new procedures, processes, and tools while maintaining projects in various stages of production.
- Ability to work well with engineers from other technical disciplines.
- PWR core thermal hydraulics and/or system analysis experience.
- MS degree with direct experience in computer modeling of systems or subchannel analyses.
- Experience with nuclear industry codes for thermal hydraulics and system analysis preferred (e.g. COBRA, RELAP, RETRAN, etc).
- French and/or German language skills.
- Basic experience and capabilities with MICROSOFT Office software products (WORD, EXCEL, etc.)
- Experience working with engineering workstation computers and LINUX operating environments.
- Computer programming/software capabilities and experience in FORTRAN, C/C++, PYTHON.

The following may be used to differentiate candidates who apply for this position:

- Excellent communication skills (oral / presentation / written).
- Proven ability to effectively communicate and coordinate activities among the diverse groups within Framatome and with customers.
- Positive and effective team interaction skills along with positive peer relationship skills.
- Demonstrated leadership and initiative in meeting customer requirements.
- Ability to coordinate and prioritize multiple assignments to reach team objectives
- Demonstrated PWR or BWR core design and/or nuclear analysis experience.
- Demonstrated mastery of computer model development and application (e.g. SCALE, KENO, ANC, CASMO, SIMULATE or other nuclear industry analysis code).
- Experience working with engineering workstation computers and LINUX operating environments.
- Computer programming/software capabilities and experience in FORTRAN, C/C++, or PYTHON.

Main Activities

- Designs, models, and analyses thermal hydraulic systems, with particular emphasis on 1D steady-state and transient modelling of nuclear reactor primary and secondary cooling systems, both in normal and off-normal conditions
- Performs code validation and benchmarking activities
- Performs engineering analysis, which can include thermal, fluid, safety, manufacturability, and costs
- Collaborates cross-functionally to define design requirements, and provides technical feedback to quick-iterating design teams
- Couples systems-level analyses with high fidelity thermal-hydraulic analyses (e.g., CFD)
- Documents activities using modern tools and techniques, and write well-written, thoughtful technical reports

Desired Qualifications

- MSc in Nuclear Engineering (Master or PhD is a plus)
- Fluent Italian and English
- Good knowledge of design and analysis principles for large or complex thermal-hydraulic systems
- Understanding of analytical techniques and relevant design codes
- Experience with at least one of the 1D system thermal-hydraulic codes typically used for nuclear reactor safety assessment
- Ability to participate in team meetings and give technical presentations
- Great mathematical and analytical skills
- Experience with thermal hydraulic engineering principles and multi-physics analysis methods for engineering applications, particularly as they relate to power systems.

Required Qualifications and Skills

- M.S. or PhD in nuclear or mechanical engineering.
- Strong thermal-hydraulic analytical skills with one dimensional hydraulic networks analysis, system codes experience and transient analysis.
- Substantial (5-10 years) experience with a RELAP code.
- Familiarity with code V&V and associated regulatory requirements.
- Experience with nuclear power plant design or operations a plus.
- Knowledge of design approach under ASME Boiler Code Section III a plus.
- Experience developing new analytical methods highly desirable.
- Experience with first-of-a-kind or high temperature nuclear reactor design projects is a plus.
- Strong technical writing skills.
- Effective communication skills.
- The successful candidate will possess a high degree of trust and integrity, communicate openly and display respect and a desire to foster teamwork.

Required Experience

All candidates must meet the following minimum requirements to be considered for this opportunity:

- BS in Nuclear or Mechanical Eng'g/Eng'g Tech. plus 2-3 years of engineering experience. An advanced degree may be substituted for related exp. (MS 1-2 yrs. or PhD 1-3 yrs.). In applicable states a PE license will be accepted in lieu of a 4 yr engineering degree

The following may be used to differentiate candidates who apply for this position:

- Demonstrated experience with C/C++ or Fortran code development.
- Experience or coursework demonstrating a working knowledge of reactor physics and thermal-hydraulics phenomena.
- Excellent communication skills (oral / presentation / written).
- Positive and effective team interaction skills along with positive peer relationship skills.
- Demonstrated leadership and initiative in meeting customer requirements.
- Ability to coordinate and prioritize multiple assignments to reach team objectives

- Demonstrated BWR or PWR core design and/or nuclear analysis experience.
- Demonstrated mastery of computer model development and application (e.g. SERPENT, MCNP, SCALE, CASMO, SIMULATE or other nuclear industry analysis code).
- Experience working with engineering workstation computers and LINUX operating environments.
- Computer programming/software capabilities and experience in PYTHON or other code languages.

