

IFUSP/P 484
B.L.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PUBLICAÇÕES

INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498 - SÃO PAULO - SP
BRASIL

IFUSP/-484



PRÉ ANTE-PROJETO DE UMA MÁQUINA PARA A PRODUÇÃO
DE RADIAÇÃO SINCROTRON

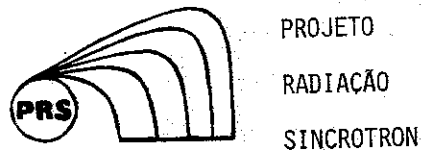
Giorgio Moscati, Jiro Takahashi e Yamato Miyao
Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Agosto/1984

PRÉ ANTE-PROJETO DE UMA MÁQUINA PARA A PRODUÇÃO
DE RADIAÇÃO SINCROTRON

GIORGIO MOSCATI
JIRO TAKAHASHI
YAMATO MIYAO

DEPARTAMENTO DE FÍSICA EXPERIMENTAL
INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



PROJETO RADIAÇÃO SINCROTRON - CNPq

SÃO PAULO, JUNHO DE 1984

1. INTRODUÇÃO:

O presente pré ante-projeto foi elaborado para atender uma necessidade do Comitê Executivo Projeto Radiação Sincrotron (CEPRS) de poder contar com uma proposta concreta com parâmetros básicos para uma máquina para a produção de Radiação Sincrotron que servisse como base para o prosseguimento dos estudos e discussões e para a tomada de decisões quanto ao rumo que deve tomar o Projeto Radiação Sincrotron.

Os estudos e discussões quanto à conveniência e possibilidades para se implantar um Laboratório de Radiação Sincrotron (LRS) no Brasil se iniciaram há mais de três anos. Em agosto de 1982 em reunião realizada em Brasília foram auscultadas as sociedades científicas e vários especialistas. Houve um consenso quanto à necessidade de prosseguir nos estudos de viabilidade mas foram ressaltadas as dificuldades de um projeto desse porte⁽¹⁾.

Um passo decisivo para os estudos de viabilidade foi a realização no Rio de Janeiro, em agosto de 1983, de uma ampla reunião sobre "Técnicas e Aplicações da Radiação Sincrotron" em que foram discutidos inúmeros aspectos do problema e se verificou que na comunidade se desenvolvia um interesse pelas possibilidades de aplicações da RS e que as condições técnicas locais apresentavam-se favoráveis para se enfrentar os problemas do projeto e construção dos equipamentos para um laboratório de RS. A reunião contou com a presença de especialistas estrangeiros que participaram criticamente das discussões⁽²⁾.

Em outubro de 1983 foi criado pelo Presidente do

CNPq o Comitê Executivo do Projeto Radiação Síncrotron que passou a se reunir regularmente e a discutir cautelosamente a viabilidade e as dificuldades do projeto, evitando a tomada a pressada de decisões, antes de uma análise mais realista das condições locais, e dos projetos existentes em outros países.

Na 5a. reunião do CEPRS em abril de 1984 se verificou que as condições haviam amadurecido o suficiente para se enfrentar o problema de se definir uma proposta de parâmetros preliminares para uma máquina que produzisse RS. Desta reunião participou o Prof. Daltro Pinatti e se discutiram as possibilidades de se construir no Brasil um "Wiggler" supercondutor. Como resultado da reunião ficou decidido que se deveria explorar as possibilidades e características de uma máquina com energia de 800 MeV que, com "Wiggler", poderia produzir RS com características que atenderiam pelo menos parte dos interesses dos possíveis usuários.

O presente pre ante-projeto foi então elaborado e apresentado em sua forma preliminar na 6a. reunião do CEPRS de 17 de maio passado tendo sido longamente discutido e criticado. A presente forma reelaborada para apresentação na 1a. reunião do Conselho Técnico Científico do Projeto Radiação Síncrotron a se realizar em São Paulo a 03/07, incorpora as sugestões feitas na referida reunião do CEPRS.

2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES:

A escolha dos parâmetros e a configuração para uma máquina que produza RS é um problema complexo e deve levar em conta inúmeros fatores.

Por um lado os feixes produzidos devem apresentar o

interesse para os possíveis utilizadores. Quanto mais variadas forem as características disponíveis e particularmente, quanto mais alta a energia e intensidade da radiação produzida, mais cara e mais complexa será a máquina.

Por outro lado, se deve levar em conta as dificuldades para se projetar e construir uma máquina no Brasil, com um mínimo de dependência de importações.

