

MAST
Colloquia

Vol.1

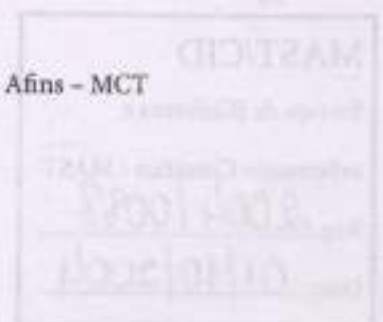
**Memória
da
Astronomia**



MAST Colloquia vol. 1
memória da astronomia

Museu de Astronomia e Ciências Afins - MCT

Rio de Janeiro, 2004



© Museu de Astronomia e Ciências Afins – 2004

Coordenação do MAST Colloquia
Heloisa Maria Bertol Domingues e Alfredo Tiomno Tolmasquim

Projeto Gráfico
Vitorio Benedetti e Joana Filizola

Capa
Luci Meri Guimarães

Transcrição e edição das fitas
Maria Estela Soares Coutinho e Angela Viana

Revisão Final
Alberto Delerue

Ficha Catalográfica

Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST

M986 DOMINGUES, Heloisa Maria Bertol (org.)
MAST Colloquia: Memória da Astronomia
Museu de Astronomia e Ciências Afins.
Rio de Janeiro: MAST/MCT, 2004.
188pp

CDU 930.25(083.82)

MAST/CID

Serviço de Biblioteca e

Informação Científica / MAST

Reg. 2004/0088

Data: 01/10/2004

HC
52(091)
M986

5 Apresentação

7 Introdução

11 A cosmologia no século xx

Mário Novello

35 A meteorologia no Brasil, ontem e hoje

José Ricardo de Almeida França

53 História da pesquisa espacial no Brasil e a criação da agência espacial brasileira

Luiz Gylvan Meira Filho

71 O geomagnetismo no Observatório Nacional

Luiz Muniz Barreto

93 As atividades espaciais no Brasil e o INPE

Marco Antônio Raupp

119 Pesquisa em astrofísica no Brasil

Walter Junqueira Maciel

145 Distribuição das galáxias e o Universo

Paulo Sérgio de Souza Pellegrini

171 O Observatório do Valongo e o ensino da astronomia

Heloísa Maria Boechat Roberty

ORIGINAL ARTICLES

CLINICAL STUDY OF THE EFFECTS OF HYPOPHOSPHITES ON THE BLOOD AND URINE

BY DR. J. H. HARRIS, JR.,
CHICAGO, ILL.

RECEIVED FOR PUBLICATION
JANUARY 10, 1933

From the Department of Medicine,
University of Chicago, Chicago, Ill.

Read at the meeting of the American
Medical Association, Chicago, Ill.,
October 15, 1932.

Reprints: Dr. J. H. Harris, Jr.,
Department of Medicine, University
of Chicago, Chicago, Ill.

Copyright, 1933, by American Medical Association
535 North Dearborn Street, Chicago, Ill.

Abstract: A clinical study of the effects of
sodium hypophosphite on the blood and urine
of normal subjects and patients with
various diseases.

Introduction: The purpose of this study was to
determine the effects of sodium hypophosphite
on the blood and urine of normal subjects and
patients with various diseases. The results of
this study are presented in the following tables.

Mast Colloquia

A Coleção MAST COLLOQUIA, composta de 6 volumes, originou-se da série de palestras com o mesmo nome que tiveram lugar no Museu de Astronomia e Ciências Afins entre 1996 e 2001.

MAST COLLOQUIA teve a finalidade de colher depoimento de cientistas a respeito da prática de diversas áreas das ciências. Mesmo sendo impossível construir uma memória imparcial ou 'total', o conjunto dos depoimentos formou um material de pesquisa importante, que contribuirá para o avanço do conhecimento histórico das ciências em geral e, em particular, do nosso país.

A série de depoimentos teve início com as palestras sobre a *Memória da Astronomia*, seguidos dos de *Memória da Matemática* e *Memória da Física*. A quarta série, *História e Memória das Ciências*, tratou do lado mais teórico do trabalho do historiador da ciência e do arquivista, salientando a importância da preservação documental. Em 2000, no contexto das comemorações dos 500 anos da chegada dos portugueses, a temática do MAST COLLOQUIA foi o *Descobrimento do Brasil pelas Ciências*. Por fim, comemorando os 50 anos do CNPq, instituição da qual o MAST guarda parte da memória documental, os colóquios trataram da *Política Científica Brasileira* desde os tempos da criação do CNPq.

Tanto quanto parciais, porque exercícios de memória, os depoimentos são reais. Eles relatam fatos que poderiam ter caído no esquecimento não fosse a presteza e a anuência, a essa iniciativa, dos cientistas que deles participaram. A eles agradecemos profundamente e, aos que se foram neste período – o botânico Luiz Emídio de Melo Filho e o engenheiro Fernando Lobo Carneiro –, prestamos a nossa homenagem mais sincera.

Fazemos um agradecimento especial ao Dr. Ubirajara Alves que, prontamente, atendeu ao convite para abrir a série MAST COLLOQUIA, em 1996, quando era o diretor das unidades de pesquisa do CNPq. Fez o mesmo no ano seguinte, evidenciando o quanto considerava importantes os colóquios do MAST.

Agradecemos à FAPERJ por ter possibilitado, com o seu apoio, que esse material ganhasse a forma escrita, contribuindo para a sua circulação e divulgação; aos colegas, às direções do MAST, que se sucederam desde 1996, à

SAMAST que apoiou o trabalho, permitindo que se trouxessem vários cientistas ou oferecendo mensalmente o coffee break. Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que esta coleção se tornasse realidade.

Os colóquios foram transcritos e mantidos na íntegra, sempre que possível, na linguagem coloquial, por isso, parecerão por vezes um tanto informais.

Heloisa Maria Bertol Domingues

Memória da Astronomia

Memória da Astronomia é o primeiro volume da Coleção MAST COLLOQUIA e reúne depoimentos de cientistas sobre diferentes especialidades da astronomia.

A palestra do professor Mario Novello, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, abriu esta série, e o tema tratado foi **A Cosmologia no Século XX**. O Dr. Ubyrajara Alves disse na ocasião que estava duplamente satisfeito por abrir o MAST COLLOQUIA. – “Primeiro, por causa da iniciativa da instituição, em promover uma programação tão interessante e importante, para o conhecimento das atividades científicas que são levadas a efeito neste país”. Em segundo lugar, disse ele, pelo fato de ter sido escolhido para abrir a série de colóquios do MAST, um pesquisador brasileiro tão reconhecido como o Professor Mário Novello: “Um distinguido e internacionalmente conhecido pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, que vai falar precisamente de uma especialidade que é Cosmologia no Século XX”.

A segunda palestra foi a do professor José Ricardo de Almeida França, **A Meteorologia no Brasil, de Ontem e de Hoje**. Bacharel em meteorologia pela UFRI, o professor José Ricardo é professor do Departamento de Meteorologia da mesma universidade, fez mestrado em Física das Nuvens, na Universidade de Blaise Pascal e doutorado em Físico-Química da Atmosfera, na Universidade Paul Sabatier, ambas na França. Atualmente é membro do Comitê *Data Information System of International Geosphere-Biosphere Program*.

A meteorologia foi durante muito tempo uma das áreas centrais da astronomia, e também uma das mais importantes atividades desenvolvidas no Observatório Nacional, cujo Serviço de Meteorologia funcionou durante mais de 50 anos. Durante um certo período, no início do século XX, mudou de nome, passando a ser denominado Diretoria de Meteorologia. Hoje, talvez, algumas pessoas se perguntem porque incluir essa especialidade como parte da astronomia. A sua inclusão evidencia a evolução do conhecimento e, neste caso, a autonomização de um dos campos que antigamente se definia na astronomia.

O terceiro depoimento foi do Dr. Luís Gylvan Meira Filho, na ocasião, presidente da Agência Espacial Brasileira, órgão então diretamente ligado à

Presidência da República, com sede em Brasília. Ele trouxe importantíssimas informações sobre a **História da Pesquisa Espacial no Brasil e a criação da Agência Espacial Brasileira**. Formado pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em 1965, desde o início da sua carreira trabalhou em pesquisa espacial, sendo integrante da associação responsável pelo Programa Espacial Brasileiro. Seu depoimento foi rico em informações sobre esse aspecto da astronomia que é ainda bastante desconhecido do público.

O quarto colóquio do MAST foi o do professor Luiz Muniz Barreto, quem, como disse na sua apresentação o diretor, Henrique Lins de Barros, é uma das figuras mais interessantes e de contato mais rico quando se está iniciando na atividade científica. Ele falou sobre **Geomagnetismo no Observatório Nacional** do Rio de Janeiro, que, como ele diz, começou em '83' do século XIX, sendo portanto trabalho de enorme tradição e pioneirismo em nosso país. Muniz foi também diretor do Observatório Nacional e seria impossível separá-lo do que é hoje essa instituição.

Depois do Geo-Magnetismo voltou a questão das pesquisas espaciais. O professor Marco Antônio Raupp, diretor do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), foi durante muito tempo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), tendo sido seu Diretor, daí ter participado desta série de colóquios do MAST, onde falou sobre **As Atividades Espaciais e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Cientista dinâmico, Raupp foi um dos criadores do Instituto Politécnico de Nova Friburgo, e é também membro da Academia Internacional de Astronáutica, com sede em Paris.

A astrofísica, uma especialidade hoje fundamental da astronomia, esteve representada no MAST COLLOQUIA pelo professor Walter Maciel, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. Sua palestra, intitulada **Pesquisa em Astrofísica no Brasil**, mostra bem a situação atual da pesquisa nessa área e quanto ela cresceu ao longo dos últimos anos.

Na sequência dessa especialidade, falou o prof. Paulo de Souza Pellegrini, mestre pela PUC-RJ e doutor pelo Observatório Nacional, onde trabalha com um dos assuntos mais fascinantes do final deste século XX – a **Distribuição das Galáxias e o Universo**. O estudo que o prof. Pellegrini apresentou é o resultado do trabalho que desenvolve, sobre a complexa estrutura do universo, que, hoje, é importante suporte da pesquisa em várias áreas da astronomia, com destaque para a pesquisa espacial.

Por fim, tivemos a palestra **O Observatório do Valongo e o Ensino da Astronomia**, proferida pela Dra. Heloisa Maria Boechat Robert, professora e pesquisadora do Observatório do Valongo – UFRJ. Ela falou da história e da situação atual da sua instituição como a única que gradua astrônomos no país.

A cosmologia no século XX

Mario Novello

23 de maio de 1996

A idéia, aqui, é falar um pouco sobre cosmologia no século XX. Antes de mais nada, talvez fosse bom esclarecer uma frase que volta e meia se ouve: a de que uma gravitação fundamenta uma cosmologia. O que significa exatamente isso? Sei que a platéia não é formada apenas de físicos, mas de pessoas de várias áreas. Então, só para dar uma idéia – algumas coisas de que vou falar são triviais para alguns – falarei de coisas simples para situar o cenário em que vou discutir um pouco sobre a cosmologia deste século. Duas ou três palavrinhas sobre por que a gravitação fundamenta uma cosmologia.

Basicamente, os físicos conseguiram, neste século, organizar a totalidade de suas observações como se houvesse ó quatro forças na natureza, caracterizadas por forças de longo alcance e forças de curto alcance. Na verdade, as forças de longo alcance que conhecemos são as forças gravitacionais e eletromagnéticas. Longo alcance no sentido de que, em princípio, elas não têm limite de aplicabilidade, embora sua intensidade diminua com a distância. As forças de curto alcance são aquelas responsáveis pela estabilidade e desintegração da matéria. Só por uma questão de nomenclatura, isso não é muito importante, chamo-as de fracas e fortes, que é o outro nome que os físicos nucleares, os físicos de partículas deram para as interações. De uma certa maneira, elas tratam da desintegração e da estabilidade da matéria, o que faz com que o núcleo da matéria fique de uma certa maneira estável. Se vamos estudar cosmologia, iremos provisoriamente pensar nessa definição, e, à medida que o seminário for avançando, vamos tentar melhorá-la.

De um modo geral, simplificadamente, podemos dizer que a cosmologia tem a pretensão de estudar tudo o que existe. Mas o que existe? Os físicos dizem que existe matéria, energia, espaço e tempo. Então, em princípio, a cosmologia tem a pretensão de estudar a totalidade do que existe. Para isso, ela usa todo o conhecimento que a física, ao longo deste século, pôs à sua disposição, à disposição do cosmólogo.

A cosmologia, na verdade, seria um laboratório de teste de todas essas teorias, algumas ainda sem comprovação na Terra. E ela utiliza o território da astronomia para comprovar ou não uma teoria. É razoável imaginar, com essa definição, que a cosmologia é uma espécie de disciplina da grande totalidade espaço/tempo. Nós diríamos, provisoriamente, que essa totalidade maior significa "tudo que existe". Mais adiante vamos tentar melhorar essa definição provisória.

Nesse cenário, as forças de curto alcance, que falam da estabilidade da matéria no interior do átomo, não deveriam ter papel importante para descrever esta estrutura maior, a não ser para descrever as coisas que estão localizadas aí dentro – substâncias, por exemplo, em forma de galáxias, estrelas ou outras organizações materiais.

Sobram, então, as forças de longo alcance. De uma certa maneira, como o universo é basicamente neutro, e como as forças eletromagnéticas são repulsivas ou atrativas (isto é, dependem do sinal das cargas), sobra a força gravitacional. Podemos classificar essas forças de acordo com a intensidade delas; quão intensas elas são. A força gravitacional é a mais fraca nessa sequência de forças. É curioso que a força gravitacional, por sua universalidade, seja responsável pela descrição da totalidade espaço/tempo.

Durante muito tempo, a cosmologia era vista, até mesmo pelos, físicos e astrônomos, como uma atividade não-científica. Dizia-se que ela não poderia sequer especificar qual o seu objeto de estudo. Quando falamos da física nuclear, por exemplo, sabemos qual é o seu objeto: o núcleo atômico. Mas qual é o objeto da cosmologia? Temos grande dificuldade de situar esse objeto; fala-se vagamente em totalidade espaço, tempo, matéria e energia. Será possível realmente que o homem consiga observar essa totalidade?

Essa não é uma pergunta trivialmente respondida. A razão é a seguinte: sabemos que toda observação, toda experimentação é localizada no espaço e no tempo. Ou seja, você tem um laboratório, você pode aumentar esse laboratório, mas, de uma certa maneira, toda experiência ocorre em uma região limitada. Quando não muito, graças à finitude do próprio ser que experimenta, o homem.

Há uma limitação natural de espaço/tempo. Assim, a totalidade, de que se falava, não parecia ser um objeto capaz de ser experimentado, de ser

observado. Se o objeto da Cosmologia sequer pudesse ser observado, então que ciência seria essa? Vou repetir esse ponto, porque é importante: entender como se pode observar a totalidade espaço/tempo. Não é somando as experiências individuais, porque isso levaria um tempo maior que o da civilização. Então, deve haver algum outro mecanismo capaz de fazer com que realmente tenhamos uma observação dessa totalidade. Ou, então, a cosmologia não é realmente uma ciência comum, como as outras ciências.

Na verdade, a cosmologia é parte da ciência. A explicação é a seguinte: levou-se um bom tempo para que isso fosse aceito e só em 1964, realmente, a comunidade dos cientistas admitiu que a cosmologia tinha um objeto bem definido. Por volta de 1930 houve uma experiência maravilhosa, que talvez tenha sido uma das mais fascinantes ao longo da história da humanidade. Foi a descoberta, por Hubble, de que o universo, como uma totalidade, é um processo e não uma estrutura estática.

O que quer dizer isso? Hubble argumentou, por razões teóricas, e através de uma observação bem definida, que o que estávamos vendo, ao observar certas estruturas de galáxias em movimento, era, na verdade, uma resposta do Universo a um movimento global de expansão. Não se tratava de um movimento localizado. Não se tratava daquilo que os físicos diziam ser uma limitação natural imposta pela própria observação da natureza. Ou seja, não consistia numa limitação do espaço/tempo, era a totalidade que estava sendo observada através dessa experiência.

Claro que, como toda observação, essa foi montada em cima de uma teoria, de forma que tivesse significado e fizesse sentido naquele momento. Em 1939, Hubble mostrou que o objeto da cosmologia, essa totalidade espaço/tempo, pode ser observada. E como ele exibiu essa observação? De um só golpe, eliminando a idéia tradicional na física, de que o universo era uma estrutura estática e não podia ser examinado como qualquer objeto da natureza da física.

Hubble mostrou que o universo é uma estrutura, que é um processo e que possui uma dinâmica. Mais tarde, quando se conheceu um pouco mais sobre a natureza das estrelas, ficou claro que a própria estrela não é uma estrutura estática, como se pensava. É um processo que talvez tenha uma evolução similar a todos os processos da natureza. Há um nascimento, uma evolução, um decaimento e uma eventual morte.

Foi com essa descoberta, feita entre a década de 1930 e os anos 60, que o cenário da Cosmologia foi montado. Ficou claro, para praticamente toda a comunidade: primeiro, que podíamos ter acesso a ela, que a cosmologia tem um objeto (como qualquer outra parte da ciência, da física), que vem a ser

essa totalidade espaço/tempo, que pode ser observada; e principalmente que o universo é um processo em expansão.

Mas por que a data de 1964 para configurar a descoberta de Hubble, que foi de 1939? Porque só naquele ano, graças às observações feitas por *técnicos de antenas*, descobriu-se que realmente havia uma espécie de resíduo cósmico, de uma fase do Universo que não era a fase atual. Ou seja, esse processo pelo qual o universo estava passando, essa variação, com um certo tempo – que mais adiante vamos discutir – era, de novo, observado através de uma situação experimental totalmente diferente. Essa era uma comprovação direta daquilo que Hubble argumentava como sendo a descoberta da expansão. Sua idéia era verdadeira.

Vamos fazer um pequeno desvio e falar de tempo, de expansão do universo. Antes do século XX, a idéia de tempo que tínhamos derivava do bom senso. Só que funcionava apenas em territórios onde o antropomorfismo, isto é, o modo como cada um de nós se mexe no mundo, é da dimensão daquilo que estamos a observar. Mas há situações nas quais aparecem novidades que não têm absolutamente nenhum ponto de contato com a nossa experiência do cotidiano.

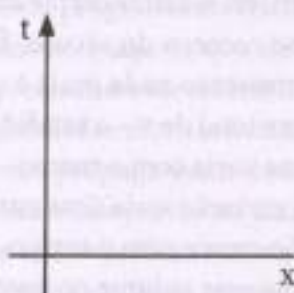
Essa idéia de que existe um tempo único, absoluto, para todo mundo, foi criticada no começo do século XX. E passamos a adotar uma visão de que os tempos dos diferentes observadores podiam ser distintos; e que nós, na Terra, em princípio temos um só tempo, já que somos observadores, e temos velocidades maiores ou menores, mas desprezíveis, quando comparadas com uma certa velocidade máxima que apareceu no começo do século. E essa foi a grande novidade.

Por que a grande novidade? Porque descobriu-se que as velocidades possíveis dos corpos não são arbitrárias, ou seja, que existe uma velocidade máxima no mundo. A existência dessa velocidade máxima criou um problema imediato. E rapidamente vemos que as informações exigem um tempo para serem propagadas. Vagamente sabíamos disto; mas tínhamos a idéia, que herdamos da física newtoniana, de que essa velocidade de informação era tão elevada que podia ser identificada com o que chamava-se, naquela época, de uma velocidade muito grande, infinita.

No começo deste século tínhamos vários argumentos, que se comprovaram mais tarde, de que, em princípio, deve haver uma velocidade máxima. Isso significa que quanto mais longe um observador está de outro, maior será o tempo que as mensagens levarão para percorrer a distância entre ambos. Quanto mais afastados eles estiverem, mais tempo levará a transmissão da mensagem. O que significa isso? Que pode haver uma situação

na qual eventos que ocorreram no mundo ainda não foram identificados no nosso horizonte de observação. Isso será explicado mais adiante. Primeiro, vamos voltar à idéia do tempo único global.

Embora tenhamos nos acostumado, ao longo de todo este século, com a idéia de que diferentes observadores têm diferentes tempos próprios (seus relógios próprios) a cosmologia adota uma posição um pouco retrógrada, simplesmente por uma questão de tática matemática. Argumentando que é conveniente usar, para essa descrição, um único tempo, vamos representá-lo, por razões gráficas, por esta seta nessa direção.



Aqui vou representar o espaço tridimensional, que chamarei de $X =$ três dimensões. Na verdade, esse tempo único global é um tempo que está sendo colocado para descrever o mundo arbitrariamente, mas é uma escolha de representação. Ou seja, não há nada de preferencial nesse tempo. Trata-se simplesmente de uma escolha possível, por várias circunstâncias que acontecem em nosso universo. Mas isso vai representar um problema grande mais adiante, quando a gente voltar a discutir a idéia da origem do universo. Por que isto?

Convencionamos denominar um tempo único global, porque é um modo pelo qual estamos representando os eventos no mundo. Antes de mais nada, estamos falando sempre sobre representações. Isso quer dizer que não sabemos onde as coisas acontecem. Temos representações do que acontece. A física é a nossa representação e, por isso, podemos escolher representações convenientes.

Durante muito tempo não se realizou que a física fala de representações. Por isso, tivemos dificuldades para entender muitos processos da natureza. Sendo assim, podemos dizer que um mapa não é o território. Território é onde os processos físicos acontecem. O mapa é onde descrevemos esses processos. A descrição de um processo é, pois, totalmente arbitrária, e podemos escolher esse tempo único global.

Uma vez que montamos o cenário, temos um tempo único global para descrever tudo o que existe. E é nesse tempo único global que dizemos que o universo está em processo, é algo que está em expansão. O que realmente está em expansão? Para simplificar a análise, poderíamos ir para a observação e descobrir que o Universo aparece, numa primeira aproximação grosseira, como um centro isotrópico. O que isso significa? Significa que não existem direções privilegiadas nas propriedades do universo, para lá ou para cá.

Em princípio, a estrutura do espaço é absolutamente indistinguível em relação às propriedades físicas desse espaço. Trata-se de um dado observacional. Se isso é verdade, então é possível mostrar certas análises dessa teoria da gravitação, que foi produzida no começo do século. É possível mostrar que o efeito gravitacional sobre o universo nada mais é do que a alteração desta estrutura. Chamando o volume total de V – a totalidade do volume tri-espaço, isso significa que este volume varia com o tempo.

Representada numa figura, essa variação seria uma curva que cresce com o tempo. Isso vem da observação. Se cresce com o tempo, imediatamente se coloca a questão de quanto pequeno foi esse volume no passado? Do ponto de vista observacional, isso ainda não pode ser resolvido, dadas as nossas dificuldades técnicas de observação.

Do ponto de vista teórico, curiosamente, no mesmo ano de 1964, quando foi descoberta essa espécie de radiação de fundo cósmico que preenchia todo o Universo (mais ou menos como se fossem grãos de luz – fótons, com a temperatura fixa de aproximadamente 3° Kelvin) foi descoberta também uma versão teórica da idéia de criação do mundo.

Essa versão teórica argumentava que a função do volume (raio do universo), era tal que havia um tempo infinito de nós, havia um tempo de alguns bilhões de anos, e a função poderia ter chegado ao ponto zero. Isso representou o primeiro problema que fechou o círculo da cosmologia da primeira fase. E ele criou uma estrutura extraordinariamente irracional no mundo, uma estrutura com um apelo fantástico, que tomou conta da mídia e tomou conta do mundo inteiro, inclusive da comunidade dos físicos.

E qual foi essa idéia? A idéia de que houve esse momento único, que se chamou de *Big Bang*. A história do *Big Bang* é curiosa, porque quem criou esse nome foram os astrônomos que ridicularizavam essa teoria da origem do universo. O tiro saiu pela culatra quando o termo começou a ser usado por quem aceitava a idéia do começo, e perdeu seu caráter pejorativo. Acabou se tornando uma espécie de sigla fundamental para a idéia de que o Universo teve um começo.

Por que dissemos que essa estrutura do mundo é irracional? Os físicos têm horror a várias coisas. Mas talvez a que mais os apavore é a singularidade. Ou seja, lugares em que as qualidades, que eventualmente podiam ser observadas, têm valores absolutamente não observáveis, infinitos.

Nesse ponto, quando o volume do universo seria totalmente menor que qualquer imagem que se possa fazer, as densidades de energias envolvidas divergem; são infinitas. Então não se pode, absolutamente, pensar na possibilidade de tirar alguma informação daí. Simplificando: se, na verdade, houvesse um começo do mundo, isso aconteceria porque a física ao longo de toda a sua história, não é racional, logo a natureza não seria racional.

Basicamente, o grande programa da física clássica era a idéia de que há uma equação de movimento, aquela que determina quando um processo ocorre na natureza, e precisamos ter dados iniciais. O que são os dados iniciais? São aquelas quantidades mensuráveis, através das quais, por algum processo conhecido, você propaga esses dados e os transforma em futuras previsões. Eventualmente essas previsões serão novamente levadas à observação, e vai-se verificar se são verdadeiras ou não. Se esse processo pode ser realizado, então as observações, junto com essas leis de propagação, são corretas. Esse era o ideal de todo o cenário da física clássica, ou seja: de que os dados iniciais de propagação determinam o futuro.

Está claro que a simples idéia de singularidade inicial liquida com esse processo, com esse programa, ou seja: o mundo, a partir de então, só seria conhecido se conhecemos os dados no momento $t = 0$. Por outro lado, descobriu-se que, ao mesmo tempo em que o universo tem esse processo de evolução, esse gás de fótons que observamos (e que, de certa maneira preenche todo o espaço) que esse gás está em equilíbrio térmico, por causa da expansão do universo. Matematicamente, pode-se mostrar que a temperatura desse gás simplesmente está diminuindo, porque o volume, na verdade, está aumentando.

O que vai acontecer se, em lugar de considerarmos a evolução, pensarmos um pouco no que aconteceu no passado? A temperatura do universo era extremamente elevada, de tal maneira que, provavelmente, ela deve ter tido um valor bem alto. Se esse volume reduziu-se a um ponto, essa temperatura atingiu um valor que chamamos perigosamente de infinito. Esse é o cenário chamado de "começo singular do mundo".

Os físicos demonstraram que o universo teve um *Big Bang*. O que significa isso? O *Big Bang* dos físicos é sinônimo de uma fase: houve uma época em que o universo foi extremamente condensado, e conseqüentemente sua temperatura era incrivelmente alta. Não há absolutamente nenhum físico, exceto

Fred Hoyle, que não acredite nisso. Todos os físicos acreditam que isso seja verdade: o universo foi mais denso no passado. O universo tem um processo expansionista, e certamente essa fase foi extremamente curta. Com certeza as temperaturas eram muito elevadas. Sabemos disso a partir das observações captadas por pesquisadores de partículas elementares em todo o mundo.

O cenário da cosmologia é extremamente simples. Veja como fomos levados, por um raciocínio simples, a destacar a força gravitacional como se ela fosse a única força importante para descrever o que é essa totalidade espaço/tempo. Mas, no século XX, aconteceu com a força gravitacional uma coisa interessante, que inclusive afastou-a um pouco das outras forças, e até mesmo do curriculum das universidades. A força gravitacional que se ensina na universidade é a que foi montada por volta de 1700. Se há professores na plateia, eles podem dizer se estou errado ou não!

Depois de 1700, houve um avanço notável. Entre 1900 e 1905, começou-se a pensar que a força gravitacional era um pouco distinta das outras. Essa distinção se devia ao fato de que a força gravitacional é universal. Ou seja, não há nada que exista na natureza que não tenha esse tipo de interação. Esta força tem um sinal: ela só é atrativa. Não se conhecem processos gravitacionais repulsivos. Então, o que acontece com esta força? Ela foi caracterizada como sendo da mesma natureza que as forças eletromagnéticas, mais conhecidas, que eram as forças de longo alcance. Mas ela era de natureza a caracterizar a estrutura do espaço/tempo. O que quer dizer isso?

O espaço/tempo, até o século XVIII, era uma estrutura absoluta. Na verdade, era um absoluto, um dado *a priori*, como lembra Kant. Esse dado, no início, não podia sequer ser discutido teoricamente, por falta de argumentação teórica. E agora falamos de alguma coisa em que esse espaço/tempo tem uma dinâmica. Como isso é possível? Pode porque a força gravitacional faz uma espécie de ponte entre aquilo que chamamos de energia e matéria por um lado, e aquilo que denominamos de estrutura espaço/tempo.

A matéria, através do que chamamos de força gravitacional, é equivalente a uma mudança da estrutura do espaço e do tempo. Mudança da sua geometria. Dito assim, isso parece um pouco complexo, mas, na verdade, é extremamente simples. Porque a estrutura do espaço/tempo tem de ser dada pela física. Algumas dessas forças deveriam fazer esse papel. Não vamos discutir aqui as razões pelas quais é a força gravitacional que determina qual é a geometria do mundo, e não alguma geometria que os matemáticos teriam inventado, ou que algum filósofo alemão teria imaginado *a priori*.

Esse quadro, onde a estrutura do espaço/tempo entra em jogo com a força gravitacional, precisa ser bem entendido para que o resto siga naturalmente:

o que chamamos de variação do volume do espaço, ao variar com o tempo. Isso nada mais é do que uma modificação da estrutura geométrica do mundo. E quem determina essa variação? A matéria que existe no mundo.

Então, há uma idéia de como o começo singular do mundo aconteceu. E ela não leva em conta o argumento de que a cosmologia precisava somente da força gravitacional. Por quê? Porque estamos falando de dimensões fantasticamente grandes, nas quais o espaço e o tempo são coisas enormes com relação a tudo que tem a dimensão do homem.

Mas esquecemos de um detalhe. Se é verdade que, ao andar para trás, imaginativamente, o universo está diminuindo, isso é sinal de que essas forças, fortes e fracas, antes sem nenhum papel a desempenhar na cosmologia – porque elas eram simplesmente forças localizadas, quando o universo inteiro começa a se expandir a partir de uma região extremamente pequena – passam a ser objeto de uma questão: não seria natural imaginar que essas forças tenham um papel a desempenhar? É exatamente isso que acontece. As forças da natureza tinham uma função, todas elas juntas, nesse momento em que o Universo estava extremamente condensado.

Entramos na terceira fase da cosmologia do século XX, cuja situação é muito parecida com aquela que discutimos no começo. Relembrando: no primeiro momento, a cosmologia tinha de exibir o seu objeto. Os físicos, até os anos 60, recusavam-se a aceitar a cosmologia como sendo uma ciência convencional, porque ela sequer tinha essa possibilidade à mão.

Com Hubble, e principalmente com Penzias e Wilson, em 1964, esse problema foi resolvido, pelo menos *a grosso modo*. Baseado numa teoria e nas observações, esses astrônomos puderam realmente determinar qual é o objeto da cosmologia. Mas, ao longo dos anos 80, a idéia de que o Universo tinha tido um começo singular – não o *Big Bang* dos astrofísicos –, uma estrutura extremamente quente e condensada, realmente alguma coisa singular, no sentido de que vinha de um ponto, começou a dominar o cenário completo da astrofísica.

Essa situação é um pouco delicada, porque, só para situar o que está acontecendo, vamos imaginar qual a consequência maior de existir uma velocidade máxima de propagação. Vamos supor que haja dois observadores. Aqui é o tempo e esse é o espaço. Vamos supor que, no ponto A, um observador envie uma mensagem. Sabemos que essa mensagem leva um certo tempo para chegar até o outro ponto. Então, grosso modo, a luz vai levar um certo tempo para sair, emitida de A para o observador B. Esse observador B vai receber a luz de A no instante C, se eles tiverem o mesmo tempo, ou se eles estiverem medindo o mesmo tempo... Por que medindo o mesmo tempo?

Porque convencionou-se usar uma descrição do mundo, e isso é permitido pela matemática, associada à estrutura global do universo, e representado como se todo mundo estivesse com o mesmo relógio.

Suponhamos que o universo tenha tido um começo: vamos chamá-lo de tempo t inicial. Esse tempo t inicial significa que esse espaço e volume estão concentrados num ponto.

Depois de um certo tempo, esse observador manda uma informação. Vamos supor que esse universo tenha um fim. Pode-se imaginar que a existência de um fim do universo significa que essa curva está se expandindo, e essa curva representa todo o volume do espaço.

Os físicos sabem descrever isso e afirmam que duas possibilidades podem acontecer: ou esse volume pode se expandir ad infinitum, ou então, de alguma maneira, essa curva começa a decrescer. Aí, provavelmente, vai acontecer o mesmo processo, o universo vai colapsar até um ponto singular. Então, esse seria o fim do Universo.

Curiosamente isso não é uma matéria de ficção. A opção entre um cenário ou outro não depende do gosto de cada um. Depende da densidade ocupada, da quantidade de energia e matéria que existe no espaço. O que significa que, se conhecermos a densidade da matéria, podemos eventualmente dizer se o universo colapsa de novo, ou se ele continua indefinidamente sua expansão. Pode-se concluir que aquela decisão sobre o futuro do universo não é matéria de especulação, mas algo que pode ser observado.

Mas vejamos o que vai acontecer aqui (gráfico). A velocidade da luz tem esse caminho. Esse é o observador A. Ele manda uma luz quando o universo começou. Vamos imaginar agora o que acontece com o observador que esteja longe demais dele. O que vai acontecer é muito simples: esse observador nunca vai ter a informação, ele nunca vai poder dar informação da sua existência para esse outro observador.

Este ponto é importante, porque a distância entre eles não é compensada pelo fato de que o tempo de vida desse Universo é pequeno. Ou seja, se o tempo de vida do universo fosse infinito, em algum momento essas duas linhas iriam se encontrar. Mas se, por alguma razão, o universo tem um tempo de vida finito, então é possível que nós nunca sejamos informados sobre nossos vizinhos que estão em outras galáxias. Pode-se argumentar que há uma questão crucial aqui: o problema do horizonte. Ou seja, temos um horizonte de observação. Isso quer dizer que existe uma velocidade finita de observação, de propagação máxima de qualquer processo no mundo e que determina a noção de horizonte. Qualquer idéia do universo deve ser baseada em princípios fundamentais, ou então deve abdicar de ser uma ciência

observacional. Por quê? Porque você está vendo nesse cenário que, à medida que vou andando mais e mais no tempo, mais informações vão surgindo.

Vamos supor que você tenha esse observador (gráfico). Digamos, que seja o instante hoje. Nós, aqui, podemos observar tudo aquilo que estava nessa região, quando o universo estava extremamente condensado. Mas, à medida que progredimos no tempo, mais e mais informações vão chegando. Só vamos ter informações sobre toda a estrutura do universo num tempo muito grande, que não é o tempo de vida da ciência terrestre, muito menos dos homens. Então, na verdade, qualquer idéia sobre o universo deve se basear em observações e princípios globais. Por exemplo, na idéia de que nós não ocupamos um lugar privilegiado no universo.

