

# PROBLEMAS E REALIZAÇÕES DA PRODUÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL<sup>(1)</sup>

MARCELO DAMY DE SOUZA SANTOS<sup>(2)</sup>

Constitui para mim um motivo de grande desvanecimento o de estar hoje aqui encarregado de proferir a conferência de abertura das sessões da 15.<sup>a</sup> reunião anual da Associação Brasileira de Metais.

Ligado por profundos laços de amizade a grande número de membros desta Associação, mas reconhecendo a minha desvalia, só encontro justificativa para a honra com que fui distinguido na decisão que vem sendo mantida, em tôdas as reuniões anuais, de fazer preceder as reuniões especializadas por uma conferência científica destinada a apresentar aos participantes, as conquistas mais recentes do saber humano, com vistas ao desenvolvimento da metalurgia no nosso País.

Sob êsse aspecto, é a Associação Brasileira de Metais a única associação nacional de engenheiros e técnicos que, reconhecendo desde a sua criação a importância do entrosamento da ciência pura com a ciência tecnológica, vem promovendo dessa forma uma maior aproximação entre êsses dois setores de atividades, cujas barreiras de separação vem se esfarelado com o tempo e se transformando numa atividade única.

Como o assunto desta conferência diz respeito às aplicações tecnológicas de um dos mais abstratos e importantes capítulos da física, talvez sejam oportunas algumas considerações sôbre os problemas básicos do desenvolvimento da pesquisa "pura" e da pesquisa tecnológica: em nosso País tal assunto ainda é objeto de polêmica e, com freqüência, interesses nem sempre aparentes estabelecem propositada confusão, tornando difícil uma visão objetiva da importância relativa dêsses dois setores da atividade humana.

Seria lugar comum repetirmos que não existe diferença fundamental entre pesquisa pura e pesquisa aplicada: ambas pos-

(1) XV Conferência Científica da Associação Brasileira de Metais, proferida por ocasião do XV Congresso Anual. São Paulo, 25 de julho de 1960.

(2) Licenciado em Ciências Físicas pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP; Professor Catedrático de Física Experimental da mesma Faculdade; Diretor do Instituto de Energia Atômica.

suem em comum o método científico, sem o qual nenhuma delas merece o nome de pesquisa. Tanto numa como noutra, encontramos boas e más pesquisas: ao lado de trabalhos que apresentam uma contribuição ao conhecimento humano, encontramos outros destituídos de qualquer sentido. No Brasil, em particular, a distinção entre ciência pura e ciência aplicada tem sido apresentada ao público e às autoridades superiores do País pelas vozes de cientistas ou de técnicos autorizados com confusões que por vêzes são paradoxais.

Assim, enquanto em reuniões de suas sociedades especializadas os cientistas puros, com freqüência e apesar de não o declararem explicitamente, consideram no seu íntimo a pesquisa tecnológica como uma atividade indigna de gênios superiores, de outro lado os tecnologistas, em suas reuniões e com freqüência em alguns casos, exageram e em outros desprezam a importância da pesquisa pura ou fundamental na tecnologia. Chegamos assim a uma situação paradoxal em que os cientistas puros reclamam com freqüência maior atenção e a concessão de maiores recursos para a realização de suas atividades, sob o pretexto de que somente através da pesquisa pura poderá o nosso País efetuar uma transição tecnológica rápida e vencer a barreira do desenvolvimento; o que caracteriza sempre tais pronunciamentos é a promessa, pelos cientistas puros, da realização de maravilhosas conquistas tecnológicas que decorrerão automaticamente de suas elocubrações abstratas.

Tal atitude representa, a nosso ver, um dos fatores mais importantes do nosso subdesenvolvimento científico e tecnológico. Apresenta-se ela freqüentemente como uma recusa ao estudo de problemas relacionados com os interesses do País.

