

# **CBPF, 60 ANOS DE FÍSICA NUCLEAR**

por

*Odilon A. P. Tavares*

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas-CBPF/MCT

Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Relata-se em linguagem acessível ao grande público, e numa perspectiva histórica, as principais contribuições do CBPF para o desenvolvimento da Ciência Nuclear no Brasil ao longo das seis décadas decorridas desde sua fundação em janeiro de 1949.



Rio de Janeiro, julho de 2009.

# CBPF, 60 ANOS DE FÍSICA NUCLEAR

por

*Odilon A. P. Tavares*

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT, Rio de Janeiro – RJ

Rio de Janeiro, julho de 2009

## Prólogo

O Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas-CBPF comemora durante o ano de 2009 o sexagésimo aniversário de sua fundação, acontecida aos 15 de janeiro de 1949 na cidade do Rio de Janeiro. Convidado pela Direção a contribuir com artigo comemorativo relacionado à sua história no que diz respeito às atividades de Física Nuclear, é com prazer que ofereço aos leitores o presente memorial, preparado dentro de um contexto de celebração, ao mesmo tempo sentindo-me bastante agradecido à Direção por tão honroso convite.

Tarefa não elementar de ser executada, o texto vem escrito em linguagem simples, singelo e despretensioso, e procura abordar de maneira clara e objetiva os assuntos da pesquisa científica em Física Nuclear (nem todos, e sem detalhamentos) que se estabeleceram e evoluíram no CBPF ao longo destes 60 anos. Eles representam, sem dúvida, contribuições significativas para o progresso da pesquisa científica no Brasil.

O presente relato não pretende ser completo. É apenas uma história breve e resumida, síntese das principais informações colhidas de documentos históricos, relatórios institucionais e individuais, conversas com colegas de trabalho, memoriais, *Curricula*, publicações, e outros. Exceto por alguns poucos termos próprios da linguagem nuclear, o texto pode ser, no geral, perfeitamente compreendido, inclusive por leitores estranhos à Física Nuclear. Finalmente, é meu dever reconhecer e agradecer a meus colegas de jornada Carlos da Silva, Cássio Vieira, Cristiana Moura, Emil Medeiros, Márcia Reis, Marlene Tavares e Roberto Simões pela paciente e competente revisão crítica e construtiva dos escritos originais que tanto veio a enriquecer esta publicação.

### 1 – Origens

A palavra *física* é de origem grega, e significa natureza, ciência natural, ou conhecimento das coisas da natureza. A palavra *nuclear* diz respeito a núcleo (no sentido de centro, parte central de algo), aqui, em particular, significando o centro do átomo, ou núcleo atômico. Por conseguinte, *Física Nuclear* é entendida como conhecimento ou natureza do núcleo atômico. O objetivo primordial da Ciência Nuclear é compreender a natureza do núcleo atômico, isto é, sua estrutura, dinâmica, propriedades e características no seu nível mais fundamental, incluindo, entre outros, a compreensão das forças da natureza responsáveis pela existência e propriedades dos núcleos atômicos.

Cesar Lattes (1924–2005), físico nuclear brasileiro que exerceu extraordinário alcance sobre pelo menos três gerações de cientistas, personagem central em torno do qual foi criado e floresceu o

CBPF, costumava dizer que “a história da Ciência que se faz é tão importante quanto a própria Ciência”. O CBPF surgiu em decorrência da participação fundamental e extremamente criativa de Cesar Lattes no feito pioneiro de absoluto sucesso e comprovação da detecção de partículas conhecidas por mésons pi. Estas são partículas de matéria subnuclear de massa cerca de 270 vezes maior que a massa do elétron, havendo três tipos de píons, os de carga elétrica positiva ( $\pi^+$ ), negativa ( $\pi^-$ ) e os que não possuem carga elétrica ( $\pi^0$ ).

Os píons carregados presentes na radiação cósmica<sup>1</sup> foram pela primeira vez registrados e identificados no início de 1947 na Universidade de Bristol em chapas fotográficas especiais preparadas por recomendação de Cesar Lattes (então com vinte e três anos) quem solicitou a seu ex-professor em São Paulo Giuseppe Occhialini (1908–1994) que as colocasse em exposição no Pic du Midi (2800 metros de altitude, nos Pirineus, França). A confirmação deste extraordinário feito veio logo em seguida, poucos meses depois, a partir de exposições conduzidas pelo próprio Cesar Lattes no Monte Chacaltaya (5600 metros, nos Andes bolivianos). Feito mais espetacular, no entanto, aconteceu no ano seguinte (1948), quando Cesar Lattes, valendo-se do acelerador de partículas carregadas instalado na Universidade da Califórnia em Berkeley (o cíclotron de 184 polegadas), fez com que mésons  $\pi^-$  produzidos artificialmente na colisão de partículas alfa<sup>2</sup> contra um alvo de carbono fossem também registrados nas chapas fotográficas especiais para subsequente identificação e análise por microscopia ótica.

Desde a descoberta do nêutron por James Chadwick (1891–1974) em fevereiro de 1932, com o que ficou estabelecida definitivamente a composição do núcleo atômico por prótons e nêutrons (ditos nucleons), permaneceu por mais de uma década o mistério da existência nuclear, dada a presença dos prótons (de carga elétrica positiva) no núcleo, os quais experimentariam uma natural e intensa repulsão. Em 1935, o físico japonês Hideki Yukawa (1907–1981) formulou a hipótese da existência da força nuclear, forte, de curto alcance, que seria exercida entre dois nucleons, mantendo assim a coesão nuclear, e previu a existência de mésons, que seriam as partículas mediadoras dessa interação forte, para as quais a massa esperada por Yukawa estava entre a do elétron e a do próton. A detecção dos mésons pi, tanto na natureza (em altitudes de montanha) quanto os produzidos artificialmente em laboratório, como ficou claramente demonstrado por Cesar Lattes, veio a confirmar e identificar a partícula mediadora da força nuclear responsável por manter o núcleo atômico coeso, isto é, o méson previsto por Yukawa treze anos antes.

A repercussão dessa grande e importante novidade nos meios científicos internacionais foi enorme. Tratava-se realmente de um passo gigantesco rumo à compreensão das forças nucleares, aquelas mesmas manifestadas em 1945, e de forma impressionante, nos testes realizados com os chamados artefatos nucleares no final da Segunda Grande Guerra.

