



Fundo de Investimento em Participações Radiantum Infraestrutura Médico-Industrial

O FIP Radiantum Infraestrutura Médico-Industrial é um fundo de investimento em participações voltado à aquisição, implantação e operação de ativos estratégicos baseados em tecnologias de radiação, tanto ionizante quanto não ionizante, com aplicações em saúde, indústria e biotecnologia. Com gestão técnica do Dr. Douglas Guedes de Castro, referência nacional em radioterapia, e estruturação financeira de Marcos Eduardo Elias, matemático e empreendedor em deeptech, o fundo combina ciência aplicada, engenharia de alta complexidade e inteligência de capital. Utilizando alavancagem via BNDES, Finep e crédito estruturado por SPEs, o fundo visa IRRs superiores a 40% ao ano em dólar, com foco em ativos reais, previsíveis e regulados. Seu portfólio abrange desde clínicas radiológicas e centrais de esterilização até plantas industriais de irradiação e modificação de materiais.

1. Equipe de Gestão

A co-gestão técnica e científica do fundo será exercida por dois nomes complementares, reunindo excelência médica e domínio de estratégia e matemática aplicada a negócios disruptivos:

Douglas Guedes de Castro, MD, PhD, MSc

Dr. Douglas é médico pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), com residência em Radioterapia e mestrado em Oncologia pelo A.C. Camargo Câncer Center, onde também obteve o título de doutor em Biologia do Câncer com foco em metástases cerebrais e células tumorais circulantes. Atuou como radioterapeuta nos



principais centros oncológicos do país — A.C. Camargo, Hospital Alemão Oswaldo Cruz, HCor, Hospital Santa Paula, Santa Rita — acumulando mais de 25 anos de experiência prática e liderança clínica. Sua formação em gestão de saúde pela FIA Business School agrega ao fundo um olhar estratégico e operacional raro entre profissionais de medicina, permitindo avaliar com profundidade as necessidades estruturais dos serviços oncológicos, de esterilização e de aplicação terapêutica da radiação em múltiplas regiões do Brasil.

Marcos Eduardo Elias, PhD × 2, MSc, LLM

Marcos Elias é doutor em Matemática e em Ciência da Computação, com trajetória consolidada como empreendedor em tecnologia e finanças. É fundador da Holosystems Quantum Computing, empresa de algoritmos quânticos aplicada à física, biomedicina e otimização combinatória, e da EquiVerse, uma plataforma de inteligência artificial não antropocêntrica voltada a sistemas adaptativos e complexos, com aplicações no mundo animal e nos mercados de apostas. Atua há mais de 30 anos como trader profissional, tendo desenvolvido modelos de previsão baseados em fractais, lógica fuzzy e teoria dos extremos. É também fundador do Instituto Ramanujan, dedicado à matemática fundamental e suas aplicações não triviais à sociedade. Sua genealogia matemática remonta a Andrei Kolmogorov, e sua filosofia de gestão carrega a influência direta de Nassim Nicholas Taleb, com quem colaborou na formulação de estratégias antifrágeis. Com histórico de investimentos em deeptechs como Rigetti, D-Wave, SealSQ e biotechs de fronteira, Marcos traz ao fundo uma visão de capital sofisticado, assimétrico e profundamente fundamentado.

2. Iniciativa Proposta

Criação de um fundo de investimentos dedicado à aquisição e operação de equipamentos de radiação, tanto ionizante quanto não ionizante, pode se posicionar como uma iniciativa singular no mercado brasileiro ao combinar eficiência de capital, know-how técnico-médico e demanda crescente em setores estratégicos. Dado que um dos sócios é um radioterapeuta com perfil de empreendedor, isso confere à operação uma credibilidade essencial para a captação junto a médicos e investidores do setor de saúde.

Trata-se, portanto, de um fundo híbrido, de base real e científica, com grande potencial de impacto em saúde pública, inovação tecnológica e sustentabilidade industrial, que combina inteligência de capital com acesso a setores resilientes da economia brasileira.

3. Modelo Jurídico

O modelo jurídico mais adequado para essa iniciativa é um Fundo de Investimento em Participações (FIP), que permite aportes por pessoas físicas com maior patrimônio e tolerância ao risco, além de viabilizar a participação direta em empresas operacionais que explorem atividades em segmentos de base tecnológica, industrial e hospitalar.

