

BR 9024372
INIS-BR--2261

PARTICIPAÇÃO DO INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS NO PROGRAMA NACIONAL
DE FÍSICA DOS PLASMAS E FUSÃO TERMONUCLEAR CONTROLADA.

CNPq

DIVISÃO DE PLASMAS DO INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (CNPq)

1. RECURSOS HUMANOS

1.1 - EXPERIMENTAIS:

- Tetsuya Akitsu, D. Eng., Física dos Plasmas,
Kyoto University, Japão, 1979.

- Mario Ueda, M.Sc., Física dos Plasmas,
Nagoya University, Japão, 1978 (em programa de doutoramento no exterior).

- Ivo de Castro Oliveira, M.Física, Física dos Plasmas,
Universidade Estadual de Campinas, 1978 (em programa de doutoramento no exterior).

- José Leonardo Ferreira, M.Ciências, Física dos Plasmas, Universidade de São Paulo, 1980.

- Edson Del Bosco, M.Ciências, Física dos Plasmas, Universidade de São Paulo, 1981.

- Guilherme Esteves Perche, Eng. Aeronáutico,
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1981.

- Três estagiários, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

1.2 - TEÓRICOS:

- Gerson Otto Ludwig, Ph.D, Física dos Plasmas,
Cornell University, E.U.A., 1976 (Chefe da Divisão de Plasmas).

- Abraham Chian-Long Chian, D.Phil., Física dos Plasmas,
University of Cambridge, Inglaterra, 1977.

- Antonio Montes Filho, D.Phil., Física dos Plasmas, University of Oxford, Inglaterra, 1980.
- Rafael Alves Correa, B. Física, Universidade de São Paulo, 1978.
- José Pantuso Sudano, Docteur d'Etat ès Sciences Physiques, Univ. de Paris, 1972 (tempo parcial).
- Um mestrando, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

2. PROGRAMA DE PESQUISA (Diagramas 1 e 2)

2.1 - PESQUISA AVANÇADA :

- Feixes de Elétrons Relativísticos (PFER).
- Plasma produzido por Laser (PRAD).

2.2 - PESQUISA FUNDAMENTAL:

- Teoria de Plasmas (PTEO).
- Plasmas Quiescentes (PQUI).

2.3 - PESQUISA APLICADA :

- Centrífuga de Plasma (PCEN).
- Propulsão Iônica (PION).

3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE PESQUISA

3.1 - INTRODUÇÃO - CONFINAMENTO INERCIAL COMO ALTERNATIVA PARA A FUSÃO TERMONUCLEAR CONTROLADA

O principal incentivo para a pesquisa de plasmas de alta temperatura é a geração de energia por fusão termonuclear controlada. Em particular, um dos objetivos desta pesquisa é demonstrar

que o processo de fusão em confinamento inercial é exequível. O processo de rápido aquecimento e compressão de pequenas esferas de material fúsil, até a liberação de quantidades úteis de energia, pode ser conseguido pela deposição de energia por impulsores apropriados.

Atualmente, a pesquisa em fusão inercial se orienta segundo três linhas fundamentais:

- 1) desenvolvimento e otimização de alvos fúseis (microesferas) através de um melhor entendimento do acoplamento da energia do impulsor a estes alvos;
- 2) desenvolvimento tecnológico de impulsores de alta energia;
- 3) factibilidade dos reatores de fusão em confinamento inercial.

O desenvolvimento de alvos de material fúsil é um dos tópicos mais importantes em fusão inercial. O esforço principal, nesta área, está concentrado em um entendimento claro do acoplamento entre impulsor e plasma, incluindo problemas tais como absorção e transporte de energia, compressão ablativa, ignição e queima. Para resolver estes problemas, novos diagnósticos e vários programas de simulação numérica têm sido desenvolvidos. Uma compreensão razoável dos fenômenos de absorção e transporte já foi atingida, enquanto que estudos definitivos de compressão e ignição devem aguardar o aparecimento de impulsores de maior porte.

