

Pablo Nogueira é jornalista de ciência e já trabalhou em publicações como *Veja*, *Galileu* e *Unesp Ciência*, da qual foi diretor.



INOVAÇÃO

O CAMINHO DA LUZ

Brasil constrói um dos mais sofisticados aceleradores síncrotron do planeta e investe alto na pesquisa para gerar inovação

Pablo Nogueira



MAGINE UM MICROSCÓPIO CAPAZ DE ENXERGAR, em detalhes, a estrutura atômica das organelas que existem no interior da célula, como ribossomos, mitocôndrias e DNA. E que fosse capaz de gerar imagens sob diferentes perspectivas, de forma que pudessem ser agrupadas e gerar uma representação tridimensional destas estruturas. Algo semelhante ao que faz um tomógrafo médico – mas com uma resolução na escala do milionésimo de milímetro.

Uma máquina com essas capacidades está sendo construída no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas, ainda que não seja propriamente um microscópio ou um tomógrafo. Uma fonte de luz síncrotron é um acelerador de partículas, desenhado para fazer elétrons viajarem a 99,999% da velocidade da luz. Quando têm sua trajetória desviada por um campo magnético, os elétrons emitem radiação eletromagnética numa ampla faixa do espectro, desde o infravermelho até os raios X, e essa emissão é a chamada luz síncrotron. Essa radiação é a seguir direcionada para uma estação experimental, onde será usada para caracterizar a estrutura de um objeto no nível atômico.

Atualmente cerca de 40 síncrotrons estão em funcionamento em países como Estados Unidos, Japão, China, Índia, Alemanha, França e Suécia. O Brasil tem uma fonte em funcionamento desde 1997. A nova unidade em construção, que vai substituir a anterior, é chamada de Sirius.

A construção do Sirius é o maior projeto em andamento na área de C&T no Brasil: entre os gastos com engenharia, desenvolvimento tecnológico, aquisição de equipamentos e recursos humanos, o total previsto é de R\$ 1,7 bilhão. O empreendimento está a cargo do LNLS, que integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). O financiamento vem do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e por seu caráter estratégico foi inscrito entre as obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Apesar do cenário desfavorável de corte de gastos públicos, o governo federal vem conseguindo manter o financiamento necessário para que as obras de construção mantenham seu cronograma, que prevê o comissionamento (fase inicial de testes) em 2018.

A avaliação da comunidade de pesquisa é que a UVX, a fonte em atividade no Brasil há quase 20 anos, perdeu competitividade em relação aos equipamentos disponíveis fora do país. Desde a década passada cogita-se a construção de uma nova unidade. Em 2012 a equipe do LNLS apresentou a um comitê consultivo internacional um primeiro projeto para o Sirius. Após a análise, o comitê, formado por especialistas internacionais da área de síncro-



trons, desafiou os brasileiros a elaborarem um acelerador bem mais sofisticado, tanto em termos de performance quanto de desenvolvimento tecnológico.

Os brasileiros aceitaram o desafio e, em um ano, apresentaram uma nova proposta, aprovada com elogios pelo comitê. O Sirius será um síncrotron de quarta geração, o segundo do mundo a merecer essa classificação. Sua luz terá um brilho superior à do NSLS-II, o mais moderno síncrotron de terceira geração. Inaugurado ano passado nos EUA, custou US\$ 912 milhões, ou mais do que o dobro do valor previsto para o projeto brasileiro.

INÍCIO DO ZERO

Quando em 1985 teve início o projeto da UVX, a fonte atualmente em operação, apenas meia dúzia de brasileiros já haviam usado um acelerador desse tipo. Hoje o LNLS congrega uma comunidade de 2 mil usuários, dos quais 15% vêm da Argentina. “Por seu tamanho e custo, este tipo de *facility* não se restringe aos pesquisadores de um país, mas serve à comunidade internacional”, diz Antônio José Roque, diretor do projeto. O know-how acumulado pelo país ao longo destes 30 anos de atividades é o que embasa a empreitada. “Todo o projeto, do maquinário às obras de engenharia civil, é 100% nacional”, destaca Roque.