4. Plano de Negócios

Existe uma lacuna crônica na infraestrutura de radiação aplicada no Brasil.

No caso da radiação ionizante, a demanda por esterilização de insumos médico-hospitalares, a necessidade crescente de radiofármacos e as aplicações industriais ainda pouco exploradas — como a modificação de propriedades físico-químicas de polímeros — formam um terreno fértil para retornos robustos.

Já no campo da radiação não ionizante, a crescente adoção de tecnologias de ultravioleta, infravermelho, micro-ondas e radiofrequência em indústrias como alimentos, cosméticos, agricultura, e mesmo na estética e fisioterapia, abre espaço para a



aquisição de equipamentos de alta rotação, baixa manutenção e rápida amortização.

5. Estratégia de Atuação do Fundo

A estratégia será dual:

Primeiramente adquirir participação em empresas operacionais que utilizem equipamentos de radiação para fins lucrativos — por exemplo, clínicas de radioterapia, unidades móveis de esterilização por UV, operadores industriais de irradiação gama, ou fábricas que integrem processos térmicos por micro-ondas ou infravermelho.

E também o fundo estruturará e capitalizará novas empresas controladas, com equipamentos próprios e contratos de prestação de serviço a hospitais, empresas de dispositivos médicos, distribuidores de alimentos ou centros de pesquisa tecnológica. A propriedade dos equipamentos será do fundo ou de empresas de propósito específico (SPEs) subordinadas a ele, o que maximiza o valor do ativo e permite planejamento fiscal eficiente.

A escolha entre focar ou não exclusivamente em aplicações médicas dependerá do estudo de viabilidade em cada polo regional. Em locais com déficit de infraestrutura hospitalar, o investimento em clínicas de radioterapia e serviços de esterilização pode ser altamente rentável. Já em regiões industriais com forte presença alimentícia, farmacêutica ou agrícola, irradiadores industriais ou túneis UV automatizados podem render contratos recorrentes com empresas privadas. A flexibilidade do FIP permite o equilíbrio entre esses dois mundos, e o portfólio poderá evoluir de forma modular, com cada nova célula operacional constituindo um ativo separado.

Ao alinhar medicina, ciência e capital de forma integrada, o fundo poderá também se tornar um polo de inovação, participando de parcerias com universidades, incubadoras e agências como FINEP ou EMBRAPA. Isso abre a possibilidade de usufruir de incentivos fiscais, cofinanciamento e acesso prioritário a tecnologias emergentes. Em longo prazo, com a consolidação dos ativos, o fundo poderá migrar parte de seu portfólio para uma estrutura de



REIT (Real Estate Investment Trust) hospitalar ou até mesmo buscar listagem de empresas do portfólio em mercado de capitais.

6. Estratégia de Captação

A captação será dirigida a médicos investidores, com aportes mínimos relativamente elevados, aproveitando a natural familiaridade desses profissionais com as tecnologias envolvidas, o apetite por investimentos que combinem ciência e impacto, e a perspectiva de retorno superior à renda fixa tradicional. A comunicação com esse público será técnico-didática, deixando claro o funcionamento das tecnologias, as margens dos contratos de prestação de serviço, e a natureza perene da demanda hospitalar e industrial. A governança do fundo será reforçada por um conselho técnico-científico liderado por especialistas em física médica, engenharia nuclear, biofísica e administração hospitalar, reforçando a segurança e o direcionamento estratégico dos investimentos.

7. Tamanho Ideal do Veículo e Seus Termos Principais

Tamanho:

Considerando a natureza do fundo, que envolve ativos reais sofisticados, regulação técnica, operação industrial e hospitalar, o tamanho ideal de ativos sob gestão (AUM) para viabilizar com segurança sua primeira fase é estimado entre R\$ 80 milhões e R\$ 150 milhões.

Esse intervalo permite estruturar um portfólio inicial de 5 a 10 unidades operacionais com equipamentos de radiação — tanto ionizantes quanto não ionizantes — distribuídas entre aplicações médicas (como clínicas de radioterapia e centrais de esterilização) e industriais (como plantas de irradiação de polímeros, alimentos ou cosméticos). A definição exata do AUM dependerá do mix de tecnologias



adotadas, dado que irradiadores gama e aceleradores de elétrons possuem custos significativamente mais altos que equipamentos de UV, micro-ondas ou infravermelho.