A tecnologia de impulsores de energia admite uma variedade de opções no que se refere a dispositivos: lasers de vários comprimentos de onda, feixes de elétrons relativísticos, feixes de íons leves e pesados. Presentemente, impulsores laser são capazes de fornecer energias da ordem de algumas dezenas de kJ, em experimentos laser-plasma, e estão em construção lasers capazes de produzir algumas centenas de kJ, visando o estágio de viabilidade científica. Para sua aplicação efetiva em reatores, porém, impulsores com alguns MJ

precisarão serem construídos, sendo isto agora tecnicamente factível. Grandes máquinas a feixes de partículas também estão sendo construídas no momento, em níveis de operação compatíveis com sua utilização em futuros reatores. A tabela 1 lista os maiores sistemas em desenvolvimento e destinados a testes em fusão inercial.

O progresso contínuo no desenvolvimento de reatores conceituais, baseados em sistemas de confinamento inercial, vem ocorrendo desde o início dos anos 70. Muitos dos problemas fundamentais de um reator a confinamento magnético, por exemplo, aqueles associados a campos magnéticos e a impurezas no plasma, não existem num reator a confinamento inercial. Uma configuração mais simples e compacta pode ser adotada para o reator inercial, especialmente através da utilização de uma cortina interna de lítio líquido na câmara do reator, com o objetivo de reduzir o carregamento pulsado das paredes. Este esquema resolve o problema de danos causados pela radiação nos materiais da estrutura permanente e pode permitir a operação do reator em níveis de densidade de potência substancialmente mais elevados.

A maior parte da física experimental de plasmas, na área de confinamento inercial, assim como experimentos de implosão, tem sido realizada com lasers de alta potência. O laser, como impulsor, apresenta a vantagem de fornecer altas densidades de potência sem problemas tecnológicos de iluminação do alvo, sofre, porém, o problema da baixa eficiência. Aceleradores de íons leves e pesados estão sendo desenvolvidos como novas fontes impulsoras. No caso de feixes de íons leves surgem problemas de guiamento e focalização sobre o alvo, que não são tão severos para feixes de íons pesados. A grande vantagem dos aceleradores de partículas é sua capacidade de produzir elevada energia total com grande eficiência. Feixes de prótons, gerados com 80% de eficiência por diodos magneticamente isolados, já foram focalizados até densidades de potência da ordem de 1 TW/cm^2 . O processo de ignição de microesferas fúseis, que requer densidades de potência da ordem de 100 TW/cm^2 , dependerá da superposição eficaz de um grande número destes feixes de íons. Feixes de elétrons relativísticos parecem não apresen-

tar vantagens em relação a outros impulsores, se bem que, em alguns experimentos que foram realizados, investigou-se a deposição de energia por tais feixes, tendo sido verificado um aumento na deposição de energia como resultado da turbulência no plasma e da estagnação magnética.

Em resumo, ao nível de operação de um reator inercial, seria desejável um impulsor de energia com os seguintes parâmetros: energia total produzida = 3-5 MJ, potência de pico = 300 TW, duração total do pulso = 100 ns, taxa de repetição = 1 Hz, eficiência elevada, suficiente confiabilidade para 10^8 disparos em regime de operação contínua e custo operacional aceitável.

3.2 - PESQUISA AVANÇADA

3.2.1 - FEIXES DE ELÉTRONS RELATIVÍSTICOS (PFER)

Este projeto visa o desenvolvimento de fontes intensas de partículas e radiação, de acordo com a segunda linha fundamental de pesquisa em fusão inercial descrita na introdução.

Na primeira fase deste projeto deverá ser construído um acelerador de elétrons de dimensões médias (2 MV, 50 kA, 100 ns), visando principalmente o domínio da tecnologia de geração de feixes intensos de elétrons relativísticos, primeiro passo em um programa de desenvolvimento de impulsores a feixes de partículas (diagrama 1). Estes feixes de elétrons têm múltiplas aplicações, podendo ser utilizados na produção de raios X, no estudo de propriedades mecânicas e termodinâmicas de materiais, na produção de pulsos intensos de radiação coerente, na aceleração coletiva de íons, na excitação de lasers a gás ou químicos de alta potência e na pesquisa em fusão termonuclear controlada. No campo da fusão, mais especificamente, os feixes de elétrons relativísticos podem ser empregados no aquecimento de plasmas termonucleares, no aquecimento e implosão de alvos de material fúsil e na geração de anéis auto-confinados em espelhos magnéticos. Além do desenvolvimento da tecnologia de aceleradores de elétrons, a primeira

fase do projeto terá também como objetivo o estudo da interação do feixe de partículas com ondas, relevante para o projeto de geradores de radiação coerente (lasers ou masers) a elétrons livres.