Uma análise retrospectiva das atividades da maior parte de nossas instituições de pesquisas fundamentais nos revela um aspecto contristador. Há uma confusão sistemática entre liberdade de pesquisa e desorganização científica. Não seria demais procurarmos aclarar nossas idéias. A pesquisa fundamental, como é óbvio, não pode ser coordenada, pois os resultados da ciência dependem de um número muito grande de variáveis que ocorrem num fenômeno e que tornam impossível a sua previsão: se esta fosse possível a pesquisa científica seria inútil. Um dos aspectos que talvez mais caracterizam a pesquisa pura ou fundamental é que no desenvolvimento de um trabalho encontra inevitavelmente o pesquisador pequenas dificuldades que não havia antecipado. O estudo dessas dificuldades com freqüência transforma-se em uma linha de pesquisas de importância ainda maior do que o tema originariamente abordado. Para que a pesquisa fundamental se realize com sucesso é necessário que o pesquisador disponha de liberdade para dedicar a êsses imprevistos o tempo e os recursos que forem necessários para sua completa elucidação.

Na pesquisa tecnológica ocorrem fenômenos semelhantes. Nelas, entretanto, o pesquisador realiza o trabalho para atingir um fim colimado; êsses assuntos imprevistos, a critério do pesquisador serão abordados ou não, segundo sua maior ou menor influência diante do objetivo colimado. É fora de dúvida, entretanto, que se a pesquisa pura não pode ser planejada nos menores detalhes porque os fatos imprevistos não podem ser antecipados, não é menos certo, entretanto, que o esforço científico pode ser dirigido de modo a concentrar a maior soma de esforços no desenvolvimento de certos campos de interesse. É justamente na escolha dêsses campos de interesse que reside a diferença fundamental entre as instituições que contribuem para o levantamento da ciência e da tecnologia em seus países e daquelas que praticamente nada fazem nesse sentido.

Entretanto, a liberdade de pesquisa que existe no nosso País traduz-se apenas, em sua essência, na liberdade de pensar. A liberdade de pesquisa exige liberdade de ação, liberdade de manipular os recursos indispensáveis à execução de um programa pre-estabelecido. Dada a circunstância da maioria de nossas instituições científicas não disporem de um programa coordenado de pesquisas a longo alcance, as restrições à "liberdade de pesquisa" em nosso meio talvez sejam, em alguns casos, providenciais, pois constituem um impedimento burocrático à instalação de laboratórios-museus, sempre bem equipados mas desgraçadamente de baixa ou nula produção científica ou tecnológica, porque o pesquisador ainda não pôde completar o seu equipamento com o último modelo de um aparelho indispensável à realização do seu trabalho.

A atividade de pesquisa pura constitui o papel fundamental das universidades, pois só elas permitem a formação em curto período de um pesquisador. Após essas considerações preliminares podemos abordar os temas fundamentais desta conferência, qual seja o do desenvolvimento da energia nuclear no nosso País e a participação da indústria nesse desenvolvimento.

## A ENERGIA ATÔMICA E O BRASIL

O govêrno brasileiro cedo reconheceu que o Brasil poderia colher enormes benefícios da energia atômica para fins industriais, tendo criado em 1951 o Conselho Nacional de Pesquisas, órgão destinado ao fomento da pesquisa pura e tecnológica e do desenvolvimento da energia atômica para fins pacíficos.

A análise das demandas de energia da crescente industrialização que atravessa o nosso País e o conhecimento da limitação dos seus recursos hidroelétricos e de combustíveis clássicos e a plena utilização da enorme energia encerrada no núcleo atômico

e libertada pelo processo de fissão, foram sem dúvida os fatores fundamentais que condicionaram o início do desenvolvimento das atividades atômicas no Brasil.

É fato sabido que, pelo processo de fissão nuclear, um quilograma de urânio é capaz de libertar energia equivalente à obtida de três mil toneladas de carvão ou óleo. A comparação desses números mostra que a energia atômica representa uma forma extraordinariamente concentrada de energia, tornando possível o estabelecimento de centrais nucleares em regiões de difícil acesso para combustíveis líquidos ou sólidos, ou em regiões nas quais a exploração da energia hidroelétrica não seja aconselhável por razões econômicas.