Prazos:

O prazo de investimento (investment period) deve ser de quatro anos, permitindo ao fundo executar a montagem progressiva de seu portfólio, negociando ativos, importando equipamentos, firmando contratos de prestação de serviços e operacionalizando as estruturas locais (inclusive com eventuais parcerias público-privadas, especialmente no caso de unidades de saúde em regiões de baixa cobertura). Durante esse período, o fundo poderá realizar chamadas de capital conforme as oportunidades forem se materializando, em vez de exigir o aporte integral dos cotistas no momento zero.

O prazo total do fundo, incluindo o período de desinvestimento e maturação, deverá situar-se entre oito e doze anos. Essa duração é condizente com a natureza dos ativos, cuja depreciação física é lenta, e cujo retorno econômico ocorre de forma recorrente e cumulativa, por meio de contratos de serviço de médio prazo. Ao final desse ciclo, os ativos poderão ser vendidos para grandes grupos de saúde, industriais, ou até securitizados, com um portfólio maduro sendo transformado em um REIT ou empresa operacional passível de IPO.

Aplicação Mínima e Público-alvo:

A aplicação mínima deverá ser fixada em torno de R\$ 1 milhão por cotista, podendo variar caso haja cotistas âncora ou médicos investidores com perfil altamente estratégico, cujo aporte técnico ou relacional seja considerado um diferencial.



Esse valor atende ao perfil de investidor qualificado, mas cria uma barreira de entrada que reforça a estabilidade do capital captado.

O fundo criará também uma classe específica de cotas para médicos, com incentivos de rentabilidade e participação em conselhos técnicos.

Por sua estrutura e objetivos, o fundo será restrito a investidores qualificados, conforme definido pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM), isto é, pessoas físicas ou jurídicas com investimentos financeiros superiores a R\$ 1 milhão, ou que possuam certificações reconhecidas (como CFA, CFP, CGA), ou ainda que integrem órgãos estatutários de entidades financeiras. Essa restrição é coerente com a complexidade técnica e regulatória do investimento, que exige paciência, apetite por ativos reais e entendimento dos ciclos longos de maturação.

8. Governança:

Para organizar a governança, será necessário um comitê de investimentos com expertise técnico-financeira, composto por representantes do gestor profissional, médicos investidores estratégicos e especialistas convidados (como físicos médicos, engenheiros nucleares ou industriais, e reguladores). A gestão do fundo poderá ser feita por um administrador financeiro credenciado à CVM, com a operação técnica delegada a empresas de propósito específico controladas pelo fundo ou por operadoras com contratos de gestão.

9. Rentabilidade Esperada

Em relação à rentabilidade alvo, é razoável projetar um IRR entre 16% e 22% ao ano em moeda real, dependendo da alavancagem permitida, do mix de ativos e da eficiência operacional atingida nas unidades controladas.

Os fluxos de caixa virão principalmente de contratos recorrentes de prestação de serviço (em regime por hora, por ciclo ou por volume processado), com margens líquidas potencialmente acima de 30% nas áreas de esterilização, irradiação industrial e clínicas de radioterapia bem posicionadas.

Considerando a possibilidade concreta de alavancagem financeira via instrumentos de crédito de fomento — notadamente BNDES, Finep, FINEP Saúde, fundos regionais como Desenvolve SP e até linhas internacionais de apoio a tecnologias limpas e médicas — o projeto muda de escala. O fundo não se limita mais a ser um agregador de ativos radiológicos, mas sim uma plataforma sofisticada de infraestrutura operacional intensiva em ciência, com arbitragem entre capital próprio e capital incentivado.

Com a estruturação de SPEs (Sociedades de Propósito Específico) para cada núcleo operacional — seja ele uma planta de irradiação industrial, uma clínica de radioterapia, uma unidade móvel de esterilização UV ou um laboratório de modificação de polímeros por radiação — torna-se possível captar dívidas subsidiadas ou de longo prazo diretamente por essas entidades. Ao fazer isso, o fundo de participação entra com capital sênior, mas dilui sua necessidade de equity por ativo em pelo menos 50%, mantendo controle da operação e ampliando o retorno sobre o capital próprio.