Além disso, no intervalo de tempo entre o projeto inicial e a entrada em funcionamento da máquina é de se esperar que haja uma evolução tanto dos equipamentos periféricos e acessórios da máquina (detetores, "wiggler", etc) bem como do próprio interesse na utilização dos feixes para as várias linhas de pesquisa e de aplicações.

Outro fator a ser considerado é que, como esta seria a primeira máquina de Radiação Síncrotron no país, a demanda por parte dos utilizadores deve ser limitada no início da operação devendo crescer com o tempo. A experiência adquirida em outros países deve ser aproveitada ao máximo, entretanto não se deve cair no erro de copiar indiscriminadamente projetos já executados. Nossas condições são em geral diferentes tanto no que se refere as necessidades que temos quanto à utilização da máquina quanto no que se refere à nossa capacitação em projeto, materiais disponíveis, processos e equipamentos de fabricação, formas de financiamento e gerenciamento, disponibilidade de cientistas e técnicos especializados etc.

A capacitação local para o projeto e construção da máquina conta por um lado com uma tradição de 35 anos na construção e operação de aceleradores. Por outro lado, o porte do presente projeto é maior do que todos os anteriores e en-

volve várias técnicas nas quais não há ainda experiência local. O parque industrial brasileiro apresenta muitos recursos mas muitas tecnologias deverão ser desenvolvidas.

Todos os fatores acima devem ser convenientemente balanceados para se chegar a uma proposta de parâmetros e configuração que por um lado tenha viabilidade e por outro apresente suficiente interesse técnico e científico para os utilizadores que justifique o investimento dos recursos financeiros e principalmente humanos que o projeto requer.

Para se chegar a uma proposta é necessário inicialmente definir diretrizes gerais que devem orientar o projeto como um todo.

3. DIRETRIZES GERAIS DO PROJETO:

As considerações acima levam a propor algumas diretrizes gerais do projeto que passamos a enumerar:

a) o projeto deverá utilizar ao máximo recursos locais. A atual situação do país torna indesejável que o projeto dependa muito de importações. Além das dificuldades em obter recursos para importar equipamentos, os possíveis atrasos seriam indesejáveis e o desenvolvimento de novas tecnologias é também um dos objetivos do projeto

b) é importante que se obtenha num tempo não excessivamente longo feixes de Radiação Síncrotron utilizáveis. Mesmo que inicialmente as características dos feixes sejam limitadas é importante se dispor o mais rapidamente possível de feixes de Radiação Síncrotron utilizáveis. É da utilização dos feixes que sairão os subsídios e se definirão as necessidades para se aperfeiçoar e implementar a máquina.

c) a máquina deve ter características conservadas. Os parâmetros da máquina devem ser escolhidos com larga margem de segurança, não exigindo que os materiais e equipamentos operem em situações extremas, pelo menos numa fase inicial. Assim, haverá mais garantias de que a máquina terá condições efetivas de funcionar e se pode deixar para fases posteriores a extensão das características da máquina, aproveitando todas as suas potencialidades e levando-a aos limites de operação.

d) a máquina deve ser projetada localmente levando em consideração as necessidades e possibilidades locais. Não se deve copiar projetos já desenvolvidos em outros países, pois não atenderiam nossas conveniências. Esses projetos devem ser criteriosamente estudados e analisados para aproveitar tudo que for de nossa conveniência. Certamente teremos necessidade da assessoria de especialistas estrangeiros que estejam dispostos a entender nossas necessidades e condições.

e) o projeto deve ser muito flexível, permitindo a incorporação de novos equipamentos e acessórios após a entrada em funcionamento da máquina. Por mais que se procure, na fase do projeto, obter informações precisas sobre as necessidades dos usuários, durante a vida útil da máquina surgirão novas solicitações quanto a características de feixes para novos e imprevistos usos e para a incorporação de acessórios e equipamentos inexistentes na época de projeto inicial. Deve assim ser feito um grande esforço para se prever "todas" as possíveis utilizações da máquina e deixar na medida do possível, abertas as possibilidades de posterior expansão. Devem também ser consideradas as possibilidades de uso não convencional como a utilização de feixes de elétrons, de fó-

tons de alta energia etc.

4. ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO E PARÂMETROS BÁSICOS:

O processo de escolha da configuração levou em consideração o exposto acima, o estudo que fizemos de projetos de máquinas existentes e propostas, de nossa experiência pessoal de muitos anos de convivência com aceleradores bem como das recentes visitas feitas por Philippe Gouffon e Jiro Takahashi a vários laboratórios de Radiação Síncrotron. Procuramos também levar em consideração o que pudemos absorver das discussões sobre Radiação Síncrotron realizadas no país nos últimos três anos. ((3) a (14))

A configuração escolhida é formada por três componentes básicos (Figura 1).