No Brasil, as descobertas de que participou Cesar Lattes ganharam importância aos olhos do público e das autoridades graças ao destaque dado pelo jornalista Lourenço Borges, homem culto, que se interessava por estar informado sobre os avanços da Ciência. Com a ajuda de Lourenço Borges, as notícias e entrevistas sobre o assunto espalharam-se pelos jornais da época, o que levou à formação de um ambiente propício à criação, no Rio, de um instituto voltado principalmente para a pesquisa fundamental em Física. Assim, estimulados pela figura ímpar de Cesar Lattes e suas realizações científicas de fundamental importância para a Ciência Nuclear e afins, e liderados pelo entusiasmo

---

<sup>1</sup>Radiação cósmica (ou raios cósmicos) é constituída de uma variedade de partículas originárias do espaço exterior, que ao penetrarem as camadas da atmosfera terrestre chocam-se violentamente com os núcleos atômicos produzindo como que uma “cascata” de novas partículas e radiações secundárias.

<sup>2</sup> Partícula alfa é o nome dado ao núcleo do átomo de hélio, constituído por dois prótons e dois nêutrons.

de José Leite Lopes (1918–2006), um grupo de empresários, estudiosos das ciências, políticos influentes, militares, banqueiros e outros mobilizou-se em direção à criação do CBPF. Desse modo, o novo Centro de Pesquisas surge no contexto e em decorrência da investigação que levou à compreensão da própria existência do núcleo atômico. O CBPF está, por assim dizer, intimamente ligado à Física Nuclear, haja vista as descobertas que lhe deram origem.

## 2 – Primeiros passos

Radioatividade é o nome criado em 1898 por Marie Curie (1867–1934) para designar a propriedade que possui a maioria dos núcleos atômicos de se transformarem em outros pela alteração do número de nêutrons e prótons como consequência da emissão espontânea de partículas ou fragmentos nucleares. São conhecidas há pouco mais de um século, por exemplo, a radioatividade alfa (emissão de núcleos do gás hélio, com perda de dois prótons e dois nêutrons pelo núcleo original) e a radioatividade beta (emissão de um elétron pela transformação de um nêutron em próton). Investigações sobre, ou utilizando, a radioatividade (natural ou artificial), tanto de caráter experimental quanto teórico, estiveram sempre presentes praticamente ao longo dos 60 anos de existência do CBPF, inclusive nos dias de hoje.

O primeiro trabalho cujos autores assinaram como filiados ao CBPF, de natureza interdisciplinar e de Ciência Nuclear Aplicada (no caso à malariologia), foi finalizado e dado a conhecer em 1952 na série intitulada NOTAS DE FÍSICA<sup>3</sup>, de edição então iniciada para registro e divulgação de resultados inéditos das pesquisas realizadas no CBPF ou aquelas em colaboração com outras instituições. Nesta investigação, os autores, seguindo sugestão de Cesar Lattes, utilizaram emulsões ionográficas (chapas fotográficas especiais capazes de registrar traços de fragmentos nucleares e partículas subnucleares) na identificação de mosquitos previamente criados junto a soluções bastante diluídas contendo elementos radioativos de meia-vida longa (no caso, o nitrato de tório), bem como analisar a concentração do radioelemento em certos órgãos desses insetos. Com isto era possível estudar hábitos migratórios de populações de insetos, demonstrando-se ao mesmo tempo que o uso das emulsões ionográficas permitia a detecção de níveis extremamente baixos de radioatividade. O método foi também empregado em outras investigações, como na determinação de radioelementos presentes em minerais radioativos.

Técnicas de contadores a gás (Geiger) e espectrômetros de cristal de cintilação foram também utilizadas a partir de 1955 em medidas de radioatividade de vários radioisótopos<sup>4</sup> presentes na atmosfera (<sup>22</sup>Na, <sup>32</sup>P, <sup>54</sup>Mn, <sup>57,60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs e outros). Estes são produzidos pela interação da radiação cósmica com os núcleos dos átomos que compõem a atmosfera, ou em decorrência das explosões atômicas, na época frequentes, que espalham subprodutos radioativos no meio ambiente. Os radionuclídeos eram encontrados na água da chuva, que vinha recolhida em grandes volumes (até cerca de 8000 litros) para as análises. Uma dessas investigações foi relatada na sessão “Aspectos Ambientais do Uso da Energia Atômica em Larga Escala” da 2ª Conferência Internacional sobre os Usos Pacíficos da Energia Atômica, acontecida em Genebra (Suíça) em 1958, que ajudou a projetar o CBPF no cenário científico internacional.

---

<sup>3</sup> A new radioactive method for marking mosquitoes. Mario B. Aragão, Elisa Frota Pessoa, and Neusa Margem. CBPF-Notas de Física N<sup>o</sup> 4 (1952).

<sup>4</sup> Nome dado a espécies nucleares radioativas de um mesmo elemento químico, utilizando-se o índice superior à esquerda do símbolo químico para indicar a massa atômica (soma do número de prótons e nêutrons). Por exemplo, <sup>31</sup>P é o fósforo-31 (estável) enquanto <sup>32</sup>P é o fósforo-32 (beta radioativo, de meia-vida 14,26 dias).

Em visita ao CBPF durante o ano de 1953, Richard Feynman (1918–1988), brilhante físico teórico, agraciado com o Prêmio Nobel de Física de 1965, e que havia participado do projeto da bomba atômica no período 1942–1945, sempre muito interessado e preocupado com a formação científica de jovens brasileiros, ofereceu naquele ano um Curso de Física Nuclear Teórica, cujas notas (cuidadosamente redigidas por George Rawitscher) foram transformadas em Monografia, e, posteriormente, em Documento Histórico (o primeiro de uma série lançada pelo CBPF em 1991), provavelmente um dos primeiros textos em português sobre fundamentos de Física Nuclear preparado no Brasil.