A definição da segunda fase do projeto dependerá dos resultados atingidos na primeira fase e, principalmente, dos resultados obtidos pelos grandes experimentos internacionais em fusão inercial por feixes de elétrons ou de íons leves. Assim, poderá ser de grande interesse a transformação do acelerador de elétrons em um acelerador de íons, através do desenvolvimento da técnica de diodos magneticamente isolados. Feixes de íons apresentam várias vantagens, em relação a lasers ou feixes de elétrons, para aplicação como impulsores em experimentos de confinamento inercial. Além disso, existem várias áreas de aplicação possíveis de injetores intensos de íons, em sistemas de fusão em confinamento magnético, que tiram vantagem de seus altos níveis de potência pulsada, tanto em esquemas de aquecimento como na formação de configurações favoráveis de equilíbrio. Como alternativa, a tecnologia desenvolvida na primeira fase poderá ser utilizada na construção de um laser a elétrons livres, área de investigação que tem atraído bastante interesse recentemente. O laser a elétrons livres é uma fonte de radiação eletromagnética coerente, que utiliza a interação de um feixe de elétrons relativísticos com um campo magnético ou elétrico estático e periódico, ou com uma onda eletromagnética. As vantagens potenciais do laser a elétrons livres são várias e incluem tanto sintonia contínua em frequência, através da variação da energia dos elétrons e/ou variação do campo magnético, como operação em níveis elevados de potência, pois o meio ativo não pode ser danificado, tal como ocorre com lasers líquidos ou sólidos. Além do mais, espera-se que a alta eficiência que caracteriza os geradores a elétrons livres de radiação coerente na faixa de microondas possa eventualmente ser realizada com os lasers a elétrons livres. Na faixa de ondas milimétricas, a aplicação de masers a elétrons livres de alta potência (girotrons) é imediata, principalmente no aquecimento de plasmas termonucleares por ressonância elétron-ciclotrônica e em sistemas avan

çados de radar e de vigilância eletromagnética. Para aquecimento do plasma em tokamaks, por exemplo, desejam-se fontes operando em frequências próximas de 100 GHz, com potências maiores que 10 MW durante 100 ns.

3.2.2 - PLASMA PRODUZIDO POR LASER (PRAD)

No INPE, dentro do Programa de Física dos Plasmas, está sendo implantado um projeto que visa o estudo da interação laser-plasma, voltado precisamente para os aspectos relacionados com a primeira linha fundamental de pesquisa citada na introdução. Do ponto de vista teórico, está sendo implementado, no computador do INPE, um programa bastante complexo de simulação numérica desta interação. Esta é uma atividade que deve constituir uma das áreas de concentração dentro do projeto, pois o planejamento de experiências depende extensivamente de parâmetros obtidos nestas simulações. Do ponto de vista experimental, as atividades do projeto deverão ser executadas de acordo com a sequência abaixo delineada (diagrama 2).

Na primeira fase, será iniciado o desenvolvimento de diagnósticos de raios X com a utilização de um laser de rubi de baixa potência (200 MW, 50 ns) já disponível. Estes diagnósticos são fundamentais na investigação do transporte de energia da corona do plasma até a superfície do alvo, com vistas a um melhor entendimento do acoplamento da energia do laser ao alvo. Assim sendo, será construído o protótipo de um detector de raio X mole, baseado na técnica de absorção por folhas metálicas, que será utilizado na montagem de um sistema multicanal. Este sistema permitirá o levantamento do espectro contínuo de raios X, a partir do qual se pode calcular a temperatura média do plasma. O detector multicanal deverá ser instalado numa câmara de vácuo de dimensões e acessos adequados, assim como um conjunto de fotodiodos e minicalorímetros que será utilizado no estudo da partição da energia do laser. Neste estágio, será iniciado o estudo (definição do comprimento de onda, da potência máxima, da duração do pulso, do número de feixes e do custo) para a aquisição de um no