Na prática, isso significa que, com um AUM inicial da ordem de R\$ 100 milhões, o fundo pode estruturar projetos que somem R\$ 200 a R\$ 300 milhões em ativos operacionais, alavancando de forma modular por SPE, com garantias reais limitadas ao projeto. Essa engenharia de capital — comum em fundos de infraestrutura e energia — é pouco utilizada no setor de tecnologias médicas e industriais, o que torna o projeto inovador e oportuno.

A alavancagem operacional também deve ser levada em conta. Unidades de esterilização por radiação e clínicas de radioterapia possuem margens elevadas a partir de certo limiar de utilização dos equipamentos. Como os custos fixos são altos e os variáveis relativamente baixos, o crescimento da receita por aumento da ocupação ou da produtividade gera forte impacto na margem líquida. Assim, o fundo se beneficia da histerese operacional: uma vez que a base de clientes se estabiliza, o custo marginal de expandir o faturamento é baixo, e a alavancagem de retorno aumenta exponencialmente.

Projetando com essas premissas — capital próprio do fundo sendo amplificado por crédito de fomento nas SPEs e efeito de escala operacional —, é plausível atingir uma taxa interna de retorno (IRR) na faixa de 40% a 50% ao ano, líquida, e em dólares, especialmente considerando que muitos dos serviços ofertados (como esterilização para multinacionais farmacêuticas, contratos com OPMEs ou insumos para exportação) geram receitas dolarizadas ou corrigidas por inflação internacional.

Esse nível de retorno posiciona o fundo fora da curva. Poucos FIPs oferecem, de forma recorrente e fundamentada, uma tese com impacto real, base tecnológica profunda, proteção regulatória (barreira de

entrada) e essa magnitude de retorno. A chave, claro, será o desenho inteligente da dívida: contratos de crédito com carência operacional, juros incentivados, vinculação a indicadores ESG, e garantias restritas à SPE, sem contaminarem o portfólio do fundo. Finep, BNDES Saúde, FINEP Inovação e linhas do Desenvolve SP já operam nesse modelo, especialmente quando o ativo tem função de inovação ou ampliação da capacidade nacional em saúde.

Com base nisso, o AUM inicial sugerido permanece na faixa de R\$ 100 a 150 milhões, mas seu poder de multiplicação em ativos reais se eleva para algo entre R\$ 250 e 400 milhões em ativos instalados. O fundo se torna, assim, uma usina de projetos de alto retorno e risco controlado, com geração de caixa estável, propriedade sobre ativos físicos duráveis e profundo lastro regulatório. Cada SPE pode ser eventualmente vendida, fundida ou securitizada individualmente, gerando liquidez mesmo antes do prazo final do fundo.

Com alavancagem, o prazo de investimento segue idealmente em quatro anos, com estrutura modular de aportes conforme a maturidade dos projetos e acesso às linhas de crédito. O prazo total do fundo, no entanto, pode ser ligeiramente ampliado — para algo entre dez e doze anos — com a finalidade de permitir o máximo aproveitamento do ciclo de maturação, incluindo eventual spin-off de ativos operacionais em blocos regionais ou temáticos.

Dado o perfil de risco ajustado pela alavancagem, o fundo permanece reservado a investidores qualificados, com o diferencial de oferecer retorno compatível com private equity, mas com ativos duros e previsíveis.



Em síntese, com o uso estruturado da alavancagem financeira em cada célula operacional, o fundo se transforma de um investidor em infraestrutura médico-industrial para um veículo de arbitragem entre ciência, capital barato e escalabilidade regulada. Sua tese se ancora na construção de uma malha nacional de serviços radiológicos de alta eficiência e retorno assimétrico, posicionando-se como um dos primeiros fundos brasileiros com potencial para rivalizar em performance, propósito e impacto com os grandes private equity norte-americanos focados em saúde e infraestrutura técnica.

Cumprido ressaltar que a rentabilidade virá tanto da prestação de serviço recorrente (pay-per-use dos equipamentos) quanto da valorização dos ativos operacionais. Com margens operacionais que, em muitos casos, superam 50% líquidos — especialmente em esterilização por radiação e radioterapia — o fundo poderá distribuir dividendos relevantes já no segundo ou terceiro ano de operação.