O Sirius é também uma oportunidade de fomentar o desenvolvimento tecnológico no Brasil. “É um pouco como se fosse o nosso equivalente a enviar um homem à Lua. Estamos desenvolvendo instrumentos e soluções que não existem em nenhum lugar do mundo, e que possivelmente serão usadas em outros síncrotrons depois. Será um novo mercado para as empresas que colaboram conosco”, diz Harry Westfahl Júnior, que é o coordenador científico do LNLS e responsável pela elaboração das linhas de luz que serão instaladas no Sirius.

Em 2013 foi criado, em parceria com a Fapesp e com a Finep, um programa intitulado Subvenção Econômica à Pesquisa para Inovação no Desenvolvimento do Novo Anel Acelerador Sirius do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). A equipe do Sirius apresentou a empresários brasileiros os requisitos para a pro-



AS INSTALAÇÕES do novo acelerador terão 68 mil metros quadrados de área construída e poderão comportar 40 linhas de luz. Área total, de 150 mil metros quadrados, foi doação do governo do Estado

dução de equipamentos que fazem parte do novo acelerador, e as duas agências financiadoras disponibilizaram R\$ 40 milhões para financiar o desenvolvimento. Em 2015 foi feita uma segunda chamada do programa, com outros 13 desafios e disponibilizando mais R\$ 20 milhões.

O LNLS acompanha o trabalho das empresas para assegurar que o produto final esteja dentro das especificações e da exigência de qualidade. “É óbvio que temos todo o interesse em que as empresas sejam bem-sucedidas. Mas se ao final o resultado não for considerado satisfatório, não vamos adquirir o equipamento”, diz Roque. “Mas como se trata de um projeto inovador, não são equipamentos que poderiam ser adquiridos facilmente, mesmo no mercado internacional. A parceria que temos com as empresas é quase um co-desenvolvimento mesmo”, diz. “Até aqui, as parcerias com as empresas são consideradas um sucesso”, avalia Carlos Américo Pacheco, diretor do CNPEM.

MAIS BRILHO

Dois conceitos-chave para o funcionamento de um síncrotron são os de brilho e emitância. O brilho é o número de fótons emitido por uma fonte de luz por intervalo de tempo, por unidade de tamanho e por divergência angular da fonte. Uma fonte bastante brilhante emite um feixe com grande número de fótons e com feixes de luz paralelos. A emitância é o produto do tamanho da fonte e da divergência angular do feixe que ela emite. Quanto menor a emitância, maior o brilho.

O Sirius terá uma emitância dez vezes, ou uma ordem de grandeza, menor do que a obtida nos aceleradores construídos dos anos 1990 para cá, e um brilho uma ordem de grandeza maior. “A fonte atual tem uma emitância de 100 nanômetros radianos. O projeto original previa reduzir para 2,8. Com a revisão, conseguimos baixar para 0,2”, conta Ricardo Rodrigues, coordenador da divisão de aceleradores do Sirius.

É a menor emitância já alcançada num síncrotron com energia de 3 GeV. Uma vez que as máquinas construídas nos últimos 25 anos foram consideradas como de terceira geração, o Sirius, por ter um desempenho de uma ordem de grandeza melhor, foi classificado como pertencente à quarta geração. O outro acelerador de quarta geração existente, atualmente em fase de comissionamento na Suécia, é chamado de MAX-IV.

Quando o Sirius estiver em funcionamento, será capaz de gerar um feixe de elétrons extremamente coeso, com dez milésimos de milímetro de diâmetro, que se deslocará dentro de uma câmara de vácuo de 24 mm de diâmetro. Essa câmara tem a forma de um anel de 518 metros de comprimento. O que mantém o feixe focado e na trajetória certa é a ação de eletroímãs. Só no anel de armazenamento são usados 680. “É um total 30% menor ao empregado no MAX-IV”, diz Rodrigues. No total, o Sirius vai empregar 1.350 eletroímãs, alguns dos quais alcançarão uma densidade de fluxo magnético de 3,2 teslas, o que equivale a mais de 32 mil vezes o campo magnético da Terra.