### **3 – Consolidação**

Dada sua relativa simplicidade e baixo custo operacional, aliados ao excelente desempenho, precisão e versatilidade na obtenção de dados experimentais, as técnicas de medida com as emulsões ionográficas (ou emulsões de traços nucleares) correntemente utilizadas nas pesquisas foram bem mais tarde substituídas pelos detectores dielétricos (vidros, plásticos especiais, micas e polímeros). Em ambos os casos servia-se o pesquisador de microscópios óticos de luz transmitida para observação de eventos de origem nuclear. Tais técnicas proporcionaram oportunidades ímpares de pesquisa inédita em reações nucleares, sobretudo aquelas ligadas ao fenômeno da fissão nuclear, como também na investigação da radioatividade alfa extremamente baixa encontrada nos elementos das terras raras e em alguns metais pesados (platina, bismuto), e na fissão espontânea de actínídeos (tório, urânio, califórnio).

No CBPF, os métodos visuais de medida com as placas de emulsão nuclear haviam sido originalmente desenvolvidos e aperfeiçoados por Hervásio de Carvalho (1916–1999), um dos fundadores do Centro. Ele introduziu o método ionográfico na pesquisa nuclear no CBPF em fins dos anos 1950 e início dos anos 1960, o qual foi seguido pelo grupo de pesquisa por ele criado, o que tornou possível parcerias com diversos laboratórios estrangeiros que ofereciam feixes intensos de fótons e prótons de baixa e alta energia para estudo de reações nucleares. Basicamente, métodos químicos de incorporação de elementos estranhos à composição das emulsões, como urânio, tório, bismuto e terras raras, e técnicas de revelação das imagens para diferenciação das trajetórias de fragmentos nucleares de diferentes graus de ionização foram as novidades que tornaram possíveis e atraentes as colaborações mencionadas.

Fruto desse empreendimento foi a colaboração com grupos de pesquisadores italianos, iniciada em 1958, no Laboratório Nacional de Frascati (Roma, Itália) para o estudo de reações fotonucleares e radioatividade natural, que perdurou até bem pouco, em 2005, isto é, por cerca de duas gerações, e que rendeu dezenas de publicações em revistas científicas do maior prestígio internacional. Vale registrar que o emprego do método ionográfico com emulsão nuclear em inúmeros temas de investigação nuclear estendeu-se até 1988, atravessando todas as grandes crises do CBPF, mantendo sempre sua posição de prestígio e autonomia científica, permitindo inclusive a manutenção da atividade experimental em Física Nuclear por várias décadas. Paulatinamente, as emulsões de traços nucleares passaram a ser substituídas, por força da natureza de outras linhas de investigação, pelos detectores dielétricos de traços nucleares, encerrando-se com estes, em 2004, as atividades experimentais no CBPF ligadas à Física Nuclear.

### **4 - A vez dos aceleradores**

A década de 1950, período conturbado para o CBPF, apresentou uma produção científica modesta na área de Física Nuclear (cerca de duas dezenas de publicações), embora pudesse ser considerada relativamente expressiva (a segunda, depois de Partículas Elementares, esta com cerca do dobro de

trabalhos realizados). Em princípios dos anos 1960, além das técnicas de emulsões de traços nucleares acima mencionadas, o desenvolvimento do setor de aceleradores de partículas se fez notar quando, em 1961, entrava em funcionamento o pequeno acelerador linear de elétrons de 2 MeV<sup>5</sup>; quatro anos depois foi a vez da primeira etapa de 8 MeV de um acelerador linear projetado para alcançar 30 MeV, finalizado em 1967 com energia máxima de 28 MeV. Outro, menor, de 4 MeV, entrava em funcionamento pela mesma época. Embora ambos possuíssem boas características técnicas, falhas na infraestrutura operacional, aliadas ao fato de oferecerem energias dos elétrons também disponíveis em outras máquinas semelhantes em outros centros de pesquisa com mais e melhores recursos técnicos tornaram-nos pouco atrativos à pesquisa de vanguarda. Porém, foram utilizados em um bom número de trabalhos inéditos realizados no CBPF. Desativada em 1983, a maior dessas máquinas aceleradoras de elétrons pode ser visitada ainda hoje em sua instalação subterrânea.

A experiência adquirida pelos engenheiros e técnicos do CBPF na montagem e funcionamento dos aceleradores lineares de elétrons sob a direção do Gal. Argus Moreira (ao todo, foram construídas quatro máquinas), foi de substancial valia no apoio e na assistência que dez anos mais tarde puderam ser prestados ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron-LNLS<sup>6</sup> (sediado em Campinas-SP), sobretudo na segunda metade dos anos 1980, durante a fase de instalação de seus equipamentos. Recordar-se que o LNLS foi, entre outras, instituição pensada e planejada no CBPF nos anos 1983–1985, originária de uma ideia trazida por Jacques Danon (1924–1989). A série especial “Projeto Radiação Síncrotron”-CBPF/PRS (posteriormente LNRS), editada por Ramiro P. A. Muniz e Aldo F. Craievich, constitui-se num registro de valor extraordinário dos encontros e das discussões realizados no CBPF naquela época sobre os estudos de viabilidade, anteprojeto e perspectivas de multiutilização da nova máquina.

## 5 - Novos talentos

Desde sua fundação, o CBPF jamais descuidou do ensino da Física e do desenvolvimento da instrumentação e métodos de pesquisa, conseguindo integrar de forma sistemática a pesquisa ao ensino superior, sempre atento em formar novos pesquisadores nas ciências físicas e afins. Pioneiro mais uma vez, o CBPF organizou e instalou formalmente a pós-graduação em Física no país, quando em 1965 foi apresentada a primeira tese de mestrado, e no ano seguinte a primeira de doutorado.

Em 1970, surgiram as primeiras teses de mestrado em temas relacionados à Física Nuclear, e, em 1974, a primeira de doutorado. No período 1970–2000, os grupos de Física Nuclear contribuíram de modo expressivo para as atividades ligadas à pós-graduação, seja ministrando cursos, seja orientando trabalhos de tese, período no qual formou cerca de 70 novos profissionais de ciência nas modalidades experimental, teórica e instrumentação. Os objetos de estudo e pesquisa englobavam desde Espectroscopia Nuclear até Teoria de Reações Nucleares, passando por Radiação de Frenamento (*bremsstrahlung*) com o acelerador linear de elétrons de 22 MeV do CBPF, temas ligados à Astrofísica Nuclear, Desintegrações Nucleares, Instrumentação Nuclear, Aplicações à Dosimetria das Radiações, Modelos Nucleares, Nucleossíntese Primordial, Reações Fotonucleares, Reações envolvendo Fissão Nuclear (espontânea e induzida), Reações com Íons Pesados, Reações Nucleares Relativísticas, e outros.