Ideal qualifications

All candidates must meet the following minimum requirements in order to be considered for this opportunity. Candidates who exceed minimum qualifications may be considered for a higher level position.

* BS/MS or equivalent in Nuclear Engineering. This position requires general knowledge in the following areas:

* Computer codes (SCALE, MCNP) for performing criticality and shielding calculations

* A general understanding of the principles of nuclear engineering particularly in the areas of reactor physics and radiation transport

Orano is an Equal Opportunity/Affirmative Action employer. All qualified applicants will receive consideration for employment without regard to race, color, religion, gender, national origin, age, disability, citizenship, veteran status, marital status, sexual orientation, gender identity, genetic predisposition or carrier status or any other characteristic protected by law.

Graduação



UFRJ - 2010

Graduação em Engenharia Nuclear (UFRJ-2010)



USP - 2020

Graduação em Engenharia Nuclear (Engenharia Metalúrgica, de Materias e Nuclear)



UFMG e UFABC- Formações Complementares - Ênfases - Estudos Avançados

Extensão de atribuições - Engenheiros - CREA



Engenharia da Energia - Nuclear (disciplinas na área nuclear)

UFPE
UFABC
PUC-MINAS
UNIFEI

Graduação UFMG

▶ Atuação na Graduação

- ▶ - Diversas disciplinas optativas;
- ▶ - Formação complementar e
- ▶ - Estudos Avançados

▶ Iniciação Científica

▶ Física - Ênfase em Energia Nuclear / Ênfase em Física Médica

▶ Engenharias : Aeroespacial, Ambiental, Civil, Controle e Automação, Elétrica, Mecânica, Metalúrgica e de Materiais, Minas, Química, Sistemas

▶ Tecnologia em Radiologia (Faculdade de Medicina)

Disciplinas - Graduação

► <http://www.nuclear.ufmg.br/disciplinas/>

Disciplina	Código		Créditos
APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS	ENU	001	4
QUESTÕES ENERGÉTICAS	ENU	002	4
RADIOPROTEÇÃO	ENU	003	4
METODOLOGIA E MODELOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	ENU	005	4
FUNDAMENTOS DE ENERGIA NUCLEAR	ENU	006	3
DETECÇÃO DAS RADIAÇÕES E INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	ENU	007	4
INTRODUÇÃO À ENERGIA NUCLEAR I	ENU	009	4

Disciplinas - Pós-Graduação

► <http://www.nuclear.ufmg.br/disciplinas/>

Disciplinas Pós-graduação



Disciplina	Código		Créditos
FÍSICA DE REATORES II	ENU	826	4
INTRODUÇÃO À FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR	ENU	822	4
APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS NA INDÚSTRIA	ENU	880	4
MÉTODOS EXPERIMENTAIS EM FÍSICA DE MEIOS POROSOS	ENU	881	4
CONCEITOS EM RADIOQUÍMICA APLICADA	ENU	882	4
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DAS TRANSFORMAÇÕES ENERGÉTICAS	ENU	875	4
RECURSOS ENERGÉTICOS	ENU	844	4
CONCEITOS EM RADIOBIOLOGIA APLICADA	ENU	883	4
PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA	ENU	873	4

Disciplinas - Pós-Graduação

MÉTODOS DE PROJEÇÃO DE DEMANDA E SUPRIMENTO DE ENERGIA	ENU	884	4
CICLOS DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	ENU	831	4
RECURSOS E TECNOLOGIA DA ENERGIA	ENU	885	4
RADIAÇÕES APLICADAS À BIOMÉDICA	ENU	887	4
ESTÁGIO-DOCÊNCIA	ENU	876	2
ASPECTOS ECONÔMICOS DO USO DA ENERGIA	ENU	854	4
INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	ENU	840	4
TÓPICOS ESPECIAIS EM ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	868	2
ESTÁGIO-DOCÊNCIA II	ENU	888	2
APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES À ENGENHARIA E CIÊNCIAS DA TERRA	ENU	858	4
RADIOPROTEÇÃO	ENU	827	4
SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES NUCLEARES	ENU	845	4
TRATAMENTO DE DADOS E TEORIA DA SIMILARIDADE	ENU	847	4