Um pequeno parêntese: os ingleses que andam na contramão (embora eles achem que andam na mão certa), têm umas idéias curiosas sobre o mundo. Nos anos 40, principalmente Paul Dirac e seus companheiros, chegaram à seguinte idéia: o mundo é o que é porque existem ingleses. Na verdade existem homens, mas estavam querendo dizer que existem ingleses.

A idéia é a seguinte: vamos inverter o processo. Vamos dizer que o mundo é o que é porque nós somos o que somos. Quando a humanidade era jovem, digamos assim, os filósofos, os pré-socráticos, falavam algo como "o mundo é o que é porque eu sou o que sou". Há uma versão moderna da cosmologia sobre a qual é bom falar um pouco. Não que a considere importante, mas ela aparece com destaque em diversos livros e é bom simplificá-la. Essa versão diz que, para que exista um Universo observado, para que exista um problema do universo, é preciso que existam cosmólogos. Para que existam cosmólogos, é preciso que existam homens. Se existem homens, significa que existem longas cadeias de carbono. Para que haja longas cadeias de carbono, é preciso que haja uma estrela que não seja muito nervosa, que tenha um temperatura razoável, estável, e um sistema planetário, e que, de uma certa maneira, isso não seja corrompido por uma revolução rápida ou curta demais que torne impossível a existência de uma civilização.

Com esse raciocínio, argumentava-se que as quantidades básicas do mundo variam. Por exemplo: por que o elétron tem a carga que tem? Por que a massa do próton é a massa do próton? E assim por diante. O argumento, denominado princípio antrópico, é de que existem observadores. Esse é o extremo oposto do que acabamos de explicar: a idéia de que o homem não é o centro do mundo. O extremo oposto é a idéia de que o homem não só é o centro do mundo, mas que o próprio universo só pode existir porque há um observador. Para essas pessoas, a física não tem significado fora da observação. O que não é tão ingênuo assim. Mas transforma, de uma certa maneira,

o compromisso de que a física, desde longos tempos, devia ter impessoalidade ao tratar o universo.

Ou seja, a idéia básica da ciência é a de que devemos ser o menos ativos possível na descrição. Isso nada tem a ver com a crítica, ao longo do século XX, ligada à interação entre observador e observado, que a teoria quântica apresentou. Mas isso é outra história.

Voltemos à idéia de que, se adotarmos o princípio de que não ocupamos um lugar privilegiado (mesmo que não tenhamos todas essas informações à mão) podemos ter uma idéia dessa globalidade, e essas informações podem ser catalogadas e observadas.

E isso é exatamente o que o cenário da cosmologia tenta fazer. A idéia de que o Universo teve um começo singular já foi discutida. Então, qual é a terceira fase da cosmologia? Antes de esboçar essa terceira fase, há uma curiosidade que vale a pena pinçar entre tudo o que aconteceu ao longo da história da cosmologia do século XX. Essa curiosidade faz parte também da cosmologia moderna, contemporânea.

Há uma história curiosa ocorrida em 1949, com um cavalheiro que era bem mais conhecido por razões que não têm nada a ver com a Cosmologia. Se conversarmos com alguém que seja lógico, ou que estudou lógica, ou tenha feito estudos de semântica, essa pessoa sabe que Gödel – Kurt Gödel é o protagonista desta história – revolucionou, mais que qualquer outro, desde Aristóteles, a noção que temos da lógica. Ele teria demonstrado a necessidade de metalinguagens em todo sistema lógico formal.

Seu biógrafo, Wang, escreveu um livro de 335 páginas sobre ele, das quais apenas duas dedicadas à descoberta de Gödel na cosmologia – que caracteriza sua importância para o estudo do Universo. A minha impressão pessoal é de que ele tem vergonha dessa descoberta.

Os cosmólogos de plantão responderiam assim à descoberta de Gödel na Cosmologia: "Ah não, isso é fantasia!". Até hoje, não entendemos essa "fantasia" de Gödel, embora seja uma questão da qual a humanidade se ocupa há muitos anos e que trata de aspectos que normalmente não são científicos. Gödel nos trouxe essa característica para o território da cosmologia. Qual é a idéia de Gödel?

Quando Gödel fez essa palestra, em 31 de agosto de 1950, estava na platéia um cavalheiro chamado Albert Einstein, exatamente aquele senhor que fez essa revolução que acabamos de mostrar. E Gödel falava em homenagem a Einstein, em Princeton.

Eles foram colegas e se tornaram amigos de 1939 até 1955, quando Einstein morreu. Seus escritórios eram vizinhos e eles iam a pé até suas casas, que

também eram vizinhas. Apesar desta amizade, Einstein foi extremamente agressivo no seminário de Kurt Gödel, um jovem de 27 anos. A opinião de Einstein, na época, com 54 anos, era de suma importância, pois tratava-se do próprio criador da relatividade geral.

Quando Gödel falou de modelo cosmológico, que começou a ser chamado "modelo cosmológico de Gödel", alguém na palestra perguntou a Einstein, que estava na platéia: "O que você acha disso?". E ele respondeu: *I don't like it.* (eu não gosto.). Foi tudo o que disse. Ou seja, no lugar de um argumento científico, argumentou com um aspecto de natureza subjetiva.

Por que Einstein não gostava do modelo de Gödel? Porque Gödel inventou, na ciência, o que chamamos de máquina do tempo: descobriu que havia uma estrutura na qual você podia voltar ao seu passado. Com todos os paradoxos que esse modelo obviamente pode ter, porque você pode imaginar a situação complicada de voltar ao passado e matar seu avô, impedindo que sua mãe ou seu pai nasçam.

Trata-se de um paradoxo trivial que, ao longo da história da humanidade, percorreu todo o cenário da filosofia. De repente, aparece num seminário científico como sendo um modelo cosmológico contido nas equações de Einstein da gravitação. Ou seja, aquele cenário cosmológico bonito, que estávamos descrevendo, e que possivelmente descreveria o universo como uma bola inflando, um volume que aumenta, tinha uma alternativa, ou seja, a possibilidade que Gödel imaginou.

Mas essa possibilidade continha algo de curioso, que infelizmente ou não, parece não ser a do nosso universo. Qual é essa possibilidade? É a de que, no universo de Gödel, as galáxias teriam um movimento de rotação que não é observável em nossa galáxias. Ou seja, aparentemente, o nosso universo não é aquele descrito por Gödel. Por isso, desde 1950 até recentemente, o universo de Gödel foi considerado apenas uma curiosidade matemática. Uma solução matemática permitida pelas equações, mas que não significa nada, não é a representação da nossa realidade.

Um outro parêntese: a idéia de eliminar Gödel partiu dos relativistas que, apoiados na resposta de Einstein, disseram que "esse é um modelo matemático". O que quer dizer isso? Temos leis físicas e exemplos de leis físicas. Vamos chamar de solução. Uma lei física, em princípio, se identifica com uma certa equação de movimento, uma equação qualquer. E uma solução dessa lei é algo determinado na natureza atual, uma verdadeira solução. Não vemos a lei, vemos a solução, exemplares da solução.

Assim, esse problema da lei física, que paira numa espécie de idealismo, poderia nos levar a admitir que qualquer solução é boa? Do ponto de vista

existencialista, diríamos que não. Nem toda a solução da lei física pode ser efetivamente realizada na natureza. Por quê? Por uma razão ainda não descoberta. A solução, nesse caso, foi afirmar: não, embora a solução de Gödel esteja correta de acordo com a lei física que Einstein determinou para a gravitação, ela não é realizada na nossa natureza. O universo não tem essa propriedade, ou seja, não pode existir esse tipo de caminho no universo.

Aqui surge um fato importante, uma vez que diz respeito aos pesquisadores de história da ciência. A revista norte-americana *Physical Review*, da Sociedade Americana de Física, tomou a frente das revistas internacionais do gênero (no começo do século XX, as revistas alemãs e francesas eram referência nas publicações em física; a partir da década de 50, as norte-americanas passaram a ocupar esse lugar de destaque), e tem uma parte chamada *Physical Review Letters*, conhecida por grande parte dos físicos, que trazia pequenas contribuições de grandes idéias. Idéias que seriam supostamente bastante crivadas por um corpo de *referee*, também supostamente isento de qualquer linha de orientação. A partir de um caso especial, vamos demonstrar se isso é verdade. Esse caso tem a ver com a mudança de atitude dos físicos em relação a idéias como essas.

Por várias razões, não há porque os físicos terem medo de discutir problemas como "volta ao passado". Eles podem até mesmo argumentar que não há observações sobre isso. Mas discutimos uma série de questões para as quais não temos observações. Pessoas falam seriamente na existência de *cosmic strings*, como se fossem uma realidade. A idéia de que alguma coisa tenha embasamento teórico e, ainda assim, não seja observada, faz parte do jogo da ciência. Não há razão para o cientista fechar os olhos para esse problema.

Mas o cenário foi bastante modificado depois da publicação, na *Physical Review Letters* (supostamente extremamente crítica, chegando a ser, até certo ponto, reacionária), de um artigo sobre máquina do tempo, escrito por americanos, há 4 ou 5 anos. Mais do que isso, eles exibem um artefato como sendo real. No primeiro momento tem-se a impressão de que houve alguma coisa errada, de que estamos lendo a revista errada. Mas era exatamente disso que ela tratava.

Esses autores publicaram uma estrutura que não é de meu interesse discutir. O objetivo é apenas ver o que aconteceu. Gödel ou Einstein, hoje em dia, olhando esse cenário, ficariam um pouco espantados com o que está acontecendo. A idéia de uma máquina do tempo pode ser fantasiosa, mas não foi isso, absolutamente, o que eles demonstraram do ponto de vista do exame teórico do Universo. E essas estruturas estão sendo examinadas seriamente por vários grupos no mundo, inclusive pelo grupo da Califórnia.

A idéia de que pode haver realmente um exame sério dessas estruturas, dentro da física, mudou radicalmente o cenário. Isso graças a vários processos. Um exemplo concreto: se perguntarmos a qualquer pessoa como é a caracterização mais definitiva da individualidade, ela vai responder que é a existência do corpo.

Mas vamos supor que eu tenha uma caixa e que, dentro dela haja uma partícula. Se eu posso olhar essa caixa e posso ver essa partícula, todos vão concordar que existe uma partícula aqui dentro. Isso é a própria essência do que é o indivíduo, a própria essência de que é um corpo. Não estou pensando na desintegração da matéria, nada disso, porque a desintegração da matéria vai dar outras partículas. Estou pensando numa partícula estável, um elétron, por exemplo.

Mas se eu disser que, dependendo das circunstâncias, outras pessoas dizem que aqui tem mais do que uma partícula, pode-se afirmar que um dos dois observadores está errado. Os mesmos aparatos que dizem que aqui tem uma partícula agora disseram que há muito mais do que uma partícula.

Na verdade, os dois observadores podem estar certos. Isso é possível porque se descobriu, e isso é uma mistura, aquele casamento que eu estava querendo propor entre as físicas de estruturas localizadas, ou seja, a física de interações entre as partículas mais íntimas da matéria, que chamamos de fraca e forte, com essa física da gravitação, com essa estrutura maior que a gente está examinando, que é a estrutura do espaço/tempo.

Em 1934, um cavalheiro chamado Milne assim se expressou (vamos perceber que era um nobre inglês): "o mundo começa quando eu chego". Em outras palavras, isso significa descrever o mundo, ou seja, o da relatividade especial, um mundo do século XVIII.

Como se descreve esse mundo? Aqui e agora, eu mando emissários distribuídos para todas as partes, em todas as direções. Faço explodir emissários, que são obviamente imaginários, que saem da minha imaginação. O que isso quer dizer?

Esses emissários são apenas aparelhos de medidas, não são pessoas verdadeiras, não têm interação, são fantasmas. Mas descrevem aquilo que chamamos de um sistema de coordenadas, um sistema de representação do mundo. Começamos a representação do mundo de um ponto, aqui e agora. Isso significa que, se olharmos esse mundo de Milne, é como se universo tivesse um começo, e esse começo seria o momento em que começamos a observação, não é nada fora disso.

De uma certa maneira, eu calibro todos os meus dados iniciais, sei tudo direitinho o que está acontecendo. Começou desse momento – afirmo. Por que

posso fazer isso? Porque essa é uma escolha de representação. Só podemos fazer isso quando separamos o mundo em duas regiões, uma região observável e outra não-observável. Por razões de compatibilidade, introduzimos uma fronteira no mundo. Lembra-se do horizonte? Naturalmente que o mundo, quando o universo se expande, está fazendo esse papel. Se houvesse o *Big Bang*, ele seria exatamente o universo de Milne, certo? Então, temos um horizonte de observação. O que significa isso? Quer dizer que, a cada momento, existem partes do mundo que observamos e partes que não observamos.

Se descrevemos o mundo em duas partes – vamos supor que se descreva o mundo de tal maneira que se elimine uma parte dele de sua descrição, para sempre –, o resultado concreto disso (já vamos ver o que isso tem a ver com a partícula), é dividir o mundo em duas regiões, uma região que observamos e uma região que não observamos.

A região que não observamos é o horizonte. Ali existem coisas que absolutamente não temos acesso.

Tudo se passa como se das fronteiras deste horizonte estejam chegando – fótons, partículas de energia, grãos de luz, ou outra coisa qualquer. Mas de onde vêm esses fótons? Esses fótons estão aí porque limitamos a nossa informação sobre o mundo. Eles chegam do que chamamos de região externa.

Tudo funciona como se tivéssemos, num laboratório, uma caixa mergulhada num fluido em temperatura T . Então, como há um equilíbrio, a caixa logo fica com a temperatura T . Você diz: “O que está acontecendo? Que temperatura é essa? Vai queimar meu dedo?”. Não, o que existe é simplesmente o número de partículas que você via antes, porque você era um observador não convencional. Mas se você é um observador de Milne, vai ver um monte de partículas, dependendo da estrutura do movimento, e como se estivessem mergulhadas nessa temperatura.

Ou seja, quando você me pergunta quantas partículas existem nessa caixa, eu pergunto: quem é você? “Você está vindo de onde?” “Eu estou vindo da feira.” – você responde. “Quantas bananas você comprou?” E você diz: “Quando eu estava lá na feira, eu era um sistema inercial, eu tinha um cacho, eu tinha uma dúzia.” Mas alguém que passava acelerado viu centenas e centenas de bananas. E nos perguntamos: de onde vêm essas partículas?

Na verdade, observamos que há certos conceitos que estamos acostumados a ver, acostumados a examinar. Mas, às vezes, o bom senso não funciona. E aí surge a terceira fase da cosmologia, ou seja, a idéia do que acontece se realmente pudermos passar além dessa região, o horizonte do eventos.

Vamos supor um cenário no qual o universo não teve um começo. O que quer dizer isso? O universo tem um volume e tem de ser uma quantidade

sempre positiva, ou seja, não pode nunca passar dessa região. A única coisa que pode acontecer é algo desse tipo: várias configurações, não importa muito o detalhe. O importante é saber que deve ter existido, possivelmente, uma fase colapsante anterior. Então, estamos dizendo que talvez tenha havido uma fase colapsante, que o Universo colapsou, de alguma maneira – esse universo parou de diminuir no seu volume – e começou a sua fase de expansão.

Estamos dizendo que, a partir desse volume mínimo – o *Big Bang* – teria começado uma fase expansionista. Mas, para examinarmos esse detalhe, precisamos de uma estrutura teórica que ainda estamos longe de conseguir, e que é exatamente o casamento completo entre aquelas teorias da gravitação e as teorias do interior da matéria, que chamamos de teoria quântica, embora esse nome não tenha muita importância.

Esse casamento está longe de ser consumado. Na verdade, para saber o que aconteceu nessa região, tudo o que se pode fazer, no momento, é aplicar ou estender formalmente todas as teorias para essa região. É o que fazemos na física convencional. Quando se tem uma lei física, estende-se o seu domínio de aplicação, até o momento em que algum evento novo, algum fenômeno novo, diga: não, ela não funciona nesse domínio, nessa região. Então, numa primeira aproximação, continuamos com todas as leis físicas que podemos imaginar que descobrimos.

Na verdade, entramos na terceira fase da cosmologia, contrariamente ao que apontava o cenário dos anos 80: é o que chamaríamos, fantasiosamente, de os modos de formação do universo.

Já nos convencemos de que a cosmologia tem um objeto. Qual é esse objeto? Não é a totalidade espaço/tempo? Já nos convencemos de que temos acesso a essa totalidade. Como? Através da observação: observamos as galáxias se afastando. E interpretamos isso dentro de um quadro, um cenário teórico compatível. Aí é possível entender que esse é um processo global, e que está acontecendo.

Mas agora vocês vão dizer que esse Universo pode ser fabricado, produzido, estudado na sua criação? De que objeto estávamos falando? E aí esbarramos imediatamente com uma coisa que Gödel falava: o próprio cenário no qual a cosmologia está entrando nesses anos 90, de produção de estruturas capazes de gerar esse Universo que habitamos.

Podemos imaginar que o objeto dessa Metacosmologia é exatamente a ciência, dentro das leis físicas conhecidas, capaz de produzir estruturas, que são aquilo que a gente chama de Universo. E podemos até imaginar que essas estruturas – se aderimos firmemente ao conceito de que a lei física é universal,

ou seja, que a lei física não é um processo evolutivo –, que esses diferentes universos poderiam até mesmo não trocar informações.

Pode-se dar um exemplo concreto de como isso pode acontecer num só Universo. Ou seja, quando se monta um cenário no qual você nunca vai observar, isso não é absolutamente o território da não-ciência. Porque senão, você teria de montar um cenário em que esse tipo de estrutura é absolutamente inobservável.

Nesse cenário, faz sentido uma discussão sobre a possibilidade das leis físicas variarem com o tempo. Essa discussão envolveu uma série de pessoas, inclusive César Lattes – físico brasileiro dos mais famosos – e deu origem, nos anos 40, ao princípio antrópico.

Na verdade, trata-se de uma idéia curiosa, porque ela mexe com um dos preconceitos mais fundamentais que os físicos têm, que é a possibilidade de se examinar a origem das leis. Isso não é do território da ciência, mas de alguma coisa fora da ciência. Por quê? Porque não podemos observar. Então, se aderimos a isso, vemos que a teoria da gravitação, a teoria do espaço/tempo, desse final do século xx, está mostrando que temos de limitar demais o cenário do mundo. Na verdade, pensamos que estamos falando de coisas extremamente sérias, observáveis, mas estamos usando uma extensão formal, sem sabermos que podemos estar envolvidos em circunstâncias que absolutamente não são observáveis.

Se queremos um cenário completo e coerente, temos de começar a discutir isso. Nem que seja para demonstrar que, na verdade, esse Universo é único. Nem que seja para mostrar que não temos e nunca teremos acesso a esses Universos.

Mas aqui acontece uma coisa curiosa. Vou dar um exemplo de como a física quântica se opõe à física clássica. Ela demonstra que existem interferências entre diferentes processos no mundo, e que o mundo, em certas circunstâncias, tornou-se associado a uma certa visão probabilística. Se isso é verdade, e se essa visão probabilística, em certas circunstâncias, realmente deve ser levada a sério, você começa a entender como diferentes cenários, sem estarem descritos na mesma estrutura de espaço/tempo, podem interferir.

Em outras palavras: algumas pessoas argumentam que na verdade esse cenário começou a ser montado por um físico russo nos anos 70, chamado Zeldovitch, e havia uma circunstância muito curiosa referente à pergunta: tudo o que descrevemos ainda é descrito num cenário antropomórfico? O que quer dizer isso?

O espaço e o tempo são situações que fazem parte da medida do homem. O homem não consegue conceber, nem sequer imaginar, pelo menos no seu

estado normal, uma estrutura de lei física fora do espaço e do tempo. Tudo o que existe, tudo o que é determinado na natureza, tudo aquilo de que o físico fala está dentro do espaço/tempo, ou é sobre o espaço/tempo.

Na verdade, esses cenários que começamos a investigar, começam a colocar em questão a própria idéia do que chamamos de totalidade do Universo. Podemos nos interrogar se é realmente preciso que haja uma representação espaço/temporal. Muitas pessoas argumentam que até mesmo as dimensões espaço/tempo não seriam quatro.

O cenário montado, hoje em dia, por vários setores da física, é realmente bastante fascinante, pelo menos é bem mais complexo em termos de possibilidade do que aquela simples idéia, dos anos 70 e 80, de que o Universo era irracional. Ou seja, de que teria havido um começo único, de explosão.

PERGUNTA: *Isso tudo tem alguma coisa a ver com um espaço paralelo, um universo paralelo?*

MÁRIO NOVELLO: *O que você quer dizer com "universo paralelo"? Tudo aqui é do interior da física. Tudo aqui são absolutamente coisas que eu posso observar. O ponto crucial é que há circunstâncias, uma vez que existe uma velocidade máxima de informação, que não observamos, mas não observamos porque está longe. Estamos apenas começando a montar essas estruturas.*

PERGUNTA: *Mas não seria um outro universo? Você poderia explicar um pouco mais isso?*

MÁRIO NOVELLO: *O universo é uma palavra, e não sei exatamente o que ela quer dizer. Na verdade, podem ser universos, pedaços de universos, como esse universo de que estamos falando. Isso não é absolutamente alguma coisa que podemos encontrar na esquina. São circunstâncias; estamos num domínio, numa situação na qual o Universo estava extremamente condensado, as energias envolvidas eram fantásticamente maiores do que a que temos do ponto de vista observacional, e daí essas especulações.*

São especulações dentro do território da física, por quê? Porque elas explicam as leis físicas em circunstâncias extremas. Mas isso ainda é especulativo, porque essas circunstâncias extremas não foram observadas. As leis físicas não foram observadas naquelas circunstâncias extremas. Nesse sentido é que a cosmologia é uma ciência observacional.

PERGUNTA: *Acredito que poderia haver uma objeção lógica quanto a esse tipo de coisa. Ciência ou metafísica? Se entendi bem, esses universos são inobserváveis e jamais o serão. Então, a ciência estaria falando de algo que, por princípio, ela diria que está fora do alcance dela mesma? Seria o quê? Metafísica?*

MÁRIO NOVELLO: Se você dissesse, para qualquer físico notável dos séculos XVII, XVIII, XIX que o estudo da estrutura do espaço/tempo era o absoluto, eles responderiam: "Isso é do território da metafísica". A metafísica era o último nível da física.

O que é da física hoje em dia, no século XX? Tudo aquilo que era considerado, nos séculos XVII, XVIII, XIX como do domínio da metafísica é o trivial. Desde 1910, a estrutura espaço/tempo faz parte do jogo do físico de gravitação, de cosmologia, ou da física em geral. Então, o que aconteceu? Usamos as leis físicas e extrapolamos o seu território de aplicação. Pode acontecer disso ser bom ou mau. Naquele caso, foi mau. E houve uma mudança radical, quando, no começo do século XX, descreveu-se esse problema e arrancou-se das mãos dos metafísicos a idéia de que o espaço/tempo era absoluto.

Na verdade, a solução melhor e completa do problema do universo é o Big Bang. Porque não há pergunta a ser feita. Isso, sim, é irracional. Então, naquele momento, diríamos que 98% daqueles físicos acreditavam piamente naquilo. Aquela comunidade era metafísica? Pior do que isso, era preconceituosa. E porque era preconceituosa? Todos os físicos, das décadas de 1960, 1970 e 1980 eram bobos, ingênuos? Por que eram preconceituosos?

Havia dois pés calcados e duas situações bem sólidas, uma teórica e outra observacional. O que estava errado? O que estava errado era a interpretação. A teoria dizia: provavelmente há uma singularidade. Quase todas as soluções das equações reais têm uma singularidade. Estava errado nisso.

Havia algo que dizia: você não observa o Universo em expansão? Então, o Universo foi menor no passado, logo, foi singular, logo, teve um começo. O que estava errado é que quando você tem um teorema – o chamado teorema de singularidade –, isso é colocado de frente para a comunidade. Ora, quando você fala de um teorema, e o coloca diante de um físico, ele absolutamente se curva diante dele. Por quê? Não há o que discutir, com um teorema você não discute. A única coisa que fazemos, nós, físicos – os matemáticos têm outro comportamento – é perguntar: "– Ele se aplica?" Essa é a questão trivial.

Para se aplicar um teorema, precisamos saber quais as condições de sua aplicação. A euforia que se seguiu à descoberta da singularidade do Big Bang não serve nada para a física. Montou-se um cenário de show, que se propagou. O pior é que se continua montando. Na verdade, o que eu quero dizer é que estamos entrando na metacosmologia, na metafísica, mas é isso que a física faz. É exatamente o que a física faz, é entrar e ir afastando a metafísica. O que não quer dizer que o território da metafísica está encolhendo. Isso é que é incrível.

PERGUNTA: O postulado de Plank tem tido alguma apreciação por parte dessa filosofia?

MÁRIO NOVELLO: *Você fala sobre a idéia de que existe uma quantização do mundo? Uma das questões aqui era a do casamento das idéias da física quântica com as da física de gravitação e esta é que vai definir qual o verdadeiro comportamento dessa região em que o universo é extremamente condensado.*

O que se precisa tirar da cabeça é que a física vai chegar ao final. Nós, físicos, devemos entender e explicar que a física é um jogo que não tem fim. Outro dia ouvi um físico famoso dizer que a física está praticamente esgotada. É exatamente a mesma coisa que dizia um físico famoso na virada do século XX. Ele dizia: só há dois probleminhas para resolver. Esses dois probleminhas deram origem à teoria dos quanta e à teoria da relatividade.

Hoje em dia, as pessoas dizem que nós temos a unificação das partículas, temos um cenário inteiro, a cosmologia padrão, um modelo de partícula padrão, que a física está acabando. Mas isso não tem nada a ver. A física é um jogo, é uma interrelação entre o homem e a natureza. E esse jogo não termina. É um jogo eterno.

Conseqüentemente nunca vamos atingir a Verdade, porque esta Verdade não existe. Isso é o horizonte. Você pode ficar famoso, mas esse é o território social, não é o território da natureza. Tudo isso é o território do social, o Prêmio Nobel e coisa e tal. É bom discutirmos isso, para que a atenção dos físicos não se desvie da verdadeira emoção, que é a emoção da natureza.

O mais importante, o essencial de tudo isso é o diálogo com a natureza, que se perdeu nesse final de século. Se formos vai ver as linhas de pesquisa do CNPq, os projetos de pesquisa brasileira, quais são as suas ênfases? Estão discutindo os problemas de fundamentos? Não. Não, isso não é para discutir. Não é para ampliar o nosso conhecimento, o nosso diálogo com a natureza? Não estamos fazendo ciência brasileira, mas internacional. Estamos copiando o que está acontecendo no cenário internacional. Isso é catastrófico. Então, está montado um circo. Mas, no final das contas, isso vai melhorar, porque esse circo não dura muito tempo.

PERGUNTA: *Existe alguma especulação sobre diversos universos que não se comunicam?*

MÁRIO NOVELLO: *Existe até uma idéia fantástica desses cavalheiros da Califórnia. Realmente a Califórnia é muito quente. Olha só o que eles dizem: em português, eu não posso dizer "buraco de verme", isso soa desagradável, mas em inglês é worm hole. Todo mundo acha muito interessante. O argumento é muito simples. Dizem eles: você tem buracos que são estrelas colapsadas às avessas, digamos assim. E você pode construir pontes.*

Em princípio, esses buracos são assim, são coisas que geram estruturas desse tipo. Existe uma estrutura desse tipo e temos um único universo. Na verdade, temos uma ponte entre dois universos, atravessamos de um universo para o outro. O universo lá longe, num infinito passado, era o vazio, o vazio da física, que é um vazio cheio.

O vazio da física não é o vazio convencional. Mas a estrutura do espaço era exatamente o que dizia a relatividade especial de Minkowski, vazia, plana. E existe também tem um colapso, e esse é o nosso universo. Metaforicamente, nos encontramos entre dois vazios.

Muito bem, podemos imaginar uma estrutura. Quem me diz qual é a topologia do mundo? "Bom, não sei, alguém deve saber." – responde o físico. E acrescenta: Não sabemos o que determina a topologia do mundo. Sabe o que esse pessoal da Califórnia faz? Identifica esse produto com um ponto. Sabe como? Pega uma folha, faz a figura do Möbius, e você pode passar; de repente, está do outro lado e você volta. Essas situações são catastróficas ou curiosas, porque a topologia é um pouco diferente.

O universo vem do vazio e volta para ele. E recomeça-se um ciclo. E esse ciclo obviamente é eterno, não há como pará-lo. É exatamente uma coisa parecida com isso o que eles fazem: eles têm dois buracos no universo e inventam a possibilidade de você fazer uma passagem fora do mundo, identificando topologicamente essa estrutura. Conclusão: é possível passar de um buraco para outro. Uma estrela, circulando no espaço, pode fazer a volta lá por fora e voltar a seu passado. Isso é uma máquina do tempo. Essa, na verdade, é a máquina do tempo que esse pessoal publicou na *Physical Review Letters*.

Você vai ficar velho muito antes de encontrar essa estrutura e certamente não vai encontrá-la. A situação é catastrófica: um universo que se repete eternamente do vazio para o vazio. Lembra um pouco o mito de Sísifo.

A pior conquista que os cientistas podem dar à sociedade é demonstrar que nós vivemos num Universo desse tipo, no qual não há razão alguma para eternamente se ficar girando nessa máquina infernal, absolutamente inútil e sem significado. Isso é um pouco catastrófico.

Eu gostaria que o universo não fosse desse jeito. Mas isso não é uma questão de gosto, e quem vai decidir isso é a observação.

Quando Hubble fez aquelas observações, notou que as galáxias se afastavam, e o que ele observava era o espectro das galáxias. Mas, para isso, a física atômica teve de ser desenvolvida. A física atômica que não tinha nada a ver com a evolução do Universo, nada a ver com a estrutura espaço/tempo. Mas se ela não tivesse se desenvolvido, não se teria o espectro, não se teria observado as galáxias. Nada diria que as galáxias se afastam, não se chegaria à idéia de que pode haver uma cosmologia. Não é uma beleza, verificarmos que a física atômica está ligada à estrutura da expansão do Universo?

PERGUNTA: O horizonte de observação e a possibilidade de experimentação vão crescendo com a física. Mas acho que a colocação anterior é que precisa ser corrigida.

Não se pode dizer hoje que, em princípio, ela é inobservável.

MÁRIO NOVELLO: É isso que a gente tem de aprender. Isso é que o físico pode dizer hoje. Mas a gente aprendeu que não deve dizer isso.

PERGUNTA: Se houvesse uma velocidade maior que a velocidade da luz, essa viagem no tempo seria possível?

MÁRIO NOVELLO: Desconhecemos a velocidade das ondas gravitacionais. Essa teoria da gravitação vigente argumenta que a velocidade das ondas gravitacionais é a mesma da velocidade da luz. Pode não ser. Vamos observar. Quando observarmos, vamos decidir. Se for inferior, a da luz continua sendo a máxima do sistema. Então, não conhecemos nada que vá com velocidade superior à velocidade da luz. Se houvesse, todo esse cenário deveria ser mudado, isso é óbvio, porque não há mais um horizonte eletromagnético de informação, é claro.

Il primo dei due è quello che si chiama "proposito" e si riferisce al fine o al scopo che si vuole raggiungere. Il secondo è quello che si chiama "modo" e si riferisce al modo o al mezzo per raggiungere quel fine.

Il proposito è quello che dà la direzione all'azione, mentre il modo è quello che indica la via da seguire. In altre parole, il proposito è il "perché" e il modo è il "come".

È importante notare che il proposito e il modo sono strettamente correlati. Non si può avere uno senza l'altro. Se si ha un proposito ma non un modo, si è solo in un'idea vaga. Se si ha un modo ma non un proposito, si è solo in un'azione cieca.

Quindi, per avere successo in qualsiasi cosa, è necessario avere sia un chiaro proposito che un modo appropriato per raggiungerlo.

A questo punto, è importante ricordare che il proposito e il modo non sono statici. Possono cambiare man mano che si procede, ma devono sempre rimanere correlati.

Infine, è importante ricordare che il proposito e il modo sono solo strumenti. Il vero successo dipende dalla volontà e dalla perseveranza.

Quando si ha un chiaro proposito e un modo appropriato, si è in una buona posizione per avere successo. Ma se si manca di uno dei due, si è in una posizione di svantaggio.

Quindi, se si vuole avere successo, è importante avere sia un chiaro proposito che un modo appropriato per raggiungerlo.

A meteorologia no Brasil, de ontem e de hoje

José Ricardo de Almeida França

26 de junho de 1996

Antes de falar da meteorologia no Brasil, fiz uma pequena retrospectiva histórica da meteorologia geral e do que nós conhecemos dela, desde o homem das cavernas. Obviamente não existe qualquer documento gravado ou escrito dizendo que o homem das cavernas era um observador meteorológico, nem outra coisa do gênero. Mas espera-se que eles tenham tido esse comportamento.

O homem das cavernas tinha de conhecer o máximo do que pudesse sobre a atmosfera. Ele saía da caverna, olhava para o céu, para ver que direção ele iria tomar. Esses eram povos nômades, tinham de saber que direção eles iam tomar para encontrar a pesca, a caça mais apropriada. Muitos historiadores escreveram sobre essa possibilidade.

Em seguida, há algumas citações no Velho Testamento, relatos de personagens bíblicos que prevêem corretamente o tempo através da palavra de Deus. É importante lembrar que, durante muitos séculos, as civilizações pensavam que quem controlava a atmosfera, o sol, a chuva, o vento eram os deuses. Não se discutia muito a parte científica dos fenômenos.

Podemos encontrar algumas citações de personagens bíblicos que prevêem o tempo através da palavra de Deus. Nenhum meteorologista fez uma afirmação tão precisa quanto Eliú, por exemplo. Eliú disse a Jó: "Do sul vem o tufão e do norte virá o frio". Ora, trata-se de um fenômeno do hemisfério norte, da região onde eles habitavam, ou seja, onde ele acontecia realmente. Se é verdadeira a história de Noé, ele foi um grande meteorologista, porque conseguiu prever com bastante antecipação 40 dias de chuva no deserto. Outro grande meteorologista foi José, que através sonhos fez a previsão de

sete anos de abundância no Egito. Depois desses, os sete anos seguintes foram de fome. Essa abundância e essa época de fome estavam relacionadas às condições atmosféricas. E havia superstições: o povo acreditava que, quando as nuvens escureciam no poente, a chuva estava prestes a cair. Começaram, desde essa época, as observações de fenômenos e a partir delas, as pessoas já começaram a tirar algumas conclusões.