---

<sup>5</sup>MeV significa milhão de elétron-volt (eV), esta a quantidade de energia adquirida por um elétron numa diferença de potencial de 1 volt. 1 MeV equivale muito aproximadamente à energia necessária para levantar uma pulga a uma altura de 1 décimo de micrômetro.

<sup>6</sup> Luz síncrotron (ou radiação síncrotron) é a radiação eletromagnética resultante da aceleração experimentada por elétrons energéticos em máquinas aceleradoras chamadas Síncrotron. A Luz síncrotron encontra diversas aplicações em Biologia Molecular, Materiais Micro e Nanoestruturados, e em diversas áreas das ciências e engenharias.

## 6 – Vida nova

No período 1966–1972, coexistiram no CBPF grupos de pesquisadores dedicados à experimentação nuclear (espectrometria gama, fissão e radioatividade, e instrumentação nuclear) e iniciativas isoladas de alguns poucos pesquisadores voltadas para teoria nuclear. Estas últimas tomaram vigor e impulso considerável nos anos sucessivos após a chegada e admissão imediata, em janeiro de 1972, do recém-doutor Takeshi Kodama, procedente da Universidade de Waseda (Tóquio, Japão), quem aqui se radicou e passou a atuar como líder de importante grupo de jovens pesquisadores durante exatos 21 anos. A vinda do Dr. Kodama para o CBPF foi outra iniciativa bem sucedida de Cesar Lattes, com o empenho irrestrito do então diretor científico Alfredo Marques. Mais de dezena e meia de jovens pesquisadores aqui concluíram sua formação e prosseguiram na sua vocação para a Física Nuclear sob o incentivo e a orientação segura do Dr. Kodama. Os temas de pesquisa variavam desde Decaimento Beta Retardado de Fragmentos de Fissão até Estrutura das Estrelas de Nêutron, com passagens por Propriedades Médias dos Núcleos, Ressonância Gigante em Reações Fotonucleares, Efeitos de Camada nas Massas Nucleares, Espalhamento Elétron-Neutrino, Processo-R de Nucleossíntese, Colapso Estelar, Reações com Íons Pesados de Baixa e Alta Energia, Colisões Próton-Próton a Altíssimas Energias, Dinâmica da Fissão e Fusão Nucleares, Cascata Intranuclear para Simulação de Reações Nucleares Relativísticas e Modelo Nuclear de Gotícula.

A partir de 1974, o CBPF como um todo começou a sentir os sinais de uma grande crise de natureza administrativo-financeira que culminou em dezembro de 1975 com a extinção da Sociedade Civil, seguindo-se sua incorporação ao CNPq, sem entretanto perder sua identidade. Renascido de suas próprias cinzas, após ter seu quadro de pesquisadores renovado, e a saúde financeira e o entusiasmo científico recuperados, voltaram a florescer com novo ímpeto as atividades de pesquisa. Os novos grupos contribuíram com resultados inéditos em suas investigações, e sobreviveram até meados dos anos 1980, abordando temas os mais variados, relacionados a, entre outros, Mecanismo de Reações Nucleares com Íons Pesados, Espectroscopia Nuclear, Simulação de Reações com Íons Pesados em Baixa e Alta Energia, Novas Técnicas de Medidas com Detectores Dielétricos, Identificação de Níveis de Excitação Nuclear por Reações Induzidas por Dêuteron com uso de Emulsões, e Modelo de Percolação Aplicado à Fragmentação Nuclear em Reações Núcleo-Núcleo a Energias Intermediárias. Duas iniciativas (não prosseguidas até o fim em seus objetivos) tiveram também lugar: uma sobre Análise por Ativação de Nêutrons de objetos de vidro natural de origem vulcânica (obsidianas), e o uso de polímeros recobertos com boro para medida de fluxo de nêutrons lentos na atmosfera.

## 7 - Árvore que deu frutos

No período 1965–1967, consolidou-se um grupo de pesquisa fortemente atuante em Física Nuclear Experimental sob a direção de Hervásio de Carvalho. À época, o grupo se ocupava de investigações sobre reações nucleares a altas energias (região de unidades e dezenas de bilhões de elétron-volt) em núcleos complexos (Br, Ag, W, Bi, Th, U) induzidas por prótons e radiação de frenamento. Utilizava-se a técnica de detectores visuais (emulsão de traços nucleares carregadas com os diferentes elementos-alvo, e detectores dielétricos para registro de traços nucleares) que havia sido implantada por Hervásio de Carvalho naqueles anos. Feixes de prótons e *bremstrahlung* de alta energia eram obtidos mediante parcerias mantidas com o Deutsches Elektronen Synchrotron-DESY, em Hamburgo (Alemanha), Conselho Europeu de Pesquisa Nuclear-CERN, em Genebra (Suíça), Laboratório Nacional de Argonne-ANL, em Illinois (EUA), Laboratório Nacional de Frascati (Itália) e com o Centro do Acelerador Linear de Stanford-SLAC, em Menlo Park (Califórnia, EUA). Os alvos e detectores eram preparados nos laboratórios do CBPF, e após irradiação nos mencionados centros/laboratórios no exterior eram aqui processados e/ou tratados para posterior exame e estudo

das chapas por microscopia ótica. Os dados obtidos eram então analisados pelo grupo de pesquisa, e os resultados finais e as conclusões vinham publicados nas melhores revistas especializadas. Basicamente estava-se à busca da probabilidade de fissão nas diferentes reações em estudo. Os temas investigados serviam também de argumento para preparação de teses de mestrado e doutorado no âmbito do pioneiro Programa de Pós-Graduação em Física então recém criado no CBPF.

Outra linha importante de trabalhos desenvolvida pelo grupo liderado por Hervásio de Carvalho, e utilizando a mesma técnica experimental, era a investigação de radioatividades muito fracas, essencialmente medidas de meia-vida de desintegração alfa de elementos da região das terras raras e bismuto, bem como a fissão espontânea de actínídeos.