I) Um microtron pulsado com sistema de injeção formado por um canhão, picotador (chopper), compactador (buncher) pré acelerador e acelerador

II) Um síncrotron

III) Um anel de armazenamento

Esta configuração permitirá em uma primeira fase operar o anel de armazenamento em uma energia de 800 MeV que poderia produzir Radiação Síncrotron utilizável principalmente se forem inseridos um ou mais "wigglers" nas seções retas.

Propomos que para esta energia o campo dos imãs do anel e do síncrotron sejam relativamente baixos (7 kgauss ou 0,7 Tesla).

Com esta escolha se evitam problemas da saturação no ferro e se pode trabalhar com potências relativamente modestas tanto nos imãs dipolares como nas cavidades aceleradoras

de radiofrequência no síncrotron e anel. Nessas condições a potência da radiação síncrotron que atinge as paredes da câmara de aceleração no síncrotron e anel também é baixa o que diminui os problemas de vácuo.

Naturalmente a energia e a potência da Radiação Síncrotron emitida pelos imãs dipolares fica limitada porém, como foi dito acima, a inserção de "wigglers" nas seções retas principalmente se de campo elevado, permitiriam a obtenção de Radiação Síncrotron plenamente utilizável.

Propomos que o Anel só armazene os elétrons e que a pós aceleração da energia do microtron à do anel seja feita no síncrotron pós acelerador.

Numa segunda fase, a energia do anel poderia ser aumentada em vários passos até energias da ordem de 1,5 GeV ou mesmo mais. Este aumento da energia envolveria o aumento da capacidade de corrente das fontes de alimentação dos imãs, da potência de microondas, da refrigeração do sistema e de a finamento nos sistemas de controle para enfrentar as não linearidades do ferro no síncrotron e no anel.

Nesta segunda fase seriam obtidos feixes de Radiação Síncrotron bem mais intensos e de energias mais altas (ver Tabela I).

Naturalmente as decisões de se passar para a segunda fase dependeriam de uma avaliação do desempenho da máquina na primeira fase e da evolução das necessidades dos usuários.

Naturalmente o custo e dimensões da máquina de 800 MeV proposta será mais alto do que o de uma máquina dessa mesma energia sem possibilidade de expansão posterior, entretanto entendemos que a flexibilidade obtida compensaria ampla-

mente a diferença entre os custos.

Propomos que o Síncrotron e o Anel usem ímãs dipolares iguais o que simplificaria os problemas de construção.

5. O MICROTRON:

Para o microtron pulsado do tipo "Race-track" escolhemos a configuração indicada na figura 2. Os elétrons são injetados por um canhão de 100 keV são pré-acelerados até 3 MeV e no microtron ganham 14 MeV por volta atingida após 9 voltas a energia de 130 MeV.

Esta máquina é bastante convencional e os ímãs operam em corrente contínua. Se optou por uma pré-aceleração até 3 MeV para evitar as dificuldades de injeção em energias menores que exigem campos magnéticos muito bem controlados. Alguns projetos existentes injetam em 45 keV mas consideramos que esta opção seria arriscada para nossas condições. A energia de 130 MeV escolhida para o microtron atende-as seguintes condições: pode ser atingida com o uso de uma única Klystron com um número adequado de voltas; permite a obtenção de um feixe com boas características ópticas para injeção no síncrotron; a energia é suficiente para que a injeção no síncrotron ocorra com campo magnético suficientemente alto para evitar os problemas de magnetismo remanente e das correntes induzidas. As outras características de Microtron que propomos estão na tabela II.

6. O SINCROTRON (PÓS-ACELERADOR):

Para passar dos 130 MeV do Microtron aos 800 MeV

(1a.fase) do Anel propomos a utilização de um síncrotron (figura III) funcionando na taxa de repetição de 10 Hz. Esta taxa de repetição é de uso comum e é suficiente para se encher o anel num tempo razoável sem apresentar excessivas exigências quanto às distorções do campo devido às correntes de Foucault

Para o Síncrotron seriam selecionados os melhores ímãs fabricados pois o síncrotron é mais crítico quanto à uniformidade do campo dos ímãs do que o Anel. Nas condições propostas a razão entre o valor do vetor indução magnética B na injeção e na extração é 6 o que é bastante confortável.

Os parâmetros propostos para o síncrotron estão na tabela III. Numa 2a.fase, para se aumentar a energia para 1,5 GeV será necessário complementar as fontes de correntes dos ímãs e aumentar a potência aceleradoras de microondas. Caso se encontre dificuldades em atingir no Síncrotron a energia máxima em que o anel pode operar, será possível se proceder à aceleração final no próprio Anel. É possível que este procedimento resulte mais conveniente para se atingir as energias limites do sistema, se desejável.