vo laser, de maior potência, que permitirá a realização de experimentos em condições de compressão do alvo. Paralelamente, serão iniciados os estudos para a construção de um espectrômetro de raio X por incidência rasante. Este espectrômetro deverá ser utilizado na determinação da distribuição espacial da temperatura, bem como no estudo da produção e transporte de elétrons de alta energia em alvos sólidos, de especial relevância na investigação do preaquecimento do núcleo de alvos fúseis. Este aspecto será também estudado por meio de um microscópio de raio X, que, utilizando uma câmara de varredura apropriada, permitirá o levantamento da emissão de raios X, com resolução espacial e temporal. Naturalmente, estes diagnósticos constituem apenas uma parte dos necessários para a execução de estudos completos da interação laser-plasma. Outros sistemas, tais como interferômetros e detectores de partículas, deverão ser desenvolvidos em etapas posteriores do projeto, a serem estabelecidas.

A definição da segunda fase deste projeto dependerá dos resultados obtidos nos grandes experimentos de viabilidade científica, listados na tabela 1. Caso julgue-se conveniente a continuação dos estudos visando a fusão em confinamento inercial induzida por lasers, estes deverão voltar-se para experimentos de compressão fazendo uso do laser de alta potência definido na primeira fase. Será também necessário estabelecer-se um convênio com um laboratório nacional visando o desenvolvimento de lasers de alta potência, a serem utilizados em experimentos de fusão. Caso conclua-se que lasers são inviáveis como impulsores, os experimentos de compressão poderão ser continuados com o objetivo de fornecer subsídios para esquemas de fusão inercial por feixes de partículas, dada a maior facilidade de conformação do pulso de laser necessária para a realização destes estudos. Além disso, os diagnósticos desenvolvidos poderão, também, ser adaptados para outros experimentos, tanto em confinamento inercial induzido por feixes de partículas como em confinamento magnético.

3.3 - PESQUISA FUNDAMENTAL

3.3.1 - TEORIA DE PLASMAS (PTEO)

Este projeto engloba as atividades teóricas, que são tanto de suporte aos projetos experimentais, como também de caráter fundamental, não diretamente vinculadas a estes projetos. Presentemente, três tipos de problemas estão sendo investigados, envolvendo o estudo da interação de ondas eletromagnéticas com plasmas, o estudo de configurações de equilíbrio, e sua estabilidade, e a simulação numérica de plasmas. Em particular, na linha de pesquisa que trata da interação de ondas com plasmas, está sendo investigada a física de geradores de radiação eletromagnética intensa, usando feixes de elétrons relativísticos sob a ação de campos magnéticos, que podem ser utilizados em radioastronomia, em vigilância eletromagnética e para aquecimento de plasmas. Também estão sendo estudados os processos de emissão não-térmica de plasmas termonucleares, tais como emissão eletrônica e radiação sincrotrônica, visando sua aplicação em diagnósticos. Os trabalhos teóricos, que estão sendo desenvolvidos dentro da linha de pesquisa que trata do equilíbrio e estabilidade de plasmas, envolvem o estudo de anéis e feixes de partículas carregadas, segundo o modelo de Vlasov-Maxwell. O interesse no estudo de anéis de partículas resulta de possíveis aplicações em reatores baseados no princípio Astron. Finalmente, a linha de pesquisa que trata da simulação numérica de plasmas visa especialmente a simulação de processos físicos que ocorrem nas máquinas em desenvolvimento no laboratório. Assim, está sendo implantado, no computador do INPE, o código Lagrangiano unidimensional MEDUSA. Este programa permite o estudo da evolução espacial e temporal e do comportamento hidrodinâmico e termodinâmico de um plasma irradiado por um feixe intenso de laser.