Em colaboração com pesquisadores do Istituto di Chimica Generale ed Inorganica dell' Università La Sapienza (Roma, Itália) e do Eletrossíncrotron de 1 GeV do LNF, em Frascati (Itália), iniciou-se em 1968–1969 intenso programa de investigação em Reações Fotonucleares, notadamente as Reações de Espalação (*Spallation*<sup>7</sup>) e as de Fotoprodução de Nêutrons, com medidas realizadas pelo Método de Ativação das amostras seguido de desenvolvimento de fenomenologia para interpretação das probabilidades de reação. E, assim, o grupo de pesquisa liderado por Hervásio de Carvalho cresceu e passou a constituir a então Divisão de Física da Fissão e Radioatividade. Com a saída de Hervásio no final de 1969 para assumir a Presidência da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), sem, entretanto, deixar de acompanhar os trabalhos da divisão, esta passou a ser dirigida por Jáder Martins. A partir dos anos 1970, firmaram-se como linhas mestras de pesquisa na mencionada divisão as “Reações Fotonucleares” e a “Radioatividade Natural”, ambas utilizando a técnica de Detectores Visuais, como também o Método de Ativação nas reações simples diretas e de *spallation*. Fissão, *spallation*, Radioatividade Alfa e Instrumentação Nuclear eram alguns dos temas com que se ocupava o grupo.

No início dos anos 1980, agora na nova sede do CBPF (atual Edifício Cesar Lattes), foi montado e instalado um completo Laboratório de Química e uma moderna sala especial de Microscopia Ótica, usando-se também instrumentos, acessórios, equipamentos e materiais transferidos do antigo laboratório localizado no prédio conhecido por “Casa 27” (hoje redação do Jornal da Ciência, SBPC). Estes serviram por mais de 20 anos na produção de mais de duas dezenas de publicações inéditas e inúmeros trabalhos de tese de mestrado e doutorado nos temas acima mencionados. Encerrou suas portas definitivamente em março de 2003, quando levava o nome de “Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços”. A este, anos antes, haviam se juntado aqueles grupos voltados para Teoria Nuclear, Partículas Elementares, Instrumentação Nuclear para Raios Cósmicos e também o grupo de Interações Hiperfinas pelo Método da Correlação Angular, os quais, juntos, passaram a compor por mais de 20 anos o chamado Departamento de Física Nuclear e Altas Energias-DNE, o qual foi desmembrado em princípios de 2005 por ocasião da nova reestruturação departamental do CBPF.

## 8 – Anos de ouro

O decênio 1985–1994 foi o período mais intenso e profícuo das atividades da área nuclear no CBPF, ocasião em que o DNE abrigava de 23 a 30 pessoas ligadas diretamente aos projetos de pesquisa, dentre pesquisadores, técnicos e pós-graduandos, distribuídos por grupos experimentais (com dois

---

<sup>7</sup> *Spallation* vem do verbo *to spall*, que significa lascar, aparar, talhar. Numa reação de *spallation* (ou de espalação), o núcleo original (aquecido pela absorção de uma partícula ou radiação energética) vai sendo como que “aparado” em decorrência de sucessivas emissões (evaporação) de nucleons ou pequenos “clusters” (aglomerados) de nucleons, resultando em um núcleo menor, frio, conhecido por produto de *spallation*.



laboratórios) e teóricos (um grupo voltado para a Física Nuclear Relativística e Astrofísica, e um outro dedicado a Reações com Íons Pesados a Baixa Energia). Foi também o período de intenso e proveitoso intercâmbio científico e projetos de colaboração com pesquisadores tanto de instituições nacionais quanto estrangeiras, como a UFRJ, UFF, USP, IFT, UFRN, UFPB, IRD e IEN/CNEN, IME, ON, Lawrence Berkeley Laboratory (Califórnia, EUA), Waseda University (Tóquio, Japão), The Niels Bohr Institute (Copenhague, Dinamarca), Peking University (Pequim, China), Universidade de Buenos Aires (Argentina), Instituto de Física da Universidade de Bonn (Alemanha), Universidade “Tor Vergata” de Roma (Itália) e Laboratório Nacional de Frascati (Roma, Itália). A produção científica foi comparativamente grande neste período, atingindo em 1989 a marca anual de 20 publicações entre artigos em revistas especializadas e teses defendidas, sem contar com inúmeras contribuições a reuniões científicas nacionais e internacionais. Os programas de pós-graduação também se beneficiaram com a participação expressiva dos grupos da área nuclear, oferecendo em média três a quatro cursos básicos por ano, além de outros cursos de área. Desde há muito, no entanto, havia a preocupação com o futuro da atividade nuclear no CBPF, seja por uma possível diminuição do quadro efetivo de pessoal em função do avanço da idade das pessoas com suas consequências (aposentadoria e/ou falecimento), seja pelas condições remuneratórias desfavoráveis que pudessem deixar de atrair jovens pesquisadores. A esse respeito, já em 1987, assim se manifestava o então Chefe do DNE por ocasião do Relatório Anual de Atividades: “... o DNE ressentia-se, no entanto, da ausência de pesquisadores mais jovens em seu quadro (a média das idades, hoje, é de 50 anos), resultado das dificuldades criadas nos últimos anos pelo Governo Federal à contratação de pessoal, o que pode vir a comprometer, em futuro próximo, bom número das pesquisas que ora são desenvolvidas no Departamento trazendo, inclusive, prejuízos ao crescimento de ideias novas e criativas em Ciência” (como de fato veio a acontecer anos mais tarde).

É desse período a criação da série bianual das reuniões científicas internacionais sobre Aspectos Relativísticos da Física Nuclear (conhecidas por Relativistic Aspects of Nuclear Physics-RANP), organizadas por iniciativa do Dr. Kodama e seus colaboradores, a primeira delas acontecida no CBPF em agosto de 1989 como parte integrante das comemorações alusivas ao quadragésimo aniversário de sua fundação. Reunião grandiosa e cientificamente de grande proveito, mais de uma centena de especialistas provenientes de várias instituições brasileiras e estrangeiras compareceram ao evento, o sucesso do mesmo tendo estimulado os organizadores a prosseguirem com esta iniciativa, que se repetiu nos anos seguintes alcançando os dias de hoje com a edição da VIII RANP, realizada no CBPF em novembro de 2008.