7. O ANEL:

O Anel utilizaria ímãs iguais ao do Síncrotron. Não foi efetuada uma avaliação mais detalhada da óptica do anel. Aceitamos assim, em princípio uma configuração como a proposta por Le Duff (3) tendo sido alteradas as dimensões (Figura IV). Alguns parâmetros do Anel, estão indicados na tabela IV.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O PROJETO:

Nosso estudo foi baseado em projetos existentes e adaptado ao que entendemos que são nossas necessidades e nossas possibilidades dentro das diretrizes citadas acima. Foram feitas algumas consultas a possíveis fornecedores e há propostas específicas de Klystrons disponíveis no mercado.

Os detalhes apresentados são apenas para orientação e correspondem a estimativas "educadas" que acreditamos tem validade para orientar as discussões e dar uma idéia do que se pode fazer. De nenhuma forma devem levar a subestimar o trabalho ainda a ser feito para se chegar a um desenho conceitual responsável baseado em estudos pormenorizados.

8. OS PRÓXIMOS PASSOS:

Havendo consenso de que o esquema proposto é o adequado ou pelo menos um ponto de partida cabe prosseguir para um pré-projeto que deve envolver, ainda conceitualmente, o estudo de todo o sistema, com cálculos dos imãs, ótica de feixe, cavidades, sistema de vácuo, sistemas elétricos de alimentação, sistemas de controle, refrigeração, blindagem, "wigglers", canais de saídas de feixes e suas características, etc. Deve levar também em conta alternativas e possibilidades de expansão ou alteração (flexibilidade) visando atender os possíveis usuários das mais variadas áreas a serem insistentemente consultados diante dos parâmetros do projeto. Além disso o pré-projeto deve já ter uma estimativa de preços e das dificuldades em se completar o projeto, incluindo um cronograma da execução.

Acreditamos que como ordem de grandeza seria possível se desenvolver um pré-projeto em 9 meses e completar o projeto em mais doze meses. Assim a construção poderia começar em 21 meses.

A construção poderia durar cerca de 30 meses assim em 5 anos seria possível se ter uma máquina operando (na 1.ª fase).

Para isso, paralelamente ao pré-projeto seria necessário iniciar imediatamente a construção de um canhão, módulos de imãs, módulos de cavidades, módulos de fonte de alimentação, etc. para testar materiais, processos e opções.

Para encaminhar o projeto torna-se necessário implantar com urgência uma estrutura Científico-Técnico-Administrativa-Financeira que com o tempo se ampliaria e se transformaria na estrutura do próprio Laboratório de Radiação Síncrotron.

9. AGRADECIMENTOS:

Agradecemos as sugestões, críticas e apoio recebido por ocasião da apresentação da versão preliminar do pré-projeto por ocasião da 6.ª reunião do CEPRS e particularmente aos Drs. Roberto Lobo, Argus Moreira e Aldo Craievich pelo apoio, crítica, sugestões e inestimável encorajamento. Agradecemos também o apoio e contribuições por parte do pessoal do Laboratório do Acelerador Linear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e particularmente da Dra. Elisa Wołynec.

TABELA I - CARACTERÍSTICA DA RADIAÇÃO SINCROTRON (Pré-Ante-Projeto-6/84)

NO ANEL	800 MEV	1,2 GeV	1,5 GeV	
Comprimento de radiação crítico λ_c	4,34 43,4 0,286	1,29 12,0 0,962	0,69 6,9 1,798	nm Å keV
Comprimento de radiação utilizável λ_{min}	0,87 8,7 1,430	0,26 2,6 4,77	0,14 1,4 8,8	nm Å keV
<u>NO WIGGLER DE 2 T</u>				
Comprimento de radiação crítico λ_c	1,45 14,5 0,856	0,64 6,4 1,94	0,41 4,1 3,03	nm Å keV
Comprimento de radiação utilizável λ_{min}	0,29 2,9 4,28	0,13 1,3 9,55	0,8 0,8 15,51	nm Å keV
<u>NO WIGGLER DE 5 T</u>				
Comprimento de radiação crítico λ_c	0,58 5,8 2,14	0,28 2,8 4,43	0,16 1,6 7,75	nm Å keV
Comprimento de radiação utilizável λ_{min}	0,12 1,2 10,34	0,05 0,5 24,82	0,03 0,3 41,37	nm Å keV
<u>NO WIGGLER DE 10 T</u>				
Comprimento de radiação crítico λ_c	0,29 2,9 4,28	0,13 1,29 9,62	0,08 0,826 15,03	nm Å keV
Comprimento de radiação utilizável λ_{min}	0,06 0,58 21,4	0,03 0,26 47,7	0,02 0,165 75,2	nm Å keV