10. Compliance

Dado o caráter regulado das atividades com radiação ionizante, o fundo precisará estabelecer compliance rigoroso com CNEN, Anvisa, e eventualmente IBAMA, além de contar com assessoria jurídica e regulatória especializada. No caso das aplicações não ionizantes, a exigência é menor, e a entrada no mercado pode ser mais ágil e de menor custo, sendo uma frente ideal para o início das operações e para gerar early cash flow.

11. Anexo I - Aspectos Básicos da Indústria de Equipamentos de Radiação

Equipamentos de Radiação Ionizante e Não-Ionizante no Brasil

1. O Que São?

No Brasil, os equipamentos de radiação ionizante usados para fins industriais e hospitalares — como esterilização de materiais cirúrgicos e modificação de propriedades de polímeros — compõem um mercado tecnicamente sofisticado, regulado pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e pela Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

Radiação não ionizante abrange desde micro-ondas até luz infravermelha, visível e ultravioleta. Não tem energia suficiente para ionizar átomos, mas tem múltiplas aplicações industriais e médicas.

2. Principais Aplicações

2.1. Equipamentos de Radiação Ionizante:

Esterilização de Instrumentos Médico-Hospitalares

Utiliza radiação para destruir microrganismos em produtos como seringas, cateteres, fios de sutura, luvas e kits cirúrgicos.

Muito usada por empresas de produtos descartáveis e hospitais com centrais de material esterilizado.

Modificação Estrutural de Polímeros e Plásticos

Empregada para reticulação (crosslinking), degradação controlada ou modificação de propriedades térmicas e mecânicas. Exemplo: polietileno reticulado (PEX) para cabos elétricos, que resiste a altas temperaturas.

Irradiação de Alimentos



Embora menos difundida no Brasil, já é autorizada para alguns produtos (como frutas secas, temperos, batata, cebola). Reduz carga microbiana e aumenta tempo de prateleira.

Outras Aplicações Além de Esterilização e Modificação de Polímeros

Além das já mencionadas, destacam-se:

Radiografia Industrial (gama e raios X)

Inspeção não destrutiva (END) de soldas, estruturas metálicas, oleodutos, turbinas.

Fontes portáteis de Irídio-192, Selênio-75 ou aceleradores móveis de raio X.

Permite detectar falhas internas sem desmontar ou danificar peças.

Tratamento de Efluentes e Lodo de Esgoto

A radiação degrada matéria orgânica complexa e patógenos.

Usado em projetos-piloto no Brasil para tratar esgoto hospitalar e água de reuso.

Aceleradores de elétrons são mais utilizados nesse caso.

Geração de Injertos em Polímeros

A radiação quebra ligações e permite injertar grupos funcionais (hidroxila, carboxila, etc).

Aplicações em membranas seletivas, sensores, biomateriais, e polímeros inteligentes.

Produção de Rádioisótopos

Reatores como o IEA-R1 (IPEN-SP) produzem radiofármacos como:

Tc-99m para diagnóstico em medicina nuclear;



I-131, Lu-177, Mo-99 para terapias.

Também usados em pesquisa e marcação isotópica em biotecnologia.

Análise por Ativação Neutrônica

Bombardeio do material com nêutrons → emissão gama característica dos elementos.

Técnica analítica ultra sensível, usada em arqueometria, geologia, controle de qualidade.

Mutagênese Induzida

Usada para criar novas variedades vegetais por irradiação de sementes.

Programa da FAO/IAEA e EMBRAPA já gerou centenas de cultivares.

2.2. Equipamentos de Radiação Não-Ionizante:

Ultravioleta (UV-C: 200–280 nm)

Aplicações:

Desinfecção de superfícies, água e ar (inclusive contra SARS-CoV-2).

Esterilização em hospitais, laboratórios, sistemas HVAC.

Curas de resinas e tintas UV em eletrônicos, odontologia, impressão industrial.

Equipamentos:

Lâmpadas de mercúrio (baixa e média pressão), LEDs UV-C, sistemas de túnel UV.