## **9 – Em ritmo menos intenso**

Com a redução do número de pesquisadores efetivos dos grupos de Física Nuclear no CBPF, sobretudo a partir de 2000, a contribuição para a formação de pessoal como um todo, e muito especialmente na especialidade nuclear, diminuiu significativamente, chegando ao nível de apenas dois trabalhos de mestrado e doutorado concluídos nos últimos nove anos no CBPF, e mais outros três em parcerias com outras instituições. Todos esses de natureza teórica e em temas relacionados à Astrofísica Nuclear, Matéria Nuclear Densa e Reações Fotonucleares a Energias Intermediárias. Sempre viva, continua entre nós a feliz lembrança de Kai C. Chung (1945–2003), quem nos brindou com seu primoroso livro de divulgação “Vamos Falar de Estrelas?”, informal e bastante agradável, dirigido a não-especialistas, o qual fala sobre como nascem, crescem e morrem as estrelas, fazendo o leitor sentir-se à vontade com questões atuais da Física Nuclear, Astrofísica e Cosmologia.

## 10 – Parcerias , sempre bem-vindas

Durante os anos 1990 e até recentemente, novas parcerias surgiram com pesquisadores brasileiros do IF-USP e italianos da Universidade “Tor Vergata” de Roma em trabalhos experimentais e teóricos sobre reações nucleares a energias intermediárias envolvendo fissão e *spallation* de núcleos pesados e de menor massa (do Al ao U). Numa delas, a que se chamou de Colaboração Rio-Roma-Novosibirsk, pode-se contar com a extração de feixes de fótons monocromáticos e polarizados de até 270 MeV disponibilizados no Laboratório Nacional de Frascati (Itália) e no Instituto Budker de Física Nuclear de Novosibirsk (Rússia). Em oito anos de trabalho, chegaram a ser utilizadas 600 horas de feixe na obtenção de dados inéditos em 50 medidas de probabilidade de fissão de uma dúzia de diferentes núcleos-alvo, alcançando-se em alguns casos valores tão pequenos quanto 1/100000. Outros dados sobre fotorreações disponíveis na literatura especializada, essencialmente aqueles sobre fotofissão conseguidos no Thomas Jefferson National Laboratory (Newport News, Virgínia, EUA) e no Saskatchewan Accelerator Laboratory (Saskatoon, Canadá), foram também analisados pelo grupo de colaboração CBPF-IFUSP. Chegou-se a criar um código computacional para simulação das reações e que recebeu a sigla CRISP (Colaboração **R**io-**S**ão **P**aulo).

Continuou-se também com os estudos sobre modos raros de desintegração nuclear (emissão de próton, decaimento alfa e radioatividade exótica) e experiências para medidas de meias-vidas muito longas esperadas para a platina e o bismuto, que exigiram exposições prolongadas com detectores dielétricos realizadas no Laboratório Subterrâneo do Gran-Sasso (vizinho a Aquila, Itália).

As atividades do grupo teórico remanescente prosseguiram em colaborações mantidas com pesquisadores de várias instituições brasileiras (IFUSP, UFPB, UESC, UNIVASF, CEFET/RJ, UFRJ) e o interesse de estudantes pós-graduados pelos temas oferecidos (Astrofísica Nuclear, Reações Nucleares com Produção de Hipernúcleos, Matéria Nuclear Superdensa, Propriedades de Estrelas de Nêutron, Transporte de Neutrinos em Meios Densos, Explosão de Supernovas, Sobrevivência de Núcleos Superpesados, e outros). É de se registrar também, neste período, a presença de jovens físicos nucleares procedentes do Instituto Superior de Ciências e Tecnologia Nuclear, sediado em Havana (Cuba), que participaram de um bom número de trabalhos de análise teórica e sistematização de dados nucleares. Um destes trabalhos foi motivo de artigo extenso publicado em comemoração aos 40 anos de fundação do Centro Latino-Americano de Física-CLAF (com sede no CBPF) sobre uma abordagem teórica unificada para a obtenção de meias-vidas dos modos de desintegração nuclear englobando desde o processo de emissão de próton até fissão espontânea.

## 11 – Novas iniciativas

Fissão e fusão nucleares são as fontes primárias de produção de energia no Universo, a primeira sendo o resultado da quebra de um núcleo pesado em dois outros de massas comparáveis (por exemplo, urânio transformando-se em estrôncio e xenônio). Fusão nuclear, inversamente, é o processo de juntar núcleos pequenos para formar núcleos maiores (como no caso da fusão do dêuteron— núcleo de hidrogênio de massa 2— com o trítion— núcleo de hidrogênio de massa 3— para formar um núcleo do gás hélio). Por mais de meio século, vários países tem se beneficiado da energia limpa, abundante e conseguida de forma sustentável nas centrais de produção de energia disponibilizada no processo da fissão nuclear. Paralelamente, desde os anos 1950 esforços tem sido feitos por cientistas e engenheiros em todo o mundo no sentido de fazer uso também das reações de fusão nuclear de forma controlada (não descontrolada, como numa bomba atômica!) para construir grandes centrais de geração de energia elétrica para consumo pela sociedade. A fusão nuclear pode ser conseguida, por exemplo, em recipientes magnéticos mantidos a altíssimas temperaturas. Como

consequência, esta circunstância faz com que os átomos percam seus elétrons, originando um conjunto de íons (núcleos positivos e elétrons negativos) que recebe o nome de *plasma*.

Nos anos de 1980, por iniciativa dos Ministérios de Minas e Energia e da Ciência e Tecnologia foi conduzida uma série de estudos de viabilidade para implantação no Estado do Rio de Janeiro de um Laboratório Nacional com linhas de pesquisa voltadas à obtenção da Fusão Nuclear Controlada, que culminou no início dos anos 1990 com a criação do Laboratório Nacional de Plasma, tendo como unidade executora o CBPF, porém não efetivamente concretizada.