TABELA II - CARACTERÍSTICAS DO INJETOR "RACETRACK-MICROTRON" - 26/84

Tensão do canhão	100 kV
Corrente do canhão	200 mA de pico
Filamento do canhão	8 V, 12 A
Frequência de R.F.	3 GHz
Energia final	~ 130 MeV
Corrente de pico final	50 mA ($\sim 10^9$ elétrons por "pacote" ("bunch"))
Energia ganho por volta	14 MeV
Nº de voltas	9
Tipo de cavidade	"side coupled" ou biperiódico
Impedância shunt efetiva	64 M Ω /m
Gradiente de campo	14 MeV/m
Potência média da R.F.	{ 4W (2 μ s, 10 Hz) 24 W (2 μ s, 60 Hz)
Potência de pico da R.F.	2 MW
Largura de pulso	2 μ s
Pulsação (frequência)	10 Hz (com possibilidade de operar em 60 Hz)
Tipo da Klystron (uma)	TV 2013 (60 kw médios) ou TV 2012 (10 kw médios) da CSF
Campo magnético do eletro-ímã	0,7 T
Diâmetro da 1ª órbita	16 cm
Separação entre órbitas	13,5 cm
Diâmetro da última volta	1,23 m
"Gap" do eletro-ímã	6 cm
Peso do imã (ferro)	15 Ton (cada)
Peso do cobre	250 kg (cada)
Ampère-espira (Ni)	33.000 (cada)
Corrente do imã	550 A (cada)
Tensão do imã	66 V (cada)
Dissipação no imã	36 kW (cada)
Dissipação nos quadrupolos e steerings	<< 36 kW
Dissipação total	- 75 kW

TABELA III - CARACTERÍSTICAS DO SINCROTRON ACELERADOR (BOOSTER) (06/84)

Comprimento da órbita	60 m
Raio médio da órbita	9,55 m
Frequência	10 Hz. (senoide + bias DC)
<u>IMÃ DIPOLAR</u>	
Angulo de deflexão	30°
Comprimento da peça polar	2 m
Raio de curvatura	4 m
Nº de imãs	12
Intensidade do campo magnético	$\left\{ \begin{array}{l} (0,1 \rightarrow 0,67) \text{ T para } 800 \text{ MeV} \\ (0,1 \rightarrow 1,0) \text{ T para } 1,2 \text{ GeV} \\ (0,1 \rightarrow 1,25) \text{ T para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Peso do imã (ferro)	-
Peso do cobre	-
Gap"	6 cm
Ampère-espira	$\left\{ \begin{array}{l} -33.000 \text{ para } 800 \text{ MeV} \\ -47.000 \text{ para } 1,2 \text{ GeV} \\ -59.000 \text{ para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Potência de pico (total)	-100 kW (p/800 MeV)
<u>SEÇÃO ACELERADORA</u>	
Frequência	500 MHz
Tipo de cavidades	"disc loaded"
Modo de operação	π
Nº de cavidades	3
Gradiente de campo	500 kV/m (máximo)
Comprimento da seção	90 cm
Aumento da tensão de aceleração em - 15 ms	$\left\{ \begin{array}{l} 144 \text{ kV} \rightarrow 270 \text{ kV para } 800 \text{ MeV} \\ 180 \text{ kV} \rightarrow 360 \text{ kV para } 1,2 \text{ GeV} \\ 220 \text{ kV} \rightarrow 450 \text{ kV para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Potência de R.F.	30 kW (C.W.) (p/1,5 GeV)
Tipo de Klystron	F-2008 da CSF

TABELA IV - CARACTERÍSTICAS DO ANEL DE ARMAZENAMENTO (06/84)

Comprimento da órbita	120m
Raio médio	-19 m
Imã dipolar (anel)	igual ao do Sincrotron
nº de imãs	12
Seção aceleradora (R.F.)	igual ao do Sincrotron
Seção reta entre imãs dipolares	7,9 m
Intensidade do campo magnético	$\left\{ \begin{array}{l} 0,67 \text{ T para } 800 \text{ MeV} \\ 1,0 \text{ T para } 1,2 \text{ GeV} \\ 1,25 \text{ T para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Perda de energia por radiação por eletrón por volta sem Wigglers	$\left\{ \begin{array}{l} 9,05 \text{ keV para } 800 \text{ MeV} \\ 45,8 \text{ keV para } 1,2 \text{ GeV} \\ 112 \text{ keV para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Potência irradiada por uma corrente de 500 mA sem Wigglers	$\left\{ \begin{array}{l} 4,5 \text{ kW para } 800 \text{ MeV} \\ 22,5 \text{ kW para } 1,2 \text{ GeV} \\ 56 \text{ kW para } 1,5 \text{ GeV} \end{array} \right.$
Tempo de enchimento	alguns minutos