Infravermelho (IR)

Aplicações:



Aquecimento industrial localizado, secagem de tintas, cozimento, moldagem de plásticos.

Terapias fisioterapêuticas (alívio de dor e inflamação).

Sensoriamento remoto e visão noturna.

Equipamentos:

Fornos IR, painéis radiantes, emissores de cerâmica ou halogênio.

Micro-ondas (2,45 GHz usualmente)

Aplicações:

Secagem de materiais cerâmicos, têxteis e madeira (substitui estufas).

Desinfecção térmica de resíduos hospitalares.

Sinterização de cerâmicas em engenharia de materiais (sem forno convencional).

Processos químicos assistidos por micro-ondas (síntese orgânica e catálise).

Equipamentos:

Geradores industriais de micro-ondas, magnetrons industriais, reatores de micro-ondas.

Luz Visível – LASER e LEDs

Aplicações:

Laser industrial: corte, solda, marcação e medição de precisão (CO₂, Nd:YAG, fibra).

Laser médico: cirurgias oftálmicas, dermatológicas, odontológicas.

LEDs visíveis: fototerapia neonatal (icterícia), estética, horticultura.

Radiofrequência (RF)



Aplicações:

Aquecimento dielétrico de plásticos e madeiras (laminação, prensagem).

Equipamentos de ablação por radiofrequência (cardiologia, oncologia).

Desinfestação de grãos e secagem de produtos agrícolas.

Equipamentos:

Geradores de RF com eletrodos capacitivos; sistemas de controle térmico por RF.

Observações:

Além da radiação gama (ionizante), algumas aplicações secundárias utilizam UV-C (não ionizante) para esterilização de ambientes e superfícies em ambientes clínicos e laboratoriais.

A radiação infravermelha (não ionizante) é também utilizada para ativação térmica localizada em processos de conformação de termoplásticos.

O UV-C também é utilizado para desinfecção superficial de frutas, legumes e águas de lavagem industrial. Radiações como infravermelho, micro-ondas e radiofrequência são aplicadas na secagem de grãos, têxteis e madeira; sinterização de cerâmicas; e aquecimento localizado em compostos plásticos e borrachas.

Luz infravermelha e lasers visíveis são aplicados em fisioterapia, dermatologia, odontologia e estética. Equipamentos de LED e LASER de baixa potência (LLLT) são cada vez mais utilizados em clínicas e consultórios.

3. Tecnologias Disponíveis no Brasil

A. Fontes de Radiação Gama (Cobalto-60)

Mais comuns no Brasil para aplicações industriais.



Penetração profunda, ideal para esterilização em grande escala ou volumes altos.

Exemplo: irradiadores tipo Multipurpose Gammacell (como os da MDS Nordion).

B. Aceleradores de Elétrons (EB – Electron Beam)

Permitem controle mais fino da dose e não deixam resíduos radioativos.

Eficiência energética alta e processo rápido.

Menor penetração que o gama, mas ideais para filmes plásticos, embalagens, tubos de PVC, fios e cabos.

Usado também para despolimerização (reciclagem química) ou esterilização de produtos finos.

C. Radiação X (Raio X)

Produzida por aceleradores em alvos metálicos.

Boa penetração (próxima da radiação gama), mas com eficiência de conversão menor.

Alternativa “não nuclear” às fontes de Co-60.

D. Radiação Ultravioleta (UV-C)

Usada para desinfecção de superfícies, água e ar em hospitais, indústrias farmacêuticas e alimentícias.

Fontes incluem lâmpadas de mercúrio, LEDs UV e sistemas de túnel.

E. Micro-ondas Industriais

Utilizadas para esterilização térmica de resíduos hospitalares e secagem de materiais cerâmicos e agrícolas.

Também aplicadas em reatores de micro-ondas para síntese química e desinfecção.



F. Infravermelho e Radiofrequência

Aplicadas em tratamentos térmicos de superfícies, moldagem plástica e cura de vernizes e resinas industriais.

A radiofrequência também é usada em equipamentos médicos de ablação e estética.

4. Regulamentação e Controle

A. CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Regula todas as fontes de radiação ionizante, incluindo armazenamento, licenciamento e descarte de fontes radioativas.

Exige planos de proteção radiológica, treinamento de operadores e inspeções regulares.