O projeto, de importância científica ímpar e possibilidade de desenvolvimento tecnológico sem precedentes, além de estratégico para o país, teve seus objetivos reconsiderados, levando à criação, em novembro de 2006, da Rede Nacional de Fusão-RNF, desta vez no âmbito do Programa de Energia Nuclear, tendo como órgão de coordenação central a Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN/MCT, sendo o CBPF uma das instituições associadas à RNF.

O objetivo primordial desta conjunção de esforços é o desenvolvimento da pesquisa fundamental e tecnológica em fusão nuclear controlada, capacitando pessoal especializado para futura adoção desta fonte primária de energia que se afigura como limpa, segura, não agressiva ao meio ambiente e ao mesmo tempo inesgotável. Neste contexto, consta do Plano Diretor 2006-2010 do CBPF, entre outros, o objetivo estratégico de inserir a instituição no Programa de Sistemas Avançados de Energia Nuclear da CNEN, entre estes a fusão nuclear controlada.

## 12 – E agora?

Nos dias atuais, tem sido modesta a presença do grupo de Física Nuclear e Astrofísica do CBPF, contando apenas com quatro pesquisadores de seu quadro permanente, com a média de idade em mais de 60 anos. Estes têm se ocupado com temas ligados aos diferentes modos de decaimento radioativo (por exemplo, emissão de um próton, emissão de dois prótons, decaimento por *clusters*, e outros), simulação de reações nucleares induzidas por prótons e fótons na região de 1 bilhão de elétron-volt com interesse na distribuição dos produtos de *spallation* (de importância fundamental no funcionamento dos sistemas de produção de energia nuclear comandados por aceleradores— os reatores assim chamados Accelerator Driven Systems-ADS), e os temas de Astrofísica Nuclear aqui mencionados anteriormente.

Não obstante, o grupo vem dando contribuições significativas, como demonstra o numerário relativo aos últimos cinco anos: 30 trabalhos em revistas especializadas, orientação de três trabalhos de tese, supervisão de quatro visitantes pós-doutores, além das atividades ligadas à formação de novos candidatos à carreira científica (quatro no projeto PROVOC, de Vocação Científica, e oito no projeto PIBIC, de Iniciação Científica).

Como se vê, a atividade em Física Nuclear no CBPF seguiu trajetória natural e normal, com nascimento, crescimento, amadurecimento, período áureo e ritmo menos intenso previsível, como ocorre em qualquer outro empreendimento. Porém, ela mostra possibilidades de desenvolvimento num futuro mais adiante, provavelmente ligada aos programas de geração de energia de origem nuclear, como vem sendo sinalizado recentemente pelos órgãos de fomento à Pesquisa, ao Desenvolvimento e à Inovação Tecnológica. O grupo de Física Nuclear sempre trabalhou sem a preocupação de saber qual a mais importante, se a pesquisa básica ou a aplicada, se a experimental ou a teórica, se a de curto ou a de longo prazo, se aquela que utiliza recursos vultosos ou a de baixo custo, se a desenvolvida em grandes grupos de colaboração ou por um só pesquisador. Aprendemos de nossos mentores que pesquisa científica importante é aquela bem feita, a de qualidade.

## Epílogo

Desde sua fundação e durante os 60 anos de sua existência até os dias de hoje, o CBPF tem mantido os mais estreitos vínculos com o setor nuclear brasileiro. O CBPF possibilitou, desde o início, a criação do ambiente adequado e propício às conversas e aos entendimentos que levaram o País a inserir-se em definitivo na era nuclear, inaugurada havia pouco no mundo com os testes dos primeiros artefatos nucleares de 1945, e que prosseguiram em 1949 com a bomba atômica soviética. Cesar Lattes, em consequência do sucesso obtido com a detecção dos mésons pi produzidos com o ciclotron na Universidade da Califórnia em Berkeley, tornou-se alvo das maiores atenções no meio científico internacional, ganhando renome e popularidade em todo o mundo, invulgar entre cientistas brasileiros. O grande feito, divulgado amplamente, sobretudo entre as autoridades e personalidades ligadas ao governo, provocou a mobilização necessária e o entusiasmo dos homens de ciência da época, empresários, banqueiros, políticos, militares e demais simpatizantes da ciência moderna a apoiarem a criação, no Rio, de um instituto voltado para as pesquisas físicas. Impulsionados pelo entusiasmo e apoio irrestrito do Ministro João Alberto Lins de Barros, o CBPF, já em maio de 1948, começava a funcionar provisoriamente numa sala do 3º andar do prédio N° 40 da Av. Presidente Vargas, efetivando-se sua fundação em janeiro de 1949.

Os desdobramentos dessa promissora iniciativa logo se seguiram com a criação em 1951 do Conselho Nacional de Pesquisas-CNPq, seguida em 1952 pelo Instituto de Matemática Pura e Aplicada-IMPA, e em 1955 com a participação do Brasil na Conferência Internacional sobre os Usos Pacíficos da Energia Atômica, realizada em Genebra, na qual o CBPF marcou sua presença na pessoa de José Leite Lopes, quem exerceu o cargo de Secretário Científico da ONU para esta Conferência. Recorda-se que nos primeiros cinco anos de sua existência tomava parte da Diretoria do CBPF como Vice-Presidente o Alm. Álvaro Alberto da Motta e Silva (1889–1976), pioneiro na inserção do Brasil nos domínios da energia nuclear. Os anos 1954–1955 foram de grande dificuldade para o CNPq com relação ao projeto nuclear brasileiro, o que levou o governo JK, empossado em janeiro de 1956, a duas decisões que se revelaram de importância capital para a atividade nuclear: a criação, em agosto, do Instituto Nacional de Energia Nuclear (hoje IPEN, em São Paulo), e em outubro do mesmo ano a criação, no Rio, da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, a qual passou a incorporar parte das incumbências do CNPq no que dizia respeito aos assuntos nucleares.