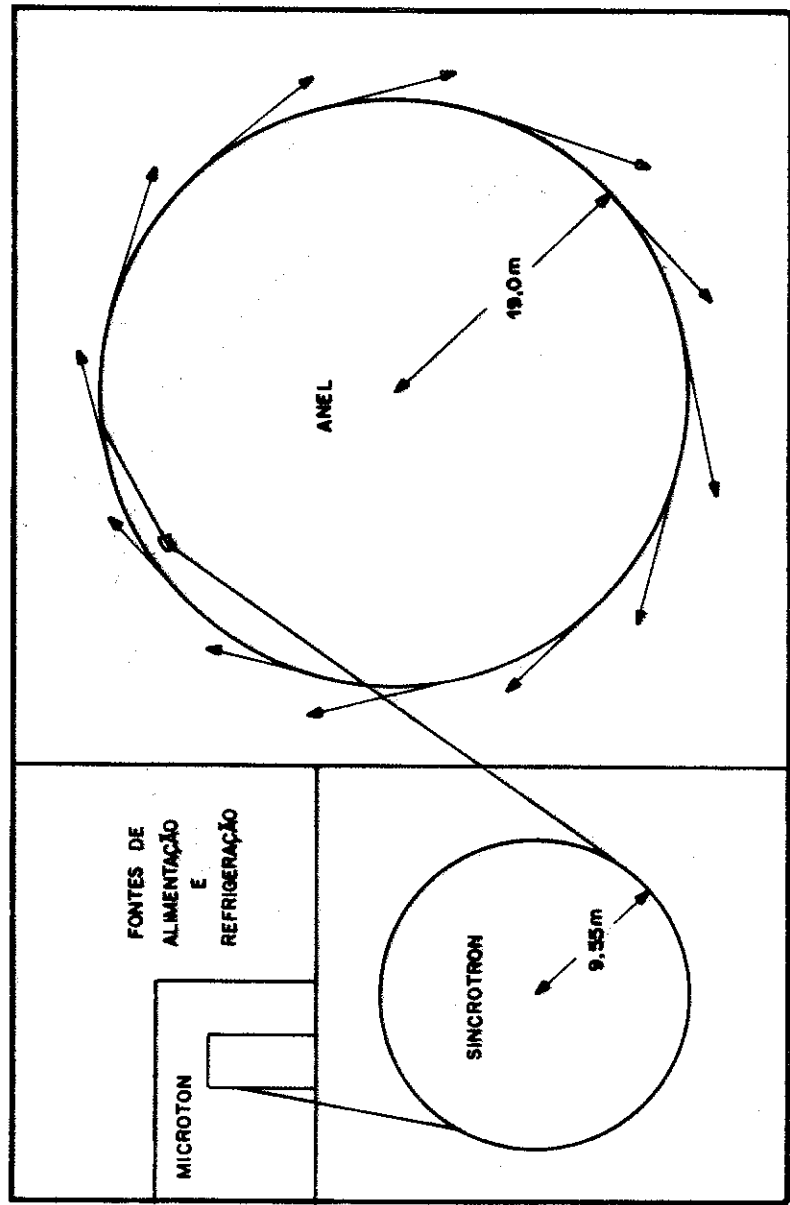


Fig. I - CONFIGURAÇÃO BÁSICA (06/84)