3.3.2 - PLASMA QUIESCENTE (PQUI)

Esta linha de pesquisa também é de caráter fundamental e tem por objetivo o estudo da propagação de ondas iônicas-acústicas em

plasmas homogêneos e não-homogêneos produzidos por fontes quiescentes. É dada maior ênfase ao estudo da propagação destas ondas no regime não-linear, representado por ondas de choque e ondas solitárias, e fenômenos associados, tais como cavitons e efeitos ponderomotivos. Inicialmente, estes estudos estão sendo realizados em plasmas não-magnetizados de baixa densidade ($\approx 10^{15} \text{ m}^{-3}$) e baixa temperatura ($\approx 1 \text{ eV}$), produzidos no interior de uma máquina de plasma duplo (PDUP). Dois plasmas, mantidos a potenciais diferentes, são produzidos no interior da máquina, podendo um deles atuar como excitador de feixes iônicos e ondas íon-acústicas, e o outro como alvo, através da aplicação de pulsos apropriados de tensão. O diagnóstico do plasma é realizado por meio de sondas eletrostáticas e, futuramente, por meio de um analisador eletrostático da energia de partículas e um sistema de sondagem por feixe eletrônico. Este projeto visa a formação de pessoal e o desenvolvimento de técnicas de diagnóstico.

3.4 - PESQUISA APLICADA

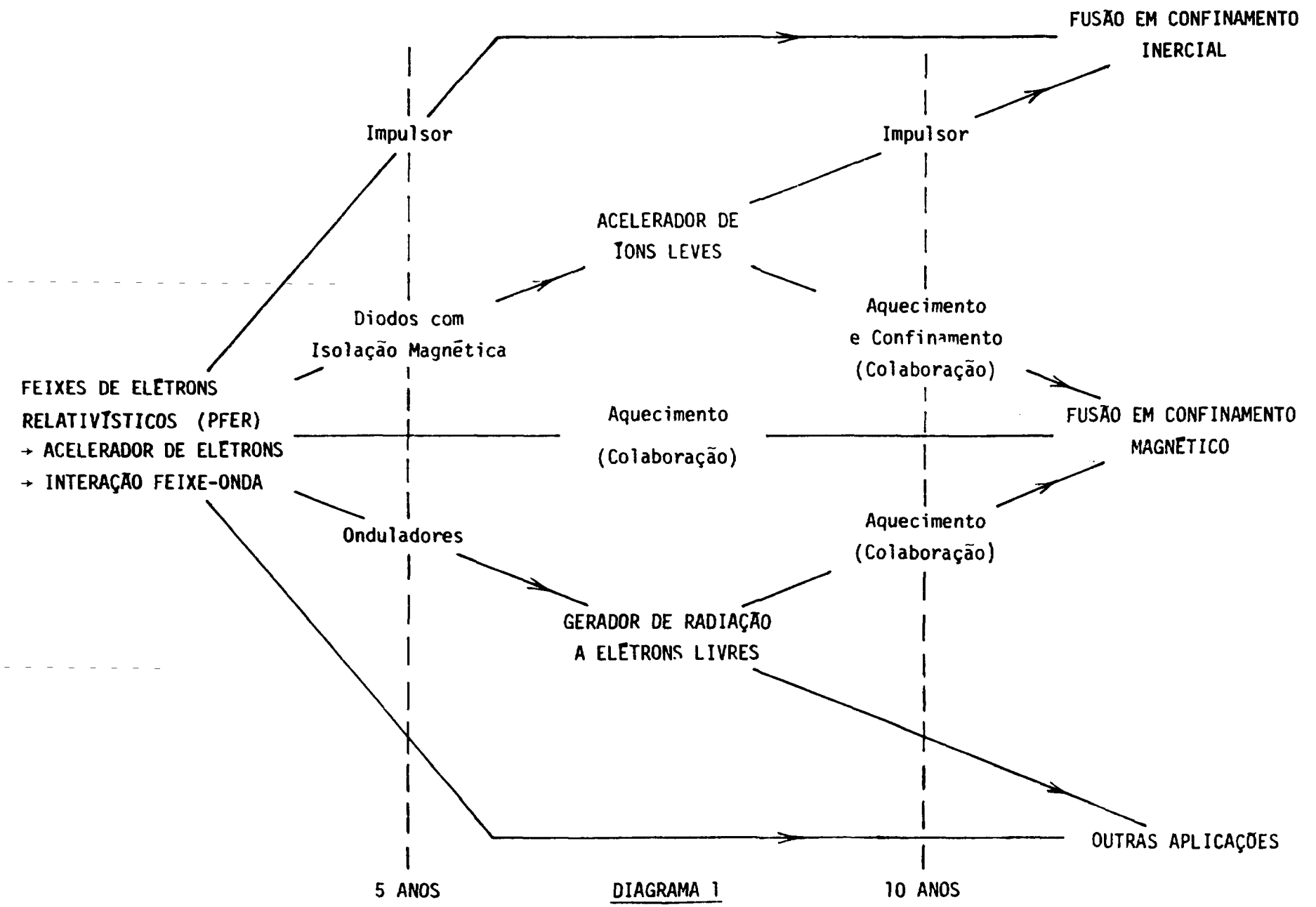
3.4.1 - CENTRÍFUGA DE PLASMA (PCEN)