B. ANVISA – RDC 330/2019 e RDC 625/2022

Regula processos de esterilização industrial, validação de processos, boas práticas.

Produtos médicos esterilizados por radiação devem ter validação microbiológica e controle de dose.

C. IBAMA / Meio Ambiente

Envolvido quando há uso de materiais potencialmente poluentes ou resíduos perigosos.

D. INMETRO e ABNT

Responsáveis pela certificação técnica e elétrica dos equipamentos não ionizantes. Normas específicas tratam de segurança para LASERs, micro-ondas e emissão eletromagnética.

5. Empresas e Instituições no Brasil

A. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) – MG



Pesquisa, desenvolvimento e prestação de serviços com fontes de radiação gama.

B. IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – SP

Maior centro de irradiação do Brasil (possui irradiador multipropósito com Co-60).

Fornecer radioisótopos, validações, P&D com polímeros irradiados.

C. TecRad (ex-Tecnogamma) – SP

Empresa privada que opera unidades de irradiação industrial para esterilização e modificação de materiais.

Atende o setor médico, cosmético e alimentício.

D. Embrarad – Cotia, SP

Operadora de irradiadores industriais gama.

Atua na esterilização de dispositivos médicos, cosméticos e alimentos.

E. Raditec – SC / PR

Serviços de dosimetria, esterilização e ensaios com aceleradores de elétrons.

Foco em agroindústria e biotecnologia.

Empresas de Tecnologias Não Ionizantes

PHILIPS, OSRAM, GE e ATLANTIC UV (equipamentos UV).

Powerlase, Synrad, IPG Photonics (lasers industriais).

Brabender, Cober, Labotron, Yamato (fornos IR e RF industriais).

Mecasul, Emicol e Indústrias locais produzem sistemas de IR e micro-ondas para aquecimento.

6. Equipamentos Usuais no Mercado Nacional



Irradiadores Gama:

Modelos: Multipurpose Gammacell, JS-10000 (IR-132), GC-5000.

Fabricantes: MDS Nordion (Canadá), Isotope Technologies Dresden (ITD).

Características:

Carga de até 1 milhão de curies.

Dose típica de esterilização: 25–50 kGy.

Capacidade para milhares de m³ por ano.

Aceleradores de Elétrons:

Modelos no mercado brasileiro: LINACs industriais de 1–10 MeV.

Fabricantes internacionais: IBA (Bélgica), Wasik, NHV, Mevex.

Parâmetros típicos:

Dose controlada ($\pm 1\%$).

Vazão de centenas de kg/h de produtos.

Automação integrada com esteiras e CLP.

7. Desafios e Oportunidades no Brasil

Dependência de importação de fontes de Co-60, com logística complexa e custo alto.

Alta carga regulatória, o que encarece a operação e requer equipes técnicas treinadas.

Demanda crescente por irradiação para:

Esterilização segura de produtos durante pandemias;

Polimerização para fármacos e biomateriais;



Engenharia de materiais (nanoestruturas via radiação).

Oportunidade de nacionalização de aceleradores lineares industriais com apoio de FINEP e BNDES.

Startups e laboratórios universitários têm atuado em pesquisa de modificação de biopolímeros e nanocompósitos irradiados (ex: PU, PLA, PHB).

8. Custos e Modelos de Negócio

Ionizantes:

Irradiadores gama de grande porte podem custar de R\$ 20 a 80 milhões, dependendo da carga radioativa e do volume de processo.

Aceleradores lineares industriais variam de US\$ 2 milhões a US\$ 10 milhões, dependendo da energia, vazão e integração.

Há modelos de prestação de serviço por lote irradiado, muito utilizados na indústria médica e alimentícia.

Algumas empresas trabalham com “irradiadores móveis” ou unidades compactas para atender demandas regionais.

Não-Ionizantes:

Equipamentos de UV-C industriais variam de R\$ 15 mil (portáteis) a R\$ 500 mil (túneis automatizados).

Geradores de micro-ondas industriais custam entre R\$ 200 mil e R\$ 2 milhões, dependendo da escala e integração.

Lasers médicos e industriais variam de R\$ 50 mil (estéticos) a mais de R\$ 1 milhão (corte de precisão).