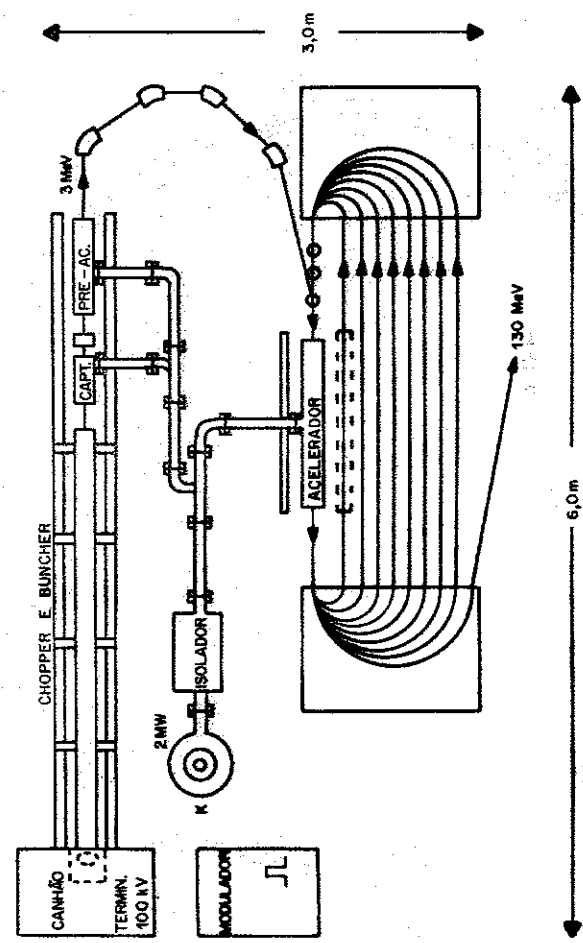


Fig. II - INJETOR DO SINCROTRON (06/84)

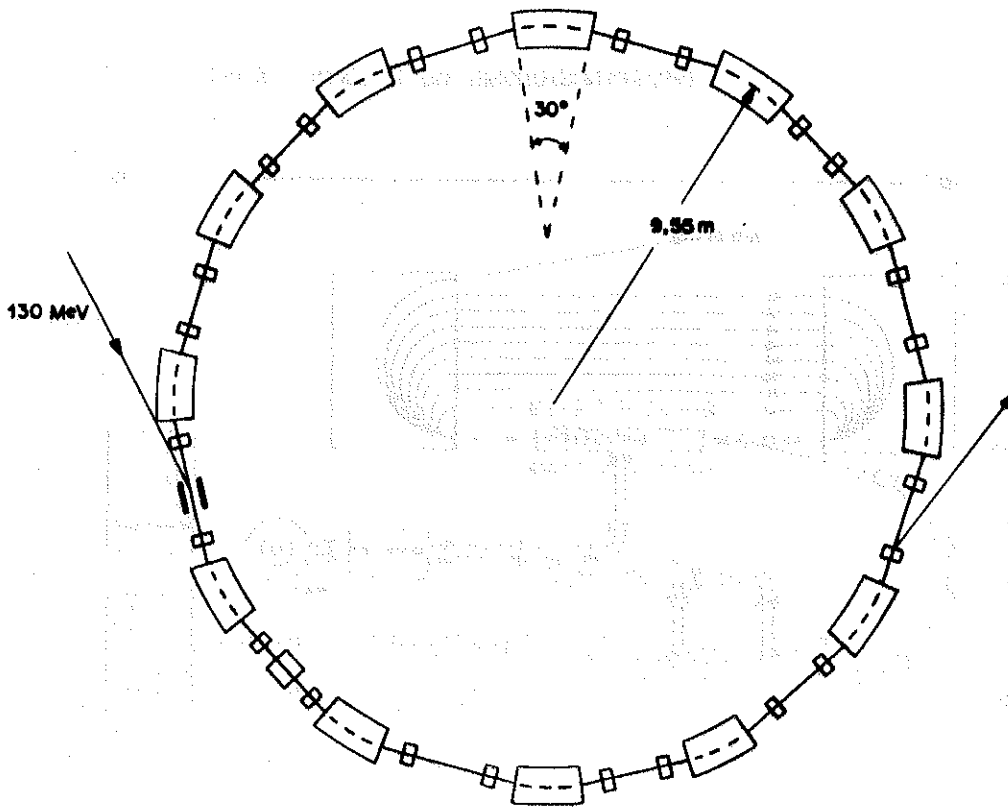


Fig. III - SINCROTRON (BOOSTER) (06/84)