Entretanto, foi somente após 1955, com a realização da Conferência de Genebra, que a necessidade da utilização da energia atômica em substituição aos métodos convencionais de produção de energia, tornou-se patente. De fato, uma análise das disponibilidades médias de energia, levando-se em conta o ritmo crescente de industrialização dos países altamente desenvolvidos, permitiu verificar que as fontes clássicas de suprimento aproximar-se-ão da sua completa exaustão após o ano 2000; antes dessa data, em virtude do aumento da demanda de combustíveis fósseis e da sua exaustão progressiva, a energia atômica irá competir favoravelmente com as usinas termoelétricas convencionais e com várias usinas hidroelétricas no tocante ao fornecimento de energia elétrica.

A energia atômica é libertada, essencialmente, sob a forma de calor: assim a diferença fundamental entre as usinas termoelétricas convencionais e as usinas atômicas reside na circunstância de o calor utilizado como fonte primária de energia ter a sua origem nos fenômenos químicos de combustão nas primeiras e nos fenômenos nucleares (como a fissão) nas segundas. Dessa maneira, o reator atômico (onde se dá a reação em cadeia no urânio, acompanhada de libertação de energia térmica) substitui a caldeira de uma usina termoelétrica convencional.

No momento atual, centrais nucleares destinadas à produção de energia elétrica, de potências apreciáveis, já podem competir favoravelmente com as centrais termoelétricas clássicas em regiões onde o custo do combustível seja elevado; por exemplo, centrais nucleares de cerca de 100 a 200 mil kilowatts de potência já podem ser instaladas com um investimento de capital de cerca de US\$ 200,00 por kilowatt, produzindo energia por um custo variável entre 6 1/2 e 10 milésimos de dólar por kilowatt/hora, segundo o tipo de reator considerado. Na comparação com as usinas termoelétricas é necessário reconhecer que, se bem que o investimento de capital numa usina atomoelétrica seja ligeiramente superior ao de uma usina térmica de capacidade

equivalente, o custo do combustível é totalmente desprezível, nunca ultrapassando, mesmo nos piores casos, o valor de 2 milésimos de dólar por kilowatt/hora. Assim, nas regiões do globo onde o custo do carvão ou do óleo seja superior a cerca de 40 milésimos de dólar por milhão de BTU por tonelada, as centrais atomoelétricas estão em condições de competir favoravelmente com as centrais termoeletricas comuns.

Dado o elevado custo do óleo no Brasil e a necessidade de importar a maior parte do combustível, aliada à necessidade de transportá-lo ao local de consumo, verifica-se que existem várias regiões no País onde a energia atômica já pode competir favoravelmente com os métodos clássicos de obtenção de energia. O reconhecimento de que o custo da energia de origem atômica vem diminuindo rapidamente desde o seu advento (exemplificada, por exemplo, em alguns reatores americanos, nos quais o aperfeiçoamento da técnica de fabricação dos elementos combustíveis, permitiu uma maior eficiência do ciclo térmico conduzindo, num intervalo de três anos, a uma redução do custo do kilowatt/hora de 60 milésimos de dólar para 12 milésimos de dólar), demonstra claramente que países como o Brasil, que atravessam um violento surto de industrialização, têm que considerar com seriedade os métodos de obtenção dessa energia, a fim de que o seu parque industrial possa competir com os dos demais países nos próximos 10 ou 20 anos. Ressalta clara, assim, a necessidade urgente do desenvolvimento da tecnologia nacional nesse setor, para que o nosso País esteja preparado para colher seus benefícios em época próxima.

## O INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

Para o desenvolvimento fundamental dessa tecnologia, foi criado o Instituto de Energia Atômica, por acordo estabelecido entre o Conselho Nacional de Pesquisas e a Universidade de São Paulo, em janeiro de 1956. Segundo esse convênio estabeleceu-se em São Paulo um laboratório nacional destinado ao desenvolvimento dos usos civis da energia atômica. Esse instituto está constituído, essencialmente, por um reator de pesquisas e prova de materiais, capaz de funcionar numa potência máxima de 5.000 kilowatts e dos laboratórios indispensáveis ao desenvolvimento de suas atividades, graças às facilidades e ao interesse do Governo do Estado nesse setor.