Em seguida, vêm os egípcios. Dos egípcios não existe muita coisa de meteorologia. A principal preocupação deles era em relação ao nível do rio Nilo. Embora, obviamente, isso esteja ligado à chuva, à meteorologia, não havia uma preocupação atmosférica com ventos e chuva locais. Isso não interessava aos egípcios, povos que estavam localizados, em geral, em regiões que apresentavam um tempo bom.

Os primeiros conhecimentos meteorológicos dos povos civilizados começaram na região compreendida entre o Oceano Índico e o Mar Mediterrâneo – na Itália, na Turquia, na Pérsia, no Paquistão e na Índia – onde, há fortes variações climáticas, fenômenos de monções, entre outros. E onde passa-se a fazer uma observação do céu e dos ventos.

É sempre bom lembrarmos que, nessa época, estudar a atmosfera era um pecado. Como falei anteriormente, e como estava escrito no Velho Testamento, o controle do tempo estava exclusivamente nas mãos dos deuses. Foram os babilônios, há mais de 4.000 anos, os primeiros a cogitar de um modo mais estudioso a questão da atmosfera. Seus sacerdotes estudavam os ventos e as nuvens, assim como as estrelas, que eles julgavam controlar os deuses, e aí vem novamente aquela idéia da meteorologia e da astronomia, no passado, que eram coisas muito ligadas, nas cabeças das pessoas, como se fossem uma só.

Depois, vieram os gregos. Também na civilização grega, a atmosfera e as suas variações eram controladas por entidades divinas. Mas foi na civilização helênica que observamos os primeiros estudos científicos de meteorologia, e que foram aceitos durante muito tempo como sendo totalmente verdadeiros. Esses estudos devem-se a Aristóteles e Teofrastes, seu discípulo. Eles foram os primeiros a estudar abertamente as chuvas, os ventos e a fazer descobertas importantes.

Aristóteles escreveu o primeiro livro, que se tem conhecimento, de meteorologia: chamava-se *A meteorologia*, que deriva de uma palavra grega que significa “coisas acima da terra”. Aristóteles estudou os ventos, a direção e a velocidade, registrando que tipos de vento davam origem a que tipo de tempo. Obviamente esses eram estudos rudimentares, porque, naquela época, não existiam aparelhos de medidas precisas. Depois havia os estudos das

nuvens, suas formas, tamanhos e cores. Mais uma vez ele tenta associar o tipo de nuvens que se está observando com o tipo de tempo que vai ocorrer após a presença daquela nuvem. Obviamente é um trabalho que apresenta muito mais erros do que acertos.

A primeira coisa que constatamos era que não havia instrumentos (termômetro, barômetro, anemômetro e outros) para medir esses parâmetros da atmosfera. Um outro erro fatal nessa obra é que Aristóteles afirmava que tudo o que existe na Terra é uma combinação de quatro elementos: a terra, a água, o fogo e o ar.

Hoje sabemos que isso não é verdade. Mas já naquela época, mais de 2.500 anos atrás, Aristóteles já tinha idéia do fenômeno da convecção e da formação de nuvens, ou seja, ele já afirmava que o ar quente tende a subir para as altas camadas da atmosfera e que a evaporação é causada pelo calor solar, e que esse vapor d'água, subindo, vai sofrer um rebaixamento de temperatura e cair sob forma de chuva. Foi a primeira pessoa a explicar o fenômeno da precipitação e a falar que as nuvens são a condensação do vapor d'água.

Obviamente a Meteorologia deve muito ao trabalho de Aristóteles, que foi o primeiro a se interessar sobre o assunto, sob o ponto de vista científico; o primeiro a estudar, fazer anotações e a escrever sobre isso. E essas anotações foram tidas como verdadeiras, pelo fato de que as pessoas não as discutiam, uma vez que o tempo era controlado pelos deuses. Em suma, não se investigava muito.

A escola pós-Aristóteles não discutia mais a obra deste filósofo, que era tida como a Bíblia da meteorologia. Aristóteles escreveu tudo, e não se estudava mais nada, porque o que estava escrito ali era verdadeiro. Obviamente, entre os gregos, havia muitos meteorologistas amadores. Os marinheiros, por exemplo, observavam as figueiras. Quando as folhas cresciam a um ponto que atingiam o tamanho da pata de um corvo, aquilo era sinal de bom tempo. Bom tempo nos próximos dias, nos próximos meses, e aquilo era propício para as grandes viagens que eles faziam.

Muitos dos habitantes das cidades gregas examinavam o tempo. Por exemplo, no primeiro dia do ano, eles anunciavam que tempo ia fazer no mês um; no dia dois, o tempo do mês dois; do mês 3, e assim consecutivamente. Uma coisa importante é que durante muitos séculos pessoas do mundo inteiro observavam a atmosfera em volta delas e faziam suas próprias leis meteorológicas. De certa forma, é graças a essas observações que surgiu a meteorologia como ciência.

Mais tarde, os cientistas iriam fazer essas observações como bases para estudos científicos mais apurados. Muito da nossa meteorologia moderna é

um aperfeiçoamento desses rudimentares começos. O homem do passado, como o de hoje, recorre a tudo o que pode, na tentativa de compreender os mistérios da atmosfera. Mesmo no século XX, com computadores e satélites, ela é difícil de ser colocada na cabeça de um agricultor do interior, por exemplo. Para ele é difícil crer que o serviço de meteorologia vai fazer uma previsão melhor do que a dor que ele sente nas costas, do que a galinha que sai do poleiro, etc. Ainda existe essa base rudimentar.

Fazendo uma retrospectiva histórica, podemos destacar em 1632, com Galileu, em Florença, a invenção do primeiro termômetro. Em 1643, Evangelista Torricelli descobriu o peso do ar e começou a fazer as primeiras medidas de pressão. Em 1720, Fahrenheit, que era um físico alemão, fez um aperfeiçoamento do termômetro de Galileu, que não tinha escala – existia uma variação do mercúrio, mas não existia uma escala. Foi Fahrenheit quem começou a colocar as escalas no termômetro de Galileu.

Em 1743, Benjamim Franklin começou a estudar a trajetória das tempestades na América e descobriu que elas provinham do Ocidente, e não do Oriente, como se pensava até então. Ele tinha amigos nos Estados Unidos e através de telégrafos, cartas, pedia a esses amigos que observassem o tempo, de onde vinham as tempestades, para onde elas iam. A partir de então, ele começou a traçar uma primeira climatologia das tempestades nos Estados Unidos.

Em 1800, Luke Howard, cientista inglês, fez a classificação das nuvens tal como a temos hoje: nuvens baixas e médias, extratos e nuvens altas. Ou seja, ele fez a primeira classificação das nuvens em função da graviometria e da altitude das mesmas. Naquele mesmo ano Beaufort, um cientista inglês, criou uma escala para medir a intensidade dos ventos. É interessante que essa escala é usada até hoje. Desde 1800, é utilizada para medir a intensidade dos ventos. Existe obviamente uma correlação entre a velocidade média por segundo e a escala de Beaufort, mas é principalmente na Marinha que ela é a mais utilizada.

De 1835 a 1839 Espy, um cientista americano, retomou os trabalhos de Franklin e fez um estudo das tempestades. Ele é o que poderíamos chamar de “o pai do serviço meteorológico americano”, foi o responsável pela instalação de uma rede de observação meteorológica importante. Espy sentiu a necessidade de, para explicarmos a atmosfera, existir uma rede de observação muito bem espalhada e com uma boa densidade.

As guerras foram fatos históricos importantes para o desenvolvimento da meteorologia como ciência. A Primeira Guerra Mundial foi extremamente importante para a meteorologia. Os ingleses estavam adiantados em relação à meteorologia, mas eles não se comunicavam mais com os povos escandina-

vos, com medo de que os alemães interceptassem essas comunicações. Então, os povos escandinavos ficaram isolados do ponto de vista meteorológico. Eles recrutaram os grandes cientistas e disseram: "Nós temos de fazer nossa própria previsão com verificações e tudo." Foi aí que nasceu uma teoria extremamente importante, a teoria das frentes polares e de massa de ar, criada e desenvolvida por Bjerkness, um meteorologista norueguês.

Em paralelo, Rossby foi a primeira pessoa a fazer uma radiossondagem da atmosfera, ou seja, a soltar um balão para traçar uma radiografia vertical dela. Em seguida, a Segunda Guerra Mundial foi a responsável pelo aparecimento dos foguetes e dos primeiros satélites meteorológicos.

Vamos voltar falar agora da meteorologia do Brasil, como ela foi desenvolvida. Ela compreende três etapas bem marcadas. A primeira, no século XVI, é a fase embrionária, em que se destaca o 'weather-lore', a observação feita pelos silvícolas. A observação que eles faziam era baseada na influência da declinação do Sol sobre o comportamento de certos fatores meteorológicos, como a chuva e o vento, ao longo das regiões em que habitavam. Nos séculos XVII e XVIII, é o que chamamos da fase pré-científica, em que surgem os primeiros estudos de climatologia e inicia-se uma atividade meio desorganizada de estudos dos elementos meteorológicos.

Somente no final do século XVIII é que vão surgir as primeiras séries de medições no Brasil. Sempre nessa fase de desenvolvimento, os elementos vento e chuva são os que interessam diretamente às pessoas. No século XVIII, dá-se início à fase científica do desenvolvimento da meteorologia no país.

Em 1909, cria-se a Diretoria de Meteorologia e Astronomia, do então Ministério de Agricultura Indústria e Comércio. A direção dessa entidade foi dada ao doutor Henrique Morize, na época diretor do Observatório Nacional e professor da cadeira de física e meteorologia na Escola Politécnica do Rio de Janeiro. A sede ficava no antigo Morro do Castelo, e dispunha dos seguintes órgãos: uma Administração Geral, o Observatório Nacional, a seção de Meteorologia e Física do Globo, a seção de Astronomia e Geodésica, seguida pela unificação da atividade climatológica e da expansão da rede dos postos meteorológicos.

Henrique Morize foi a primeira pessoa a estudar e escrever sobre a meteorologia no Brasil. Nessa época, ele foi responsável por agrupar as atividades climatológicas e por instalar uma rede de postos de observação nas estações meteorológicas no Brasil. 1909 foi um marco na história do desenvolvimento da meteorologia oficial, da federalização da meteorologia no Brasil. Um dos principais objetivos era estudar os fenômenos das secas, os regimes de estiagem e cheias dos rios e a previsão do tempo. A primeira previsão do tempo

só foi feita em 1917, para o então Distrito Federal, no estado do Rio de Janeiro. Era uma previsão bem localizada.

Em 1921, haveria um desdobramento da Diretoria de Meteorologia e Astronomia em Diretoria de Meteorologia e Observatório Nacional. Aí se separa a meteorologia da astronomia. Essa Diretoria foi dirigida pelo meteorologista Sampaio Ferraz, uma das pessoas que mais contribuiu para a meteorologia no Brasil. O serviço dessa nova diretoria era continuar o trabalho de climatologia então feito por Henrique Morize. Consistia em fazer a previsão do tempo, estudar meteorologia agrícola; a meteorologia voltada para a agricultura; a chuva e o serviço de prevenção de enchente, o que hoje é atribuição da Defesa Civil e da aerologia em geral.

Eu trouxe um livro que considere interessante. É o primeiro livro de previsão do tempo: *Conferência pelo doutor Henrique Morize*, de 1918. Foi publicado pela Imprensa Nacional, na época. Nele, Henrique Morize traçou as primeiras cartas do tempo, com sistemas de pressão, sistemas de baixa e de alta, com notações sobre as condições do tempo na região. Essa era a área que interessava para a previsão.

Uma coisa interessante nesse livro é que hoje nós discutimos muito sobre a probabilidade dos acertos e erros nas previsões do tempo. Nessa obra, Morize já falava que havia de 83% a 90% de acertos nas previsões para 24 horas, em 1917.

Num outro livro, *Observatório Nacional do Rio de Janeiro – Contribuição ao Estudo do Clima no Brasil*, também escrito pelo doutor Henrique Morize, em 1927, o autor começa a traçar as primeiras normais climatológicas, isto é, a fazer a primeira climatologia. Ele divide o clima entre equatorial, subtropical e clima temperado. Obviamente, hoje em dia, a divisão climatológica do Brasil não é essa, mas foi uma primeira climatologia, uma primeira carta, onde o Brasil está dividido em climas. E seguindo a mesma linha, traça a distribuição das isotermas, da temperatura média no país. Isso foi feito em 1927.

Obviamente a Meteorologia foi relegada, privilegiada ou desprivilegiada por uma série de indicações feitas por ministros que entravam e saíam. Depois, o Observatório da Meteorologia foi desmembrado e, criaram-se departamentos de Meteorologia; passou a existir o Serviço de Meteorologia; o Instituto Nacional de Meteorologia. Recentemente, no governo Collor, voltou a ser um Departamento de Meteorologia relegado a uma secretaria sem nenhum interesse. Sucatearam completamente o Instituto Nacional de Meteorologia. Entre os anos de 1930 e 1960, talvez a rede de observação meteorológica fosse muito melhor do que é atualmente.

De certa forma, com o desenvolvimento da meteorologia como ciência matemática, talvez tenha havido um descaso com a observação. Além de termos modelo matemático com vinte canais, que exige supercomputador para ser rodado, com que dados vamos rodar esses modelos? Então está havendo uma volta, uma conscientização da importância da observação meteorológica.

Ao mesmo tempo faço uma retrospectiva da história do curso de meteorologia da UFRJ, o primeiro curso de meteorologia do Brasil, iniciado em 1964, com experts da Organização Meteorológica Mundial. A primeira turma saiu em 1967, e foram as primeiras que tomaram o trabalho dos experts e continuaram a dar desenvolvimento ao curso. Comparado com outros, é um curso relativamente novo. Estava ligado ao Departamento de Física, da então Faculdade Nacional de Filosofia, da ex-Universidade do Brasil. Com a reforma universitária em 1967, foi constituído um Departamento de Meteorologia junto ao Instituto de Geociências como é atualmente: há os departamentos de Meteorologia, Astronomia, Geografia e Geologia.

Ele foi um centro regional de treinamento da Organização Meteorológica Mundial. Representantes de todos os países da América Latina vinham ao Rio de Janeiro e ao nosso departamento para se formar em meteorologia. Tivemos grupos de peruanos, panamenhos, bolivianos; chegavam com bolsa da Organização Meteorológica Mundial cursar meteorologia no Rio de Janeiro e depois voltavam ao país de origem.

Hoje existe também o curso de meteorologia da Universidade do Pará, em Belém, que tem uma vocação mais tropical. Ele foi reconhecido em 1977 pelo Conselho Federal de Educação; nossa profissão também é reconhecida pelo sistema de Crea. Para exercer a meteorologia, é preciso um diploma do Ministério.

Os objetivos do curso e o que se espera de um meteorologista é conhecer e compreender a natureza e as propriedades da atmosfera, seus processos de interação e modificação com a biosfera, a litosfera e a isosfera. As leis, os principais métodos da física da atmosfera, a importância da meteorologia nos setores humanos, nas atividades humanas industriais e da agricultura. Some-se a isso, administração, gerência, metodologia e pesquisa científica.

Deve-se também evidenciar a habilidade para selecionar e utilizar procedimentos e técnicas instrumentais adequadas ao exercício da atividade meteorológica, para comunicar o conteúdo científico técnico. A comunicação é extremamente importante. No Brasil, está acontecendo atualmente uma revolução na comunicação da meteorologia. As redes de comunicação estão começando a investir em meteorologia, em colocar meteorologistas falando

do tempo na televisão, dando explicações, cometendo erros e acertos. São avanços muito grandes.

Uma outra habilidade requerida é planejar e coordenar a execução da atividade meteorológica e evidenciar a distribuição com qualquer carreira científica, para diversas atividades.

Agora vamos falar mais da atualização e da modernização da meteorologia no Brasil, o que, de uma certa forma, é hoje nossa meteorologia federal e governamental, pois as universidades são responsáveis pela formação de pessoal e por pesquisas. Temos hoje a Universidade Federal do Rio de Janeiro a Universidade Federal de Alagoas, a Universidade Federal da Paraíba, a de Belém, a de Pelotas. Em termos de centros de pesquisas, temos o Inpe, em São José dos Campos, que possui uma Divisão de Meteorologia. A Unesp tem o Instituto de Meteorologia, em Bauru. A Funceme, Fundação Cearense de Meteorologia, que é uma fundação extremamente importante e nos últimos governos teve um incentivo muito grande para desenvolver a meteorologia no Nordeste. Lá eles são atingidos por secas, o clima está se tornando cada vez mais semi-árido. Então, criaram uma Divisão de Estudos das Ciências Atmosféricas: o Inpa, Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas, o Inpe e o CPTEC, que é o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. O governo federal investiu ultimamente milhões de dólares na compra de um supercomputador, em infra-estrutura de informática.

Há também órgãos operacionais, que são os responsáveis pela divulgação da previsão meteorológica. Temos o Instituto Nacional de Meteorologia, responsável pela previsão, em geral, para agricultura, mas que também fornece informação para o público em geral. O CPTEC tem por finalidade fazer previsão numérica do tempo, através de modelos e a enviam para os outros órgãos operacionais, que, em função das observações e da previsão numérica, vão fazer a previsão.

O Ministério da Aeronáutica faz a previsão da Aeronáutica, o da Marinha faz a previsão da Marinha e a Infraero, para os aeroportos no Brasil. Temos uma formação técnica, o Cefet, no Rio de Janeiro, e a Univap, em São José dos Campos, na Universidade do Vale do Paraíba.

Através da criação desse centro, criou-se também um subprograma entre os estados brasileiros. Quer dizer, estão sendo criadas algumas coisas, mas não se está fechando o que havia. Em 1990, criou-se o Programa de Monitoramento do Tempo e Clima e Recursos Hídricos, com o apoio do Ministério da Ciência e da Tecnologia, da Secretaria de Planejamento do Inpe, do CPTEC e do CNPq. Mais uma vez, são milhões de reais que estão sendo empregados em infra-estrutura pelo governo federal.

O governo federal, através da Finep e de outros órgãos, vai equipar esses centros estaduais e regionais de infra-estrutura com computador, instrumentos etc.; os governos estaduais são responsáveis pela manutenção e pela contratação de pessoal para trabalhar dentro desses centros.

Os objetivos principais são o monitoramento e a previsão do tempo e do clima, pesquisas de recursos hídricos, de disponibilidade hídrica, além da pesquisa de uso do solo. Isso funciona através dos núcleos estaduais. Hoje já temos dezoito estados que participam desse programa.

Eu trabalho com satélites. O satélite, hoje, constitui uma ferramenta essencial para a meteorologia no Brasil, dada a nossa extensão territorial e pela falta de dados que temos sobre tudo, desde o uso do solo a cálculos de temperatura, velocidade do vento, nuvens, etc. Os satélites constituem uma ferramenta essencial.

Obviamente, nos países onde existem redes de observação de superfície extremamente densas, os satélites são um aporte, uma ferramenta a mais que vai melhorar a previsão. Mas esse índice de melhoria é relativamente pequeno se comparável ao índice de melhoria que ele nos traz, uma vez que no Brasil não há uma rede tão densa de observação.

A cada ano que passa, mais satélites são enviados com objetivos e propósitos diferentes. Essa quantidade de produtos tende a aumentar cada vez mais, embora não existam recursos humanos para trabalhar nem na meteorologia, nem na área de sensoriamento remoto. A demanda e o desenvolvimento tecnológico estão sendo muito maiores do que a formação de recursos humanos.

Hoje, por exemplo, no CPTEC, existe a Divisão de Meteorologia por Satélites. Somos cinco pessoas a trabalhar e nenhuma delas é funcionária do CPTEC. Somos especialistas que viemos de outros locais e vamos lá duas vezes por semana. Não existe na universidade pessoal capacitado para trabalhar nessa área, não existe formação de recursos humanos.

Os produtos vão desde perfis de temperatura e vertical, ozônio, radiação de onda longa, classificação de nuvens, aerossol, índice de vegetação, temperatura da superfície do mar, estimativa de precipitação, vento, detecção de geada, queimada, temperatura da vegetação e do solo, fluxos de céu claro, quantidade de água líquida, espessura, fluxos de radiação e taxas de resfriamento. Tudo isso são produtos disponibilizados pelos satélites. São coisas que poderiam ter observação de superfície, mas que estamos tentando desenvolver por satélite, para cobrir essa deficiência.

O procedimento é o seguinte: através de uma antena de recepção, o satélite recebe uma imagem digitalizada; processamos essa imagem e a passamos via internet, para a meteorologia.

Através de uma workstation, essa imagem é captada no CEPTEC. Aí procedemos a calibração e visualização da imagem, e depois a liberamos. Esse é o nosso objetivo, soltar imagens como produto para ser utilizado pelas pessoas. Com o seu computador em casa, você faz um http, entra no micro da universidade e obtém as cartas: de índice da vegetação, da temperatura da superfície, das nuvens, das queimadas etc. Todos são parâmetros extremamente importantes, tanto para a meteorologia – para a previsão do tempo não são tão importantes –, quanto para estudos climatológicos. São elementos essenciais. A partir de agora, acho que dentro de dois meses, nosso objetivo é começar a lançar esse produto. Você conecta no CPTEC e já tem essas cartas disponíveis, em tempo quase real, em uma ou duas horas de processamento. Esse serviço está disponível para o público em geral, conectado em rede.

O CPTEC é uma estrutura meteorológica moderna, tal como ela é feita na USP e que nós estamos tentando fazer aqui na UFRJ. Os modelos são existentes, ninguém está inventando mais modelo nenhum. Eles têm como base a equação de mecânica dos fluidos. Há parametrizações, há a física. Pode-se parametrizar tudo dentro do sistema de equações. Há mais de duas mil equações e esse é um modelo que requer um supercomputador. O objetivo é que esses modelos possam assimilar o máximo de dados possível. O modelo deve estar preparado para absorver esses dados e será mais performático quanto mais dados ele comportar. Atualmente, com os nossos modelos brasileiros, que estão sendo rodados, trabalhamos com dados de entrada de campos derivados da análise do modelo americano. Há um cuidado muito grande porque estamos entrando em coisas que foram previstas e não observadas. Mas o índice de acerto é razoavelmente bom.

Em toda essa estrutura, há todo tratamento estatístico de qualidade de dados, uma ingestão da previsão numérica desses dados, que pode ser feita por satélite ou pela observação.

Os dados fornecidos pelo modelo de previsão entram naquele esquema de ingestão, e lançamos os produtos, a detecção de nevoeiros e geadas, a precipitação, o vento, a classificação de nuvens, os sistemas convertidos. Isso tudo vai entrar num banco de dados que será utilizado no modelo de previsão, em estudos climáticos e nas análises e diagnósticos do tempo. Outra ingestão desse modelo de previsão são o vento, o índice de vegetação, o comportamento da vegetação e a temperatura da superfície, tanto marítima quanto continental.

São sondagens da atmosfera feitas por satélites. Isso tudo vai ser ingerido dentro desse modelo de previsão, que vai soltar campos de temperaturas e umidade previstas. Uma vez toda essa relação feita, a vantagem vai ser para a

meteorologia operacional, que vai poder utilizar todos os produtos em benefício da previsão do tempo. O objetivo final é a meteorologia operacional.

Outro produto, por exemplo, é a carta; trata-se de um modelo global, de todo o planeta, que já roda também com dados de outros países, para soltar cartas de radiação de onda longa (radiação de onda longa é a radiação que sai de superfícies terrestres em direção à atmosfera, no infravermelho). Temos as cartas globais e, através do monitoramento dessas cartas, vamos começar a observar fenômenos como a intensificação do El Niño, as monções.

Na universidade, através do interesse dos alunos na criação de um grupo de previsão do tempo para o Estado do Rio de Janeiro, criamos o Grapete (Grupo Acadêmico de Previsão e Estudo do Tempo) e estamos ligados em rede. Pegamos todos esses produtos e vamos analisar, fazer uma previsão para o Estado. Estamos com isso cumprindo o objetivo de todo o investimento da meteorologia no Brasil, que é o de aproveitar o que está disponibilizado para esses grandes centros. Os integrantes são alunos que têm bolsa e alunos colaboradores, pessoas que estão lá por interesse, não estão ganhando nada.

Obtemos dados do NMC (*National Meteorologic Center*) dos Estados Unidos; do CPTEC, imagens de satélite e prognósticos do modelo global. Da Infraero, via telex, recebemos observação meteorológica de superfície e de altitude. Com todos esses dados, fazemos a visualização através de *softwares* e elaboramos uma previsão.

Para a cidade do Rio de Janeiro, temos uma informação razoável em termos de direção do vento e da temperatura. Junto com outras observações, dá para se ter uma idéia da evolução dos parâmetros atmosféricos.

Uma outra ferramenta é a imagem de satélite. No vídeo do computador, dá para ver bem, com várias imagens. Fazemos uma animação e, através dessa imagem, dá para analisar a evolução das massas de ar. Isso vai ajudar, junto com aquele campo, a fazer uma previsão. Nós soltamos um boletim com a análise do tempo no dia, uma previsão para 24 e 48 horas. Vamos sempre reatualizando a previsão. E começamos agora a fazer um estudo para ver se a previsão está certa, se estamos acertando ou errando. Já fizemos uma preliminar com a previsão dos outros; agora está na hora de fazer a nossa.

Todo mundo fala que a meteorologia desenvolve um papel fundamental, na *global change*, na variação climática. O clima está mudando, há confusões, há teorias. O principal papel de toda essa história de variação climática é o balanço radiativo da atmosfera. O sol é a principal fonte de energia do sistema Terra/atmosfera. A energia entra na forma do visível, ela é absorvida, refletida na atmosfera e na superfície, e a superfície vai emitir em forma do infravermelho. Tudo o que se passa na troposfera, a camada da atmosfera em

que nós vivemos, e que pode causar um aumento da absorção da radiação infravermelha, ou mesmo na reflexão da radiação solar, é importante para o estudo da variação climática.

Quando se fala da *global change*, da variação climática, o que está embutido fisicamente é um balanço radiativo no sistema Terra/atmosfera. Para se compreender o clima, hoje, não basta ser apenas meteorologista ou físico. Isso é uma complexidade, requer uma multidisciplinaridade, que faz com que consigamos modelizar o clima e ver o que está acontecendo.

Num fluxograma pode-se ver como se deve modelizar e estudar o clima. Podemos ver que há um sistema físico e um sistema bioquímico. Na interface dos dois, há uma atividade antrópica e fatores externos, que são o Sol e os vulcões. O fluxograma mostra bem que o estudo do clima e, das suas variações não é competência de uma só pessoa. São várias pessoas atuando juntas que fazem com que consigamos mais tarde compreender todas as interações e quem sabe prever o comportamento do clima do sistema terrestre.

Tenho um colega que é astrônomo e astrofísico. O que ele fez? Modelizou o Sol, o comportamento da nossa estrela, com manchas e erupções solares. Ele tornou esses resultados da modelização e os introduziu num modelo atmosférico para a pequena era glacial, do século XVIII. O que ele fez? Diminuiu a radiação, o valor da constante solar de um watt por metro quadrado, e traçou o comportamento com relação à média global, o comportamento de parâmetros, que no caso é a temperatura.

Se diminuirmos a constante solar, o que vai acontecer com a temperatura média anual no planeta? Obviamente vamos ter uma variação menor na região intertropical, e variações maiores e mais importantes nas regiões polares. Então, através do estudo do Sol, já se pode traçar o comportamento de diversas variáveis atmosféricas.

Coisas importantes existem no estudo do clima: o ciclo hidrológico, saber como se comporta a água, porque a água é um dos principais parâmetros importantes para a vida terrestre. Qual o comportamento desse ciclo da água? Por incrível que pareça, ele ainda não é muito bem conhecido. Ainda há incertezas muito grandes que dificultam que se faça uma modelização.

A água viaja através da atmosfera e através do solo de forma extremamente complexa e interessante. Então, o estudo climático passa pelo estudo do ciclo hidrológico, pelos problemas de desmatamento. Temos uma floresta. Ela é responsável pela emissão e pela absorção de vários gases na atmosfera: metano, CO_2 , entre outros. Quando se desmatar essa floresta, o que acontecerá no Brasil – e não só no Brasil, mas nos países em desenvolvimento, do cinturão intertropical? Vai haver uma mudança na constituição desses fluxos, além da

destruição da biodiversidade das florestas, além da mudança no comportamento de temperatura, da precipitação e do uso do solo no local. Tudo isso passa pelo estudo do clima.

Através das imagens de satélites podem-se observar regiões que eram florestas primárias e sofreram a ocupação do solo, instalando plantações e pastagens: o aumento dessa ocupação muda o comportamento não só dos gases, mas também dos ciclos hidrológicos e até o comportamento climático regional. Hoje em dia, existem grandes experiências mundiais multidisciplinares que têm como objetivo estudar todas essas mudanças que estão acontecendo. A partir de agora, começamos um *workshop* internacional em que vamos fazer um perfil de todos os ecossistemas da região Amazônica. Vamos estudar tudo, absolutamente tudo: gases, água, temperatura, vento, nuvens, ocupação do solo. O *workshop* conta com a participação de muitos cientistas brasileiros, americanos e europeus e tem o financiamento da Comunidade Econômica Europeia, da Nasa e do Brasil, através do Ministério da Ciência e da Tecnologia. Já vamos começar a traçar as perspectivas de como vai ser feito esse experimento.

Há um programa europeu no qual trabalhei muito tempo. Ele estuda a dinâmica e a química da floresta equatorial. O Salt é um programa que estuda a erosão eólica; o Ecofide, também europeu, estuda os ecossistemas em florestas intertropicais. O Tracy Safari estuda o aerossol e os problemas de queimadas e savanas da África do Sul. O Abrapes é um projeto franco-britânico que estuda o ciclo hidrológico da floresta Amazônica. Em qualquer lugar do mundo ouve-se falar desse programa, que vai estudar a importância da Amazônia no comportamento climático global, além de outros projetos menores.

Vou falar rapidamente das queimadas e de um experimento que fizemos numa savana africana. Fomos lá, botamos fogo. Claro, há males que vem para o bem. Fizemos isso para estudar a química e a dinâmica da atmosfera em função das queimadas. Se fizermos um esquema químico, temos o quanto uma queimada produz de poluição na atmosfera: gases metano, monóxido de carbono, ozônio e outros, contribuindo para a formação de chuva ácida e de outros fenômenos, como a oxidação.

Foi extremamente interessante essa descoberta. As primeiras equipes foram às florestas na África para medir o vento na camada limite da floresta. E o pessoal da química foi lá, com pluviômetros, e analisou a chuva nessa região, de uma acidez enorme. De onde vinha essa acidez? Então, analisando a história das massas de ar, observamos que essas massas de ar atravessavam toda a zona de savana africana. E a zona estava passando por uma série de

queimadas. A massa de ar trazia o comportamento histórico da superfície por onde ela está passando.

Então mudamos a estratégia. Em vez de floresta, fomos para a savana, medir cada componente desse item, tentar entender como estava sendo produzido e qual o efeito na atmosfera.

As observações são feitas por satélites do Landsat. Estamos um pouco mais avançados nesse estudo do que os nossos colegas de outras áreas, mas é importante frisar que, para mim, a coisa mais interessante é que a atmosfera não pode ser estudada isoladamente. Nós podemos avançar muito, mas não vamos concluir nada se não houver interação com pessoas de outras áreas.

Vou encerrar com o futuro. No Brasil, o futuro passa por uma rede automática de coleta de dados via satélite, ou seja, não se precisa mais de um observador que vá lá fazer as observações. O futuro da meteorologia no Brasil passa pela rede automática, por centros de previsão do tempo, em escala regional, quer dizer, uma sofisticação do que estamos fazendo academicamente na universidade de cada estado: utilizar tecnologia federal para melhorar a previsão regional, estadual.

Em resumo, podemos considerar que está havendo um aumento considerável da atividade meteorológica no Brasil, mas o mesmo não é proporcional à formação de recursos humanos. Cada vez temos menos alunos, cada vez formamos menos alunos, e a potencialidade de trabalho aumenta. A grande necessidade é de recursos humanos e, obviamente, a interdisciplinaridade.

PERGUNTA: Esses cursos e centros de meteorologia fazem previsões totalmente independentes um do outro?

JOSÉ RICARDO: Fazem. É estranho, mas é verdade.

PERGUNTA: Mas os resultados são muito divergentes?

JOSÉ RICARDO: Não. O que acontece é que existem vocações e interesses políticos diferentes. No Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos há um supercomputador que foi comprado exclusivamente para fazer previsão do tempo e previsão numérica. Lá, nesse centro, localizado em Cachoeira Paulista, em São Paulo, eles têm o objetivo de fazer estudo e pesquisa de previsão do tempo a médio e a longo prazos; previsão numérica, de vários modelos numéricos de meteorologia para as escalas global, regional, local. Eles colocam esses modelos para rodar no computador, e depois os modelos saem nos campos das variáveis meteorológicas.

PERGUNTA: Qual o percentual de acerto na previsão do tempo?

JOSÉ RICARDO: Quanto à previsão do tempo, eu diria que hoje estamos perto dos 100%, sendo muito otimistas, mas quase 100%. Obviamente que a atmosfera não tem um comportamento linear. O grande problema da meteorologia é que as equações não são lineares. Quando você as integra no tempo, vai haver problemas. Então, quanto maior o tempo de integração, mais aumenta a probabilidade de erro.

Existem muitos problemas a serem ainda resolvidos. O problema do Rio de Janeiro é de interferência muito grande. Temos muito relevo, uma cadeia de montanhas, você não tem uma visada muito longa. A estação teria de ser instalada no alto de um morro, a Serra de Petrópolis, por exemplo. O custo operacional de instalação é muito grande. Você tem de operar remotamente; instala-se lá e faz-se a operação por aqui. Mas há projetos de instalação.

PERGUNTA: O que evoluiu do período de Morize até agora? De que forma esses saberes contribuíram para o avanço da meteorologia ou da tecnologia?

JOSÉ RICARDO: O que contribuiu muito para a meteorologia foi o advento do computador. A tecnologia, desde os anos 1930, – principalmente, com o aparecimento dos computadores –, foi uma ferramenta de extrema importância para a meteorologia. As equações existiam, elas vêm da mecânica clássica, são muito antigas. Mas não dava para calcular na mão. Com o aparecimento do computador, houve uma evolução muito grande nessa parte de modelização da atmosfera. Pegamos as equações que todo mundo conhecia e colocamos no computador, e tirar, a partir dali, os cálculos e os resultados. Acho que a evolução tecnológica e o aparecimento do computador são algo fundamental. Antigamente falava-se de computador. Agora estamos falando em supercomputador.

PERGUNTA: Quer dizer que há carência muito grande de pessoal?