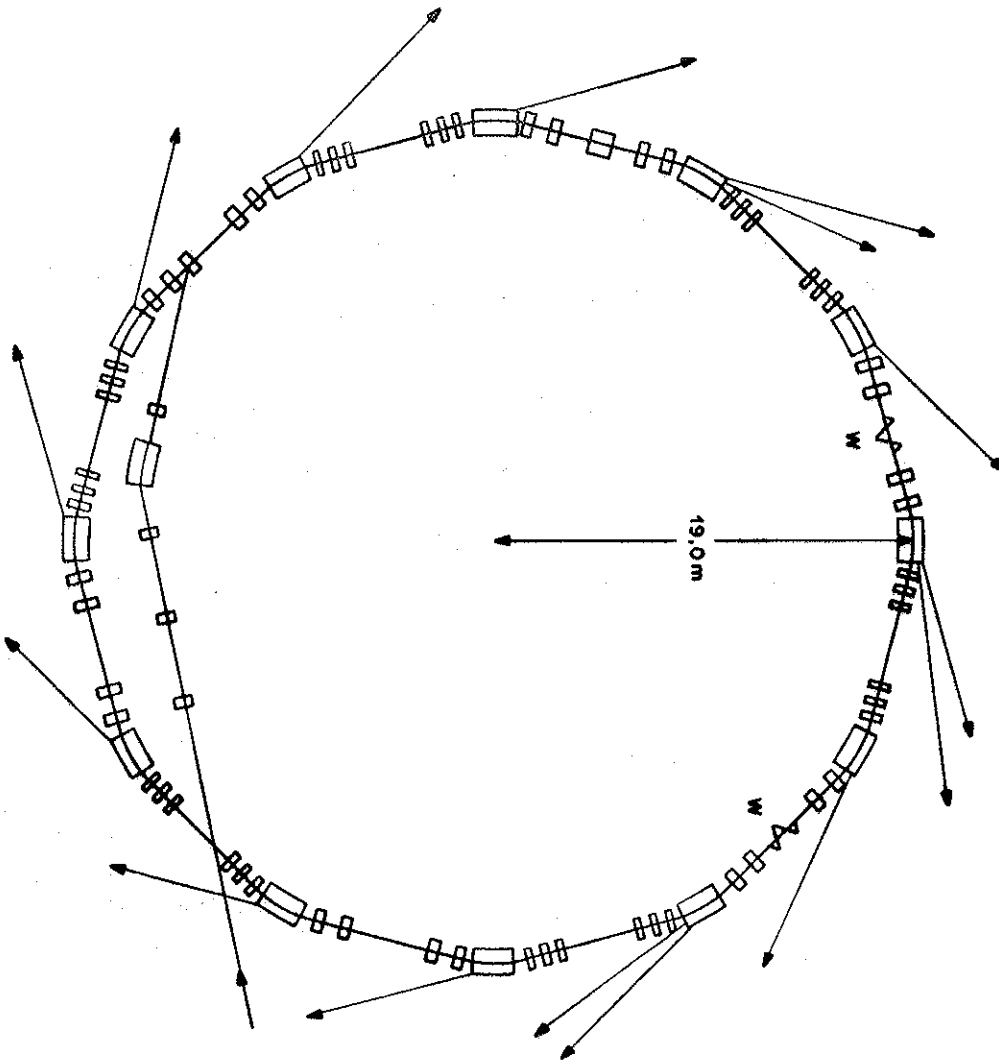


Fig. IV - ANEL DE ARMAZENAMENTO (06/84)

BIBLIOGRAFIA

- (1) Projeto Radiação Síncrotron - CBPF/PRS - 003/83 - Encontro das Sociedades Científicas sobre a Proposta Preliminar no Estudo de viabilidade para a implantação de um Laboratório Nacional de Radiação Síncrotron - BRASÍLIA, 12/08/1982.
- (2) Projeto Radiação Síncrotron - CBPF/PRS - 008/83
"Técnicas e Aplicações da Radiação Síncrotron"
Rio de Janeiro, 01 a 03 de agosto de 1983 - (Republicado em 1984 SBF).
- (3) Conceptual design of a 1,2 GeV storage ring extending in the hard X-ray region
J. LeDuff - No apendice II da (2)
- (4) Synchrotron Radiation Research
Herman Winick & S.Doniach
Plenum Press
- (5) Aladdin Microton Project
I.E.E.E. Trans. on Nuclear Science June, 1981
Volume NS-28 n° 3
- (6) European Synchrotron Radiation Facility - ESRF - STRASBURG (FRANÇA) 4 volumes.
- (7) The 2,5 GeV Electron Synchrotron of University of Bonn
K.H. Althoff, et al
N.I.M. 61 (1968) -30
- (8) Proceedings of the International Symposium on Magnet Technology (1965) - SLAC - H.Brechna & H.S.Gordon
- (9) Fisica con Anelli di Accumulazione che si intersecano (1971)
Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi"
XLVI Corso
B. Touschek

- (10) The State of Particle Accelerator and High Energy Physics Fermilab - (1981).
R.A. Carrigan, Jr.; F.R.Huson; M.Month.
- (11) The CERN Electron Storage Ring Model
F.A., Ferger et al - CERN 64-19 - GENEVE
- (12) A detailed design study for the "Nina Booster"
M.C. Crowley - Milling - D.N.P.L./R13 - DARESBURY, (1971)
- (13) Conceptual Design Report P.E.P.
L.B.L. - 4288 - SLAC/189 - (1976)
- (14) Design of UVSOR light source at I.M.S.
M. Watanabe et al
I.E.E.E. Trans. on Nuclear Science - June 1981
NS - 28 n° 3.