Em setembro de 1956 foi iniciada a construção do edifício do reator, uma das maiores estruturas de concreto da América do Sul; cinco meses após o início das obras, com o término desse edifício, iniciou-se a montagem do reator que em setembro de 1957 já estava em pleno funcionamento. Foi esse o pri-

meiro reator a funcionar no hemisfério sul (tendo decorrido um prazo inferior a doze meses entre o início da construção do edifício e a data em que o equipamento totalmente instalado entrou em funcionamento) e o primeiro reator de seu gênero a funcionar em um nível de potência de 5.000 kilowatts.

Como é fato sabido, êsse reator resulta de um acôrdo estabelecido entre os governos do Brasil e dos Estados Unidos, para o desenvolvimento da energia atômica para fins civis, em 1955. Dessa época até os nossos dias — e portanto em menos de três anos de operação, o Instituto já desenvolveu uma série de atividades que lhe tem granjeado reputação nos setores científicos e tecnológicos internacionais.

Para melhor compreendermos as finalidades fundamentais do Instituto e o trabalho que vem sendo executado, procurarei dar uma idéia do modo pelo qual o programa vem sendo desenvolvido.

Inicialmente, a fim de evitar confusões, é necessário que se torne claro que o Instituto de Energia Atômica não é um instituto dedicado apenas a pesquisas “puras”. Mais de 80% de suas atividades são diretamente relacionadas com a pesquisa tecnológica; a pesquisa “pura” que é desenvolvida no Instituto é sempre abordada com o intuito de procurar encontrar uma solução consentânea para alguns dos muitos problemas de energia atômica que interessam ao País.

O desenvolvimento de um tal programa requer, conseqüentemente, o planejamento de atividades durante um período longo. Poderia resumir o programa do Instituto dizendo que a sua finalidade fundamental é a de criar as condições necessárias para que o nosso País possa construir e abastecer os seus próprios reatores dentro do mais curto espaço de tempo possível. Como é óbvio, o atingimento dêsse objetivo requer a solução de vários problemas; entre êsses, a formação de cientistas e técnicos especializados se apresenta como condição inicial cuja significação é desnecessário encarecer.

Para o atingimento dêsse objetivo, o Instituto de Energia Atômica tomou a iniciativa de desenvolver vários cursos especializados em íntima cooperação com várias faculdades da nossa Universidade: em colaboração com a Escola Politécnica, está desenvolvendo um curso de pós-graduação em engenharia nuclear (trata-se de curso de alto nível, reconhecido nos Estados Unidos como equivalente aos famosos cursos de engenharia nuclear de Argonne); com a Faculdade de Medicina, tem desenvolvido cursos de utilização de isótopos radioativos na propedêutica médica e cursos sôbre proteção contra os efeitos das radiações; cursos de formação de radioquímicos vem sendo realizados em colaboração com a Faculdade de Filosofia da Universidade.

Tem desenvolvido cursos para a formação de técnicos destinados à operação de reatores e à utilização de equipamentos nucleares, a fim de tornar mais econômico e eficiente o rendimento do trabalho de cientistas e engenheiros.

Esses fatos mostram uma atitude que, a nossa ver, bem caracteriza a mentalidade dos órgãos dirigentes do Instituto: não pretende o Instituto transformar-se em um órgão autônomo de ensino, mas procura entrosar-se com os órgãos correspondentes da Universidade, que melhor possam se adaptar às suas finalidades para atingir o objetivo desejado, complementando o ensino quando necessário. Esse sistema de colaboração tem dado os melhores resultados e a experiência tem demonstrado que se é verdade que o Instituto de Energia Atômica tem colhido grandes benefícios dessas instituições para a formação do seu pessoal especializado, não é menos exato que dêsse intercâmbio já surgiram interessantes oportunidades para o estabelecimento de trabalhos de colaboração entre as instituições.

No desenvolvimento de suas atividades, o Instituto de Energia Atômica conta com cinco divisões, a Divisão de Física Nuclear, a Divisão de Física de Reatores, a Divisão de Radioquímica, a Divisão de Radiobiologia e a Divisão de Engenharia Nuclear.