JOSÉ RICARDO: Certa vez dei uma palestra num curso pré-vestibular e disse: "Olha gente, eu fiz meteorologia". Quando fui fazer meteorologia, todo mundo falou que eu era maluco, que ninguém fazia meteorologia. Mas também tive muitas coisas na vida graças à meteorologia. Conheço o mundo, trabalhei para organizações européias, trabalhei na Nasa. Essas são ciências novas, que abrem uma perspectiva muito grande de trabalho. Não vou afirmar que na meteorologia tem-se recompensa financeira; esse é um grande problema dos centros, do CPTEC. Há altas tecnologias, mas o salário do Ministério da Ciência e da Tecnologia não é lá essas coisas. É um problema geral. Tenho amigos médicos que também ganham menos do que eu. Então, incentivo muito as pessoas mais jovens: "Procurem uma profissão nova, meteorologia, oceanografia – extremamente importante, quase não há oceanógrafos no Brasil".

PERGUNTA: *Você comentou que a meteorologia, na França, ainda está muito ligada aos observatórios astronômicos. Você poderia explicar por que na França há uma ligação maior com o observatório?*

JOSÉ RICARDO: *Acho que é uma coisa histórica. O francês é muito conservador. Uma mudança de comportamento é algo que não é fácil. Lá, eles têm prova oral até hoje, com aquela banca. Na França tem professor catedrático, tem o que eles chamam de maître de conférence, que não é professor, não pode dar aula. Os professores são velhinhos já. Acho que passa um pouco por aí.*

Quando eu falo da meteorologia em termos de pesquisa, um dos laboratórios em que trabalhei estava atrelado a dois institutos, dois observatórios, o do Musée des Dômes e o Méditerranée. E tinha astrofísica. Mas isso não quer dizer que as pessoas trabalhassem ali. Apenas no Observatório Meudon, em Paris, trabalha-se com astrofísica.

PERGUNTA: *Quer dizer que não há uma relação entre os saberes, mas eles continuam no mesmo espaço institucional?*

JOSÉ RICARDO: *Observatório está ligado à palavra observação. A meteorologia era uma ciência de observação, por isso estava no observatório, para se observar. A astronomia envolve observação.*

PERGUNTA: *Você falou em equações não-lineares, que compõem uma parte primordial de toda teoria. Se enchêssemos tridimensionalmente com sensores, a cada 30 centímetros, todo o planeta Terra, ainda assim teríamos um limite. Como é que você vê isso? Por mais que você multiplicasse a potência dos supercomputadores, não chegaria, assim mesmo, a um entravamento, por causa do sistema linear?*

JOSÉ RICARDO: *Sim, chega. Eu falei nessa linearidade e de outro problema da física, que é a transferência de energia entre escalas. O que é produzido por uma pequena escala e que transfere energia para uma escala maior, ou vice-versa? Qual é o mais importante? A gente não sabe.*

PERGUNTA: *Daí o tal pessimismo intrínseco diante da previsão do tempo.*

JOSÉ RICARDO: *Acho que a previsão do tempo não agüenta muito. Agora, quanto mais dados você colocar, mais você vai melhorar a sua previsão. Para 24 ela já é boa; para 48 horas é razoável; você vai aumentar para 72 e 120 horas. Mas, a partir daí, diverge mesmo.*

PERGUNTA: *Porque passa-se uma ilusão para o público de que você investe em supercomputador, observação, satélite etc. Mas obviamente há um limite.*

JOSÉ RICARDO: *Mas é difícil, é complicado. O supercomputador é importante até para a previsão de 24 horas. Se eu vou dar um modelo atmosférico, ele é uma coisa extremamente difícil. Na hora em que o supercomputador fosse, por hipótese, 100 mil vezes*

mais poderosa, haveria um jeito de aumentar muito a previsão, quando, na realidade, você chega num ponto limite.

PERGUNTA: A que você atribui essa falta de alunos interessados por oceanografia e meteorologia?

JOSÉ RICARDO: Primeiro, a uma absoluta falta de informação em termos de Segundo Grau. Agora em julho vou dar um curso na SBPC, em São Paulo, para professores de 1º e 2º graus. Os professores precisam dessa informação. Eu estudei num colégio de 2º grau e ninguém nunca me falou em meteorologia. Na minha época, a relação candidato/vaga era menor em astronomia e meteorologia. Mas eu não escolhi assim. Eu fiz matemática antes de fazer meteorologia. Foi fazendo matemática, que comecei a perguntar ao meu professor para que servia aquilo. Quando comecei a ver as metas numéricas, a maior dessas aplicações era em meteorologia. Foi aí que comecei a me interessar pela meteorologia.

História da pesquisa espacial no Brasil e a criação da agência espacial brasileira

Luis Gylvan Meira Filho

30 de julho de 1996

Comecei a minha carreira ainda como estagiário na antiga CNAE, ou atual Inpe. E comecei trabalhando nessa área de geofísica, na época do professor Lélío Gama, do Observatório Nacional, a maior autoridade do Brasil na área de geomagnetismo. Alguns dos primeiros programas do atual Inpe, da então CNAE, foram nessa área de geofísica. Havia um relacionamento muito estreito com o Observatório Nacional. Então, por mais essa razão, é um prazer muito grande estar aqui.

Os senhores se lembram que em 1957 foi lançado o primeiro satélite artificial da Terra, o *Sputnik*, lançado pela União Soviética. É interessante que o primeiro artigo científico publicado sobre o programa espacial, no Brasil, foi de um astrônomo, do professor Abraão de Moraes, que durante muitos anos presidiu o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae). E ele, como interessado nessa área de mecânica orbital, publicou um artigo, o primeiro da literatura mundial, mostrando, estimando ou calculando qual o ganho a ser obtido em termos de energia por se lançar um satélite de uma base próxima ao Equador, fato que hoje está sendo usado com relação ao nosso Centro de Lançamento de Alcântara.

Esse artigo foi publicado no *Astronomical Journal*, por volta de 1958. Ou seja, bem no início da chamada corrida espacial, o modelo que foi seguido pelo Brasil, na época, foi um modelo um pouco inspirado nas idéias do almirante Álvaro Alberto, o responsável pela criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq). E como uma motivação muito ligada à área nuclear. Quer dizer, as origens da Comissão Nacional de Energia Nuclear e do CNPq se confundem. Na época, eram órgãos ligados diretamente à Presidência da República. Evidentemente não havia um Ministério da Ciência e Tecnologia.

O modelo seguido foi para criar, para a área espacial, algo parecido com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). No âmbito do CNPq, como órgão da Presidência da República, foi criado um Grupo de Organização encarregado de formar uma Comissão Nacional de Atividades Espaciais, com a sigla Gocnae. Ao longo do tempo, esse grupo de organização acabou desaparecendo, dada a preponderância do aspecto executivo, graças ao dinamismo do doutor Fernando de Mendonça, que tecnicamente era o diretor científico do Gocnae. O Gocnae era presidido pelo professor Abraão de Moraes e, durante um breve período, pelo doutor Aldo Vieira da Rosa, que havia sido presidente do CNPq.

A idéia, era a criação de um órgão colegiado, um grupo de organização encarregado de criar uma Comissão Nacional de Atividades Espaciais. O doutor Fernando de Mendonça tinha um grande dinamismo e realizou um trabalho de graduação no ITA.

No último ano, o pessoal do ITA é obrigado a fazer um trabalho que não chega a ser uma tese, mas um trabalho de engenharia. E o doutor Fernando de Mendonça, em 1958, junto com o Coutinho, que depois veio para o Rio de Janeiro, fez um trabalho pioneiro de instalação de um sistema de antenas para receber sinais do satélite da série Transit, dos Estados Unidos.

Eram satélites experimentais extremamente simples, que transmitiam um sinal de rádio contínuo na faixa de VHF. A antena é do tamanho de uma antena de televisão, com vários dipolos colocados no chão e com o receptor capaz de detectar o sinal recebido em cada um dos vários dipolos e de estimar a diferença de fase. Ou seja, quando o sinal chega num certo ângulo, ele chega antes, com a fase diferente, em cada um dos dipolos. Esses dados eram processados e permitiam, de uma maneira relativamente simples, determinar a órbita do satélite.

Esse foi um trabalho pioneiro. Depois o Mendonça foi fazer o doutorado em radiociência, na Universidade de Stanford. Voltou para o Brasil e iniciou a criação da CNAE, o atual Inpe. Uma coisa importante sob o ponto de vista do governo, de formulação de política pública, era que por lei o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais tinha a incumbência de formular a política pública na área espacial do Brasil. Essa foi a situação, sob o ponto de vista de política, durante dez anos, desde 1961 até 1971. Foram as atribuições do núcleo, do grupo original.

Uma coisa interessante naquela época era que o programa espacial, em todos os países, estava muito orientado para a exploração do espaço. Ou seja, o espaço era algo desconhecido. O primeiro satélite americano foi feito num laboratório de física da Universidade de Iowa, pelo professor James van Allen. E foi esse satélite que descobriu os chamados Cinturões de Van Allen,

que são regiões na parte superior da nossa atmosfera onde a densidade é muito baixa. Então, a frequência de colisão das partículas é extremamente baixa. E como existe muita radiação ultravioleta do Sol lá em cima, a maioria das partículas está ionizada, ou seja, saiu íon positivo para um lado e elétron para o outro. E essas partículas ficam, pelas equações de Maxwell, com o seu movimento ligado ao campo magnético da Terra.

Se dermos uma velocidade inicial a uma partícula dessas, ela descreve uma espiral em torno das linhas de campo magnético, porque o campo magnético da Terra tem mais ou menos um jeito de dipolo. Então elas andam em espiral ao longo das linhas do campo magnético e chegam mais próximo da superfície perto dos pólos, causando os fenômenos de aurora.

O ano de 1958 foi o Ano Geofísico Internacional, motivo de uma concentração sem precedentes de campanhas de observação geofísica no mundo. Geofísica no caso entendida mais do chão para cima, e não a geofísica de terra sólida, de pesquisa mineral.

O programa espacial teve sua origem tecnológica durante a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento das bombas voadoras de Von Braun. Rapidamente, além da vertente militar, ou do contínuo desenvolvimento dos mísseis, que acabaram gerando os mísseis balísticos intercontinentais, houve uma vertente civil, que no início foi extremamente voltada para a pesquisa geofísica. Ou seja, uma ferramenta ímpar para saber o que estava acontecendo com o campo magnético, com a atmosfera superior e com a magnetosfera, isso antes da exploração planetária.

Desta forma, o programa brasileiro acabou sendo, na primeira década e meia, profundamente dominado pela exploração geofísica. Até hoje o Inpe tem um grupo, não o único no Brasil, que trabalha muito com as universidades, mas continua existindo um grupo extremamente forte na área chamada "pesquisa espacial", a pesquisa sobre o espaço.

Em termos tecnológicos, o Brasil iniciou, já em 1965, a construção do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, o CLBI, que existe até hoje, com o objetivo de permitir que o Brasil lançasse os foguetes de sondagens, que não têm a capacidade de colocar um objeto em órbita, ou seja, eles sobem e caem. São extremamente úteis para levar instrumentos de observação e de medidas até uma certa altura na atmosfera. Isso foi um marco importante na história do programa espacial brasileiro, que, de 1961 a 1964, estava muito voltado para a pesquisa geofísica. Seja com instrumentos de solo, inclusive junto com o professor Lélío Gama, do Observatório Nacional, em geomagnetismo, em outras áreas, seja para o uso, por exemplo, em pesquisa ionosférica, pelo estudo da modificação introduzida nos sinais de rádios transmitidos pelos primeiros satélites, que eram muito simples.

Há muita coisa interessante que pode ser feita simplesmente olhando-se com cuidado as características do sinal de rádio que sai do satélite, atravessa a ionosfera, ou seja, a parte ionizada da nossa atmosfera. Se for bem escolhido o comprimento de onda, ou se o sinal for detectado com bastante cuidado, com coerência de fase, olhando-se a polarização etc., esse é um exercício interessante: processar esses sinais de forma a deduzir o que existe entre o satélite e o observatório. É muito fácil fazer isso em termos das propriedades da ionosfera, porque ela é a parte ionizada da atmosfera, que interage com as ondas de rádio.

Nos primeiros anos, a maior parte das atividades da CNAE, atual Inpe, estava voltada para esses aspectos de geofísica. Foi um marco importante a utilização pelo Brasil de veículos espaciais, inicialmente foguetes de sondagens. Foi um oficial engenheiro, mais tarde brigadeiro Baloussier, que, no final de 1950, foi fazer um curso na Força Aérea Americana. Todos os sistemas militares mantêm programas de intercâmbio com outros países. Ele ficou sabendo do progresso feito em termos militares nos Estados Unidos depois da Segunda Guerra, aproveitando a tecnologia desenvolvida pelos alemães.

Os senhores recordam que o doutor Werner von Braun veio para os Estados Unidos, mas vários cientistas foram de Peenemunde, na Alemanha, para a União Soviética. E os dois lados, como os demais – ingleses e franceses – trataram de incorporar às suas tecnologias militares o desenvolvimento alcançado pelos alemães, no que se chamava de bombas voadoras.

As bombas voadoras eram consideradas um tipo de avião militar não tripulado e extremamente eficiente. Elas utilizam a propulsão de foguetes, diferente da propulsão a jato, na medida em que o foguete não usa ar. O que diferencia um foguete de um avião é que este se mantém no ar através das forças aerodinâmicas, um foguete, não. Um foguete se mantém pela força do empuxo através da queima de um motor-foguete, que é diferente de um motor a jato. O motor a jato usa ar e mistura com combustível, e toca fogo. Um foguete não, ele usa energia química armazenada no seu propelente, de várias maneiras: sólida, líquida. Há muitas maneiras de fazer isso. Mas em alguns casos, como o da hidrazina, que é um monopropelente, uma substância química só passa no catalisador e se decompõe quimicamente. De um modo geral, o que ele faz é transformar algo sólido ou líquido numa substância gasosa, com grande liberação de calor e uma considerável expansão volumétrica. Isso é a definição de um motor de foguete.

Essa tecnologia foi aperfeiçoada pelos países que ganharam a Segunda Guerra. Ela gerou a vertente dos mísseis, mas também um grande interesse por pesquisa, e, desde o início, pela possibilidade de aplicações práticas. Acho que a meteorologia foi o primeiro exemplo. Os americanos pegaram a V-2, colocaram nela uma máquina fotográfica. Primeiro tiraram uma fotografia

do horizonte e chegaram na *Flatten Earth Society*, em Londres, e disseram: "Olha, a gente tem aqui uma fotografia mostrando que a Terra não é chata, você viu a curvatura?" É uma fotografia bonita. Depois eles tiraram fotografias de nuvens. Isso deu origem aos atuais satélites meteorológicos.

No caso do Brasil, ele entrou nessa área de foguetaria através de duas vertentes. O brigadeiro Baloussier, voltou dos Estados Unidos e apresentou um relatório ao Estado Maior da Aeronáutica, contando o desenvolvimento, das bombas voadoras, e sugerindo que a Força Aérea Brasileira, recém-criada, se interessasse por esse tipo de coisa, da mesma maneira como se interessava por aviões. Uma coisa normal, e que ocorreu em todas as forças aéreas do mundo.

Do lado da CNAE, havia interesse, porque embora certas coisas possam ser medidas através da análise dos sinais de satélites, há outras que só podem ser medidas in loco. Então, do lado da Força Aérea, foi estabelecido o chamado GETPE, Grupo de Estudos e Trabalhos de Projetos Especiais. Tratava-se de um grupo do Estado Maior da Aeronáutica encarregado basicamente de promover, dentro da Força Aérea, um interesse sobre o que estava acontecendo na área do desenvolvimento do que modernamente se chamam mísseis, na época, bombas voadoras. E também para permitir que o pessoal aprendesse a lançar foguete. Isso foi feito em conjunto.

A finalidade principal desse grupo era a escolha e a construção de um campo de lançamento de foguete, a Barreira do Inferno, a preparação de equipe etc., e trabalhar em conjunto com a CNAE. Em 1965, um grupo de oito brasileiros, da CNAE e do Ministério da Aeronáutica, foi para a Nasa aprender a construir cargas úteis para medidas ionosféricas.

A parte científica ficava a cargo do Inpe e a operacional, de radar, lançamento etc., a cargo do pessoal do Ministério da Aeronáutica. Era um programa bem organizado, rápido, e em poucos meses essas cargas úteis foram construídas e lançados três foguetes. O primeiro foi lançado experimentalmente dos Estados Unidos. E em novembro de 1965 foi lançado o primeiro foguete, a 120 km de altura, levando 50 kg para experimento científico.

O foguete foi lançado da Barreira do Inferno e se constituiu em um marco, porque foi a primeira vez que se lançava um foguete relativamente grande daqui do Brasil. Ao longo de 1966, houve um eclipse visível do Rio Grande do Sul, e foi montada uma grande operação. Cerca de 60 foguetes de sondagem foram lançados do Brasil, de plataformas mais ou menos portáteis. O Rio Grande era um dos poucos lugares do mundo onde o eclipse seria total. Uma série de fenômenos geofísicos interessantes que ocorrem durante o eclipse foram estudados por esses foguetes de sondagens lançados do sul do Brasil.

Nessa época, havia alguns grupos iniciais, embriões de instituições. Num certo momento, em 1971, tudo isso foi chacoalhado e reorganizado. Essa reorganização do início da década de 1970 transformou o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, subordinado ao CNPq.

Hoje em dia chama-se Instituto de Aeronáutica e Espaço, dentro do CTA, (Centro Tecnológico Aeroespacial). Houve também a transformação da Gocnae, (ou CNAE), em Inpe. A atribuição da função de formulação de política pública na área espacial foi passada a um órgão colegiado dentro do governo, denominado Comissão Brasileira de Atividades Espaciais, com 15 membros representantes de ministros dentro do governo e presidida pelo ministro-chefe do Estado Maior das Forças Armadas. Essa foi a situação em termos de responsabilidade legal pela formulação de política, de 1971 até 1994.

Os senhores sabem que o ministro-chefe do EMFA é um dos chamados ministros da Casa. O EMFA não é um ministério, mas um órgão da Presidência da República. Aquela comissão foi criada com o objetivo de assessorar a Presidência na Comissão da Política Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais. Este órgão, quase 10 anos depois, além da função de formulação de política, recebeu uma atribuição gerencial. Na época, o grande inspirador foi o doutor José Pelúcio Ferreira, do BNDE e um entusiasta da área de fomento científico e tecnológico.

Numa época em que o CNPq estava sendo reformulado, ou seja, transferido do Rio de Janeiro para Brasília, passou a se denominar Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Era uma organização com estrutura maior do que o antigo Conselho e com recursos mais vultuosos. Na época, o doutor Pelúcio acumulava a função de vice-presidente do CNPq e presidente da Finep, lembrando que ele, quando ainda estava no BNDE, foi quem criou o Funtec, o Fundo Técnico Científico, como uma carteira de empréstimos para fomento ao desenvolvimento tecnológico dentro do BNDE. Essa parte do BNDE saiu de dentro do Banco e virou a Finep, a atual Financiadora de Estudos e Projetos, e o doutor Pelúcio ficou incumbido de trabalhar dos dois lados. Era vice-presidente do CNPq e presidente da nova Finep.

Com todo o seu conhecimento e visão, o doutor Pelúcio concluiu que o Brasil nunca conseguiria ter um programa espacial compatível com o tamanho do país, se ele fosse conduzir essas atividades utilizando os mecanismos já existentes, seja do CNPq, ou da Finep, ou através do chamado atendimento de balcão. Ele concluiu que grandes desafios tecnológicos precisariam ser enfrentados através de objetivos de mais longo prazo.

Pelúcio sugeriu que fosse estabelecida no Brasil uma missão, e disse:

"Olha, vocês precisam definir um objetivo da ordem de 15 anos, para pausar todas as atividades necessárias. E são muitas, não é só dar um pouco de dinheiro. É preciso formar gente, reformular institutos etc." E daí se fez um seminário de uma semana aqui no Rio de Janeiro, a chamada "Missão Espacial Completa Brasileira", em outubro de 1977. Na época, foi dito foi o seguinte: "Em 15 anos vamos fazer com que o Brasil seja capaz de projetar e desenvolver satélites, de projetar e construir um veículo lançador de satélite e vamos ser capazes de fazer o lançamento do Brasil."

O Centro de Lançamento da Barreira do Inferno ficou muito apertado, lá na Praia de Ponta Negra, em Natal. Ficava próximo da cidade e perigoso para lançar foguetes maiores. Na época, foi feito um estudo e revisto o artigo do professor Abrão de Moraes, sobre as vantagens relativas em termos de energia para o lançamento de satélites em órbitas equatoriais. Se a base de lançamento estiver perto do Equador aproveita-se a força centrífuga da rotação da Terra. E foi escolhido São Luís, no Maranhão.

Por que o Maranhão e não no Rio Grande do Sul? Porque aí existe uma diferença de 30 graus. Em 1996, em visita à Rússia, conversando com o presidente da Agência Espacial Russa sobre a possibilidade de lançar comercialmente satélites com foguetes russos de Alcântara, ele observou que, se usar a base de Baikonur da ex-União Soviética, ou Alcântara, ou mesmo se colocar um satélite geoestacionário em órbita, o mesmo foguete Proton, que de Baikonur coloca uma tonelada em órbita, de Alcântara coloca duas. É uma diferença grande. A vantagem relativa em relação ao Cabo Cañaveral ou ao Cabo Kennedy não é tão grande. Porque lá está à 30 graus, só de latitude. Essas coisas variam mais ou menos com o cosseno da latitude.

A responsabilidade pela gerência e a condução da Missão Espacial Completa Brasileira foi atribuída à própria Cobae. Aliás, a Cobae na realidade não é atribuída ao EMFA, na medida que ela é simplesmente um órgão colegiado. Trata-se de um grupo de pessoas, nomeadas pelo presidente da República, representando o Ministério, e que se reúne a cada dois meses. Mas ela não tem uma função realmente executiva. Uma vez que a Cobae era presidida pelo ministro-chefe do EMFA, pareceu natural que o próprio Estado Maior das Forças Armadas desse um pequeno apoio administrativo para o gerenciamento dessa missão.

Na realidade, esse é um grande projeto de engenharia. As modificações institucionais foram feitas, e criado o Grupo de Implantação do Centro de Lançamento de Alcântara. No âmbito do Ministério da Aeronáutica, o IAE (do CTA) se preparou para desenvolver um foguete lançador. Embora não o tenha feito por 12 anos. Na realidade ele seguiu, de 1977 até 1989, desenvolvendo uma famí-

lia crescente de foguetes de sondagem e prestando alguma atenção à vertente militar desses foguetes.

As missões de satélite, ou seja, a concepção é de que seria desenvolvido e construído um veículo lançador de satélite, conhecido por VLS, capaz de colocar 150 ou 200 quilos em órbita, a 750 quilômetros mais ou menos. Além do Centro de Lançamento em Alcântara, era necessário que o Inpe desenvolvesse quatro satélites, dois para missões de coleta de dados.

Os satélites servem com relés ou retransmissor de telecomunicações de baixa capacidade e recebem automaticamente sinais enviados por PCDs – Plataformas de Coletas de Dados – umas caixas pretas pequeninas. Na realidade, o que elas fazem é codificar e mandar um sinal elétrico que permite ao satélite retransmitir (para uma antena central de recepção) a voltagem de cada uma das entradas. Essa voltagem normalmente é a saída de um transdutor ou de um sensor de um dado ambiental. Pode ser um sensor de temperatura, de pressão, do nível do rio ou de qualquer coisa. O interessante é que o preço é extremamente baixo e ele tem uma forma completamente automatizada, o que não é nada difícil hoje em dia, em termos de microeletrônica, fazer com que a informação captada pelos sensores seja retransmitida, ou seja, coletada de um número grande de plataformas e concentrada instantaneamente num determinado ponto. Esse conceito já havia sido desenvolvido em outros países e pareceu importante para o Brasil.

O que acabou acontecendo foi que o primeiro satélite ficou pronto – o SCD-1 – e está em órbita atualmente; ele foi lançado por um foguete norte-americano, um Pegasus, de uma empresa comercial. Trata-se de um foguete pequeno, que foi pendurado embaixo da asa de um B-52; aperta-se um botão e toca-se fogo, ele acerta a órbita e funciona perfeitamente. Este satélite foi projetado para durar um ano, mas já está há três anos em órbita.

De vez em quando me perguntam se Alcântara está pronta ou quando vai ficar pronta? A resposta correta é que um centro de lançamento não fica pronto nunca. Um centro de lançamento tem algumas instalações que são usadas para tudo, como os radares, as estações de recepção de rádio, de telemetria, a parte de apoio meteorológico, que antes soltam os balões para ver de que lado estão os ventos. Além, é claro, de toda a parte de segurança.

As rampas de lançamento são diferentes para cada tipo de foguete. É só olhar a diferença de tamanho para entender que cada vez que resolve-se lançar um tipo de foguete, tem-se de reconstruir não o Centro de Lançamento inteiro, mas toda a parte associada, aquelas torres de lançamento. Alcântara, para lançamento de foguete de sondagem, já foi inaugurada no ano passado. Foram lançados mais de trinta foguetes de lá. Para o VLS está quase

tudo pronto. A torre tem cinco andares, já está com três e meio prontos. No futuro, se forem lançar outro tipo de foguete, deve-se reconstruir toda a plataforma de lançamento. Ou seja, um centro de lançamento fica pronto para uma certa classe de veículos. Não há mais problemas em Alcântara, exceto problemas de distância, transporte entre São Luís e Alcântara, que fica do outro lado da baía. Alguns problemas logísticos: lá chove muito, cai ponte de vez em quando, mas está bem o Centro de Lançamento.

Agora vou falar um pouco dos satélites. A concepção original é que seriam construídos dois satélites para coleta automática de dados de estações remotas. Uma coisa interessante hoje é que a tendência do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica é utilizar quase exclusivamente esse sistema de satélite para coleta regular de dados hidrológicos dentro do território brasileiro, que é muito grande. A necessidade de saber, a cada instante, não apenas quanto está chovendo, mas qual é o nível de cada rio, por uma série de razões, seja pelo fato de que, no Rio Amazonas, no Porto de Manaus, a água sobe e desce 12 metros ao longo do ano, seja pelo fato de que Tucuruí, no Rio Tocantins, para se otimizar a operação da barragem, é preciso saber como está o nível de água rio acima.

Como o Brasil é muito grande e tem uma densidade populacional muito baixa (na Suíça eles resolvem este problema por telefone) fica muito caro operar, por exemplo, uma estação limnimétrica para medir o nível do Rio Tocantins, acima de Tucuruí. É uma operação caríssima. Esses são lugares para os quais só há acesso por helicópteros. E é difícil manter as pessoas lá. Além de que o governo paga mal, o que torna tudo mais difícil.

Então, uma solução ideal para observações de dados genericamente ambientais, de hidrologia, meteorologia, de química da atmosfera, ozônio etc, é ter satélites.

Na realidade, temos um satélite em órbita, e o segundo está pronto. Acho que os americanos devem entrar na competição de novo, com esse foguete Pegasus, em uma versão nova; os russos entrarão com a versão modificada do antigo míssil da Guerra Fria, o SS-19, que eles estão comercializando para fins civis, a preços – espero – mais baixos. Talvez os ucranianos também, o pessoal de Israel, com os foguetes que eles têm por aí, esses satélites pequenos.

Há um terceiro foguete, em princípio idêntico, e que será lançado pelo VLS-1. Na concepção original da MEC-B, estavam previstos dois satélites de observação da Terra, do tipo Landsat, que tiram e enviam fotografias. Essa missão está sendo modificada agora, por uma razão interessante.

Em 1988, o Brasil resolveu fazer um acordo de cooperação com a China. É uma coisa um pouco inusitada, dois países de Terceiro Mundo se associando para trabalhar numa área de tecnologia de ponta. Trata-se de um programa de

cooperação pelo qual ambos os países estão construindo dois grandes satélites de observação da Terra, para competir com o Landsat e com o Spot francês. São satélites de uma tonelada e meia, e que serão lançados pelos foguetes chineses; os dois primeiros são 30% brasileiros e 70% chineses; eventualmente o terceiro e o quarto serão meio a meio.

Ora, esses satélites enormes e dotados de mais câmeras causaram uma redundância com os dois satélites de observação da Terra previstos na MEC-B. A solução foi mudar a inclinação da órbita deles e colocá-los, os da MEC-B, numa órbita equatorial.

Esses satélites foram concebidos tecnologicamente no começo da década de 1980. A tecnologia evoluiu, e uma das grandes discussões, hoje, é se vamos modificar a especificação, para ter mais canais, mais cores, mais canais espectrais, se vamos conseguir aumentar a resolução para olhar melhor e enxergar mais detalhes.

Na área de veículo lançador, o CTA seguiu adiante, com o desenvolvimento da chamada família Sonda 1, 2, 3, 4... Só começaram a conceber o VLS em 1989, mas não é que eles estivessem parados. O que fizeram foi conceber uma família de foguetes de sondagem de tamanho crescente, de tal maneira que um foguete, o Sonda-2 por exemplo, vira o segundo estágio do Sonda-3. O Sonda-4, por exemplo, é o booster do VLS.

Em 1993, depois dessa sequência até o Sonda-4, foi a vez do terceiro estágio do VLS: o VS-40. Foi lançado, um pouco inclinado, a cerca de 1.000 quilômetros de altura e a 2.800 quilômetros de distância. Foi parar lá perto da África. No mesmo dia em que foi feito esse lançamento, o presidente Itamar Franco tomou a decisão definitiva de desengavetar um projeto que já há algum tempo tinha sido muito discutido, ou seja, o de criar uma Agência Espacial Brasileira, ligada à Presidência da República.

Há duas razões para isso: uma é de caráter político. Queira ou não, essa tecnologia de foguetes é o que hoje em dia se chama de tecnologia de uso duplo. A diferença entre um foguete e um míssil é o acoplamento de uma bomba na ponta. Há vários exemplos na história de tecnologia de uso duplo. O meu favorito é o cavalo. No México, os astecas foram dominados pelos espanhóis porque os espanhóis usavam o cavalo militarmente. Os astecas ficaram com medo e perderam. É o tipo de tecnologia de uso duplo, porque você também usa o cavalo para agricultura.

Com os foguetes é a mesma coisa. A guiagem do VLS é muito parecida com a guiagem bem mais sofisticada que o Von Braun usava para bombardear Londres. Controla-se a exaustão dos gases, vira-se para o lado, e o foguete faz a volta.

No momento em que o país desenvolve a capacidade de lançar um objeto a uma certa distância, todo mundo que mora dentro de um círculo com um raio igual a essa distância, se for gentil, passa a lhe perguntar quais são as intenções em relação a isso.

O Brasil achou que politicamente era extremamente importante adotar várias medidas. Uma delas foi tirar o programa espacial da esfera do Estado Maior das Forças Armadas e colocá-lo numa agência de caráter civil. A Agência Espacial Brasileira é de caráter civil, fica pendurada na Presidência, porque tem de lidar com vários ministérios, e há esses aspectos políticos.

O Brasil resolveu transmitir, antes que perguntassem, sinais muito claros sobre qual a verdadeira vocação do seu programa espacial. Isso foi feito no mesmo dia em que a Agência Espacial foi criada. O governo fez uma declaração formal de que, embora o Brasil não fosse membro do regime internacional de controle de tecnologia de mísseis, passaria a adotar internamente medidas como se o fosse, ou seja, passaria a controlar exportações dessas tecnologias.

Esse problema do controle das exportações é importante, porque o Brasil, num certo momento, como aliás todos os países do mundo, visando a viabilização econômica do reequipamento e modernização das suas Forças Armadas, tende a dizer: "A melhor maneira de reequipar as Forças Armadas é ser bom na tecnologia, produzir em massa, exportar e dividir o custo de desenvolvimento com os compradores. Isso sai mais barato." O Brasil tem feito isso com sucesso, não na área de canhões, mas na de armas leves e tanques de guerra, com a Engesa, por exemplo.

A França, a Suíça e os Estados Unidos fazem isso. Mas o problema é que, na área dos chamados mísseis, quando eles são de longo alcance, há, na atual agenda internacional um conceito que separa certas classes de armas de outras. São as chamadas armas de destruição em massa, nucleares, biológicas e químicas. Há certas coisas que são até mais perigosas do que mísseis, porque são mais difíceis de se detectar. Esses aviõezinhos tipo míssil de cruzeiro são, na linguagem do pessoal que cuida dessa área de não proliferação e desarmamento, considerados muitíssimo mais perigosos do que os chamados mísseis balísticos, porque eles voam abaixo do radar, ninguém detecta.

O Brasil tem adotado há vários anos uma política de considerar o problema de exportações de armas ou de tecnologias potencialmente bélicas não exclusivamente sob o ponto de vista da economicidade do reequipamento das suas Forças Armadas. Mas faz isso para, como os outros países, levar em conta problemas de política externa, de ética internacional, além dos aspectos puramente de defesa.

Durante a Guerra do Golfo, por exemplo, a Argentina estava fabricando mísseis com a empresa binacional (49% da Argentina e 51% do Egito) com

recursos do Iraque. Os Estados Unidos, a Europa e Israel pediram, aos nossos vizinhos para parar com aquilo, e eles descontinuaram o programa.

O Brasil não chegou a fazer isso, mas houve alguma assessoria em nível individual e de pequenas empresas ao esforço de guerra do Iraque. Os Estados Unidos apoiavam o Iraque e mudaram de idéia. Mas o fato é que a legislação que o Brasil tinha nessa área de controle de tecnologia era uma legislação muito velha, de 1936, que previa que o Exército controlasse as fábricas de pólvora, de revólver, de canhão.

O mundo moderno é mais complicado. Só no ano passado ele conseguiu passar, no Congresso, uma lei mais nova, que leva em conta não só a necessidade de controle de pólvora, de revólver etc., mas também da área nuclear, biológica, química e a tecnologia de mísseis. Com isso, o Brasil aderiu ao regime de controle de tecnologia de mísseis e saiu de uma situação meio nebulosa, na qual não estava claro para que lado o nosso país tencionara aderir, se aquele hoje ocupado pela Coreia do Norte, Líbia, Irã, Iraque, ou para o lado das grandes nações, aquelas mais populosas.

O Brasil tomou essa decisão política e passou agora a controlar efetivamente as tecnologias. A tecnologia de míssil é mais difícil. Outro dia um estudante de ciências brilhante, lá no Japão, chegou à conclusão de que sabia fazer gás sarim, e jogou-o no metro de Tóquio. Essas coisas são sérias e precisam ser controladas.

Em relação ao VLS, o que ocorreu é que, em 1987, quando foi criado esse regime de controle de tecnologia de mísseis, o Brasil não fazia parte. Havia diversas opiniões aqui dentro, inclusive a de que esse regime é excludente. O acesso do Brasil a certas tecnologias foi proibido pelos membros do "clube". E isso atrasou um bocadinho o programa. Esse embargo, como algumas pessoas dizem, só foi levantado recentemente.