Para assegurar a baixa emitância, é preciso que todo o acelerador seja o mais estável possível. Nos eletroímãs, as oscilações não poderão passar de 50 milionésimos de milímetro para que a máquina funcione com potencial máximo. Algo ainda mais difícil de se obter levando-se em conta as enormes peças de metal que chegam a pesar 400 kg. Esse parâmetro dá o grau de exigência e de tecnologia requerido na fabricação dos componentes.

PIONEIRISMO

Projeto inicial enfrentou resistências

A ideia de oferecer à comunidade acadêmica brasileira um síncrotron surgiu no Rio de Janeiro, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) nos anos 1980. Anos se passaram sem que uma proposta mais consolidada emergisse, até que a comissão responsável pelo projeto decidiu, em meados da década, situá-lo na área do Polo de Desenvolvimento de Alta Tecnologia de Campinas. O físico Rogério Cezar de Cerqueira Leite, na época, presidia a Companhia de Desenvolvimento do Polo de Alta Tecnologia de Campinas. “Até então todos os equipamentos de algum porte haviam sido encomendados, projetados e construídos no

exterior. Desde os primitivos Belatom da Universidade de São Paulo, até os simplificados subcríticos reatores experimentais de todo o Brasil”, lembra o pesquisador. “Aceitei participar com a condição de que o projeto e a construção fossem feitos no Brasil, no que tive apoio de muitos dos membros da Comissão.”

Cerqueira Leite diz que a decisão gerou resistências por parte da comunidade de físicos do Rio. Muitos não acreditavam que a jovem equipe que estava à frente do projeto tinha condições de ser bem-sucedida. Até a SBPC produziu um manifesto opondo-se à construção da máquina. Porém, Renato Archer, primeiro titular

do Ministério de Ciência e Tecnologia, tinha um ideário nacionalista e aprovou a criação do síncrotron, bem como sua localização. “A consolidação se deve, entretanto, ao profissionalismo da equipe do síncrotron e à inteligente atuação de seu líder, o físico Cylon Gonçalves da Silva.” Outro fator importante foi o apoio técnico vindo do exterior, através da Comissão Científica do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.

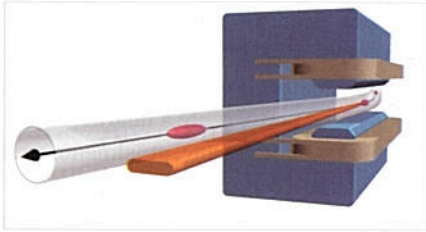
O reconhecimento do LNLS aconteceu não só com a participação intensiva de usuários de diversas disciplinas acadêmicas, mas também de empresas com projetos de inovação, destaca Cerqueira Leite.

Como funciona o síncrotron

Os feixe de elétrons é emitido a partir de um catodo e começa a ser acelerado ① para ser inserido no acelerador linear ②. Aqui, ele é acelerado até velocidades próximas à da luz e a seguir passa ao anel do booster ③, um acelerador circular. Nele, eleva-se a energia do feixe até a energia de operação das fontes de luz. Quanto esse patamar é alcançado, o

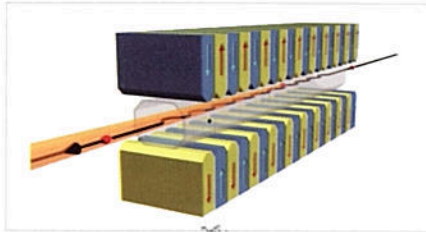
feixe vai para o anel de armazenamento ④. Lá ele é mantido em órbitas estáveis com o auxílio de imãs. Neste local, o feixe passa por dipolos e onduladores que vão curvar sua trajetória, e levar à produção da luz síncrotron ⑤. O feixe de luz é conduzido até as estações experimentais ⑥, onde é direcionado para as amostras.