O corpo científico do Instituto de Energia Atômica é constituído por especialistas nesses vários setores do conhecimento, provenientes de Universidades de vários Estados do País. Suas atividades são entrosadas em um programa comum e sob esse aspecto o Instituto apresenta a nosso ver um interessante e talvez único exemplo, no País, de colaboração entre especialistas de diferentes setores do conhecimento, para o atingimento de um objetivo comum.

Um dos fatos que talvez mais impressionam os que tem tido contacto com o Instituto de Energia Atômica, é a existência de um espírito de equipe. O espírito de equipe, como o espírito universitário, não pode ser definido com facilidade mas pode ser facilmente reconhecido quando existe. Ele se manifesta, por exemplo, pelo interesse com que os trabalhos de uma divisão são acompanhados pelos membros de outras divisões e pela boa vontade e interesse manifestados na realização de um programa de colaboração para o atingimento do objetivo comum. Outro modo de reconhecer a sua existência é o modo pelo qual é recebido um pedido de trabalho em horas extraordinárias, mesmo em domingos ou feriados, em benefício de outra divisão. Sob esses aspectos, temos a convicção de que o espírito reinante entre os cientistas do Instituto de Energia Atômica constitui um exemplo digno de ser imitado por várias Faculdades e Universidades do nosso País.

Tomo agora a liberdade de procurar mostrar em linhas gerais como o trabalho dessas Divisões se entrosam no desenvolvimento de um programa de trabalho e em particular como o Instituto recorre a outras instituições a fim de obter uma solução rápida para seus problemas, evitando a duplicação de esforços e a multiplicação de laboratórios de finalidades semelhantes — fato que tem constituído nos últimos anos uma verdadeira calamidade para todos aqueles que acompanham o desenvolvimento científico no Brasil. É sem dúvida constrietador constatar-se que, em lugar dos cientistas se reunirem para o incentivo e a melhoria das instalações das instituições de boa tradição existentes no País, a tedência individualista e o espírito de imitação predominam, conduzindo a uma duplicação do equipamento já existente, em geral entregue a pessoal inadequado, produzindo o desestímulo dos que trabalham e dando origem à criação de instituições fantasmas que realizam apenas planos de pesquisas no papel e das quais o País não colhe o menor benefício.

## CONSTRUÇÃO DE UM REATOR DE POTÊNCIA

Voltemos nossa atenção para o Instituto de Energia Atômica: A Divisão de Física de Reatores é encarregada de todos os problemas relacionados com a operação do reator e do desenvolvimento dos projetos de reatores. No desenvolvimento de suas atividades tem ela necessidade de recorrer à Divisão de Radioquímica para o estudo de métodos de obtenção de combustível ou de materiais estruturais do grau de pureza necessário; à Divisão de Física Nuclear para realização das medidas dos parâmetros nucleares do material obtido pela Divisão de Química; e à Divisão de Radiobiologia, à qual estão afetos os problemas do controle dos níveis de radiação observados durante a realização das experiências. À Divisão de Engenharia Nuclear compete a execução final do projeto. Para melhor exemplificarmos o modo pelo qual essa ação se desenvolve, seria conveniente descrevermos com maior detalhe as atividades do Instituto durante os últimos dois anos, tendentes à construção de um reator de potência destinado a funcionar com urânio nacional e a ser inteiramente construído no País.

O problema fundamental que se apresentou desde o início foi o da obtenção de urânio nuclearmente puro, sob a forma de dióxido de urânio, em pastilhas cerâmicas, ou sob a forma metálica. Para obtenção desses materiais foi necessário encarregar a Divisão de Química, do Instituto, do estudo de um método capaz de permitir a obtenção de urânio de grau de pureza atômica, isto é, com impurezas inferiores a uma parte por milhão, partindo de minérios nacionais ou compostos químicos produzidos pela indús-

tria do País, cujo grau de pureza é de cerca de 80% (pureza técnica). A equipe de química do Instituto de Energia Atômica, como é notório, resolveu brilhantemente êsse problema e no momento o Instituto já dispõe de uma usina piloto em pleno funcionamento, produzindo 250 kg mensais de diuranato de amônio atômicamente puro. Trata-se de método industrial econômico e que permitiu colocar o nosso País junto com quatro outros, no grupo de países capazes de produzir urânio atômicamente puro por tecnologia própria. Um dos problemas que surgiram durante o desenvolvimento desses trabalhos da Divisão de Química foi, como é óbvio, o estabelecimento de técnicas de análise para medidas dessas pequenas impurezas.