A França, que havia colaborado muito na parte inicial do VLS, no dia em que ficou sabendo da cooperação tecnológica do Brasil com o Iraque, sentiu-se pessoalmente ameaçada e mandou cortar toda a cooperação com o Brasil, que só foi reaberta há algumas semanas. Por escrito, o governo francês disse que topa voltar a cooperar.

Isso atrasou um pouco o programa de desenvolvimento do VLS. A outra razão foi que o EMFA não tinha uma estrutura gerencial para tomar conta do programa, nem se tratava de uma grande prioridade das Forças Armadas e nem do governo atual.

O EMFA, mesmo que quisesse, não tinha muito cacife político para ir ao Congresso e pedir recursos para o programa espacial. Isso fez com que os recursos da chamada MECB decaíssem, em uma década, (1963), para 13

milhões de dólares. Quase que fechou o programa. Então, pela razão política e também por esse problema gerencial, o governo resolveu criar a Agência Espacial Brasileira, em 1994 e que é uma estrutura bem maior.

Nosso objetivo obviamente é promover o desenvolvimento das atividades espaciais de interesse nacional. E existem quatro metas: uma é a formulação da ação da política pública, outra é a preparação de um programa nacional e a defesa do orçamento. A terceira é a parte normativa, quer dizer, o que se pode e o que não se pode fazer. A quarta é a cooperação internacional. Já atualizamos a política. O Brasil teve uma política pública nessa área, em 1975, com carimbo de "segredo". Teve uma, de 1985, com carimbo de "reservado".

A nova política é pública. Essa política diz que o objetivo maior é promover a capacidade do país para usar os recursos em benefício do nosso país. Parece uma coisa óbvia, mas não é. Se vocês compararem com as políticas espaciais de outros países, especialmente dos Estados Unidos e da União Soviética, o objetivo maior deles era uma briga por prestígio, pelo predomínio tecnológico, e coisas assim. O que não é bem o caso da nossa.

Primeiro, nós não nos beneficiamos de toda uma herança de investimentos pesados na área militar, o que aconteceu no caso deles. É óbvio que todo o dinheiro que foi gasto em qualquer país, particularmente, os gastos com defesa, é objeto de consideração diferente do resto. São sempre uma prioridade maior.

Já brinquei tanto com o administrador da NASA quanto com o presidente da Agência Espacial russa. Eu disse: "- Puxa! Montar um programa espacial civil no país de vocês é fácil, vocês têm toda a herança do lado militar. Eu quero ver você andar na direção oposta, o que é um pouco o nosso caso." Essa idéia, esse sentido um pouco utilitário do programa espacial, de gerar retornos dos investimentos, é uma coisa que tem a ver com as nossas características, com a nossa posição no tempo em relação aos outros, e, vamos dizer a verdade, tem um pouco a ver com a percepção que a sociedade tem hoje da necessidade de justificar grandes investimentos públicos em setores de Ciência e Tecnologia.

O programa espacial não é barato; está girando em torno de 140 milhões de dólares por ano. Para o tamanho do Brasil, isso é uma coisa razoável, trata-se de um investimento que dá retorno.

Atualmente, o Programa está sendo revisado, reescrito. A estrutura é a seguinte: o primeiro capítulo é o da área de aplicações. Aí entra toda essa parte de observação da Terra, acompanhamento de Floresta Amazônica, de agricultura, de recursos naturais, etc. Entra também a área de telecomunicações, porque gostaríamos de fazer um sistema de telefonia móvel diretamente, através de satélites.

Há que aproveitar-se a Lei de Kepler para o nosso lado. Rapidamente se

conclui que quem está perto do Equador tem uma vantagem muito grande. Você consegue garantir que uma estação de telefonia móvel sempre tenha um satélite à vista acima do horizonte, ou acima de um certo ângulo de elevação, com um número pequeno de satélites com oito, dez, doze satélites, diferentemente dos países de latitudes altas, onde o Projeto Iridium, da Motorola, contemplava inicialmente 77 satélites, para garantir algum satélite na sua linha de visão, em cada momento.

Então, com um raciocínio um pouco parecido como o de aumentar a frequência de observação para a Amazônia, algo que o Brasil tem a obrigação de fazer, explorando o uso das órbitas equatoriais, para otimizar a prestação de serviços. É exatamente pela mesma razão que os Estados Unidos desenvolveram as órbitas geoestacionárias que são convenientes. Os russos, que têm latitudes maiores, desenvolveram umas órbitas malucas e pouco conhecidas, que são as de altíssima excentricidade, que eles utilizaram muitíssimo em telecomunicações. O problema das telecomunicações é garantir sempre o máximo de tempo do satélites na sua linha de visão. Os russos utilizavam e utilizam muito essas órbitas, que são otimizadas para eles, ou para lugares de latitude alta. As equatoriais são boas para nós.

Esse projeto foi aprovado pelo presidente Itamar Franco e renovado pelo presidente Fernando Henrique. No momento, ainda está havendo uma discussão. A idéia é que ele tenha um caráter também comercial. O Brasil está desregulamentando essa área de telefonia, de telecomunicações. Está um pouco confuso o panorama comercial, mas é algo que será feito. Então, esse é o primeiro capítulo, a área de aplicações.

O segundo capítulo é a área de engenharia de satélite, com um certo realismo. Não é que o Brasil queira construir todos os seus satélites aqui, do mesmo jeito que nunca achou conveniente competir com a Boeing na construção de 747. Ele compete no nicho dos Bandeirantes, dos Brasília, e agora com o jatinho novo. A Embratel ou as empresas privadas vão continuar comprando satélites geoestacionários. Mas alguns serão feitos aqui mesmo. É isso que fixa a indústria e a tecnologia no nosso país.

O segundo capítulo é a engenharia de satélite. O terceiro é de veículos lançadores de satélites. De novo, se for um satélite grande, sai mais barato. Você vai lá e pede para o chinês lançar, ou paga para os europeus lançarem, como o Ariane, como eles sempre lançaram os satélites da Embratel. E com o nosso VLS, que vai sair do CTA, ele deve ser repassado para a indústria. Aí vai ter de ser feito um estudo sério de viabilidade econômica. Já há um pedido internacional dos argentinos no sentido de vendermos um VLS, provavelmente para lançar um satélite deles. A gente quer ver se há possibilidade de isso ser feito

comercialmente. O quarto capítulo é o das infra-estruturas espaciais, que incluem os dois centros de lançamentos, os grandes laboratórios de teste de São José dos Campos e a rede de rastreamento e acompanhamento e controle de satélite, que aos poucos vem sendo implantada no Brasil.

E por último, mas não menos importante, o programa nacional prevê que, aconteça o que acontecer com os orçamentos, que sempre flutuam, o Brasil ainda está tendo problemas de arrumar a economia e o orçamento, mas que uma porcentagem fixa do orçamento do programa nacional seja sempre aplicada em ciência espacial pura, sem justificativa econômica. Uma parte fixa deve ser aplicada na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias autóctones, que temos aqui. Se você quiser dominar toda a tecnologia e verticalizar aqui, sai muito caro e provavelmente não vale a pena. Mas também não é correto comprar tudo fora.

O processo em si da criação, do desenvolvimento tecnológico, é o que mantém a vida do programa a longo prazo. E a parte de formação do pessoal, que é absolutamente essencial. Inclusive que se faça de forma ordenada a renovação de quadros. Uma das coisas que temos feito na Agência, é destinar uma parte do orçamento para promoção, sem querer competir com Capes, CNPq, Finep, Faperj. Estamos dando dinheiro para a universidade, mas não com atendimento de balcão. Isso é feito para engajar grupos universitários, já de excelência, porque não é função nossa promover excelência.

PERGUNTA: O senhor comentou sobre a ligação entre o Grupo de Trabalho de Projetos Espaciais e a Aeronáutica. Gostaria que o senhor falasse um pouco desse trabalho em conjunto.

GYLVAN MEIRA: Há, dentro de qualquer grande grupo de engenharia, uma competição feroz. As grandes empresas exploram isso, como a IBM e a Bell, nos Estados Unidos. São tão grandes que encomendam o trabalho a três divisões, em lugares diferentes nos Estados Unidos. Isso é o que eu chamo de uma honesta competição de engenheiros, se for feita dentro da ética.

Existem também as chamadas honestas competições burocráticas. Isso vale dentro do governo, e é a disputa por verbas. Se você não ferir certas regras de comportamento, isso é uma coisa normal. Se isso for feito dentro de uma certa ética e olhando olho no olho, é uma honesta competição burocrática. Isso ocorre dentro do governo. Porque governar é a arte de estabelecer prioridades.

PERGUNTA: O Getep era da Aeronáutica? Esses dois grupos trabalham paralelamente, sem atritos?

GYLVAN MEIRA: Foi uma divisão de tarefas. O primeiro foguete brasileiro, é o Sonda-1, mas o nome dele era Cnae-6501. Foi um contrato entre o Gocnae e a empresa Avibrás.

Quando o Getep foi criado, houve uma decisão de governo, tendo em vista a dualidade da tecnologia e o interesse da Força Aérea em possuir mísseis; de que o contrato fosse transferido de um órgão do governo para o outro. Ele foi transferido da CNAE para o Getep. E não houve nenhuma briga. Houve uma decisão de governo de que a fabricação de foguetes, no Brasil, seria feita pelo pessoal do Ministério da Aeronáutica. Na realidade, foi desenvolvida por uma empresa privada, a Avibrás. Os mísseis operacionais os maiores no Brasil não foram feitos pela Aeronáutica. O sistema Astros é usado pelo Exército, porque são mísseis de superfície.

PERGUNTA: O Gocnae trabalhou mais na área ambiental?

GYLVAN MEIRA: Não, ele fica com toda a parte espacial, mas não com a tecnologia de fabricar foguetes. O Inpe está montando, em Cachoeira Paulista, um enorme laboratório de pequena propulsão, que é propulsão de satélite. São os motores que mudam a órbita e a inclinação do satélite. O CTA, do Ministério da Aeronáutica, acabou de fazer um teste com o famoso míssil Piranha, E acertou. Eles soltaram o flag de paraquedas e puseram o Piranha disparado do avião, apontando para o lado errado. É um míssil pequeno, que vai embaixo da asa do avião.

Isso é uma arma, mas não de destruição em massa, mas para guerra aérea. Eles estão interessadíssimos e fazem isso muito bem. O esforço do desenvolvimento de veículos lançadores de satélites, o próprio Ministério da Aeronáutica quer retirá-lo do IAE ou do CTA, pela mesma razão que o Bandeirantes foi feito lá dentro, mas nunca foi industrializado lá.

O CTA não tem, assim como o Inpe, estrutura para fabricação. Um dos grandes problemas é achar uma indústria que faça isso. O CTA deve voltar a ter o nível de excelência em engenharia que já teve no passado. Uma das coisas que estamos querendo fazer agora é comprar um supercomputador para o ITA, para ele entrar nessa área de mecânica de fluídos computacional, uma coisa moderníssima e importante.

A idéia é que os grandes laboratórios do governo tenham uma moderna e avançada infra-estrutura e eficiente formação de pessoal. Mas a fabricação em si interessa ao governo. Não houve nenhuma briga e certamente nada que se comparasse ao problema da área nuclear.

PERGUNTA: O senhor fez referência aos satélites que o Brasil está construindo em conjunto com a China e que entre as funções desse satélite, está o monitoramento da Amazônia. Isso não se choca com algumas das funções do Projeto Sivam?

GYLVAN MEIRA: Não, porque o Sivam não contempla satélites.

PERGUNTA: Não faz o levantamento das áreas ambientais?

GYLVAN MEIRA: O Projeto Sivam não contempla a construção de nenhum satélite.

A política espacial brasileira está voltada a atender as grandes prioridades nacionais, sejam elas quais forem, desde que o uso de tecnologias espaciais possa ser feito. Porque, no Brasil, obviamente há muitos problemas em que a área espacial não pode ajudar, coisas no plano urbano, social.

A Amazônia é uma prioridade para o Brasil, e o é por muitas razões. É um pedaço enorme de território, existe contrabando na fronteira. O sistema de controle de tráfego aéreo no Sul do país precisa ser implantado lá. O Sivam dispõe de radares para localizar avião etc. São satélites brasileiros com sensoriamento remoto, e outros que houver no futuro. Mas o projeto em si, que foi contratado pelo Sivam, não contempla a compra de nenhum satélite. O programa espacial, sim.

PERGUNTA: O senhor falou sobre a adaptação de bombas voadoras na pesquisa meteorológica. Isso interessa a nós, que viemos lá da UFF, somos da cadeira de meteorologia, do curso de geografia. O senhor podia dar uma explicação sobre isso.

GYLVAN MEIRA: O que eu estava dizendo é que é uma das primeiras aplicações que os americanos fizeram da tecnologia do alemão Von Braun. O que os americanos fizeram foi levar um grupo de cientistas alemães para o White Sands, no Novo México. O pessoal do exército americano levou-os para lá e tratou-os muito bem. Levaram algumas V-1 e V-2 para lá e lançaram algumas delas. Depois desenvolveram um foguete muito parecido. Chamaram-no de Aerobee, ou abelha aérea, é uma cópia da V-2.

O compartimento de instrumentação é relativamente grande. Eles começaram a colocar máquinas fotográficas lá. Foi aí que tiraram a primeira fotografia em que se vê a curvatura do horizonte. Esses aparelhos começaram a fotografar as nuvens. Daí, o nascimento de toda essa área de meteorologia por satélite.

Uma coisa mais ou menos óbvia é que são as fotografias de cobertura de nuvens, feitas com foguetes. Mas tem esse satélite americano, o Goes, que de meia em meia hora tira fotografias da Terra inteira. Essa é uma ferramenta muito importante para a meteorologia.

Esses foguetes de sondagens começaram a medir os parâmetros da atmosfera numa altitude que os balões não conseguem chegar. Esses balões de sondagem que o pessoal de meteorologia usa não passam da troposfera, não alcançam a estratosfera. Certos balões muito grandes podem chegar até a 20 quilômetros. Mas para saber o que acontece com a atmosfera mais acima, só com foguetes. Tudo isso nasceu da adaptação da tecnologia das V-2. A V-1 voava baixinho, era um míssil cruzeiro, um aviãozinho.

O geomagnetismo no Observatório Nacional

Luiz Muniz Barreto

20 de agosto de 1996

Estou começando a esboçar umas idéias novas, de natureza um pouco política, com a perspectiva de o Observatório voltar a ser alguma coisa como no tempo de Liaís e do Gama. É uma idéia de louco. Mas como uma vez ouvi de um ex-presidente da República: "Meu amigo e doutor Muniz Barreto," – ele não tinha a voz grossa não, era mineiro. "nós temos de pensar grande, porque grande é esse país." Muito bem, era Juscelino Kubitschek.

O nosso título seria: "O geomagnetismo no Observatório Nacional". Mas resolvi fazer um pouquinho diferente, e além de falar do geomagnetismo no Observatório Nacional, falar do geomagnetismo como ciência. Porque infelizmente essa é uma ciência muito pouco conhecida, e da qual as pessoas às vezes dizem: "Ah! é aquilo que faz a bússola não apontar para o norte, que serve para a gente...". Bom, hoje ninguém usa mais a bússola para se orientar.

Para dar uma idéia, vou mostrar uma transparência, um acetato, como se diz nos países hispano-americanos, da posição do geomagnetismo, em particular, e da geofísica no âmbito das ciências. Coloquei a geofísica no centro, não porque seja a coisa mais importante, mas porque é o que vamos focalizar. Ela é uma ciência interessante. Recebe o influxo de outras ciências e, por sua vez, se relaciona com outras disciplinas. Em cima está a astronomia, como eixo mais importante da geofísica. Por quê? Porque fazer geofísica é fazer astronomia.

Tenho a impressão de que todos aqui presentes sabem que a Terra é um planeta. Eu estou estudando em particular um planeta e estudando astronomia também. Estou estudando uma ciência que é uma parte da astronomia, que recebe um influxo da astronomia; ela é muito interdisciplinar.

A pessoa, para fazer geofísica, deve conhecer bastante física e matemática, possivelmente mais matemática do que um astrônomo. Porque, como nós estamos trabalhando com um único planeta, só que com mais detalhes, a análise matemática tem de ser muito mais fina do que fazem os astrônomos, que podem globalizar melhor.

Nós recebemos um influxo também da biologia, que é muito importante. Os fósseis, toda a formação pré-humana da Terra é importante. Porque os fósseis modificaram as rochas. Então, temos uma parte de biologia. Há uma influência da química. Nós temos de conhecer a natureza química do que se está estudando.

Temos também algumas técnicas, ou ciências, ou disciplinas que têm um caminho de ida e volta com a geofísica, como, por exemplo, a geodésia. A geodésia, para mim, é um capítulo da geofísica. Por que a geodésia? Para se saber as formas e as dimensões da Terra, e isso faz parte da física. Para conhecer a geofísica, deve-se conhecer geodésia.

A mesma coisa com a cartografia, que é uma técnica para representar, numa superfície plana, a superfície elipsoidal da Terra. Temos a meteorologia, que é uma parte da geofísica, embora ela seja tão importante por suas aplicações que se considera como à parte. A climatologia, que está muito ligada à meteorologia. São várias as divisões da geofísica. Há também o estudo das marés terrestres, que é o estudo da maré sólida, porque a crosta da Terra sobe e desce, algumas vezes até 15 cm. Não são só os oceanos que sofrem marés, a própria crosta terrestre sobe e desce; o fluxo térmico, o calor que vem do interior da Terra.

O Observatório Nacional conta com o único especialista em fluxo térmico no Brasil, o doutor Valya Hamsa. É o maior de todos, porque é o único. Mas independentemente disso, ele é um grande cientista, é meu amigo querido.

A gravimetria, que estuda a gravidade é ligada à maré terrestre, porque os instrumentos são praticamente os mesmos. A oceanografia, de muita importância, para o Brasil, é uma ciência de importância fundamental. Temos 8 mil e tantos quilômetros de extensão de costas. A glaciologia, que temos muito pouco no Brasil, praticamente nada, porque no Brasil não há geleiras. A mesma coisa para a vulcanologia, a tectônica de placas (as placas da crosta terrestre se afastam e se juntam). A tectônica de placas está ligada à vulcanologia e à sismologia, que é o estudo dos terremotos.

Aqui, então, chegamos a um grupo: o geomagnetismo e aeronomia, que é uma área de estudo tão ampla que certamente só aqueles, que são especializados, é que sabem o tamanho dela. Só para dar uma idéia, as reuniões da IAGA, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*, têm

uma média de 1.500 a 2 mil participantes. Então, já há muita gente trabalhando nisso.

A coisa é tão interessante que a aeronomia – nós vamos falar um pouco depois da aeronomia – já existe no Brasil. Dei um curso de aeronomia lá na nossa pós-graduação, e como a pessoa que preparou e datilografou os programas nunca tinha ouvido falar em aeronomia, botou “geomagnetismo e astronomia”. Uma loucura! Mas o que é aeronomia? Isso depois nós vamos ver.

Então, aqui vamos ver um pouquinho melhor por que o geomagnetismo, pela própria estrutura da palavra (geo = terra; magnetismo é magnetismo mesmo), é o magnetismo no nosso planeta.

Agora vamos ver um pouco do magnetismo natural no Universo. Na realidade, o nosso Universo é regido por quatro tipos de forças: força gravitacional, força elétrica, força magnética e as forças nucleares. Mas desde a força gravitacional – aquele expoente do 10 está errado. Pode-se considerar 10^6 , ou 10^5 . Não, 10^7 seria melhor. A força gravitacional foi conhecida desde o *ramapitecus*, que é o nosso ancestral, mais ou menos parecido com o ser humano, aquele macaco que já andava assim. Tem muita gente hoje que desce diretamente do *ramapitecus*, e às vezes com inteligência um pouco menor. O *ramapitecus* já conhecia a força gravitacional, porque quando ele subia numa árvore para pegar uma fruta qualquer e caía no chão, ele sentia muito bem aquela força. Os seres primitivos, *australopitecus*, aqueles bichos todos, eles já conheciam a força gravitacional, porque, quando caíam no chão, era pela força gravitacional. Eles não sabiam o que era, mas que era alguma força que existia.

Já as forças eletromagnéticas são mais recentes. A primeira menção do desvio de uma bússola, ou seja, da existência de uma força magnética, foi feita na China, em 2.634 antes de Cristo. Está registrado, já existe isso. Depois, os gregos, como sempre, que se metiam em tudo o que era cultural e científico, eles começaram a estudar. O nome magnetismo vêm de Magnésia, que é uma região da Grécia, e do magneto.

Muita gente chama de magnetismo terrestre. Afinal de contas, qual é o nome? Geomagnetismo ou magnetismo terrestre? Nisso houve uma discussão tremenda. Hoje em dia pode-se dizer, de uma maneira um pouco crítica, que quem chama essa ciência de magnetismo terrestre está atrasado uns 50 anos.

Porque Sidney Chapman, que era muito purista na sua linguagem, disse que magnetismo é uma palavra que vem do grego *magnus*; e terrestre, terra, do latim *terra*, *terrae*, *terrarum* etc. Terra é de origem latina. Então Chapman disse que estávamos misturando grego com latim. Já geomagnetismo é grego.

Geo é terra, em grego, *magnet* é essa força. Então o Chapman mostrou que se deve usar geomagnetismo.

Quando a pessoa diz: "Ah, eu trabalho com magnetismo terrestre", esse camarada ou é francês da Escola Antiga, ou então está atrasado 50 anos. Porque na França ainda continua a ser magnetismo terrestre. Há magnetismo no Cosmos. Não é só na Terra que há magnetismo. E já está demonstrado que nos planetas existe magnetismo. Júpiter tem um campo magnético bastante intenso; Saturno e Urano também.

Os testes americanos de foguetes têm mostrado que existe. As estrelas também têm campo magnético que a gente consegue observar, porque as raías espectrais se afastam, em fenômeno chamado efeito Zeeman. O espaço entre as estrelas também tem magnetismo. Mas, para isso, é preciso definir uma grandeza. Então criou-se o vetor B , chamado indução magnética, que pode ser decomposto de várias maneiras. Mas não vamos entrar muito em detalhes técnico-científicos, para não esticar demais.

Na realidade, quem estuda eletromagnetismo sabe que devia se chamar a intensidade do campo de H . Mas não. O geomagnetismo, como foi uma ciência criada na base do tapa, numa época mística, tem umas coisas que são meio esquisitas. Num desenho de um vetor vermelho inclinado representa a indução magnética, eu é o valor do campo. Uma linha y, x , define um plano horizontal e o vetor projetado para a horizontal dá um vetor H , que é chamado componente horizontal do campo. E temos um D , que é um ângulo, o ângulo que faz a direção norte/sul, norte geográfico, com essa componente h . É o desvio da bússola. Mas a bússola não fica sempre no plano horizontal, ela está inclinada. Então, há um ângulo, que é a inclinação. Nós temos a inclinação e a declinação.

Não vamos entrar aqui nas formas trigonométricas. O que aconteceu foi o seguinte: durante muito tempo, o campo magnético da Terra era conhecido somente pelo desvio da bússola e pela inclinação do desvio do plano horizontal. Então, não havia o valor do vetor. A gente sabia somente que a agulha magnética se desviava para leste ou oeste, e para baixo ou para cima. Então, precisava-se medir isso.

Foi então que apareceu realmente o "pai do geomagnetismo", Carl Friedrich Gauss. Para o geomagnetismo e para a ciência de um modo geral, ele fez o papel de Johann Sebastian Bach, que criou a música, a estrutura moderna da música. O Gauss criou a estrutura moderna da ciência, com a experimentação. A única pessoa que teve, porque já faleceu, uma estrutura mental parecida com a do Gauss chamou-se Lélío Itapuambyra Gama. Ele parecia filho do Gauss.

Lélio Gama ia fazer um trabalho do qual não conhecia nada. Primeiro estudava os instrumentos, estudava, estudava, desmanchava os instrumentos. Depois começava a ver o método de usar aquele instrumento, que já é outro trabalho. Depois, fazia uma porção de medidas, depois analisava essas medidas, para, no final, então, chegar à teoria. Só que ele viveu pouco, não deu para fazer a teoria. Quando ele começou a fazer a teoria, morreu, com 90 e tantos anos. Foi um trabalho longo. A história do Lélio é uma história muito instrutiva para quem faz ciência.

Mas o Gauss, o que é que ele criou? Ele mediu a intensidade do vetor. Ele sabia que a agulha se desviava em dois ângulos, mas podiam ser grandes ou pequenos. Então, ele mediu a intensidade que nós chamamos de F , devia ser H , mas não, é F . E para fazer isso, ele soube que o Alexander von Humboldt... Aliás, desculpe eu puxar um pouquinho de história, mas isso é interessante. O Humboldt veio para a América do Sul, para fazer trabalhos de geofísica. Na América do Sul não existia geofísica, era astronomia ligada à Terra. E ele chegou no porto de Belém, quando o Brasil já era Vice-Reinado. Chegou lá e o governador da província do Grão-Pará não permitiu que ele fizesse o trabalho no Brasil. Ele mandou uma mensagem para o rei de Portugal, perguntando se podia dar autorização para o Humboldt trabalhar no Brasil. Foi negada. A idéia dele era partir de Belém, seguir o rio Amazonas, ver se encontrava a nascente do rio Amazonas pelo próprio Amazonas, e fazendo medidas ao longo do rio Amazonas. Mas foi proibido.

Então o que Humboldt fez? Foi para a Colômbia, fez trabalhos na Colômbia e no Equador, foi ao Peru, fez levantamentos impressionantes naquele país. Subiu os Andes de burro ou a cavalo, não sei, numa montaria qualquer, subiu os Andes, chegou a 5.800 metros de altura. Depois foi para o Panamá, que era Colômbia naquele tempo, e seguiu pela América Central, foi até o México. Mas quando estava no Peru, Humboldt achou uma coisa interessante: a agulha magnética não só se desviava como também tinha uma oscilação muito grande, que não ocorria em muitas partes do mundo. No Peru ela era muito forte. Por que seria isso? Então ele deu um 'chutezinho': quando o campo magnético é muito forte, a agulha oscila mais.

O nosso amigo, o Carl Friedrich, leu esse trabalho do Humboldt e disse: quando o campo aumenta, vibra, então eu vou medir o campo. E criou um método que devia ser criado por um chinês, porque ele construiu uma agulha bastante grande e começou a medir as amplitudes da oscilação e o tempo que ela oscilava. Fez alguns milhares de medidas. Mas depois ele tinha de reduzir, fazer as contas. E não havia método, não havia computador, é evidente, em 1830, mais ou menos.

Então Gauss criou um método chamado "método dos mínimos quadrados", que todos aqueles que fazem redução de cálculos sabem que o "método dos mínimos quadrados" até hoje é a base de toda a análise de dados. Essa foi a criação, o nascimento do "método dos mínimos quadrados", graças ao geomagnetismo. Nós vamos ver, daqui por diante, que muitos dos grandes eventos científicos da humanidade estão ligados ao geomagnetismo.

Bom, a unidade fundamental, se é que se pode falar nessa palavra, é o chamado "nanotesla". Nanotesla é dez elevado a menos nove, ou seja um bilhão de vezes menor que o Tesla. O Tesla é um quilograma por ampère, por segundo ao quadrado. É uma unidade meio esquisita. Esse nanotesla se chamava antigamente de gama. E quando em vez de se chamar gama passou a se chamar de nanotesla, eu, para brincar com o doutor Lélío Gama, dizia "doutor Nanotesla", ele ficava uma fera: "Não gosto dessas brincadeiras!" "Mas o senhor tem de mudar de nome. O senhor agora é o senhor Nanotesla, não é mais doutor Gama." Ele não gostava muito não.

Mas para vocês terem uma idéia de porque falar assim em unidade, eu tenho a impressão que vocês não têm uma idéia, como eu não tenho também. Num espaço intergaláctico, entre galáxias, o campo magnético é o 10^{-4} , ou seja 0,0001 do nanotesla, tudo pequenininho. Agora, próximo a uma estrela de nêutrons, essas estrelas pequeninhas, o campo é de 10^{18} nanotesla, é um campo violentíssimo, um imã daqueles mesmo parrudões. Na superfície solar, o valor do campo magnético varia de um ponto para outro, mas a média é de 10^6 nanotesla. Numa região ativa do Sol, ou seja, numa mancha solar, vai a 38, já é um valorzinho grande. A média, no Brasil, é de $2,5 \times 10^4$, ou seja 25.000 nanotesla; no México, 4,5.

O vetor campo magnético varia com a latitude e a longitude do lugar, com a distância ao centro da Terra e varia com o tempo. Levou-se muito tempo para descobrir essas variações. Se eu fosse contar essa história, ia levar mais de um dia contando como se descobriu a variação com a latitude etc. Mas se tudo correr bem, até o fim do ano vai sair um livro meu sobre geomagnetismo, no qual tudo isso está explicado numas cento e poucas páginas. A edição é em espanhol, é editada pela Universidade Autónoma do México. Vai ser um livro-texto para primeiro ano de engenheiro geofísico, que é uma carreira que não existe no Brasil.

Mas, ao mesmo tempo, esse campo magnético tem origens diversas. Quando a gente mede o conjunto valor, o que se mede é mais ou menos 90% do campo magnético; é o valor no interior da Terra, como se houvesse lá dentro um imã. Tanto que perguntaram uma vez a Sidney Chapman, ou foi a Gauss? Um deles, um dos grandes: "Mas qual é a origem?", ele respondeu: "Na hora

em que Deus fez a Terra, esqueceu um imã lá dentro. Foi o que aconteceu". Uma explicação simples: há o campo residual, porque existem, mais próximos da superfície, outros imãzinhos, outras regiões anômalas. Somados os dois, temos o que se chama de *main field*, campo principal.

Lélio Gama chamava esse *main field* de campo normal. Isso aliás me encucou, eu não sabia, ele já tinha morrido, por que ele chamava de campo normal? Campo normal é uma coisa que é normal, e esse campo não é muito normal. Depois eu peguei um livro na biblioteca do Observatório, e peguei um exemplar do Chapman. E estava anotado pelo Lélio: quando tinha lá "campo normal", ele grifou e botou "ver Adolph Smith". Aí eu fui procurar o livro do Adolph Smith. Adolph Smith tinha criado esse termo porque não gostava de falar em inglês. Há o *crustal field*, que é o campo magnético da crosta terrestre, das rochas, que é muito fraco, mas que é muito importante para a prospecção geofísica. Há o campo externo, que depende do tempo. Então temos uma equação de Laplace que não vamos levar em conta. Não vale a pena. Mas vale a pena mostrar mais ou menos o que é a nossa Terra.

Fazendo-se um corte imaginário na Terra, no interior é o núcleo da Terra, que é de níquel e ferro. Mas, o campo magnético, que se pensava que nascia ali, se origina na parte que se chama manto, principalmente no manto interno, já mais perto do núcleo, porque ali existem correntes elétricas. Essas correntes é que produzem o magnetismo na superfície do nosso planeta. Não há aquela barra imantada que se pensava, aquilo desapareceu. Hoje em dia, a hipótese mais moderna é exatamente o chamado dínamo autoexcitado, que é o seguinte: o campo é produzido por correntes elétricas, que são tão interessantes que, muitas vezes, ocorrem verdadeiras tempestades lá embaixo, com raios e trovões. A gente não escuta, porque está 3000 quilômetros abaixo de nós. Não se escuta aquilo, mas são correntes elétricas.

Vimos a Terra pelo seu interior. Aliás, como curiosidade, vamos fazer uma representação para crianças do que é a Terra. Vocês pegam um ovo de galinha, cozinham o ovo, ele fica cozido, e deixa o ovo cair no chão. A casca fica toda partidinha. Aquilo é um modelo muito bom da Terra, porque a casca partidinha é a crosta, onde nós vivemos, as placas não são unidas. Se vocês cortarem a clara, que é branca, ela será o manto; e a gema é o núcleo. Essa é uma imagem perfeita. Infelizmente galinha não bota ovo esférico, é ovalado. Mas a terra também não é uma esfera.

Eu mostrei a Terra por dentro, agora vou mostrá-la por fora. A Terra não acaba na atmosfera. O nosso planeta se estende a muitos milhares de quilômetros, para fora da Terra. A Terra tem cauda. Ela é uma esferinha. Em volta dela existe toda uma estrutura muito complexa, que se chama magnetosfera.

E a variação do Sol se choca com isso, forma uma onda de choque, que é achatada, e se estende a 50 diâmetros da Terra: 50 x 12 000, um número bastante grande. Há a cauda, como um cometa, que está sempre em direção oposta ao Sol. E há várias coisas: as linhas de forças geométricas, as correntes alinhadas; o campo. Há uma região de radiação. Que matéria é essa? É sólido, líquido ou gasoso? Não é nem sólido, nem líquido nem gasoso. É plasma. É um plasma, é o gás que existe nesses tubos, é uma matéria ionizada. Pois bem, no Brasil, já se trabalha nisso no Inpe, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Trabalha-se muito sobre a magnetosfera. Porque para saber realmente como é isso, deve-se lançar foguetes ou satélites.

Agora, vamos fazer um corte da nossa atmosfera. A troposfera, onde vivemos, tem cerca de um quilômetro; vai mais ou menos a uns 8 quilômetros. Eu acho que muitos de nós já foram acima da troposfera. É só pegar um avião a jato e vai a 10, 12 mil metros, e já estamos na estratosfera. Depois tem a mesosfera, que é o limite entre a troposfera e a termosfera. Depois, a exosfera, que é a parte de fora. Isso aqui é uma classificação.

Mas, temos uma outra classificação, ozonosfera, onde tem a camada de ozônio. Tem a região onde aparecem as auroras boreal e austral, a heliosfera. E uma região muito importante, que é a chamada ionosfera. Tão importante que se divide em camadas, ionosfera DE, F1, e F2 etc. Protonosfera só tem prótons.

O equador magnético não coincide com o equador da Terra. Equador magnético, são os pontos em que a agulha imantada fica exatamente horizontal, ela não se inclina. É o chamado equador magnético, ou, como a giria é melhor *dip Equator*; 14° de inclinação. Ele é muito esquisito, porque tem umas voltinhas, e, mais ou menos 600 quilômetros ao norte, 600 quilômetros ao sul, o campo é muito perturbado. Existe o chamado eletrojato e, próximo aos pólos magnéticos, existem as chamadas ovas aurorais, as regiões onde se produzem auroras. Também há correntes elétricas.

Então, são esses três tipos de coisas sobre as quais atualmente estão se desenvolvendo muitas pesquisas. No Brasil, estamos trabalhando muito com o eletrojato equatorial. O Inpe tem a liderança nisso, porque o Observatório só tem uma pessoa interessada nisso, que é o modesto falador que está aqui presente, que se interessa por isso. De vez em quando estou lá no Inpe, onde está o Doutor Trivedi, meu amigo.