Este projeto tem por objetivo o estudo experimental da viabilidade do processo de separação de isótopos por meio de centrífuga de plasma. A centrífuga de plasma opera no mesmo princípio da centrífuga mecânica, diferindo apenas no método pelo qual a rotação é obtida. Na centrífuga mecânica o recipiente contendo os isótopos é posto em rotação. A velocidade tangencial máxima atingível ($\leq 400 \text{ m/s}$) é limitada pela resistência dos materiais que constituem as paredes do recipiente. Na centrífuga de plasma o gás parcialmente ionizado é posto em rotação eletromagneticamente, através da interação entre a componente radial da corrente no plasma e o campo axial aplicado. Neste modo de operação não existe, em princípio, um limite para a velocidade de rotação, tendo já sido observadas velocidades superiores a 1 km/s . O plasma na centrífuga será produzido e acelerado por meio de um arco magnetoplasmadinâmico e um campo magnético externo pulsados.

A medida do grau de enriquecimento será feita utilizando-se um espectrômetro de massa. Além da formação de pessoal, este projeto visa, inicialmente, o fornecimento de subsídios tecnológicos às demais atividades do laboratório. A evolução do projeto da centrífuga dependerá dos resultados obtidos e do interesse manifestado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

3.4.2 - PROPULSÃO IÔNICA (PION)

O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de micropropulsores iônicos para o controle de atitude e para correções de órbita de satélites geostacionários (propulsão secundária). O tipo mais adequado de propulsor, para este fim, utiliza uma fonte de plasma de ionização por contato, e aceleração eletrostática do feixe iônico. O interesse na utilização de motores iônicos decorre, principalmente, dos altos valores de impulso específico que podem ser obtidos com estes propulsores, quando comparados com motores a hidrazina, o que implica um consumo muito menor de combustível para uma dada missão. Inicialmente, o projeto visa a formação de pessoal e a construção de um protótipo de motor iônico. As etapas seguintes dependem em grande parte da evolução do programa de construção de um satélite pelo INPE.