As análises apresentadas pelo Instituto sobre o assunto, no Simpósio de Quitandinha, realizado na semana passada, trouxeram ao conhecimento do público, pela primeira vez no nosso País, a utilização de isótopos radioativos para controle de operações industriais. De fato, o controle de todas as operações de eliminação das diferentes impurezas foi possível graças à produção de isótopos radioativos desses elementos pelo reator de pesquisas. Os isótopos radioativos dos diferentes elementos deles diferem essencialmente pelo fato de apresentarem radioatividade facilmente detetável. Compreendemos então, que com auxílio de um detetor foi possível aos nossos químicos acompanharem os processos de concentração e eliminação desses isótopos nos diferentes processos de tratamento e como as propriedades químicas desses isótopos não diferem das dos elementos (dos quais são isótopos) foi estudada a eliminação de todas as impurezas presentes. Naturalmente, na preparação desses isótopos foi utilizado o reator e tornou-se necessária a colaboração da Divisão de Física de Reatores. Durante a operação da usina e durante a realização das experiências preliminares foi necessário tomar precauções especiais com a radiação, tendo sido indispensável a colaboração da Divisão de Radiobiologia. Obtido o urânio atômicamente puro pela Divisão de Química, sob a forma de diuranato de amônio ou de tetrafluoreto de amônio, encontrou-se o Instituto diante de outro problema tecnológico de não menor importância, qual seja a produção desses compostos e a sua ulterior transformação em pastilhas de dióxido de urânio ou em urânio metálico, para sua utilização em reatores.

Não dispondo de metalurgistas e de instalações e equipamentos especializados, dirigiu-se o Instituto à Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas solicitando a indispensável colaboração para a solução desses problemas.

Graças ao elevado padrão técnico-científico desse Instituto, cujas realizações constituem um motivo de justo orgulho para nosso País, e à experiência de duas décadas com problemas de

metalurgia de pó, em curto prazo os problemas foram resolvidos, tendo sido obtido material com características que, dentro dos padrões internacionais podem ser consideradas como excepcionais.

O primeiro elemento combustível nacional, com pastilhas de  $UO_2$  já está sendo fabricado e deverá ser sujeito a provas rigorosas dentro em breve, submetendo-o ao bombardeio de neutrons provenientes do nosso reator de pesquisas. Como é sabido, quando da sua construção, foram incorporados ao reator vários dispositivos destinados à realização de tais provas (estudo das propriedades termodinâmicas dos elementos combustíveis).

Êsses elementos combustíveis serão utilizados para a montagem de um reator sub-crítico cujo projeto, feito pelo Instituto de Energia Atômica, já se encontra concluído. O funcionamento dêsse reator sub-crítico dará informações importantes sôbre a multiplicação neutrônica e permitirá a comparação entre os cálculos e os dados experimentais, tornando possível um melhor julgamento dos parâmetros utilizados.

O Instituto de Energia Atômica tem recebido vários pedidos de centros de pesquisa do País e do exterior, para o fornecimento dêsses reatores sub-críticos, cujo emprêgo é indispensável para o ensino da engenharia nuclear.

A experiência adquirida com o funcionamento dêsse reator permitirá a construção de um reator experimental de potência destinado a servir de protótipo para outros destinados à produção de energia elétrica. No desenvolvimento dêsse programa, o Instituto de Energia Atômica tem adotado a diretriz de considerar os modelos de reatores cuja construção possa ser feita integralmente pela indústria nacional.

O desenvolvimento dêsse programa permitirá à energia atômica, contribuir de maneira crescente para o fornecimento de energia que a rápida industrialização do País exige.