Mas dêem uma olhada, num mapa, onde passa o equador. Só passa em países do terceiro mundo. É interessante isso. É um acidente físico, um acidente científico característico de países em desenvolvimento. Por isso, foi muito difícil descobri-lo. Mas ele foi descoberto no Peru, por duas pessoas,

uma das quais é o Mateo Casaverde. E o outro é meu amigo também, Alberto Giessecke. Os dois trabalharam muito e descobriram a existência desse eletrojato, que é muito interessante.

O Brasil se situa onde o equador magnético se afasta mais do equador geográfico. Essa é uma coisa muito interessante. Em todo o mundo ele está muito próximo, paralelo quase. Mas aqui, não. Aqui ele está bem inclinado. Isso é uma coisa bem interessante e é uma coincidência, talvez, no sul do Brasil, no estado de Santa Catarina, exista a região onde o campo magnético da Terra é o mais fraco possível, mas, ainda é forte, mas é muito mais fraco do que nos outros lugares. É a chamada Anomalia Magnética do Atlântico Sul. É interessante porque ela fica na mesma posição do ponto mais austral do equador. "Mas por quê? Qual é o motivo?" Não sei. Mas é muita coincidência que esteja o ponto em que o campo é mais fraco e no qual o equador tem essa barriga. É muita curiosidade. Estou tentando trabalhar nisso. Se eu descobrir, vou ter meu nome bem conhecido. Mas, lamentavelmente, ainda preciso de uns 10 anos para descobrir isso. Não vou ter tempo.

Essa parte é exatamente a que estou trabalhando atualmente. Tenho uns contatos com os indianos, porque esse equador passa na Índia também. Por incrível que pareça, a Índia é considerado o país de terceiro mundo, ou país em desenvolvimento, que mais incentiva o geomagnetismo. A Índia tem treze observatórios. O Brasil tem dois. A Índia é um dos países que tem o maior número de observatórios por quilômetro quadrado. E deve haver talvez uns 50 ou 60 PhDs, doutores em geomagnetismo. Talvez seja o país mais avançado em geomagnetismo.

Agora vamos falar um pouco de pré-história. Marco Pólo foi à China. Inventou muita coisa, mas muita coisa era verdade. Ele disse que os chineses usavam uma agulha imantada para se orientar. A verdade é que há a história de um imperador chinês que queria lutar contra os mongóis, e os soldados estavam com um pouco de medo. Então ele construiu uma carruagem com um pivô, um eixo, e montou lá um deus chinês com um braço, e embutiu no braço do Deus uma barra imantada, e o deus podia rodar, aí ele disse: "Soldados," segurando o deus. "O nosso deus Chuchu vai mostrar onde estão os nossos inimigos, ele vai indicar e nós iremos derrotá-los." Solto o deus e ele apontou para a direção da Mongólia, aí o exército foi lá e ganhou a guerra. Essa é uma história que quem conta é o doutor Lélío no livro dele. Bom, Alexander Neckam, em 1190, construiu uma bússola e começou a explicar isso.

Qual o local onde, tudo indica, começou-se, no mundo ocidental, a usar a bússola? É o Promontório de Sagres, em Portugal. Henrique, o Navegador, antes de ser navegador era chamado de "mata-mouros", porque ele esteve numa

expedição dos portugueses que desembarcou em Ceuta, tomou a cidade para Portugal, que era um obstáculo para a navegação portuguesa no Mediterrâneo. Conta a lenda que ele cortou a cabeça de não sei quantos mil árabes, mouros. Então, por isso, ficou com o nome de "mata-mouros". E hoje, quando a gente diz "fulano é mata-mouros", está lembrando Henrique, o Navegador. Ofereceram a ele, que era um nobre, um príncipe e Infante, muita coisa, e ele disse: "Eu não quero, eu só quero ser da Ordem de Cristo".

A Ordem de Cristo era mais ou menos como hoje esses países que só tem um partido, vou citar o México, era como o PRI. Ser da Ordem significava ter dinheiro à vontade. Com tanto dinheiro, e como querer é poder, ele fundou, no Promontório de Sagres, uma Escola de Navegação que foi o primeiro Observatório Astronômico do mundo ocidental, no século XV. Lá ele reuniu todas as pessoas que podiam entender de navegação e astronomia. Chamou para lá os vikings, e fez a caravela, que é uma mistura dos navios usados pelos venezianos com os barcos vikings. Ele fez uma mistura. A caravela é uma coisa genial, e foi criada em Sagres. Mas o interessante é que Henrique nunca viajou, mas era um administrador perfeito. Foi o maior português da História. O Infante Dom Henrique fundou a Escola de Sagres, num Promontório ao Sul de Portugal, que está como uma proa de caravela apontando para o Atlântico.

Agora vamos voltar a outras coisas. Acontece que, naquela ocasião, importante era ir às Índias. Por que o pessoal queria ir às Índias? Porque não havia geladeira, a carne se estragava, e eles tinham de comer carne. Então botavam pimenta, cravo, especiarias, a carne ficava apimentada, e a pessoa comia, mesmo a carne podre. Porque carne podre não mata, peixe podre mata, mas carne, não. Por isso é que a comida mexicana é tão apimentada, porque a carne boa que eles têm, exportam para os Estados Unidos, para pagar as dívidas.

O fato é que queriam ir às Índias, era uma obsessão. O nosso prezado amigo Cristóvão Colombo correu as cortes mais importantes da época. Foi a Portugal, e os portugueses deram uma corrida nele. Os livros de história normalmente dizem que os portugueses eram burros, que é piada de português recusar uma coisa tão simples ao Colombo. Mas os portugueses sabiam o que estavam fazendo.

Acontece que a ciência da navegação, naquele tempo, era confidencial, era um segredo de Estado. Quem conhecesse o caminho das Índias estava com o poder nas mãos. Então a coisa é a seguinte: os portugueses de Sagres já sabiam que, no Oceano Atlântico Norte, os pontos que têm a mesma declinação são quase todos eles paralelos ao Equador. Então, a pessoa ia naquela direção ali e a agulha desviava muito pouco. Colombo conseguiu notar esse

desvio. Contam até, como lenda, que os marinheiros estavam assustados, porque a bússola, que devia ir para leste, ia para oeste. Então ele botou uma barra de ferro para ajustar na posição que os marinheiros pensavam que tinha de ser. Os marinheiros ficaram mais tranquilos.

Mas é impossível determinar a longitude pela bússola se você estava navegando, naquele tempo, na direção leste/oeste, é indeterminado. Isso ao contrário do Hemisfério Sul. No Atlântico Sul, as linhas são todas elas mais ou menos paralelas ao meridiano. Então, os portugueses sabiam a que distância eles estavam da costa. Isso era segredo. Eu já estive em Cádiz, na Espanha, procurando documentos sobre isso, já estive na Torre do Tombo; não há documento.

A hipótese que faço é muito lógica, porque sei que as linhas eram assim. E estou afirmando como apoio a essa hipótese que, no Hemisfério Norte, os portugueses já conheciam isso? Porque o Infante Dom Henrique, aquele nosso prezado luso, tinha muito contato com os flamengos, ou então era um português traidor.

Mas o Infante Dom Henrique tinha uma prima chamada Felipa, que se casou com um viking, não da Noruega, mas da Dinamarca, o Éric da Pomerânia, e é certo que os portugueses viajaram com os vikings até a América. E como em Sagres já se conhecia a agulha da bússola, é provável, que um português tenha ido lá ajudar os vikings, ensinando a navegar pela bússola. E Dom Henrique convidou vikings para trabalhar em Sagres. Então ele já conhecia essa coisa toda. O Colombo não, o Colombo disse: "Vamos lá!" E foi direto, foi herói, teve a sorte de descobrir a América.

Nosso amigo Vasco da Gama chegou à Índia, e depois um português também muito famoso, Pedro Álvares Cabral, que veio ao Brasil não por acaso. Disseram: "Você sai daqui e vai descobrir o Brasil." E ele veio descobrir o Brasil. O Brasil era conhecido muito antes de Cabral. Ele veio tomar posse do Brasil.

Nos livros, o Brasil foi descoberto por acaso. Isso é ignorância, estupidez. Portugal, no século XV, no século XVII, era o maior país do mundo, principalmente em ciência. Era o país líder do mundo em ciência.

Bom, agora vamos ver um pouquinho mais de história. Já falamos na pré-história. Por que chamo aquela fase de que eu falei até agora de pré-história? Porque não tem nada escrito. A história começa quando começa a haver documento. Agora já existe.

Benjamim Franklin um dia estava soltando um papagaio, botou uma chavezinha num fio e levou um choque. Então começou a ver que havia eletricidade atmosférica. A eletricidade atmosférica ganhou, a partir daí, um

grande desenvolvimento, mas o magnetismo era uma coisa pouco conhecida. Aí aparece uma pessoa importante, Emmanuel Liais, que é conhecido mais como diretor do Imperial Observatório. Os cientistas chamam-no "o grande astrônomo Emmanuel Liais", e eu digo, não, "o grande geofísico Emmanuel Liais", que nas horas vagas fazia astronomia. É verdade. Se vocês olharem as obras de Emmanuel Liais, vão ver que 80% são geofísica, 20% são astronomia. Aqueles cometas, quem não tem curiosidade de ver um cometa? Ele via, era um homem muito inteligente.

Vamos falar um pouquinho de Emmanuel Liais e Margaritha Liais. Liais tinha um observatório móvel. Uma coisa notável. Liais descobriu um cometa, foi realmente um dos maiores cientistas do século passado. Foi o homem que enfrentou Le Verrier e provou que Le Verrier estava errado em muitas coisas. As lutas dele contra Le Verrier, que ele sempre ganhou, foram uma coisa notável. Ele tinha um gênio desgraçado, eu tenho uma porção de historietas sobre o Liais que não vou contar aqui. O busto dele ainda está aqui no Mast, em algum lugar. Foi realmente o maior diretor que o Observatório já teve. Na época dele, era o maior astrônomo do mundo. Ele desistiu de ser diretor do Observatório de Paris para ser diretor do Imperial Observatório do Brasil, porque tinha dado a palavra a Pedro II. É uma coisa notável a vida desse homem.

Agora vamos ver a sua senhora. Margaritha von Kranenbroeck, holandesa, holandesa não, perdão, flamenga, porque não havia Holanda naquele tempo, era Flandres. Margaritha Liais tinha olhos verdes, o cabelo era castanho claro. Uma vez Liais saiu para fazer o seu trabalho magnífico de levantamento da região sudeste e leste do Brasil. Ele, Margaritha e os auxiliares. Claro, não havia escravos, ele não usava escravos, pagava o pessoal que os acompanhava. No meio do caminho teve uma febre daquelas e parou. Ia perder o trabalho, não podia continuar. Margaritta disse: "– Eu sei fazer." Pegou o teodolito, a bússola e saiu. Durante dois meses completou o trabalho do marido. Era uma mulher extraordinária e fez uma coisa muito importante, que foi ilustrar a viagem do marido. Como não havia fotografia e ela era uma excelente pintora de aquarelas, ilustrou o trabalho do marido dela. Se vocês tiveram oportunidade de ir à Cherbourg, na França, no Museu Liais, em Cherbourg, existe a coleção completa das aquarelas.

No seu livro, *Traité d'astronomie appliquée et géodésie* (os títulos naquele tempo eram enormes) quando chegou próximo a Vila de Caetés, em Minas Gerais, descrevendo um morro que dizia ser belíssimo, que depois se chamaria Morro da Piedade, diz, "excelente local para colocar um observatório astronômico". E hoje lá em cima está o Observatório Astronômico da Serra da Piedade, que pertence à Universidade Federal de Minas Gerais. Trabalhei

lá, é um lugar lindíssimo. Dormi em cima de uma pedra, e quando tiramos a pedra para construir o observatório, matamos dezenas de escorpiões. Não morri porque tive muita sorte.

A Margaritha Liais, por sua vez, é absolutamente certo que foi a primeira geofísica da América Latina. Em homenagem a Margaritta fiz uma conferência na Áustria, em Viena, sobre sua vida como geofísica.

Balfour Stuart, um inglês, na Enciclopédia Britânica, edição de 1878, disse que as variações no campo magnético no Brasil são provocadas por correntes na ionosfera. Não se sabia nem da existência da ionosfera. Ele explicou isso em 1878, e só foi provado mesmo em 1960.

Uma ciência nasceu quando Gauss criou (e não foi só criar essa medida), ele fundou a primeira União Científica Internacional, a *Göetingen Verein*, que é traduzida normalmente como União Magnética. Ele conseguiu juntar 40 observatórios do mundo inteiro para trabalhar com os mesmos instrumentos, com os mesmos métodos, com o mesmo sistema, exatamente com a mesma rotina. E um deles, em Calaba-Alibag, na Índia, que funciona sem interrupção há 150 anos.

Este ano faz 150 anos da criação do Instituto Indiano de Geomagnetismo, que é um organismo maior que o Observatório e o Mast juntos. Ele se dedica só ao geomagnetismo, na Índia. Esse Calaba-Alibag é o vovô dos observatórios. Ainda trabalha até hoje com os mesmos instrumentos criados por Gauss, no século passado. Eu não sei se vocês acham isso bonito, mas eu acho que essa é uma parte da ciência que me fascina, as coisas antigas funcionando, dando as medidas. Não preciso usar computador, uso aquela coisa antiga, e o valor é igual. É impressionante isso. Isso me dá uma sensação maravilhosa de amor, porque fazer ciência é amar também.

Mas, o geomagnetismo tinha de ser autônomo. Antes acreditava-se que ele era um capítulo da meteorologia. Tive uma briga pessoal e ganhei, graças a Deus, senão não contava. Havia um Congresso sobre história do geomagnetismo. E o presidente da Conferência era diretor do *Instituto de Física di L'Atmosfera*, portanto italiano, e 99% da reunião era sobre história da meteorologia. O único trabalho que não era, era o meu, e tinha esse título: "Geomagnetismo como ciência autônoma".

Então eu queria mostrar a ele e ao pessoal que estava presente que geomagnetismo não tem nada a ver com meteorologia. Meteorologia é o estudo das coisas que ocorrem a 10, 12 quilômetros de altura; e o geomagnetismo estuda o que está no interior da Terra e lá para cima, 70 quilômetros para cima. Havia, no começo deste século, dezenas de associações estudando meteorologia, outros geodésia, outros não sei o quê. Era uma loucura.

Até que em 1931, a ICSU, *International Council Scientific Unions*, Conselho Internacional das Uniões Científicas, botou a coisa em ordem e criou 12 uniões, uma das quais é a IUGG, *International Union of Geophysics and Geodesy*, e criou a IATME, *International Association Terrestrial of Magnetism and Electricity*, que cuidava do geomagnetismo e da eletricidade atmosférica. Aí começou a briga. Se era para falar em atmosfera, os meteorologistas diziam: "Não, isso é meteorologia, vocês estão tratando da atmosfera."

E aí apareceu esse gênio chamado Sidney Chapman, que disse: "Não, tudo o que está acima de 50 quilômetros não é meteorologia, porque não é mais atmosfera. É o quê? Faz parte da aeronomia." "Ah! muito bem." Acabou a briga.

Então ele criou a IAGA, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*. Criou a IAGA, que foi uma solução genial, porque ele não queria briga. Quando acabou a reunião perguntaram: "Doutor Chapman, mas o que é aeronomia?" "Você não sabe?", perguntou ele. "Não." E ele respondeu: "Nem eu." Na realidade, aeronomia é o estudo de tudo o que acontece na Terra acima de 50 quilômetros. Para baixo não é aeronomia. Mas eu também inventei um nome.

Um grande amigo meu, o doutor Naoshi Fukushima, que como todo bom japonês sabe ler chinês também, foi lá nos arquivos chineses e conseguiu descobrir a ocorrência de auroras boreais, auroras polares, nos séculos XI, XII e XIII. Depois ele foi à Europa, nos arquivos de Praga e de Hamburgo e descobriu as auroras polares vistas naquela região. Então, fez uma relação minuciosa, porque ele é japonês mas tem espírito de chinês.

Fukushima começou a comparar as duas fontes e viu algumas auroras polares coincidentes. Essa oval que está aqui, e mais esse, são regiões em que ocorrem as auroras polares. Mas muitas vezes essa região cresce. O centro dessa região é exatamente o pólo magnético, que não coincide com esse pólo, que é o polo geográfico. Muitas vezes Fukushima notou que algumas auroras polares tinham sido observadas no sul da Europa, e, ao mesmo tempo, foram observadas na China.

Então, Fukushima conseguiu determinar a posição do pólo magnético no ano mil cento e qualquer coisa. Ele obteve oito casos em que conseguiu determinar a posição do pólo. Isso era o quê? Um "arqueio" o quê? Um arqueogeomagnetismo? Não, uma arqueoaeronomia. Porque a Aurora Polar é uma coisa que acontece lá em cima, a 300, 400 quilômetros de altura.

Então eu disse para ele: "Doutor Fukushima, me dá licença que eu vou fazer um artiguinho comum, para uma revista, sem grandes pretensões, dizendo que o senhor, que é meu amigo criou a arqueoaeronomia. E ele disse: "Obrigado."

Então, antes, foi criada a IAGA. Em 1872, 1873, e o IATMA estabeleceu

o Primeiro Ano Polar Internacional, em que, em várias partes do mundo, procurou-se observar auroras polares, medidas de geomagnetismo e outras coisas assim, na geofísica, mas principalmente de magnetismo terrestre, ou geomagnetismo. E foi um sucesso.

Mais ou menos 50 anos depois fizeram o Segundo Ano Polar Internacional, com o mesmo espírito, mas um pouco mais amplo. E o Brasil teve uma participação importante. O *Carnegie Institute* cedeu ao Observatório um conjunto de instrumentos de geomagnetismo que foi instalado numa ilha, na Foz de Amazonas, chamada Ilha de Tatuoca. Nesse período, Romeu Marques foi encarregado de ser o chefe desse observatório. Ele trabalhou em Tatuoca com o doutor Olsen, um dinamarquês.

Em seis meses de trabalho, eles publicaram um trabalho notável sobre a influência da Lua sobre o campo magnético da Terra. Mas o doutor Olsen, que foi uma pessoa sensacional, quando acabou o ano polar ofereceu uns instrumentos para serem deixados na ilha. O diretor do Observatório, que na ocasião era o Sodré da Gama, escreveu para o ministro dizendo que, já que aquele instrumental havia sido cedido para o Observatório, e já que a Ilha de Tatuoca funcionava, pedia autorização para criar o Observatório Magnético de Tatuoca. A resposta do ministro foi notável: "O Brasil não recebe esmola de países estrangeiros. Feche o Observatório e volte para o Rio. Mande seu técnico voltar para o Rio." Tatuoca só começou a funcionar regularmente em 1957. Quer dizer, perdemos todo esse período por causa da estupidez da "burrocracia" oficial. Repito sempre aquela frase, que é um conselho muito cristão: "Pratique uma boa ação diariamente. Todos os dias, mate um burocrata!" É a melhor coisa que pode acontecer, é uma delícia. O maior inimigo da ciência é a "burrocracia".

O Ano Geofísico Internacional foi uma continuação desse Ano Polar. Foi em 1957, 1958. Foi o maior esforço científico de todos os tempos. Nunca houve um esforço desse tipo. Foram cerca de 18 mil cientistas trabalhando ao mesmo tempo, durante esse período de 1957 a 1958. A quantidade de dados era uma coisa louca.

Estou por acaso numa sala que me lembra um sofrimento que eu tive. A quantidade de publicações sobre o Ano Geofísico era enorme. E o doutor Lélío Gama, que era o diretor do Observatório, mandou colocar toda essa bibliografia nessa sala, que era um pouco maior que agora, não tão bonita, mas ela está aqui. Um dia ele disse: "Muniz Barreto, você tem muito o que fazer?" "Alguma coisa. Você vai organizar aquela bibliografia e vai aprender um pouco de Geofísica." Eu passei não sei quantos meses aqui dentro desta sala. Tinha mofo que era uma loucura. E separei o que era disso, o que era daquilo. Por curiosidade, olhava muita coisa, aprendi muita coisa,

Alguns dos pesquisadores
do Ano Geofísico
trabalharam no
Observatório Nacional
em 1957 e 1958.
Aqui estão alguns nomes:
Lélío Gama, Romeu Marques,
Muniz Barreto,
etc.

consegui colocar aquilo tudo em ordem. Hoje em dia está na nossa biblioteca, que é um acervo enorme.

Bom, e as conseqüências do Ano Geofísico? Quando nós vimos o Brasil perder da Nigéria, pela televisão, essa é uma conseqüência do Ano Geofísico. Graças ao Ano Geofísico é que se lançou o satélite; graças ao Ano Geofísico é que nós temos rádio de pilha pequeno, e que temos televisão miniaturizada. A miniaturização da eletrônica, a computação, a televisão, que transformou a nossa Terra numa aldeia global, foi fruto do geomagnetismo, do Ano Geofísico Internacional, que, para o geomagnetismo, foi excelente. A conseqüência, para o nosso ser humano, foi enorme. A chegada à Lua, tudo isso é conseqüência do Ano Geofísico Internacional. O geomagnetismo serve de laço de união entre os povos.

Falei aqui do ICDC para não deixar de falar, porque isso aqui não foi feito só para aqui. Dentro da IAGA existem várias divisões, uma delas é a ICDC, *Interdivision of Comition for Developing Countries*. E que não sei por que coisa louca, por uma besteira que fizeram, me elegeram presidente dessa comissão. Dá um trabalho desgraçado. De modo que muita gente estranha: "Ô Muniz, por que você vive no México, na Colômbia? Você esteve na Nigéria, você agora parece que vai a China, e depois você só escolhe país horrível!" Lamentavelmente, é o meu dever. Estou fazendo um esforço impossível para desenvolver o geomagnetismo no terceiro mundo. O que é uma das tarefas mais fantásticas, porque inclusive a gente tem de lidar com essa gente.

Atualmente existem 15 Observatórios Magnéticos da América Latina: Tetoyuacan, no México, onde agora, em junho, nós instalamos dois equipamentos ultramodernos. Tem Chiripa, na Costa Rica; Fúquene, na Colômbia, em que eles instalaram equipamento moderno. Tem Huancayo y Ancón, no Peru, Arequipa, também no Peru; Patacamaia, na Bolívia; Vassouras e Tatuoca, no Brasil; La Quiaca, Pilar, Las Acacias, Trelen, na Argentina e ainda tem La Habana.

Mas o nosso país só tem dois observatórios magnéticos. Isso é muito pouco, para um país com 8 milhões e 500 mil quilômetros quadrados. Então, temos estações provisórias, que são ocupadas atualmente por duas pessoas: o Ronaldo Marins e o Carlos Germano. São dois excelentes técnicos.

Cada estação magnética é reocupada a cada cinco anos. Com isso é possível estudar como o Equador magnético mudou a sua posição no Brasil. Foi determinado por Van Rickjervosel, em 1883, um geofísico holandês, em 1901 por Brasília Silvado oficial da Marinha Brasileira. Em 1960, o traçado de Lélío Gama. O de 1965 também, por Lélío Gama. Em 1985, foi nosso. Eu fiz uma revisão, houve dados muito mal medidos no campo, em 1965. Mas de qualquer maneira, a impressão que se tem é que isso roda. Não é a linha azul,

que escorrega em torno da Terra. É como se Deus quisesse abrir a Terra, puxando assim, para abrir e tirar aquela barra que ele deixou lá dentro. Está puxando mas não consegue abrir.

Então, esse é o trabalho do Brasil atualmente. Entre nossos planos, que não são meus, mas é o plano de uma comunidade – porque nessa ciência nós trabalhamos muito unidos, até já me disseram que isso aqui parece uma maçonaria –, é um plano para termos um observatório Magnético na cidade de Brasília, um observatório magnético na cidade de Manaus, um em Fernando de Noronha, e outro em Trindade. São os observatórios brasileiros do futuro.

Não há problemas de equipamento. Em Vassouras nós conseguimos um equipamento moderno, que transmite a cada minuto, diretamente, via satélite, do Centro Mundial de Dados. Em Vassouras, é o equipamento mais moderno que há. Tatuoca agora tem equipamento. Embora seja recondicionado, é bom. E vamos tentar fazer isso no resto da América Latina. Vamos tentar fazer um trabalho parecido na África, que é muito pior, mas é possível. Já conseguimos instalar um observatório na Nigéria.

Colocamos um laboratório moderníssimo na cidade de Ile-Ife praticamente dentro do Deserto do Saara. É um observatório também razoável, que está funcionando bem. Vamos agora tentar fazer um no Cairo, próximo ao Cairo, talvez. Vamos tentar depois no Quênia, eu tenho algumas pessoas que trabalham bem lá no Quênia.

Era mais ou menos o que eu queria dizer, para não esticar demais. Acho que passei um pouquinho do que eu tinha previsto.

PERGUNTA: *Quantas estações são?*

MUNIZ BARRETO: *São 120. Antigamente, levava-se de 10 a 15 anos para ocupar todos. Agora, fazem-se em cinco anos, quer dizer, se faziam, porque o dinheiro neste ano está um pouco difícil.*

[Passando algumas fotos]* – Esse aí é Alix de Lemos, que foi chefe da divisão de meridianos e anexos do Observatório. Foi diretor interino do Observatório, fundou o Observatório de Vassouras; foi o homem que introduziu no Brasil o estudo das marés, o estudo do magnetismo a sério e também da sismologia. Foi um grande geofísico. Tive a oportunidade de conhecê-lo dois anos antes dele se aposentar.

– Esses aí vocês não conheceram. Ele foi o meu grande mestre, Domingues Fernandes da Costa. É o único retrato que se conseguiu dele, mesmo assim de *close*, e não é retrato, é bico de pena. Domingues Fernandes da

* Nota da Organização: Embora não tendo podido recuperar as fotos, foram mantidas as descrições dos slides por conter informações importantes sobre nomes, funções e Observatórios.

Costa era um homem de múltiplos interesses e viveu até os 74 anos. Morreu trabalhando aqui, no Observatório, aqui nesse piso, na sismologia.

– Esse é muito conhecido. Lélío Itapuanbyra Gama, o grande diretor do Observatório. O homem que remodelou o Observatório. Aqui tem a luneta 32, a cúpula. Dá para ver. O retrato é de quando completou 80 anos. Viveu até aos 90 e pouco.

– Isso é o Observatório Geofísico de Huancayo. Lá existe um observatório magnético e um observatório de radar para sondagens na ionosfera. Tinham uma torre solar para fazer física do Sol, mas como isso fica a 4 mil e tantos metros de altitude, numa região um pouco deserta, o observatório foi atacado pelos guerrilheiros do *Sendero Luminoso*. Mataram três funcionários, quebraram todo o equipamento. Me esqueço agora. Com o Fujimori a coisa melhorou. Ele foi à forra e matou não sei quantos guerrilheiros. De modo que agora a gente pode ir a Huancayo. Eu estou com um convite para ir lá este ano.

Huancayo foi o observatório mais bem montado, não só da América Latina, mas do mundo inteiro. Foi inteiramente financiado pela *Carnegie Institution*, de Washington. Foi por isso que os guerrilheiros do *Sendero Luminoso* o atacaram. “Isso aí é coisa dos gringos, foi com o dinheiro dos americanos, então vamos destruir”. Estupidez! A ciência não tem fronteira nem tem pátria.

– Isso aí é o seu ilustre criado aqui presente com o Herman Leandro, chefe do Observatório de Chiripa, na Costa Rica. Esse é um observatório interessante. Ele é muito pequeno, muito modesto, mas de um funcionamento maravilhoso. E o que é curioso é que, como eu ajudei muito eles lá, na compra dos instrumentos, eles têm dois pilares. Da terceira vez que fui visitar Chiripa, na Costa Rica, eu vi no pilar uma plaquinha metálica com o nome do pilar: Muniz-1; e no outro pilar, Muniz-2, e ainda tem Muniz-3. Eu perguntei: “Mas por que isso?” “Em sua homenagem.” “Mas por quê?” “É porque é quase da sua altura.”

PERGUNTA: *Esse observatório é ligado à universidade?*

MUNIZ BARRETO: Não. Esse é um dos problemas que nós temos em geomagnetismo ligado ao ICE, Instituto Costarricense de Eletricidade. Esse instituto é muito interessante, porque ele cuida de levantamentos topográficos, geodésicos, gravimétricos, magnéticos, cuida de meteorologia, cuida de tudo. Depois que passei a ir muito à Costa Rica, já conversei com o pessoal, e agora eles fizeram um convênio com a Universidade da Costa Rica, para a parte acadêmica. Agora, vamos dizer, o observatório está ligado à Universidade da Costa Rica. Isso melhorou muito o nível científico do observatório. Há professores de física, inclusive, que trabalham com os dados. Antigamente era o observatório que registrava e mandava para o Centro de Dados. Mas agora eles já estão fazendo pesquisa.

PERGUNTA: *Existe pós-graduação em geomagnetismo?*

MUNIZ BARRETO: *Especificamente, não. No nosso Observatório já tivemos pós-graduação. Nossa especialidade aqui é geomagnetismo. Quase todas as teses são em geomagnetismo, mas não em geomagnetismo clássico, mas em geomagnetismo aplicado, prospecção. É o chamado método magneto telúrico, que é um capítulo de geomagnetismo, magnetismo puro mesmo. Só houve uma tese, a do Irineu Figueiredo, que foi a única tese de magnetismo puro. Mas em São Paulo há muito pouco. Fora do Brasil existe muito, mas nós temos condições de fornecer o curso. Está nos meus planos tentar formar alguém em geomagnetismo clássico.*

– Esse aqui é um exemplo das nossas estações móveis de campo. Eu escolhi, porque há uma porção de fotografias, algumas delas muito tristes, o Carlos Germano com lama até os joelhos, sem camisa, suando, tentando fazer algumas coisas. Mas escolhi também Fernando de Noronha, que é um lugar bonito, talvez a estação provisória mais bonita. Este aqui é o Ronaldo Marins e este é o Arlindo. Está fazendo medidas geomagnéticas lá. E ali é uma rocha muito interessante que tem um furo, o pessoal chama de “buraco da Raquel”. Há uma dezena de anos, havia uma moça, Raquel, que era doida. Ela ficava naquele buraco o dia inteiro, olhando o mar. Então, é o “buraco” da Raquel.

– Esse aqui é o chamado Morro de São Pedro. Começamos a medir ali, depois eu achei uma coisa estranha. Para esse lado de cá, as medidas eram completamente loucas. Enquanto o Ronaldo e o Arlindo ficaram lá em cima, eu desci para ver. Embaixo há uma gruta onde os americanos colocaram todo o lixo que eles produziam durante a guerra: canhões, lanchas etc. É um material magnético terrível. Desviou o campo. É um depósito de ferro velho. O Morro de São Pedro é muito bonito, mas não serve.

– Aqui é Fernando de Noronha, justamente o aeroporto de Fernando de Noronha, que é o melhor lugar para fazer medidas, porque é uma região plana, sedimentar, ou seja, não tem muita rocha. Instala-se a estação, põe-se o pilarzinho no chão, e ninguém mexe, porque o aeroporto é bem cuidado pela Aeronáutica. É um lugar bom, exatamente onde temos a nossa estação.

– Vamos ver outra que também deve ser Fernando de Noronha. É o pico culminante de Fernando de Noronha. Tem quase 400 metros de altura. É um pouco perigoso descer nesse aeroporto, ainda mais naquele C-130, com aquele avião e naquela pista.

– Isso aí é a barraca-tipo que armamos nas nossas estações provisórias. O Arlindo está aí muito simpático, o Ronaldo Marins também. Eles tiveram problemas aqui. Escolheram esse local, que era fora do movimento da Ilha. Deixavam a comida lá para eles, porque a diária do Observatório é muito

curta. Então, eles não podiam ir ao restaurante do hotel, onde a comida era caríssima. Eles compravam comida lá no nanomercado, que não era nem micro, era nanomercado, compravam pão, algumas coisas, e chegava de manhã tinha sumido tudo. "Será que tem ladrão aqui?" Aí, um deles ficou espiando. Era uma preá, ou um gambá, um desses roedores. Ele ia lá e se fartava com a comida. Então, eles compraram uma comida de preço mais baixo, ou seja, alguma comida assim já meio estragada, e botavam aquilo do lado de fora. Pronto ficaram amigos. A bicharada vinha e comia aquilo, se divertia, fazia banquete, e eles ficavam dormindo. Aliás, não, um dorme e o outro fica vigiando o equipamento registrador. Agora não, já temos os automáticos.

– Isso é o moderno Observatório de Vassouras. Em Vassouras, nós cavamos na rocha e fizemos esse negócio aqui, que é de concreto, mas não é armado, porque não pode ter ferro. Ferro é magnético. Então, em vez de se usar ferro, usamos palha e gravetos como armadura. E aqui dentro está instalado o nosso equipamento do intermagnet, um equipamento de uma organização internacional, ligada à IAGA. Ele registra de minuto a minuto o campo magnético. Os dados vão para o laboratório e, de lá, são mandados, via satélite, diretamente para o Centro Mundial de Dados, no Colorado, perto de Denver.

– Esse é um grupo de pessoas do observatório visitante. Esse daqui da esquerda vocês conhecem, é outro com quem eu consigo falar no mesmo nível. O Luiz Carlos Carvalho Benyosef. Depois tem o Sérgio René do Amaral, que é o encarregado técnico do Observatório de Vassouras. Aqui está o Alvinho, que é um artifice de primeira. Ele trabalha com relógios, madeira, eletricidade. Qualquer coisa com a qual tenha de mexer com as mãos ele faz com perfeição. É um dos melhores mecânicos eletricitas que eu conheço.

Aqui está o Ferreira, que é o encarregado do Observatório. Ele não é técnico, mas aprendeu bastante coisa. Aqui está um dos trabalhadores do campo. E esse é o doutor Naoshi Fukushima de quem eu tenho falado tanto e que é um grande amigo meu, japonês, que está com 76 anos, já veio muitas vezes ao Brasil. Estamos mais ou menos combinando de ele vir trabalhar conosco em 1997, 1998, se nós dois ainda estivermos por esse planeta e não tivermos de fazer alguma excursão aí pelo Manto, ou então lá para baixo, para examinar se existem mesmo correntes ou não.

– Ah! Essa aqui é outra vista do laboratório lá de Vassouras. Foi uma construção do Rogério Carvalho de Godói, quando ele foi chefe de lá. Fez esses prédios modernos, que são cinco escritórios muito bons, muito amplos, um belo laboratório de eletrônica, uma construção muito boa, simples e barata.

– Ah! Essa aí é uma fotografia histórica: Vassouras durante o ano de sua inauguração, 1915. Só havia aquele prédio que eu disse que é o principal hoje, e havia um prédio que naquele tempo era banheiro e depósito.