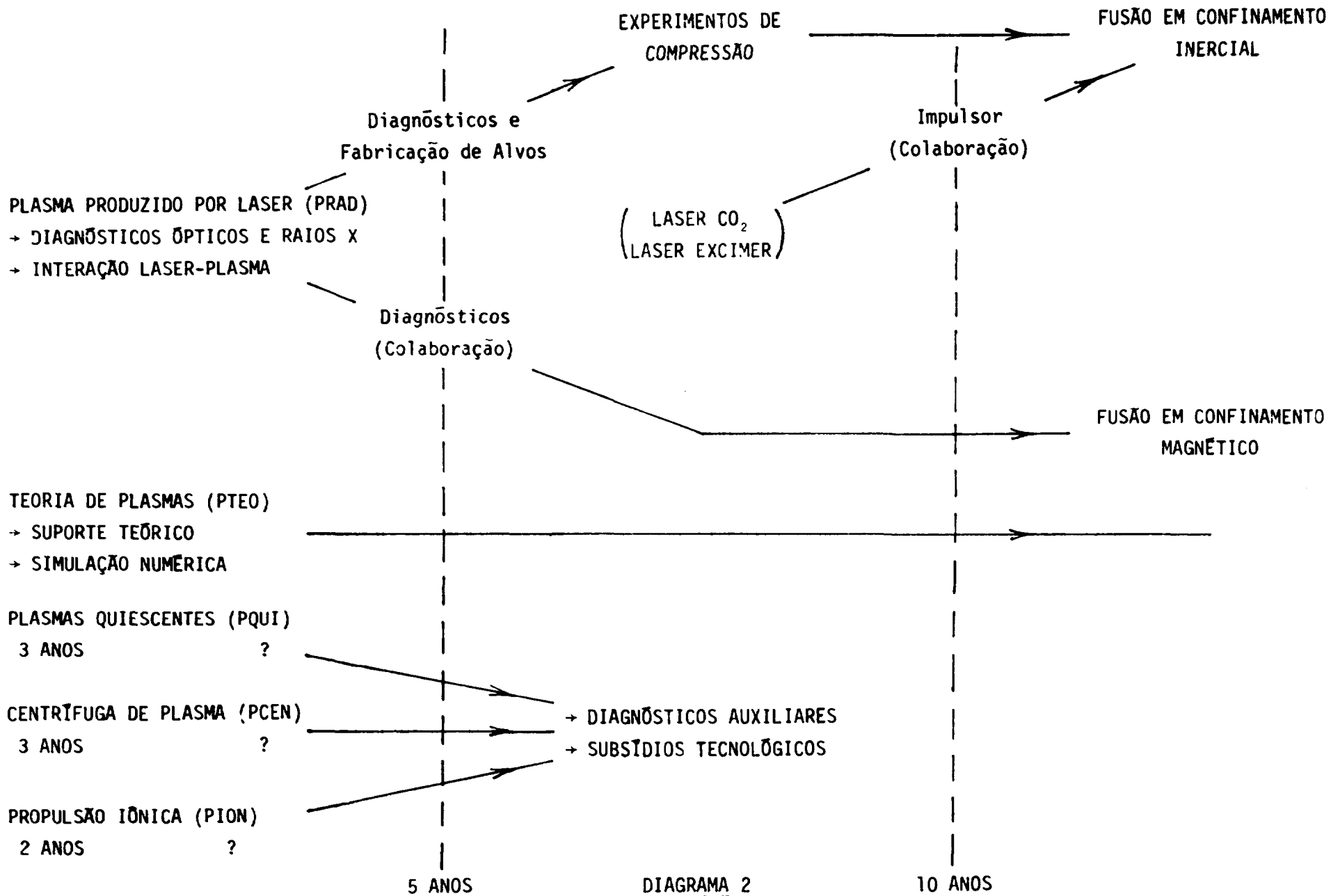


DIAGRAMA 2

TABELA 1

PRINCIPAIS SISTEMAS A LASER OU FEIXES DE PARTÍCULAS
PARA FUSÃO EM CONFINAMENTO INERCIAL

LABORATÓRIO	DISPOSITIVO	NÚMERO DE FEIXES	ENERGIA PRODUZIDA(MJ)	DURAÇÃO DO PULSO(ns)	POTÊNCIA PRODUZIDA(TW)	OPERAÇÃO
LLL (EUA)	Nova I (Laser de vidro dopado com neodímio)	12	0,10	0,5-3	100	1982
LLL (EUA)	Nova II (Laser de vidro dopado com neodímio)	24	0,25	0,5-3	300	1983(*)
LASL (EUA)	Antares (Laser de CO ₂)	6x12	0,10	1	-	1982
SANDIA (EUA)	PBFA I (Feixe de íons leves)	36	1,00	24	40 (2,4 MV; 17 MA)	1980
SANDIA (EUA)	PBFA II (Feixe de íons leves)	72	3,51	-	100 (4 MV; 25 MA)	1984(*)
KURCHATOV (URSS)	Angara V (Feixe de elétrons)	50	5,00	100	50 (2 MV; 25 MA)	1983(*)

(*) Condição de saldo nulo (o sistema PBFA II ambiciona mais que simplesmente atingir a condição de saldo energético nulo - espera-se atingir ganho líquido de energia).