Segunda geração

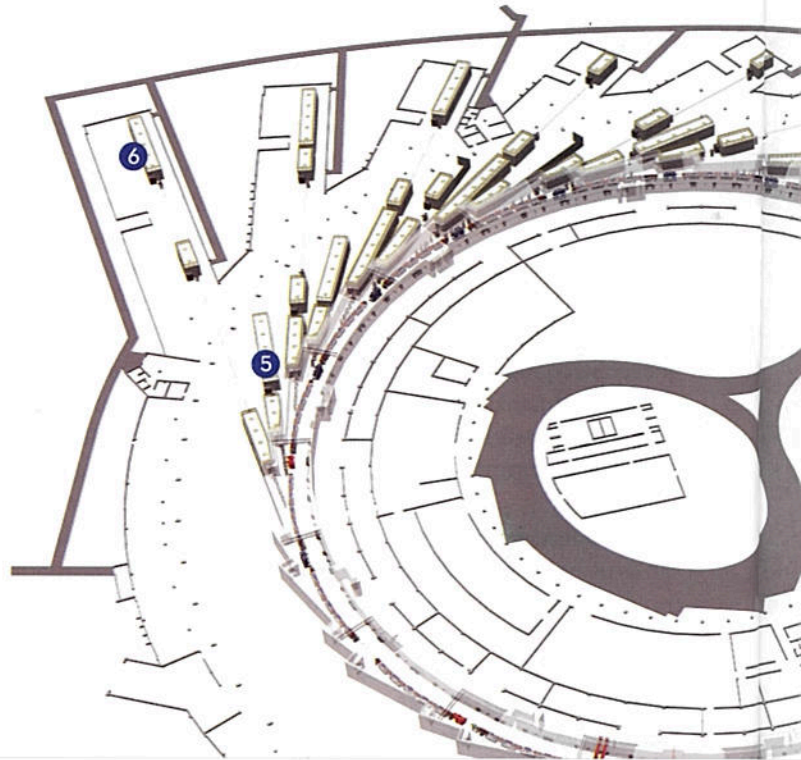


Os síncrotrons têm três tipos de imãs: dipolos, quadrupolos e sextupolos. A radiação síncrotron é emitida quando o feixe de elétrons passa pelos dipolos. Nos síncrotrons de segunda geração, as linhas de luz são colocadas prioritariamente para capturar essa luz.

Quarta geração



O anel de armazenamento contém estruturas destinadas a provocar ondulações no feixe, causadas por campos magnéticos gerados por uma sucessão de polos magnéticos alternados. Em cada oscilação ocorre emissão de luz. Nos síncrotrons de terceira e quarta geração a radiação é emitida preferencialmente através desses dispositivos.



Fabricar os eletroímãs é tarefa das WEG Indústrias S.A, de Santa Catarina, uma dos maiores fabricantes de motores elétricos do mundo. “No começo eles achavam que a fabricação seria mais fácil. Depois viram que o desafio é enorme. Mas na verdade a tecnologia necessária não é tão diferente do que é usado pela indústria. O que muda é a precisão do trabalho, que precisa ser muito maior”, explica Rodrigues. Até agora, a empresa já entregou todos os dipolos e corretoras previstos no projeto. “Eles são muito bons”, avalia Rodrigues.