– Esses são os equipamentos antigos de Vassouras. Isso aí é um magnetômetro que foi inventado por Carl Friedrich Gauss, em mil oitocentos e trinta e poucos. Eles estão lá em Vassouras, ainda funcionam e de uma maneira maravilhosa. Alguns colegas meus estão querendo desativar isso. A primeira tentativa de desativar já foi feita, mas, por azar deles e sorte minha, porque eu fui contra, o equipamento moderno automático parou, deu um defeito, e esse ficou funcionando.

É regra em ciência: você não desativa um instrumento. Depois venho fazer uma visita aqui ao Mast, quando tiver tempo. Se vocês estiverem distraídos, tenho a impressão de que existe algum teodolito geomagnético por aqui. Se eu descobrir, vou roubar, porque é uma coisa que não se fabrica mais, porém ainda se usa. Essa é uma coisa importante. As fábricas faziam esses teodolitos sem aço nem ferro, só de bronze. Talvez existam aqui, na América Latina, cinco ou seis, dois já foram roubados. Falando sério, virei aqui para ver se existe. Porque, se existir e puder voltar a funcionar, trabalhar, produzir resultados, acho que é importante para nós todos.

– Isso aí é uma bobina de Helmholtz. Vai dar um campo zero ali no centro. Esse é um instrumento clássico, antigo. Esses instrumentos foram fabricados em 1910 e ainda estão funcionando perfeitamente. Por isso é que eu digo: é possível que haja um instrumento desse tipo aqui. E ele ainda é utilizável, ainda dá bom resultado.

Em Vassouras há um equipamento que deve ter uns 50 anos ou mais, e foi cedido a nós pelo *Geological Center*, do Canadá. E felizmente não inventariaram. Qualquer hora dessas vou lá falar para o Dino, vou botar aquilo num avião, vou mandar para a Bolívia, porque lá eles não têm nada. E eles precisam, nós precisamos ter dados deles. A gente pode ceder para eles. É normal isso acontecer, se está funcionando, está perfeito e para nós não interessa. Porque nós já temos três. As coisas que a gente faz são o que se chama de aldeia global, de união entre países. Por isso é que eu consegui ter dois pilares em Costa Rica.

PERGUNTA: *Qual é origem dessa história de radiação solar?*

MUNIZ BARRETO: *É onde está o problema. A radiação solar. O problema é o seguinte: como é que começou? Se houver uma corrente pequenina que seja, as radiações solares incidindo na terra vão aumentar a intensidade dessas correntes. Agora, como começou a primeira? Ainda está se discutindo. No ano que vem, em 1997, em Upsala, vai*

haver uma sessão de três dias só para discutir essa coisa. Essa teoria é muito recente, ainda há muita discussão sobre isso. Inclusive muita gente não acredita nessas correntes. As coisas ainda estão muito duvidosas, esse ainda é um problema de fronteira.

PERGUNTA: A ionosfera funcionaria como um tipo de filtro?

MUNIZ BARRETO: Ela filtra uma enorme quantidade de radiações. Na ionosfera, há uma camada que é muito importante para nós, que trabalhamos em geomagnetismo. Porque nessa camada existem correntes elétricas que provocam um campo magnético embaixo. Por exemplo, durante o dia, elas são mais intensas, porque o Sol ioniza muito, então o campo magnético sobe. À noite, não, fica calmo, tranquilo. Mas em algumas regiões do mundo, esse campo não é tão calmo assim, e volta a ser ativo, é o chamado eletrojato.

PERGUNTA: Professor onde fica localizado Tatuoca?

MUNIZ BARRETO: No Pará, a 27 quilômetros, em linha reta, da cidade de Belém. Aqui temos alguns sonhos, que sonhar é bom. Estamos projetando instalar um Observatório Magnético na Ilha da Páscoa, no meio do Oceano Pacífico. Um outro em Galápagos. Além de um outro em Fernando de Noronha, e na Ilha da Trindade, para poder, então, ter uma cobertura melhor dessa área. Temos projetos para nos esticarmos por todo o resto do terceiro mundo.

PERGUNTA: O observatório em Santa Cruz chegou a funcionar?

MUNIZ BARRETO: O Liais instalou o fotoeliógrafo e depois foi cedido para Feira de Santana. Não sei se vocês conhecem o Rico, que trabalhava lá. Esse de D. Pedro II de madeira ia para lá também. Quase foi, em 1890, já tinha verba no orçamento para fazer a mudança. Houve a República, em 1889, e o pessoal queria apagar tudo em que estivesse escrito a palavra "imperial". Então, mandaram uma comissão lá no Morro do Castelo: "Ah! Imperial Observatório, vamos fechar! Então o Cruls, que não era bobo, fez uma placa: "Observatório Nacional". Quando chegaram, o Cruls falou: "Sou muito amigo do Benjamin Constant." "Ah! Então, tudo bem!" E era mesmo, porque ele foi professor do Benjamin Constant. E aquilo encerrou o assunto. Se ele colocasse "Imperial Observatório", fechavam.

As atividades espaciais no Brasil e o INPE

Marco Antônio Raupp

10 de setembro de 1996

É um grande prazer conversar com vocês sobre essa questão do Programa de Política Espacial. Eu soube que o Dr. Gylvan Meira, presidente da Agência Espacial Brasileira, esteve aqui falando também sobre o assunto, vou organizar minha palestra de uma forma alternativa, para não ficar repetindo aqui a palavra oficial.

Por isso, inclusive, vou procurar dar uma descrição histórica do Programa Espacial no Brasil, das atividades espaciais no Brasil, e enfocar as realizações, os problemas, os desafios e as dificuldades, evidentemente do meu ponto de vista, agora, olhando de fora do sistema governamental. E vocês vão observar que a imensa maioria das questões e dos problemas que aparecem na organização dessa atividade são comuns a toda a organização da ciência no país, é a própria problemática da ciência no país. Vamos descrever essas atividades e analisá-las a partir da sua história, vamos ver o que aconteceu, o que está acontecendo e quais são as perspectivas do futuro.

As atividades relacionadas ao espaço exterior surgiram no país na década de 1960. Em 1961, foi criado o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo então presidente Jânio Quadros, de tão pouca duração no governo. Mas ele teve esse mérito de criar o Instituto de Pesquisas Espaciais, chamado, na ocasião, de Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais, GOCNAE. E a pessoa que estimulou o presidente, em grande parte, a fazer, a criar essa organização, foi o brigadeiro Aldo Vieira da Rosa, que é professor da Universidade de Stanford, ativo até hoje.

Em 1957, foi lançado o *Sputnik* e, logo depois, os primeiros satélites americanos eram lançados também. Havia aquela efervescência da disputa espacial.

Vocês se lembram de que a característica inicial dos programas espaciais do mundo todo era a competição entre nações, a Guerra Fria, a competição entre a União Soviética e os Estados Unidos, em torno da seguinte questão: que sociedade tinha mais capacidade de desenvolver um programa de porte como este.

Só depois é que foram enfatizados aspectos de utilização do espaço para fins pacíficos, como a observação da Terra, as telecomunicações. Tudo isso que trazia benefícios foi olhado *a posteriori*. No início, aquela era uma questão de prestígio de nações. O então Presidente Jânio Quadros era muito apegado a essa questão de prestígio da nação. E talvez isso tenha influenciado essa sua atitude.

Mas as primeiras atividades do Inpe eram em torno de experimentos conjuntos com a Nasa e com o Cnae, *Centre National d'Études Spaciales*, da França. E o objetivo era a física espacial, a física que usava como instrumentos de levantamento de dados e de informação, balões estratosféricos e foguetes de sondagem, quer dizer algo ainda pré-espacial. Não se chegava ao espaço propriamente dito, ao espaço exterior.

Em 1964, criou-se em São José dos Campos o Instituto de Atividades Espaciais. Ao lado dele funcionava o ITA, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, que era uma escola de formação de engenheiros da Aeronáutica, voltada para a Aeronáutica.

Em 1964, portanto, em paralelo ao ITA e no mesmo campus, foi criado o Instituto de Atividades Espaciais dentro do Ministério da Aeronáutica, originando-se assim o que hoje é conhecido como Centro Técnico Aeroespacial. Se o Inpe, estava desde o início voltado para a utilização dos produtos espaciais, como as imagens de satélites, o Instituto de Atividades Espaciais estava mais voltado para questões de desenvolvimento de foguetes, inclusive porque era uma organização militar e havia interesse nessa questão de foguetes para uso militar, para emprego militar.

Um dos primeiros eventos importantes para se começar a desenvolver as atividades ligadas ao espaço aconteceu exatamente no início dos anos 1960. Foram lançados, acho que em 1964, 1965, esses satélites de órbita polar, não geoestacionários, mas passando no pólo, dessa famosa família Tiros-N, da NOAA, que é a Nacional Oceanographic and Atmospheric Administration. A Nasa é a organização do governo dos Estados Unidos que cuida do espaço, e essa, administra a parte de oceanografia e atmosfera.

Toda a parte de meteorologia está associada à NOAA e na NOAA foram lançados esses satélites da família Tiros. São vários satélites. A NOAA começou a explorar o uso desses dados, desse imageamento da atmosfera, para fins meteorológicos. E uma estação de recepção e tratamento desses dados meteorológicos foi instalada aqui, no Inpe, em 1967.

A partir daí, estabelece-se inclusive o nível operacional, naquela época razoavelmente adequado para se usar na produção, no processamento e na distribuição de imagens. Essas estações recebiam, processavam e distribuíam imagens meteorológicas para outros serviços de meteorologia, então precários no país. Com relação ao serviço de meteorologia, só mais recentemente, na década de 1990, é que passou a existir uma informação mais processada, mais detalhada, melhor analisada.

Há um outro evento importante nessas atividades, que é a instalação das estações terrenas, também de recepção do sistema Landsat, que é um satélite de observação da Terra lançado pelos americanos no início dos anos 1970. Esse era um satélite voltado para a observação da Terra, do ponto de vista dos recursos naturais, das florestas, do meio ambiente de um modo geral, da água e da geologia também.

Há uma série enorme de utilização. Nos primeiros momentos do lançamento desses dois satélites americanos, foram instaladas aqui estações de recepção e tratamento de imagens, e uma organização para distribuição dessas imagens no nível operacional, para utilização pela sociedade.

A característica desses anos era exatamente comprar essas estações e fazer o treinamento de pessoas para uso qualificado do dado que era gerado nesse processo, os dados de satélites, essas imagens, tanto para o gerenciamento de recursos naturais quanto de observação da atmosfera para utilização meteorológica. Em ambos os casos, essas eram operações praticamente contratadas. Comprava-se uma estação montada e funcionando.

A atividade à qual se dedicava a instituição Inpe nesses tempos era treinar o pessoal para usar os dados. Então, recrutou-se o pessoal especializado em geologia, em geografia, em recursos naturais de um modo geral, em meteorologia e informava-se essas pessoas sobre como utilizar com eficiência esses dados e vendia-se essa informação. Essas pessoas treinavam e saíam para atuar nas suas áreas, na agricultura, na agronomia e nas ciências agrárias. Muitas pessoas foram treinadas para sair em campo, disseminando ou vendendo a importância que essa informação gerada a partir do espaço podia ter para a sociedade em geral.

Outro tipo de atividade era o desenvolvimento de tecnologia de processamento de imagens, *software*. Passou-se também a gerar um produto de inteligência. Comprava-se a estação, comprava-se também o sistema, o famoso sistema, que foi a primeira estação de processamento de imagens, e junto com ela veio o *hardware* e o *software*, que durante muitos anos foram utilizados. Depois, no meio do caminho, começou-se a promover, no final da década de 1970, no início dos anos 1980, o desenvolvimento de *software*, diferente desse *software* que estava associado ao *hardware* importado.

No início dos anos 1980, inclusive, um sistema ficou famoso, o sistema (Sitin), que era um sistema que, naquela época, em pleno desenvolvimento da política de informática, tinha um método de utilização ampla com microcomputadores. Desenvolveu-se um *software* de tratamento de imagens para utilização em microcomputadores que foi amplamente divulgado e disseminado pelo país.

O Inpe criou inclusive, nessa época, no início dos anos 1980, uma empresa chamada Engespaço, que desenvolvia esse sistema e vendia-o de um modo geral. Esse sistema de *hardware* e *software* era tecnologia desenvolvida na instituição e que era vendida principalmente para órgãos do governo, que tinham mais interesse: o Ministério da Agricultura, a CPRM, para prospecção de minérios, o meio ambiente etc., ou então para a Marinha, para observação da temperatura da água etc. E também para órgãos responsáveis pela política pesqueira ou de gerenciamento pesqueiro.

Esses órgãos relacionados com a administração de problemas da Amazônia também compravam, assim como a Sudam, no Nordeste, para a questão da seca, de água, de prospecção e avaliação de recursos hídricos. Os órgãos governamentais, federais e estaduais, passaram a utilizar essa tecnologia, estimulados pela ação desse pessoal treinado no Inpe.

Essa tecnologia de informação gerada por satélite se disseminava no país. Esse era exatamente o objetivo da atuação desse pessoal treinado em torno dessas estações, tanto o lado meteorológico quanto de satélite de sensoriamento remoto.

Com o sucesso desse trabalho, no final dos anos 1970 e início dos anos 1980, colocou-se o problema de fazer o upgrade dessas estações Landsat, com incorporação de novos recursos de processamento, principalmente para tratamento do dado que era recebido aqui. Todo esse sistema, através do sistema Landsat, foi feito por engenheiros já treinados aqui no país, no Inpe. E foi feita a instalação de uma estação de recepção do satélite Fox, que era francês e que foi lançado em 1985, em 1987, e todo o sistema de processamento foi instalado e desenvolvido aqui, pelos nossos engenheiros. Em São José dos Campos. Isso tudo refletia uma política institucional de comprar o equipamento mas, a posteriori, de treinar pessoas na utilização desses recursos. E à medida que fosse necessário usar upgrade ou instalações de novas estações, devia-se procurar sempre desenvolver a nossa tecnologia autóctone. Era esse o espírito da época.

Em 1974, foi instalada a estação também terrena do satélite geoestacionário GOES, esse satélite meteorológico que já olha diferentes posições da atmosfera. Eles já estão numa altura de 36 mil quilômetros, já estão realmente no espaço. Em 1974 instalou-se uma estação que passou a distribuir imagens, dessas que aparecem nos jornais.

Houve casos em que o satélite era deslocado da posição, e a imagem mudava. Há casos famosos. Por exemplo, durante a Guerra das Malvinas, mudou-se a posição de um satélite para não dar a precisão que seria necessária para as operações militares aqui no Atlântico Sul. Tudo isso era acompanhado por um conjunto de técnicos bastante familiarizados com essa tecnologia.

No início dos anos 1980, pode-se dizer que já havia uma política embrionária, de planejamento. Mas esse planejamento passou a ter uma extensão bem maior. Essa política embrionária era implementar, sob os auspícios do governo, a compra desses equipamentos, a compra dessa tecnologia e passar a ter o domínio progressivo da mesma. A política governamental desses anos era comandada por uma organização do governo chamada COBAE, Comissão Brasileira de Atividades Espaciais.

Essa era uma organização dirigida pelo Estado Maior das Forças Armadas. Então todo o conjunto das políticas e das atividades em si, estava dirigido a partir do núcleo militar, se bem que, nessa comissão, havia participação de todos os setores do governo, dos ministérios que tinham interesses nas atividades espaciais, como o Ministério da Agricultura, o próprio CNPq, pois não existia Ministério da Ciência e Tecnologia. O CNPq tinha representante nessa Cobae, junto com todos os ministérios militares.

O núcleo e o interesse maior dessas atividades eram estratégicos, nesse momento. Mas no início dos anos 1980, começou a se olhar também a questão da meteorologia e incorporaram-se as preocupações com a questão de previsão do tempo e do clima no país. E elas foram absorvidas, ao contrário do que acontece em outros países, como, por exemplo, nos Estados Unidos, que, como já mencionei, a Nasa cuidava do espaço e a NOAA cuidava de meteorologia.

No Brasil, a meteorologia apareceu dentro das atividades espaciais, no âmbito da Cobae, em 1985, 1986, e pela primeira vez estabeleceu-se uma política nacional de previsão de tempo e do clima, no âmbito das atividades espaciais. Foram previstas, exatamente aqui, já na época da Nova República, a criação do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), e a criação de um Centro de Satélite Ambientais.

Esses Centros trabalhariam juntos, um, recebendo dados dos satélites, gerando dados de satélites meteorológicos, e o outro, o Centro de Previsão de Tempo, como um centro de computação para rodar um modelo de previsão do tempo, para estudar o movimento da atmosfera e incorporar toda a informação gerada por estações convencionais meteorológicas ou por estações marítimas e de foguetes de sondagens, ou balões de sondagens. Devia-se juntar toda a informação de satélite que é gerada aqui e as estações tradicionais, e esse centro rodaria um modelo para fazer a previsão

do tempo. Isso foi o coroamento de todo um desenvolvimento da área satelitária relacionada com a meteorologia. E também o coroamento de uma política de formação de recursos humanos que ocupou a instituição durante toda a década de 1970.

Dentro desse espírito de comprar o equipamento e procurar treinar as pessoas em torno desse equipamento – e, se possível, aproveitar as oportunidades para a geração de tecnologia associada a equipamento, de melhor utilização da informação gerada lá – passaram-se duas décadas, a de 1960 e de 1970. Isso, embora não houvesse uma política muito clara, muito definida de qual era o rumo das atividades espaciais no Brasil.

Mas isso se configurou e era até um espírito da época, pelo menos nos anos 1970. O fato de existir uma coordenação, propiciou também que se tivesse alguma inteligência na condução desses assuntos espaciais, mesmo que não houvesse uma política escrita, estudada e racionalizada.

Esses são os pontos que são indicadores de que, mesmo sem uma política formal, existia um determinado encaminhamento para essas questões. Então, no final dessas décadas, o que sobrou? Sobraram a experiência acumulada em estações, em recepção do dado da informação que vem do satélite, o processamento delas e a distribuição. E também a utilização no nível das aplicações nas mais variadas áreas de meteorologia, agricultura, geologia, prospecção de minérios, meio ambiente, gerenciamento de recursos florestais. Isso foi um produto: a capacitação estabelecida nesse período.

Existia também, paralelo a isso, um programa de foguetes, que estava muito voltado para objetivos militares. É evidente que sempre se declara que os objetivos são pacíficos, mas evidentemente existia um interesse militar nessa questão de foguetes. Tanto é, que esse programa sempre foi desenvolvido dentro da Força Aérea.

Por outro lado, há também duas pernas importantes aqui. Eram todas as atividades desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Espaciais, e essas atividades eram desenvolvidas na Força Aérea. Em paralelo, como iniciativa da Força Aérea, criou-se um Parque Industrial Aeronáutico e Bélico, desenvolvido em torno do pólo de São José dos Campos e com relativo sucesso. Foi um sucesso no âmbito da questão da eficiência da competitividade econômica. Tudo isso quando se olha o desempenho das empresas estatais, porque a empresa central disso tudo era uma empresa chamada Embraer, que se dedicava à fabricação de aviões.

Refiro-me à eficiência no sentido de que eles chegaram inclusive a ocupar um nicho do mercado internacional, com a venda de aviões de pequeno porte para treinamento militar, por exemplo. A Embraer teve um grande sucesso

também em aeronaves de porte até turbo-hélice, para transportes regionais. Na década de 1970, no início dos anos 1980, ela teve um sucesso relativo, vendeu muito aos Estados Unidos, por exemplo. E ainda havia outras empresas bélicas que trabalhavam naquele complexo industrial, como a Avibrás, a Tecnasa, a Engesa e outras que, naquela guerra do Oriente Médio, tiveram um volume de vendas enorme, e que promoveu grandemente essa atividade.

Nos anos 1980, por exemplo, essas empresas estavam em alta. Durante a guerra entre Irã e Iraque, elas venderam muito. Havia as grandes potências, que ficaram se vigiando mutuamente, e isso abria espaço para incursões desse tipo no mercado.

Isso tudo promoveu uma certa capacitação industrial, um programa de foguetes e uma experiência acumulada no uso de dados de satélite. Foi o que propiciou, a meu ver, que no final dos anos 1970, início dos anos 1980 se começasse a pensar seriamente em definir, em formular um programa espacial coordenado, que reconhecesse uma determinada realidade e que visasse a determinados objetivos, estabelecendo meios e condições para se operar e se passar de uma realidade virtual para um determinado paradigma no nível político.

Foi exatamente nesse ano que as discussões no seio do governo, dessa Cobae, passassem a ter uma importância muito maior. A Cobae passou a ser um órgão de planejamento político. Decidiu-se no nível de governo, ir ao espaço. Ir ao espaço significa ter uma política, ter um objetivo determinado. Até então se desejava receber coisas do espaço, embora o programa militar quisesse ir ao espaço, quisesse lançar foguetes, mas isso não era uma coisa muito clara. Então, pela primeira vez, definiu-se e estabeleceu-se a chamada Política Nacional de Atividade Espacial.

Aquela era uma época em que se acreditava em planejamento. O governo Geisel foi o grande momento em que as pessoas acreditavam e faziam esforços no sentido de planejar. Mas essa era uma característica do momento. Então, estabeleceu-se formalmente uma política com responsabilidades definidas: o Inpe ia cuidar de satélites, o CTA ia cuidar de lançamentos, resolver o Programa de Mísseis, colocar o objetivo e tudo o mais. Mas partiu-se também para definir como objetivo a construção de uma base de lançamentos.

Tomaram-se então duas grandes decisões. Primeiro, satélite de comunicações é uma coisa muito complexa, deve-se comprar um muito forte, ele custa muito dinheiro e requer um amadurecimento tecnológico muito maior. Então, comprou-se um satélite de comunicações. E se instituiu um programa de capacitação tecnológica integrada, chamada Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Criou-se a MECB com um programa de capacitação tecnológica integrada, no sentido de que agora, em vez de a Aeronáutica estar fazendo foguetes sabe-se lá para quê, o Inpe estar usando imagens sabe-se lá para quê, passou-se a se

definir claramente para quê. E o país deveria ter a capacidade de desenvolver foguetes com capacidade de lançar satélites de determinado porte, de determinadas órbitas. E esses satélites deveriam ser satélites prioritariamente voltado para aplicações, coisa nas quais a gente já tinha uma relativa experiência, tanto na aplicação meteorológica quanto na aplicação de gerenciamento de recursos naturais (sensoriamento remoto).

Isso é o que se chama de Missão Espacial Completa Brasileira. Havia uma previsão. Isso é uma coisa interessante, é diferente, dentro do conceito científico nacional, em que as coisas estão sempre acontecendo muito por iniciativas individuais. Esse projeto surgiu por iniciativas individuais, mas, num determinado momento, chegou-se à conclusão de que ele deveria ter objetivos políticos bem definidos e ter programas de previsão até mesmo de recursos para o desenvolvimento do programa, para que os objetivos fossem alcançados.

Então, a duração foi definida em dez anos, em linhas gerais, e o objetivo era o projeto, a construção, o lançamento e o controle de operação em órbita de quatro satélites. Dois deles eram de coleta de dados meteorológicos, ou seja, eram satélites que passam em uma determinada hora e que, associados a eles, estão plataformas de coleta de dados. Eles seriam satélites da faixa de cento e poucos quilos. E havia satélites de observação da Terra, de até 200 quilos. Essa era uma área já conhecida para nós, já estávamos habituados a lidar com essa informação. A novidade do programa era a construção, o lançamento do satélite de plataforma, e também dessa carga útil, que seriam de sistemas de imageamento ópticos, eletrônicos-ópticos.

Esses lançadores deveriam ser desenvolvidos com capacidade para avançar 100 a 150 quilos em órbitas heliosíncron, a mais ou menos 700 quilômetros de altura. E se deveria desenvolver um campo de lançamento em Alcântara, aproveitando o fato de que o Brasil é um país equatorial, que está mais próximo da órbita equatorial, tanto baixa quanto alta, quanto geoestacionário. Essas são órbitas importantes para observação da Terra e da atmosfera.

Os lançamentos são tanto mais baratos para órbita geoestacionária quanto mais perto se estiver do Equador. Pode-se, jogando o foguete na direção correta, gastar menos energia. E o investimento previsto era de um bilhão de dólares, o que já era uma coisa impressionante, em 1979.

Qual era grande pecado desse programa, a meu ver? Era um programa feito no núcleo do governo, sem maiores discussões com a sociedade científica. Foi um pecado que vários outros grandes programas cometeram, como, por exemplo o Programa Nuclear. Evidentemente, em princípio, toda a sociedade civil tinha interesse nele. Mas aí entra também toda uma disputa por recursos. A complexidade do sistema científico tecnológico é muito grande.

Por que privilegiar um? Deve-se ter uma atitude de convencimento geral dos interessados, de que isso é uma coisa que pode trazer benefício para todos. Mas não havendo essas discussões, a coisa é imposta e aí começam a surgir conflitos de várias naturezas.

Por exemplo, logo em 1985, houve uma mudança completa no panorama político do país, e um programa como esse sofre os impactos disso. O primeiro impacto que ele sofreu foi que simplesmente os novos dirigentes desconheciam que ele existisse. Ele foi pensado e era comandado por um núcleo do sistema do regime militar. Eu vivenciei isso de perto, porque fui diretor do Inpe nessa ocasião, quando mudou o governo. Fui para lá e descobri, depois de alguns meses, que o novo governo não sabia que existia um Programa Espacial. Eu mesmo fui aprender que existia depois de assumir a direção do instituto.

Então quais são os resultados desse programa?

PERGUNTA: *Esses recursos vinham de onde?*

RAUPP: *Do Tesouro Nacional. Ele pagava tudo isso, não passava nem pelo CNPq. Evidentemente havia o Congresso, que aprovava, mas esses eram recursos associados ao orçamento do Estado Maior das Forças Armadas. Então, grande parte do orçamento dos ministérios militares simplesmente não passa pelo crivo do Congresso, porque tem chancela de confidencialidade. Esse aqui era um que não passava pelo crivo aberto dos congressistas. Era aprovado em bloco. Um determinado valor tinha de aparecer na lei orçamentária.*

PERGUNTA: *O Programa Nuclear também?*

RAUPP: *O Programa Nuclear também é outro.*

PERGUNTA: *A mesma coisa que para lei de Importação?*

RAUPP: *Não. A Aeronáutica não está incluída na importação. Se você pegar o Programa Espacial, a parte que é de responsabilidade da Aeronáutica, como eles tinham uma capacidade de importação e uma facilidade de importar completamente diferente da do Inpe, havia disparidades. O Inpe estava dentro do sistema do CNPq.*

Pergunta: *A Lei de Patentes, o Inpe também estava sujeito a ela?*

Raupp: *Também. Até contrabando de tecnologias sensíveis, na área militar, se faz com muita facilidade. Nós não podemos fazer, isso especialmente com coisas sensíveis, do tipo da área nuclear, com essa questão de mísseis balísticos.*

Resultado: olhando aqui, agora, da perspectiva de 1991, o governo civil de José Sarney só começou a entender a existência do Programa Espacial, da

importância dele, nesse segundo ano, em 1986. Inclusive o ministro Renato Archer teve uma grande atuação aí, ele era uma pessoa que se interessava muito por esse programa, dado o seu caráter estratégico. Archer era uma pessoa muito preocupada com as questões estratégicas. Antes ele também teve grande preocupação com a área nuclear, que passou a apoiar decisivamente. Só que ele passou a apoiar os programas que se desenvolveram fora da órbita da COBAE.

Isso gera também mais um conflito. Só para vocês terem uma idéia, o orçamento realmente executado: são esses dados aqui para o Inpe. Para o Instituto de Atividades Espaciais, que é responsável pelo Programa de Foguetes e pela base de Alcântara. É o Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Aeronáutica, responsável pelo desenvolvimento da base em Alcântara, no Maranhão. Esse aqui é o desembolso de recursos no período que estamos enfocando aqui. A totalização é bem abaixo daquilo que se esperava.

São oito anos, faltavam dois para terminar a previsão de 10 anos. Mas se totalizarmos, vamos ver que eram 122, para Inpe, e 200 para o Programa de Foguetes, com o resto dá 457 milhões, menos da metade do bilhão que estava previsto. Nunca se chegaria ao valor de um bilhão previsto. Mas o investimento - apesar de não ter sido dado tudo o que havia sido requerido, planejado - criou uma base significativa. Com todo o desperdício que se possa imaginar, e que sempre tem, em um programa de governo, 450 milhões não são pouca coisa, deixam algum lastro positivo, embora deixe negativo também.

PERGUNTA: Mas naquele quadro anterior há uma mudança significativa de valores. Enquanto o Inpe tem um decréscimo, de 25 para 7, os recursos para a base vão subindo, de 5 para 25. Por que essa mudança? O que significa investir mais na base de lançamento em detrimento do Inpe?

RAUPP: O que isso aí significa é que, nos primeiros anos, os investimentos principais eram no desenvolvimento da capacitação em satélites e foguetes. Era o Inpe e o CTA. O que era previsto era dois para foguete e um para satélite. Só pela metade do caminho se investiria mais na base, que são obras básicas de engenharia, investimentos que podem ser feitos mais perto do desenlace, no final do programa.

Então, havia essa estratégia de só colocar mais dinheiro na base depois. Agora, o que aconteceu aqui, em relação a esse programa, e a diferença entre os investimentos entre o Inpe e o IAE, é que era para ser de dois para um já em 1985, por exemplo, mais não foi.

Houve alguns investimentos anteriores dentro da programação. Foi a partir de 1983. Em 1984 já havia, mas eram coisas bem menores. Mas em 1985, por que o Inpe ganhou a mesma coisa que o IAE? O IAE devia ganhar 50, e o INPE, 25? São as oportunidades que aparecem. Vocês se lembram

do ano de 1985? Lembram daquele famoso caso da quebra do Banco Sul Brasileiro, no Rio Grande do Sul? O banco faliu e o Estado do Rio Grande do Sul encampou-o, com dinheiro do governo federal. Salvou o banco. Foram colocadas para salvar o Banco Sul Brasileiro 900 e algumas unidades de que não me lembro, mas era um dinheirão. Hoje em dia deve ser semelhante a uns 4 trilhões.

Mas naquele mesmo ano, no segundo semestre, dada a escassez de dinheiro no Ministério de Ciência e Tecnologia recém-criado, o ministro Renato Archer deslanchou uma campanha para aumentar os recursos disponíveis para o Ministério da Ciência e Tecnologia, para todo o sistema. E foi uma campanha de que a comunidade científica participou. Eu me lembro de que eles se referiam à campanha como o Sul Brasileiro da Ciência e Tecnologia, porque o montante que o então Ministro Archer pedia para reforço orçamentário era exatamente o valor gasto para não afundar o Sul Brasileiro. E nesse bolo do Sul Brasileiro da Ciência e Tecnologia, o Inpe entrou com uma quantia substancial. Conseguimos convencer o ministro de que era uma coisa importante.

Foi aqui que começaram a entrar outras fontes de recursos e a se misturarem, e passou a haver outras influências sobre programa que não apenas a influência da Cobae, que representava o núcleo do sistema militar. E depois previa-se uma diminuição, porque o Programa de Satélite é muito mais barato que o Programa de Foguete. No Programa de Satélite a coisa fundamental é o estabelecimento da infra-estrutura laboratorial e técnica onde desenvolver os satélites e o treinamento de recursos humanos. E depois você tem toda essa infra-estrutura disponível. Um satélite desses é coisa de 800 mil ou 1 milhão de dólares, uma coisa bem barata.

Então, esse decaimento é natural no Programa de Satélite. Mas esses dois anos foram cruciais, porque entrou dinheiro pela janela, e esse aqui estava sob influência direta da Cobae. Nesse momento aqui, sai da Cobae, passa a ter essa outra componente exterior ao sistema Cobae. Foi isso que propiciou que o Programa de Satélite se adiantasse relativamente ao Programa de Foguetes. Num certo momento, os dois programas começaram a ter desempenhos diferentes. O que explica isso são esses dois números aqui, o dinheiro que entrou pela janela no Programa Espacial, graças ao interesse do ministro de Ciência e Tecnologia da época.

Qual foi o significado de se aplicarem esses 457 milhões? Além de criar uma infra-estrutura, houve o incremento significativo em termos de qualidade e treinamento de pessoal técnico e científico. Por exemplo, o Inpe passou a ter 1.500 funcionários. O IAE, 2.000, contando só o pessoal militar. E esse subprograma de Satélites, também por causa desse efeito colateral que caracterizei, teve um desempenho bom e avançou.

Estou defendendo o meu lado, porque era eu quem dirigia o programa. Mas isso foi amplamente reconhecido. No ano de 1990, a infra-estrutura de laboratórios, oficinas, sistemas de rastreamento, telecomandos de controle de satélite, ela estava toda estabelecida, estava pronta no final do governo Sarney. Ou seja, havia todos os elementos para se desenvolver, e os satélites já estavam previstos na missão MECB. Eles já estavam sendo construídos, havia infra-estrutura para testar vários modelos na construção de satélites, para simular as condições espaciais, porque esses satélites estariam inertes. Para fazer todo o sistema de testes, deve-se fazer simulações. E também já havia toda a infra-estrutura de telecomando, rastreamento e controle.

PERGUNTA: *Nessa ocasião, Cachoeira Paulista já estava fazendo trabalho com a base meteorológica?*

RAUPP: *Ah ! sim, isso foi andando em paralelo. Essa área de meteorologia, Landsat, Spots, estavam andando em paralelo. Eles estavam usando cada vez mais amplamente os satélites naquele programa mais tecnológico, porque essa era a ênfase já na MECB, uma ênfase tecnológica, desenvolver capacitação tecnológica e fazer satélites, e não só usar satélite estrangeiro.*

E em 1991, o modelo de vôo que é o SCD-1, o Satélite de Coleta de Dados-1, já estava pronto, aguardando o lançamento, e foi lançado.

O primeiro modelo, que era o Satélite de Coleta de Dados, estava pronto. Os projetos do satélite 2 e 3 da MECB estavam prontos também, e subsistemas de vários modelos estavam sendo contratados na indústria. Essa é outra atitude que se passou a ter: contratar, e não desenvolver. Só o primeiro satélite foi desenvolvido inteiramente no Inpe. Todos os outros já eram contratados na indústria. Todos os subsistemas eram integrados no Inpe, onde existia um laboratório de integração e testes que era a grande base laboratorial que caracterizava a capacidade de fazer satélites.