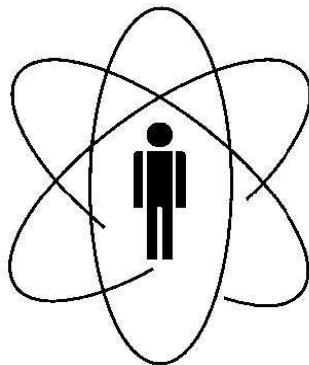
Nos anos de 1970, o CBPF contribuía de forma expressiva com a formação de pessoal para o projeto nuclear brasileiro, oferecendo um curso de nivelamento para futuros pós-graduados em Engenharia Nuclear a um contingente de mais de 120 graduados de uma só vez, para atender as primeiras necessidades de pessoal em decorrência do acordo nuclear assinado com a Alemanha em junho de 1975. Também, em duas outras oportunidades (1974 e 1977), foram ministrados cursos de Física Atômica e Nuclear por pesquisadores do CBPF para grupos de geólogos a pedido da CNEN.

Finalmente, é importante recordar aqui que dos grupos de Física Nuclear que passaram pelo CBPF ao longo desses anos saiu significativo número de profissionais que ocupam (ou ocuparam) cargos de destaque do setor nuclear brasileiro, como diretores do IRD e IEN, dois presidentes da CNEN, grupos de pesquisa e ensino no IME, sem falar no grande número de servidores que hoje detêm importantes posições nos órgãos responsáveis pela atividade nuclear no País. Não se pode esquecer também do bom número de professores da especialidade nuclear que atuam hoje no ensino universitário em diversas instituições nacionais e da América Latina. O CBPF, ele mesmo, teve em sua história cinco fundadores e cinco ex-diretores com formação na área nuclear, incluindo-se também a Direção atual, exercida de forma competente pelo Dr. Ricardo Galvão.

## HOMENAGEM AOS 60 ANOS DO CBPF

Celebrando os 60 anos de existência do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, o Grupo de Física Nuclear e Astrofísica cumprimenta os pesquisadores e membros fundadores pelo pioneirismo que esta Instituição representa para a Física e Ciências Afins no Rio de Janeiro, pelas oportunidades ímpares de pesquisa científica e trabalho que ela tem proporcionado a inúmeros jovens cientistas, contribuindo deste modo para o desenvolvimento da ciência no Brasil, na América Latina e no Mundo.

Cumprimentamos todos os Diretores por seu trabalho ao longo destas seis décadas, bem como todos aqueles que aqui trabalharam e trabalham, sempre zelando por este importante e inigualável patrimônio científico nacional.



## Participantes da atividade em Física Nuclear no CBPF (1949–2009)

Ademarlaudo Barbosa			
Airton Deppman		Luiz Telmo Auler	Sergio Vellozo
Alberto C. dos Reis	Fermin Garcia Velasco	Luz Maria M. Rodríguez	Solange de Barros
Alceu Pinho Filho	Fernando Guzmán Martínez		Susana R. de Pina
Aldo M. Gonçalves	Fernando de Souza Barros	Maikel Díaz Castro	
Alejandro Dimarco	Filadelfo C. Santos	Marcelo Chiapparini	Takeshi Kodama
Alfredo Marques		Marcello G. Gonçalves	Tom M. J. Knofel
Alfonso Matarrita	Georges Schwachheim	Marcos de Castro Falleiros	
Alice Rivera	Gerson B. Costamilan	Maria Cristina S. Ferreira	Ugo Camerini
Amaya Ofelia Casanova Díaz	Gerson Pech	Maria Nazareth S. de Araújo	
Ana Maria de Aquino	Gilson B. Baptista	Maria Letizia Terranova	Vander C. de Oliveira
André Wataghin		Mario Abud	Victor d'Ávila
Ângelo A. Costa Jr.	Hélio Schechter	Martha Monique N. Rodrigues	Vito di Napoli
Anna M. Endler	Hervásio G. de Carvalho	Maurício Grinberg	Vitor Hollup
Antonio Adel Quaresma	Hilário A. P. Gonçalves	Maurício M. Correa	Viviane Morcelle de Almeida
Argus Moreira	Hugo Roque	Michael Malagolowkin	
Arnaldo José Santiago		Milva Gabriela Orsaria	Wang Z.-X.
Arthur G. da Silva	Iraci O. de Souza	Mioco Foshina	Wellington da Cruz
Arturo Rodolfo Samana	Ivone G. de lmeida	Mônica de Araújo Penna	
Carlo Schaefer	Jáder B. Martins	Nadine Lisbona	
Carlos Márcio do Amaral	Joaquim J. Moura Filho	Nadya Prado	
Cesar Barbero	João de Deus Pinheiro Filho	Nai-Cheng Chao	
Cesar M. G. Lattes	João Emílio Peixoto	Neusa Margem	
Chung K. Cheong	João Lúcio Vieira	Neyla da Costa	
Cláudia Pinho Maurício	Joel Mesa		
	Jorge Luiz V. Barreto	Oscar Rodríguez-Hoyos	
	José C. R. Faulhaber	Odilon A. P. Tavares	
Dirceu Portes Junior	José Carlos T. de Oliveira	Orlando Lemos Jr.	
Dirk Noetzold	José de Lima Acioly		
Djair A. de Lima	José Leite Lopes	Paulo G. da Cunha	
Donald A. C. Binns	Julio Cesar Hadler Neto	Paulo R. Pascholati	
Duilio Russo	Júlio José da Silva Estrada		
		Renato C. Santos	
Edgar C. de Oliveira	Ken Abe	Ricardo de Sousa Costa	
Eduardo de Paiva		Ricardo M. O.Galvão	
Eduardo F. de Brito	Léa J. El-Jaick	Ricardo Palmeira	
Elisa Frota Pessôa	Lelé Ribeiro Gil	Rex N. Alves	
Elizabeth L. Moreira	Leonardo A. M. Roberto	Roberto A. Salmeron	
Elizabeth S. de Almeida	Lia Vargas	Roberto Costa	
Elly Silva	Luciana da Rocha Hirsch	Roberto Poledna	
Emilio Bilbao	Luiz Felipe Canto	Rui Alberto M. S. Nazareth	
Emil de Lima Medeiros	Luiz Marquez	Rubem P. Mondaini	
Eugênio Lerner	Luiz Carlos Gomes		
Evaldo S. da Fonseca	Luiz Carlos S. de Oliveira	Sérgio Joffily	
Evandro J. Pires	Luiz Gustavo de Almeida	Sérgio José B. Duarte	
Evandro Bezerra	Luiz Tauhata	Sérgio Murilo C. Alves	