ALTA ESTABILIDADE

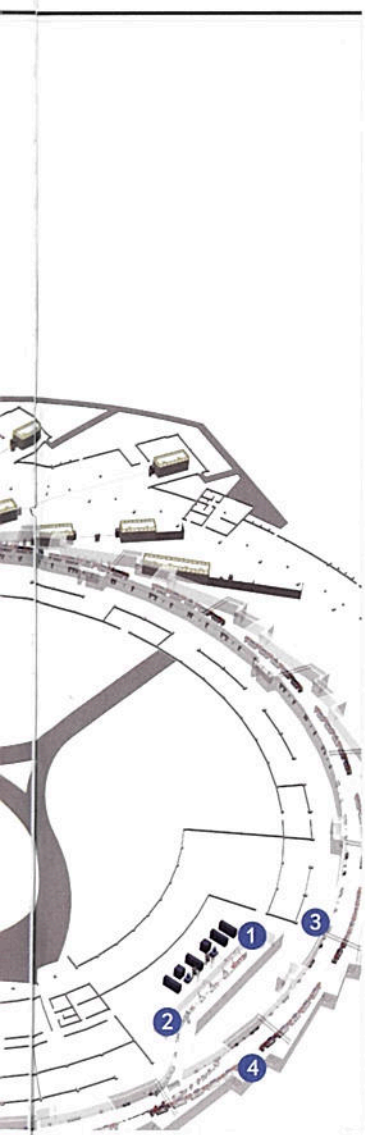
Outro fator que vai contribuir para a alta estabilidade do sistema é a construção das instalações. A estimativa de gastos original previa que metade do orçamento se destinaria à parte de construção. Deste total, 10% serão para a construção do piso.

Primeiro está sendo construído o edifício propriamente dito, que vai abrigar as instalações, escritórios, rede de eletricidade e de água, ar-condicionado etc. Uma vez terminada esta etapa, terá início a construção do chamado piso crítico, o que vai exigir

escavar a quatro metros de profundidade, mesmo com o edifício já pronto. “O que mais se aproxima das nossas necessidades é o piso das fábricas de papel, que também precisam de muita estabilidade”, explica Oscar Vigna Silva, coordenador das obras civis.

O piso crítico vai abrigar o acelerador e as linhas de luz. O piso onde se erguerá o Sirius consistirá em uma camada de 90 cm de concreto armado, apoiado sobre uma camada de 15 cm de brita tratada com cimento. Já o piso das linhas de luz terá espessura de 60 cm. Ambos estarão separados do piso do restante das edificações por juntas vedadas. Também os sistemas de água e de ar-condicionado foram planejados para oscilarem o mínimo possível.

As linhas de luz são as estações experimentais onde são acondicionados os materiais que são analisados. Por suas dimensões, o Sirius poderá abrigar até 40. O projeto original prevê 13, das quais cinco já estão num estágio de planejamento mais avançado e deverão entrar em funcionamento primeiro. São chamadas pelas siglas Ipê, Carnaúba, Ema, Cateretê e Manacá. “Cada uma delas foi concebida para possibilitar as melhores observações com aquela técnica”, diz Westfahl.



A Ema, por exemplo, usará a microespectroscopia de raios X para monitorar cinco experimentos que vão avaliar o comportamento da matéria sob pressões extremas, comparáveis às que são experimentadas no centro da Terra. A Carnaúba trabalha com nanodifração de raios X. Ela usará uma faixa do espectro conhecida como raios X “moles”. Esta faixa é estratégica para a investigação de solos agrícolas, pois permite identificar com clareza a presença de fósforo, potássio e nitrogênio. A Cateretê servirá para fazer imagens por Difração Coerente de raios X com resolução de 30 nanômetros, e permitirá um olhar inovador sobre os fenômenos biológicos, assim como nas áreas de catalisadores, óleos e polímeros. Por fim, a Ipê usará a espectroscopia de ultravioleta e os raios X moles de alta resolução para estudar a física da matéria condensada, área que deu origem aos modernos materiais supercondutores. A Manacá começou a ser desenvolvida este ano, mas também deverá estar operacional até 2018.

A capacidade de os síncrotrons produzirem descobertas científicas relevantes já está bem documentada. O Prêmio Nobel de Química de 2009, por exemplo, foi atribuído a três pesquisadores usuários dessas *facilities* nos EUA,

que estudaram a estrutura do ribossomo usando raios X. Mas o foco do Sirius está na promoção da inovação, tanto quanto no do desenvolvimento científico.

APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

O CNPEM é um laboratório aberto à comunidade científica e também à empresarial, e tem consignado em sua missão o apoio à inovação nas áreas de energia, materiais e biociências. Empresas como Braskem, Natura e, principalmente, Petrobrás já utilizaram a fonte UVX para realizar estudos em áreas como cosméticos, materiais e catálise. “Mas o uso por empresas ainda é baixo no Brasil”, diz José Roque. Ele acredita que isso pode refletir a baixa demanda por inovação em nosso setor produtivo.

Carlos Américo Pacheco, diretor do CNPEM, diz que entre as prioridades do novo projeto está a de tornar o LNLS mais conhecido junto à comunidade empresarial. Quando da construção da fonte UVX, nos anos 1990, houve um extenso trabalho de divulgação, que envolveu o envio de especialistas à universidades e centros de pesquisa de todo o país para realizarem seminários apresentando

as novas possibilidades experimentais trazidas pelo síncrotron. “Nós formamos a nossa comunidade de usuários acadêmicos assim. Agora queremos criar também mais usuários na área industrial”, explica. Atualmente, um comitê formado pelos atuais usuários do LNLS acompanha os projetos das novas linhas de luz. “Eles estão sendo preparados antecipadamente para o que o Sirius vai oferecer. Isso é importante, porque são potencialidades que não estão disponíveis em quase nenhum lugar do mundo”, diz Pacheco.

Existem diferentes modelos de uso do equipamento por empresas. Elas podem tanto pagar diretamente pelo tempo de uso, o chamado uso direto, quanto podem trabalhar em parceria com universidades que inscrevem suas propostas de pesquisa junto à direção científica do LNLS. Aquelas propostas selecionadas ganham direito a tempo na máquina, à semelhança do que acontece com os grandes telescópios. É o chamado usuário indireto. “Mas mesmo os usuários diretos não pagam, efetivamente, um preço que se aproxime do custo real do uso da máquina”, explica Pacheco. “E isso em nenhum lugar do mundo. Essa infraestrutura é bancada pelos governos para uso da comunidade científica e industrial”. “Atualmente nossa conta de energia é da ordem de R\$ 700 mil por mês. Com o Sirius, vai se multiplicar por cinco”, diz Rodrigues.

Outro impedimento é que frequentemente empresas não consideram vantajoso contratar físicos e químicos, de forma permanente, apenas para realizar pesquisas no síncrotron. Pacheco diz que, antes que o Sirius comece a funcionar, o CNPEM planeja debater com as agências de financiamento a criação de pequenas empresas formadas por cientistas experimentados nas pesquisas com a máquina, que serviriam como interface com os grandes grupos industriais. “Isso vai facilitar a atividade das empresas”, diz.

Um *case* exemplar do potencial econômico da inovação gerada em síncrotrons é o dos pneus Ecorun PCR, fabricados pela empresa japonesa Falken Tire. Em apenas três anos, a empresa desenvolveu um material, formado da combinação de polímeros com sílica, que apresenta uma resistência ao rolamento 22% menor, o que contribui para a redução da demanda de combustível pelo motor do carro. A estimativa de retorno financeiro chega a US\$ 7 bilhões. “Descobertas assim podem cobrir os gastos da construção de um síncrotron”, diz José Roque. Recentemente, a Pirelli do Brasil visitou as instalações do CNPEM, também interessada no uso da sílica para melhorar o rendimento dos seus pneus.

INTEGRAÇÃO

Outro diferencial importante que o projeto traz é a busca de uma visão menos compartimentalizada do processo de planejamento de um empreendimento tão complexo. “Lá fora cada engenheiro fica no seu cubículo e não se comunica com ninguém. Sempre critiquei isso”, diz Rodrigues. No Sirius, os projetistas buscarão, o tempo todo, uma visão global do empreendimento. “A pessoa que vai projetar um ímã também tem de entender um pouco da eletrônica da máquina ou do feixe. Não projetamos apenas um ímã, mas um ímã que vai conter uma câmara de vácuo, que vai ficar preso num suporte para ter estabilidade...É preciso levar em conta tudo. Outros projetos não deram tanta ênfase nisso. Esse é um diferencial legal que conseguimos”, diz. ■