Disciplinas - Pós-Graduação

DINÂMICA E CONTROLE DE CENTRAIS NUCLEARES	ENU	871	4
USOS FINAIS DA ENERGIA	ENU	848	4
MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	863	4
FÍSICA DE REATORES I	ENU	825	4
TÓPICOS ESPECIAIS EM APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES	ENU	866	1
ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DO USO DA ENERGIA	ENU	855	4
ANÁLISE EXERGÉTICA DE PROCESSOS	ENU	857	4
CONCEITOS EM IMAGENS MÉDICAS	ENU	860	4
METODOLOGIA E MODELOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	ENU	861	4
MÉTODOS DE ANÁLISE	ENU	862	4
TERMOIDRÁULICA DE REATORES NUCLEARES	ENU	865	4
PROCESSOS E SISTEMAS DE CONVERSÃO DE ENERGIA	ENU	864	4

Disciplinas - Pós-Graduação

TÓPICOS ESPECIAIS EM INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	ENU	867	1
TÓPICOS ESPECIAIS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	ENU	869	2
TÓPICOS ESPECIAIS EM RADIOPROTEÇÃO	ENU	870	1
TÉCNICAS DE COMPUTAÇÃO APLICADAS À ENERGIA NUCLEAR	ENU	874	4
ACELERADORES DE PARTÍCULAS NUCLEARES APLICADOS À BIOMÉDICA	ENU	856	4
ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	872	4
INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA	ENU	877	4
FÍSICA DE REATORES AVANÇADOS	ENU	879	4
PROJETO DE SISTEMAS NUCLEARES	ENU	878	4

Pós -
Graduação

especialização

mestrado

doutorado

Sigla Instituição	Nome Fonte: https://sucupira.capes.gov.br	Moda- lidade	Ano de início	
			M	D
UFRJ	ENGENHARIA NUCLEAR	Acad	1968	1979
UFPE	TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS NUCLEARES	Acad	1977	1997
UFMG	CIÊNCIAS TÉCNICAS NUCLEARES	Acad	1968	2006
IME	ENGENHARIA NUCLEAR	Acad	1969	-
USP/IPEN	TECNOLOGIA NUCLEAR	Acad	1976	1976
CDTN	CIÊNCIA E TECNOLOGIA DAS RADIAÇÕES, MINERAIS E MATERIAIS	Acad	2002	2010
IEN	CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES	Acad	2004	-
IRD	RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA	Acad	2001	2011

Áreas de Concentração

Instituição	Áreas de Concentração
UFRJ	Física Nuclear
	Física de Reatores
	Análise de Segurança
	Engenharia de Fatores Humanos
	Engenharia de Reatores
UFPE	Dosimetria e Instrumentação Nuclear
	Aplicações de Radioisótopos na agricultura e meio-ambiente
	Aplicações de Radioisótopos na indústria e medicina
	Engenharia de Reatores
	Fontes Renováveis de Energia
UFMG	Engenharia Nuclear e da Energia
	Ciências das Radiações
IME	Instalações Nucleares

Áreas de Concentração

Instituição	Áreas de Concentração
USP/IPEN	Tecnologia Nuclear - Aplicações
	Tecnologia Nuclear - Materiais
CDTN	Ciência e Tecnologia dos Materiais
	Ciência e Tecnologia das Radiações
	Ciência e Tecnologia dos Minerais e Meio Ambiente
	Ciência e Tecnologia de Reatores Nucleares
IEN	Tecnologia e Segurança de Reatores
	Métodos Nucleares Aplicados à Engenharia Nuclear
IRD	Física Médica
	Radioecologia
	Biofísica das Radiações
	Metrologia

PCTN/DEN/UFMG

▶ **Áreas de Concentração/Linhas de Pesquisa:**

▶ **CIÊNCIAS DAS RADIAÇÕES**

▶ APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES AO MEIO AMBIENTE

▶ APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES À BIOMÉDICA

▶ DOSIMETRIA, RADIOPROTEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

▶ **ENGENHARIA NUCLEAR E DA ENERGIA**

▶ AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA, SOCIO-ENERGÉTICA E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

▶ TECNOLOGIA DE REATORES NUCLEARES E CICLOS DO COMBUSTÍVEL

▶ ***POR UMA UNIVERSIDADE AUTÔNOMA, PÚBLICA,
GRATUITA E DE QUALIDADE***

▶ **www.nuclear.ufmg.br**

▶ **DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR**

▶ **BLOCO 4 – 2º ANDAR**

▶ **claubia@nuclear.ufmg.br**

▶ **poscctn@nuclear.ufmg.br**

▶ **secnucl@nuclear.ufmg.br**

▶ **OBRIGADA!**