ANEXO 1

PROGRAMA DE PESQUISA AVANÇADA

1 - FEIXES DE ELÉTRONS RELATIVÍSTICOS

1.1 - ATIVIDADES NA PRIMEIRA FASE (INPE)

- Estudo teórico e experimental da interação de feixes de partículas com ondas, incluindo a construção de um gerador de radiação a elétrons livres, de baixa intensidade, que utiliza os processos Cerenkov e Cerenkov-Raman.

Parâmetros aproximados do experimento

Feixe de elétrons : Voltagem - 100 a 300 kV
Corrente - 10 A
Taxa de repetição - 10 Hz

Feixe de radiação : Frequência - 30 a 60 GHz
Potência de pico - 1 kW
Duração do pulso - 1 μ s

Custo aproximado

Gerador - k US\$ 100
Diagnósticos - k US\$ 100

- Instalação de um acelerador intenso de elétrons relativísticos, visando aplicações tais como lasers de elétrons livres operando no regime de espalhamento Raman estimulado e aceleradores de íons leves.

Parâmetros aproximados do acelerador

Voltagem - 1 a 2 MV

Corrente - 100 kA

Duração do pulso - 50 ns

Energia produzida - 5 a 10 kJ

Custo aproximado

Acelerador - k US\$ 200

Sistemas periféricos - k US\$ 300

1.2 - ATIVIDADES NA SEGUNDA FASE (INPE E CENTRO TECNOLÓGICO DE FUSÃO)

- Instalação de um acelerador de íons leves para experimentos de compressão de alvos.

Parâmetros aproximados do acelerador

Voltagem - 2 MV

Corrente - 500 kA

Duração do pulso - 50 ns

Energia produzida - 50 kJ

Custo aproximado

Acelerador - M US\$ 1

1.3 - ATIVIDADES NA TERCEIRA FASE (CENTRO TECNOLÓGICO DE FUSÃO)

- Experimentos de fusão inercial utilizando feixes de íons leves.

Parâmetros aproximados do impulsor

Número de feixes - 20

Voltagem - 2 a 4 MV

Corrente - 10 MA

Duração do pulso - 50 ns

Energia produzida - 1 a 2 MJ

Custo aproximado

Impulsor - M US\$ 10 a 20

2 - PLASMA PRODUZIDO POR LASER

2.1 - ATIVIDADES NA PRIMEIRA FASE (INPE)

- Estudo teórico e experimental da interação laser-plasma, com o desenvolvimento de diagnósticos ópticos e de raios X.

Parâmetros do experimento

Laser de rubi: Potência de pico - 200 MW

Duração do pulso a meia altura - 50 ns

Diagnósticos: Detector multicanal de raio X mole

Espectrômetro de raio X

Microscópio de raio X

Interferômetro óptico

Custo aproximado

Diagnósticos : k US\$ 400

2.2 - ATIVIDADES NA SEGUNDA FASE (INPE)

- Instalação de um laser de alta potência para experimentos de compressão de alvos.

Parâmetros aproximados do laser (vidro dopado com neodímio)

Número de feixes - 2
Potência de pico - 500 GW
Duração do pulso - 1 ns
Energia do pulso - 500 J

Custo aproximado

Laser - M US\$ 3

2.3 - ATIVIDADES NA TERCEIRA FASE (CENTRO TECNOLÓGICO DE FUSÃO)

- Experimentos de fusão inercial utilizando feixes de laser; o impulsor deverá ser desenvolvido no País por outro laboratório.

Parâmetros aproximados do impulsor

Comprimento de onda - 0,26 μm
Número de feixes - 10
Potência de pico - 100 TW
Duração do pulso - 1 ns
Energia do pulso - 100 kJ

ANEXO 2

ORÇAMENTO DO INPE NO PROGRAMA NACIONAL DE FÍSICA DOS PLASMAS PARA 1982.

(Em milhares de cruzeiros)

CATEGORIA

Equipamento	30.000
Consumo	8.000
Serviços Terceiros	6.000
Diárias	1.500
Passagens	<u>1.000</u>
	46.500

Quatro bolsas de mestrado e uma bolsa de pós-doutoramento

CONTRATAÇÕES (pelo INPE)

Doutor - 2
Mestre - 2
Bacharel - 2
Engenheiro - 1