A base de lançamento também já tinha avançado nos anos 90, e já tinha lançado inclusive vários foguetes da família Sonda. Então, já havia capacidade de lançar satélites também. E o subprograma de foguetes estava em atraso por várias razões. Um deles foi o investimento insuficiente, como já se mencionou; outro foi boicote do grupo dos sete países mais industrializados, lá no ano de 1987. Se não me engano, eles fizeram aquele famoso tratado MCTR. Era um acordo que fizeram de não permitir a passagem de tecnologias sensíveis associadas a essa questão de mísseis, como, por exemplo, sistemas de guiagens, de navegação inercial. Essas coisas são sistemas complexos que foram proibidos de ser passados para os países que não

haviam assinado o convênio de não proliferação de armas nucleares, que era o caso do Brasil.

Isso teve um impacto grande no sistema daqui. Eles passaram a não poder fazer mais aquelas importações a que estávamos nos referindo, e havia condições operacionais insuficientes. Além da vontade nacional variável. A vontade nacional nunca foi constante em relação a esses programas. Por quê? Porque, pelas fortes características que ele teve, de não ser uma coisa amplamente discutida, aceita e que tivesse a adesão completa, por exemplo, da comunidade científica. Teve uma adesão parcial. Parte do governo desconhecia o projeto, e parte conhecia. Então ficava esse jogo: numa hora predominava uma idéia de que o programa era interessante, outra hora apareciam as dúvidas. "Será que vamos botar dinheiro aí?" A meu ver, essas são as causas de porque o programa se atrasou.

Nessa situação, pelos anos 90, como o Subprograma de Foguetes estava atrasado, estava-se em busca do lançador para o SCD-1. Houve uma grande discussão sobre quem deveria lançar, quando em 1988, inclusive mandamos pessoas aos Estados Unidos conversar com a empresa Gregon Science, que faz lançamento de foguetes do tipo Pegasus.

Esse é um foguete lançado de um avião B-52, que voa até um certo ponto, são foguetes pequenos, mas, para os nossos satélites, são perfeitamente adequados. Quando isso foi colocado pela primeira vez na COBAE, foi um grande rebu. Na COBAE, a confusão que deu foi a proposta de que esse satélite devia ser lançado não por um lançador nacional, mas sim por um lançador estrangeiro. Eu fui o porta-voz dessa proposta na COBAE, como representante do MCT na Comissão. Levei bordoadas de todos os lados do setor dos militares, porque eles queriam se manter fiéis àquela concepção original do projeto. O lançador tinha de ser nacional.

Nossa proposta tinha todo o embasamento técnico, era a proposta defendida pelos técnicos. Em programas desse tipo, há um sucesso intermediário, até para justificar por que se está gastando tanto dinheiro. Não se vai esperar dez anos para ter sucesso, senão ninguém acredita mais. Então deve-se ter esse sucesso intermediário. Aquele foguete não ia ter condição de ser lançado mesmo, era uma coisa racional. Mas dentro dessa questão, fui taxado até de entreguista, como se estivesse querendo entregar uma coisa que era nacional. Cinco anos depois estamos em plena globalização.

Então, isso era uma coisa que estava em discussão, nessa época. Outra coisa que entrou pela janela do Programa Espacial é hoje um projeto dos mais importantes, que era uma coisa não muito bem programada ainda. Com a criação do MCT, do Ministério de Ciência e Tecnologia, começaram a aparecer torpedos de todo lado. Um foi aquele dinheiro injetado pelo próprio MECB.

Mas criou-se um novo projeto, o CIBERS, um sistema satelitário já bem desenvolvido. São satélites de 1.400 quilos, competidores do Landsat e do Spot, e que os chineses propuseram em 1987, numa viagem que o Ministro Renato Archer e o Diplomata Celso Amorim, que era o homem da cooperação internacional, e eu, fizemos à China. Surgiu essa oportunidade de fazermos um projeto conjunto. Os chineses propunham que participássemos do projeto, fazendo dois satélites. A China já tinha então um Programa Espacial bastante desenvolvido, já tinha lançado 16 satélites. Isso significaria um salto na tecnologia de satélites ambientais, competindo com o Landsat, com o Spot, e com um custo de 150 milhões de dólares, para dois satélites: 45 milhões seriam de responsabilidade do Brasil e 105 milhões, da China. O lançamento, previsto para 1992 ou 1994, lançado por um longa marcha.

Pois bem, isso aqui foi outro torpedo que entrou na COBAE, e veio também do Renato Archer. Ele era especialista em criar coisas. Já tinha saído do Ministério, mas fez questão de levar essa proposta à COBAE. E foi aprovada, porque foi considerado um projeto estratégico também pelo Conselho de Segurança Nacional, pelo Ministério das Relações Exteriores, e porque era um projeto de relação sub-sub, pois eram dois países subdesenvolvidos trabalhando juntos, fazendo um projeto tecnológico importante.

Mas teve o voto contrário do Ministério da Aeronáutica, que se batia dizendo que tudo tinha de ser feito dentro do escopo da MECB. O MCT nessa época ignorava relativamente a tal MECB. Até botou dinheiro lá, mas ignorava os objetivos maiores da MECB, porque afinal de contas estava querendo modificar vários dos desdobramentos do projeto. Esse aí é um exemplo de como o projeto foi alimentado e foi acrescido por iniciativa do MCT. Foi o momento em que o MCT passou a tomar consciência de que essas atividades eram importantes.

Havia, então, toda essa discussão do Projeto CIBERS, projeto sino-brasileiro. Ele foi aprovado pela COBAE, mas com o orçamento dentro do MCT. Até hoje o MCT tem um orçamento espacial fora da Agência Espacial. Vamos ver que a Agência Espacial herdou a COBAE.

O Presidente Fernando Henrique agora foi à China e assinou uma ampliação do projeto, para fazer mais satélites, tudo exclusivamente dentro do MCT. O Programa Espacial, que era uma coisa tão bonita, tão bem planejada dentro da COBAE, começou a ficar complexo, dado que o interesse pelo espaço era maior no núcleo militar.

Essa era a situação de 1990: um satélite pronto, vários projetos em andamento e uma batalha para lançar o satélite, até para dar maior gás para o Programa Espacial, quando entra em ação a Agenda Collor.

O Presidente Collor colocou novos paradigmas para o campo. Vocês o conhecem muito bem, o homem questionava todos esses negócios de grandes programas. Temos de cuidar da competitividade das empresas, não tem sentido fazer satélites-carroças, só tem sentido fazer satélites de última geração, o mais bacana possível, feito pela Nasa. Para que fazer uma carroça diante de um satélite da Nasa. Essa é a Agenda Collor. Além de retirar o dinheiro, reduziu os investimentos em geral que haviam sido feitos no sistema em toda a área de ciência e tecnologia, em particular nesse programa.

Nessa ocasião, a comunidade científica teve um papel muito importante. Passou a atuar na defensiva, para se defender das medidas que eram desenvolvidas a partir da Agenda Collor. E criou-se, no Congresso, até como uma reação da comunidade científica, uma Comissão Parlamentar Mista de Inquérito, para saber as causas do atraso tecnológico na indústria brasileira de sistema de ciência e tecnologia. Foi uma comissão do Senado e da Câmara, presidida pelo então Senador Mário Covas e tendo como relatora a Deputada Irma Passoni. Muita gente depôs lá, participei do depoimento na área espacial.

Que problemas foram identificados na área espacial? O CIBERS foi completamente abandonado, em consequência desses anos 1991 e 1992. Essa Comissão durou mais de um ano discutindo. Houve implicações na área espacial: o CIBERS foi abandonado, nada foi feito, a MECB ficou atrasada, e isso é importante. Avaliava-se que havia condição de se recuperar o programa, que se deveria fazer um esforço.

Julgou-se que a vontade política nacional, não a vontade dos governos Collor, Sarney, ou Fernando Henrique, mas a vontade política do país deveria se manifestar de forma mais constante, como elemento crucial e fundamental, como condição *sine qua non* para se realizar um programa de longo prazo com sucesso. Como se poderia materializar essa vontade mais permanente? Com a criação da chamada Agência Espacial em caráter civil, no âmbito de um conselho amplo, com representação da comunidade científica, da indústria de todos os setores, inclusive da área militar.

Deveriam ser discutidos e aprovados programas que seriam mantidos com aprovação do Congresso, inclusive com orçamentação plurianual aprovada no Congresso, e que essa Agência Espacial seria criada para fazer o acompanhamento de programas como este, que tenha de ir além de um ano.

PERGUNTA: *Como é que os militares aceitam essa questão?*

RAUPP: *Muito bem. Naquele momento, eles estavam sob o guante do tratado da restrição do G-7, eles não tinham saída. Então, a maneira era fazer uma agência civil, para que eles pudessem até ter algum tipo de atuação no espaço, senão eles ficariam*

completamente congelados. Isso aqui teve o apoio geral na Comissão. Nesse dia, na comissão, como depoente do lado da Aeronáutica, estava o brigadeiro Sérgio Ferola, que é muito nacionalista e se revoltava abertamente contra essa pressão do G-7. E lá, foi todo mundo a favor.

Aqui surgiu, na verdade, a pressão política ao nível de Câmara e Congresso, para se criar essa Agência Espacial, que surgiu em 1993. Não foi o Presidente Collor evidentemente que a criou, mas, em 1993, já com o Vice-Presidente Itamar Franco na Presidência, ela foi criada. Outra coisa que também se começou a discutir no final do governo Sarney, passando pelo governo Collor, e que teve grande influência no Programa Espacial, foi a questão da Amazônia, a questão das queimadas na Amazônia, de como medir as queimadas.

Havia também uma pressão internacional muito grande por causa da ampliação das queimadas, e discutia-se como usar dados para medir com relativa precisão essas áreas, as taxas de perda da floresta. Foram feitas as primeiras medições, houve grandes questionamentos públicos sobre a metodologia, a *Folha de São Paulo* promovia debates sobre esse assunto, e aí isso tudo implicou essa discussão.

No Programa Espacial, houve mais tarde a mudança do satélite de sensoriamento remoto da MECB, que eram os satélites 3 e 4. Eles estavam previstos originalmente como órbitas intermediárias entre as órbitas polar e equatorial. Passou-se a defender tecnicamente uma outra solução. Por quê? Qual é o problema da Amazônia para ser observada por satélite? É a questão da cobertura de nuvens. No satélite óptico, a nuvem espalha a luz, não se consegue ter sinal adequado para fazer um imageamento.

Esses satélites Landsat, Spot etc. levam 16 dias para passar nessas órbitas intermediárias, que não são as órbitas equatoriais. Levam 16 dias ou mais para passar no mesmo ponto. Se no primeiro dia você não vê nada, se 16 dias depois você não vê nada, e assim por diante, você passa dois meses sem enxergar coisa alguma. Não dá. Então surgiu o seguinte conceito: se você ficar numa órbita equatorial baixa, você consegue dar uma frequência muito maior, consegue dar um perímetro de 105 minutos, passa várias vezes por dia no mesmo ponto, dependendo da órbita. Então a resolução temporal é muito melhor. Você pode encontrar nuvens, não vai ver nada, mas vai passar várias outras vezes, tem mais chance de olhar fora das nuvens.

Dado que as imagens são próximas em tempo uma das outras, você pode, por processamento, justapor imagens, de maneira que tenha informações parciais. Num minuto, você pode justapor e ter uma informação melhor, é um *enhancement* de imagem. A isso chama-se resolução temporal, tempo de

passagem. São mais ou menos 105 minutos, nessa órbita. Então mudou-se o projeto para órbita equatorial baixa. Ficou-se muito tempo discutindo isso e a necessidade de mudar a MECB.

Nessas discussões, quando os projetos são de certos setores, eles são ferrenhamente defensores dos conceitos originais, até por conservadorismo. Mas uma questão dessas todo mundo aceita sem maiores dificuldades, que devo mudar o projeto numa situação dessas, porque há oportunidade de desenvolvimento de satélites com tais características. Isso é um nicho, uma clientela formada por esses países equatoriais.

Evidentemente a observação só vale para uma certa parte em torno do Equador. Mas já há um nicho de atuação econômica, de vendas desses produtos para os países similares ao nosso, como a Malásia, o Congo etc. São coisas óbvias, mas para se mudar, a discussão começou em 1989, 1990, mas só em 1995 a Agência Espacial aprovou.

Então, a Agência Espacial tem esses problemas: cinco anos para decidir uma coisa óbvia como essa. A resolução espacial finalmente foi aprovada em junho de 1996, mas a essa altura a AEB, em 1990, ainda não havia sido criada. Estamos no final de 1992. Passou a tempestade e começou um período melhor para a ciência e tecnologia que retoma o crescimento nos níveis anteriores. O Dr. Israel Vargas entrou como ministro do governo Itamar Franco, e o esforço era no sentido de recuperar os níveis anteriores, o que foi feito.

Aqui, a área espacial teve uma conquista importante, que foi o lançamento da SCD-1, em janeiro/ fevereiro de 1993. E não foi mérito do governo Itamar, nem do Ministro Israel Vargas. Foi mérito do ex-Presidente Collor. Quem contratou esse lançamento, finalmente, pelo foguete Pegasus, aquele que desde o início estava sendo proposto como uma solução técnica adequada, foi o então Presidente Collor. Ele determinou que se contratasse a empresa para lançar o satélite.

Mas já estávamos naquela fase, julho/agosto de 1992, e entrou-se numa fase de realizações. O então presidente saiu à cata de coisas que estavam dentro do governo e que podiam aparecer para ajudá-lo a recuperar sua imagem. Essa foi uma delas. O presidente Collor deu ordem de que fosse feito o lançamento de qualquer maneira. E em vez de se pagar 7 milhões pelo lançamento, que era o preço normal negociado pela gente, em 1989, eles pagaram 14 milhões. Pagaram o dobro em dólares. Por quê? Porque era a taxa de urgência. Essas companhias que fazem lançamentos têm uma programação. Se você quer passar daqui para lá, vai ter de pagar mais, é inevitável. Foram 100 % de taxa de urgência, na linguagem dos despachantes.

No Brasil, as coisas acontecem por linhas tortas. O ex-presidente Collor acabou sendo o grande herói do lançamento. Não foi feito no governo dele,

mas no governo Itamar, mas foi iniciativa do governo Collor. Outra coisa que foi iniciativa do governo Itamar foi a criação da AEB. O então governador Itamar é um homem do Congresso, tinha acompanhado as discussões no Congresso. O então senador Covas era um importante amigo dele, tinha comandado toda essa análise política da questão. E o presidente Itamar aceitou sem pestanejar a proposta de criação da Agência Espacial.

Promoveu também a retomada do CIBERS, a retomada do projeto que nosso colega José Goldenberg, enquanto esteve no governo, torpedeou de todas as maneiras, porque achava que era uma carroça. Na época, o bacana era dizer que o que não era da Nasa, ou o que não vinha da Agência Européia ou do Japão, era tudo porcária.

Mas depois o presidente Fernando Henrique esteve na China e o embaixador lá era fã incondicional desse programa. O presidente Fernando Henrique Cardoso, na época, era ministro das Relações Exteriores. Ele adotou o CIBERS, voltou ao Brasil e disse: "- Vamos tocar esse negócio." E o então presidente Itamar aceitou e passou a ter grande importância nesse projeto, que tinha sido quase desativado pelo Collor.

Outra coisa foi a obra no CPTEC, no Centro de Previsão dos Estudos Climáticos. O presidente Itamar deu toda força para retomar a construção daquele centro no Brasil, em Cachoeira Paulista. E ele foi inaugurado em 1995.

Então, criou-se a Agência Espacial, e a pergunta: O que significa isso? Está aqui a estatística do CNPq, oficial, portanto: esses eram os níveis anteriores, o orçamento do Inpe, que é um indicador razoável de formação, porque os orçamentos da MECB dependem de um projeto ou de outro e são variáveis. Mas o nível de investimento vai por aqui. O orçamento da instituição era de 100 milhões de dólares, no período do governo Sarney. Nos anos de 1985 a 1990, estava na faixa dos 50 milhões de dólares, mais ou menos, e pulou para 100 milhões de dólares, em 1985; e se manteve nessa faixa, até 1990, quando dá uma queda brusca; foi o período negro, de 1991 a 1992. E essa aqui é a recuperada de que eu estou falando, no governo Itamar. Ele, o então ministro Vargas, o Dr. Lindolfo promoveram essa recuperação do sistema. Estou falando do gráfico do Inpe, mas se vocês olharem a Finep e o CNPq, dá mais ou menos a mesma coisa.

Isso significou uma reativação de projetos. Pagamos caro pela tal "agenda da modernidade", fomos para o fundo do poço e tivemos de fazer um grande esforço para voltar. Se bem que muitas questões colocadas pelo ex-presidente Collor continuam até hoje. Não estou dizendo que tudo o que ele falou estava errado. Tem muita coisa certa e está aí, na ordem do dia.

O que era essa recuperação dos investimentos? De um modo geral, o

que aconteceu? Consolidou-se o novo conceito de satélite de sensoriamento remoto, que abre o nicho para aplicações nos países equatoriais, por exemplo. Já temos um importante convênio com a Malásia. Esse vai ser um programa partilhado: o SCD, SCD-3, SSR-1 e 2. A Malásia vai compartilhar, porque é um país rico, hoje em dia, um dos Tigres Asiáticos. E certamente vai querer mais adesões. O Satélite de Coleta de Dados-2, está pronto para lançamento, previsto para abril de 1997, com licitação de propostas de lançamento na rua.

PERGUNTA: Eles não sabem ainda se vai pelo Pegasus?

RAUPP: É licitação, o Pegasus é candidato a entrar em licitação.

PERGUNTA: Tem uns foguetes russos agora?

RAUPP: Licitação é licitação, não sei o que vai dar.

PERGUNTA: Em junho, o perigo é ser um buscapé de São João?

RAUPP: Se for pelo preço, pode ser.

Um outro satélite foi criado nesse meio tempo. Também recuperou-se um pouco o Programa de Foguetes. Já está previsto o VLS, Veículo Lançador de Satélite. Ele já fez vôos experimentais intermediários, e o primeiro vôo está previsto para 1997. Foi criado um novo satélite no programa da MECB, que é o SC-2A, uma variante do SCD-2, que é um satélite tecnológico desenvolvido através de um modelo de engenharia, um modelo bélico, SCD-1. Mas está sendo usado como plataforma para esse outro satélite que vai ser lançado no VLS, em 1997. É um satélite tecnológico, porque é um foguete tecnológico.

O primeiro foguete tem essa previsão de lançamento. Esse aqui vai ser lançado também em 1997. Foi criado um novo satélite dentro do Programa MECB, que é o SCD, Satélite de Coleta de Dados-3, que além de fazer o sistema de coleta de dados tem um *transponder* de comunicação de dados e tem também comunicação de voz. Um dos grandes objetivos de qualquer programa de satélite é desenvolver satélites de telecomunicações, que é o que dá dinheiro, comercialmente falando. Essa aqui é uma primeira iniciativa no sentido de ampliar, sofisticar esse satélite de coleta de dados para passar pelo menos a ser transmissor de voz usado nas telecomunicações.

Há uma licitação para plataformas. E a novidade aqui é a seguinte: nessa última fase do Programa Espacial, os recursos são gerenciados, no nível macro, pela Agência Espacial Brasileira. Que significa uma Agência Espacial? É uma Agência responsável pelos programas institucionais, nacionais. Você tem de ter recursos para financiar esses programas. A Agência faz um

acompanhamento físico, financeiro e técnico dos projetos. E quem está distribuindo, no nível macro, é realmente a Agência Espacial Brasileira.

Mas infelizmente a Agência Espacial não tem ainda estrutura para fazer acompanhamento técnico. A verdade é que a imensa maioria dos funcionários da Agência é formada por funcionários transferidos de outras instituições de Brasília, instituições de caráter exclusivamente burocrático. Eles não têm condições de fazer acompanhamento algum num programa sofisticado como esse. Esse é o grande problema que está acontecendo.

Agora eu digo que apaguem os microfones. Se o Dr. Gylvan escutar isso, me mata. Mas como tenho de ter a visão alternativa, senão fica tudo igual, vou falar. Uma dessas funcionárias da Agência Espacial foi lá e o pessoal técnico quase caiu para trás quando essa senhora fez o seguinte comentário: o satélite, aquele Brasilsat, aquele satélite de comunicações que a Embratel comprou nos Estados Unidos, no Canadá, que ele tinha sido fabricado, inteiramente construído e desenvolvido no CPQD, no Centro de Pesquisas da Telebrás. Então você vê que é um troço completamente fora de posição.

Outra coisa é o anúncio que o Dr. Gylvan fez no *Jornal da Ciência Hoje*, dizendo que estão precisando de diretores para a AEB. Ele pôs anúncio no jornal. Está todo mundo correndo atrás de cargos e ele põe um anúncio no jornal. Não sei se foi sujeira do nosso colega Monserrat, mas está lá. Não é possível que, no Brasil, não haja candidatos para DAS-5, DAS-4, que já está bom.

Bom, essa Agência Espacial é algo que tem de ser implementada efetivamente. O que ela tem feito? Tem feito a coordenação e a distribuição de recursos e projetos, mas não consegue, a meu ver, acompanhar, está faltando consistência técnica.

PERGUNTA: *Ela tem um corpo técnico científico?*

RAUPP: *Não tem, mas deveria ter.*

PERGUNTA: *Tem a Presidência, os diretores mas...*

RAUPP: *Tem de ter um corpo técnico para fazer um acompanhamento. Eles tem de fazer licitação. Eles fizeram essa licitação para foguete, mas aí, usaram o quê? Usaram as pessoas do Inpe e do CTA. Isso é bom para licitação externa para lançamento, mas quando se vai fazer um lançamento interno, eles não podem colocar o pessoal do Inpe e do CTA. Porque são eles que vão concorrer também. Então, como vão fazer o edital?*

Então, deve haver pessoal técnico. Outra coisa que eles tem feito é a cooperação internacional. Eles tem auxiliado, trabalhado junto com o ministro Vargas no sentido

de aumentar grandemente os convênios e os contratos de cooperação internacional nessa área espacial.

Temos novidades no CIBERS. O modelo estrutural teve problemas nos testes, arrebentou no Inpe, há dois meses, atrasou seis meses. Mas a construção, o modelo de vôo, já inicia a construção em março, e o lançamento está previsto para 1998. A proposta original era lançar de 1992 a 1994. São quatro anos de atraso, resultado da agenda Collor.

A viagem do então ministro Fernando Henrique Cardoso à China ampliou o projeto CIBERS. São oportunidades que se criaram para o programa. O presidente assina um convênio desses, envolvem-se as instituições e criam-se oportunidades no país e para toda a comunidade e todas as instituições envolvidas.

Para 1997 está prevista a criação de uma empresa binacional para comercializar produtos desses satélites, que seria lançado em 1998. Essa é outra oportunidade comercial, não só para as instituições envolvidas, mas representa empregos de que tanto precisamos.

Novidades no programa de meteorologia: o CPTEC foi inaugurado em 1995 e já operando, está indo muito bem, agora com o grande desafio de ampliar. Estão estimulando a criação de centros regionais que pegam esses dados de previsão de tempo e de clima global para a área de atuação dos centros regionais. Com as informações regionais, gera-se um produto que pode ser de maior interesse para aquela região.

O LNCC, por exemplo, está envolvido na criação de um núcleo regional quando se mudar para Petrópolis. Na cidade de São Paulo, na USP, há um Departamento de Meteorologia que tem o centro regional deles. Há vários outros candidatos pelo país. Um programa desses, uma perna, gera uma porção de oportunidades correlacionadas.

Novidades na AEB: eles fizeram a Política Nacional de Atividades Espaciais. Eu, como membro da diretoria da SBPC, estou sempre lutando pela ampla abertura, pela ampla visibilidade dessas discussões. Gostaria que essa discussão da Política Nacional de Atividades Espaciais fosse muito mais aberta, que ela fosse, por exemplo, discutida junto à SBPC, à Academia de Ciência etc. Mas não foi. Foi discutida no Conselho, na AEB. Acho isso restrito, porque o Conselho é dominado pelos representantes do governo. Os representantes da comunidade científica foram muito poucos. A política foi discutida mais amplamente pela COBAE, mas isso é ainda insuficiente.

Essa é minha divergência com o Dr. Gylvan. Já organizei, nos últimos anos, na SBPC, umas cinco mesas redondas para debater esses assunto. O debate é sempre sobre os mesmos temas, são variações em torno do mesmo tema.

Desafios em curso: capacitação da indústria nacional, que não é um dos objetivos do programa, mas é uma coisa crucial. A capacitação foi desenvolvida inicialmente em institutos governamentais e tem de sair para fora deles, ou irão acontecer coisas ruins. Às vezes a sofreguidão de passar as coisas para a iniciativa privada, sem ter ela capacidade, pode ser pior do que deixar o governo fazendo.

Por exemplo: lá no Inpe, é nítido. O governo de Fernando Henrique também está muito em cima do muro. Eles falam: "Ah! o Inpe não está fazendo nada. Tem de licitar e as indústrias têm de apresentar propostas." Muito bem! Mas as indústrias não têm proposta nenhuma. A capacitação, quem a tem é o governo.

Então, o que acontece? O que acontece é que os engenheiros, os pesquisadores, o pessoal técnico do Inpe, do CTA, ou seja lá quem for, vão lá e fazem projetos para a indústria, ao mesmo tempo que fazem licitação no Inpe. Porque é tudo a mesma coisa, não tem gente o suficiente para preencher os dois times. Deve-se ter muito cuidado. Não estou acusando ninguém, mas essa é uma situação real.

A Esca, nessa famosa questão do Projeto Sivam, é uma firma de São Paulo que resolveu entrar na área espacial. Para pegar essas licitações, contratou um camarada que era vice-diretor do Inpe como assessor. E evidentemente contratou por serviços prestados gente que está relacionada com as pessoas que estão fazendo o edital. Deu no que deu: a Esca acabou caindo de podre, não precisou ninguém denunciar, ela se denunciou, ela própria. Está tudo furado.

É evidente que tem de privatizar. A construção, por exemplo, não é o governo que deve construir. O governo tem de promover os programas para gerar oportunidades. Mas quem deve construir é a empresa privada. Mas isso leva tempo. Não dá para se decretar que a partir de amanhã quem vai fazer satélites é a empresa privada. Há um *timing* importante que deve ser respeitado. E deve ser respeitado sob pena de se criar problema sério.

Outro desafio: a AEB tem de funcionar efetivamente. Quanto ao Projeto de Telecomunicação, por exemplo, existe um conceito importante sobre satélites equatoriais de telecomunicações. No Inpe foi desenvolvido um sistema chamado ECO-worlds, que são oito satélites colocados na região equatorial. É um sistema de oito satélites que permite ampla utilização para comunicação numa determinada área. Eles cobrem todo o globo. Esses são nichos que devemos ter. Não vamos competir com a Agência Européia, com a Nasa, com o Japão. Mas temos de procurar o nosso nicho. Essa é a idéia.

PERGUNTA: *Como a Embraer fez?*

RAUPP: *Isso aqui é uma coisa que está em discussão no sistema Telebrás, na Embratel. Não se pode dizer que estamos fazendo coisas contra o Brasilsat. A própria história do programa está dizendo o seguinte: a gente deve comprar, mas deve também fazer em*

paralelo, para, num determinado momento, poder até substituir ou para poder comprar direito. Se você não faz, você não sabe comprar direito.

Houve também a criação de oportunidades pelas capacidades estabelecidas. Ampliaram-se as oportunidades. O Projeto Sivam, os Projetos de Vigilância da Amazônia, por exemplo. Na SBPC, entrei na discussão com todo o apoio da inteligência nacional na área, com toda a comunidade técnica e empresarial defendendo o ponto de vista de que toda essa parte ambiental do Projeto Sivam, como levantamento de dados, utilização de dados ambientais, processamento e disseminação da utilização dos dados ambientais etc., nós temos capacidade para fazer isso.

Instituições como o IBGE, como a Embrapa, o Ibama, elas têm responsabilidades institucionais. Quem tem de saber os dados estatísticos sobre a população é o IBGE. E o que eles disserem é lei. A mesma coisa para o Ibama, para o meio ambiente, isso não pode ficar de fora. Não se pode montar um sistema paralelo de informações sobre a Amazônia sem considerar isso. E toda a parte de desenvolvimento do sistema precisa ter um sistema de computação interligado de informação, uma rede de computadores. Isso deve ser desenvolvido pelas empresas nacionais, que, nessa questão de dados ambientais, têm grande experiência.

Hoje em dia, o número de empresas de imageamento no Paraná e em São Paulo é impressionante. Uma vez fui defender essa tese num Congresso de Geoprocessamento, no Paraná, e era unânime o apoio a ela, do empresariado. Então não se pode agora, como foi feito pelo governo, entregar toda essa parte para uma empresa americana essa *Reauthres*, que nem experiência tem no assunto. Ela vai subcontratar uma empresa americana para fazer o desenvolvimento. Isso é negativo para o programa. Temos de aproveitar e criar oportunidades para a capacidade estabelecida. Senão, perdemos o investimento que fizemos.

Outra coisa é o uso da base para lançamento de satélites de outros países. A base de Alcântara deve ser usada, tem de vender serviço. Não vamos ter satélites suficientes para dar plena utilização àquele pessoal que está lá. A base custou muito dinheiro para fazer poucos lançamentos.

Quero acabar por aqui. Estou à disposição para qualquer pergunta. Quero dizer que fiz questão de dar – não porque tenha espírito provocador – uma repetição daquilo que os representantes oficiais falam. Gostaria de dar uma contribuição para o debate, apresentando uma posição diferente. Estou aqui mais para gerar discussão do que para apresentar uma opinião formada sobre o assunto. Muito Obrigado.

PERGUNTA: Você fez uma menção rápida à Embraer. Ocorreu-me fazer um paralelo da *débacle* da Embraer com a queda da Panair do Brasil, em 1966. Ela foi rápida, foi uma jogada. Na sua opinião, qual foi, ou quais foram as causas da *débacle* da Embraer? Por que aconteceu aquela reviravolta e depois a queda?

RAUPP: Eu não conheço a Panair. Isso já me suplanta um pouco, está bem distante. Mas a Embraer, eu vivo lá, moro em São José dos Campos, conheço as pessoas, tenho amigos meus que trabalham lá. Para mim, aconteceram duas coisas. Uma delas é esse problema do nicho. O mercado da Embraer teve uma grande diminuição no início dos anos 1990, em termos internacionais. A aviação sofreu uma crise internacional.

A outra coisa é que a Embraer era uma empresa estatal muito ineficiente, como toda a empresa estatal brasileira. Seu gerenciamento deixava a desejar. O *empreguismo* lá era brutal. Uma empresa que pretenda competir não pode entrar nessa: ela chegou a ter 16 mil funcionários.

Depois entrou naquele projeto do desenvolvimento do AMX, com o Adriano Guerra, com a Itália, um acordo meio a meio. Mas pela posição econômica que ocupava, a Embraer não tinha condições de entrar num desenvolvimento daquele tipo. Aí entra a mistura da empresa. Se ela fosse uma empresa que só visasse o lucro, se não estivesse ligada ao governo, olhando de uma postura política também, ela jamais entraria nesse programa do AMX, que foi a pá de cal da Embraer. Se ela fosse uma empresa privada, não entraria. Entrou porque é pública, porque os militares da Aeronáutica têm muita influência.

PERGUNTA: Os próprios funcionários da empresa?

RAUPP: Não só eles como as esposas, os filhos etc. Está tudo errado. Não é só o pessoal. Eu não sou contra a Aeronáutica. Nós também fazemos isso. Nós também botamos nossos filhos. Essa é a cultura nacional, principalmente da elite. Isso é histórico.

PERGUNTA: Você acha que esses dois fatores foram determinantes para...

RAUPP: Ela fraquejou diante da tensão do mercado internacional e também não tinha estrutura. Tinha uma estrutura errada, era ineficiente para enfrentar o desafio do mercado. Agora estão tentando, mas está difícil, mesmo privatizando. Não é a privatização que vai resolver o problema. O problema é ter eficiência, ter competitividade econômica e, no mercado, ter oportunidade. Acho que ela não teve competitividade. E o mercado não ofereceu grandes oportunidades. A Embraer levou bordoadas pelos dois lados.

PERGUNTA: A impressão que você passa, e isso também ficou um pouco na palestra do Gylvan, é de que a interrelação entre a comunidade científica e os militares, e o poder público, foi muito mais harmônica, apesar da resistência da SBPC, mas teria sido muito mais harmônica do que, por exemplo, no caso da energia nuclear. Pelo menos no

caso da energia nuclear, vemos as discussões, as brigas, com muito mais força. Nesse caso, a impressão que dá, é que uma coisa mais harmônica. É de fato isso?

RAUPP: É, porque a oposição não foi tão forte, de maneira alguma, como foi no caso do Programa Nuclear. Por um lado, a comunidade científica reagiu muito mais...

No caso da energia nuclear, adotaram uma solução errada do ponto de vista técnico. Então, aí, esse era um problema muito maior. E tem outra coisa: o Programa Espacial custa 1 bi. O Nuclear começou com 6 ou 7 bi e acabou com uma dívida – porque o que há agora ali é dívida – de 15 ou 20 bi. É uma coisa muito maior, requer uma reação muito maior.

PERGUNTA: Aquele contrato que eles fizeram em parceria com a Alemanha é uma coisa que não tinha sido testado nem em laboratório. Aquilo ali comeu dinheiro.

RAUPP: Isso aí deu margem à oposição total.

PERGUNTA: Mas eu tenho a impressão de que a Aeronáutica aceita mais a participação dos cientistas dentro do Programa Espacial do que no caso do Programa Nuclear, que é uma coisa mais fechada.

RAUPP: Veja bem, em ambos os casos, havia outras organizações civis participando. No caso nuclear, a CNEN e vários institutos da USP, como o Inpe, são órgãos civis. Aqui tem o Inpe também. Mas eu acho que os militares querem a participação dos civis.

PERGUNTA: Acho que eles querem e necessitam.

RAUPP: Eles necessitam, eles não são antagônicos. O CTA é um Centro de Tecnologia montado em cima de uma capacitação civil. Os militares lá são minoria, não têm expressão, eles só dirigem. É difícil de saber, mas acho que os militares querem cooperação. Se você olhar do ponto de vista de extratos sociais, de segmentos sociais, eu diria que os militares sempre apoiaram a ciência e tecnologia etc.

Por quê? Porque eles têm a visão estratégica, eles tem a visão da defesa, que é diferente da visão econômica. Na visão de defesa, justifica-se até fazer investimentos muito maiores, porque você precisa ter o controle, a autonomia tecnológica. Se você olhar só pelo lado econômico, da competição, por que você vai colocar dinheiro numa coisa que não é viável economicamente? Só se estiver ameaçando a sua soberania. Mas se for um produto que você pode comprar, um carro do Japão, então, compra-se o carro lá, não vamos fazer aqui agora. Se for para fabricar tanque, se os caras não tiverem tanque, que é o caso, deve-se fazer de qualquer jeito, mesmo que sejam uns tanques-carroças, como é o caso dos países comunistas.

Eles se enterraram, aliás, porque colocaram todo o dinheiro que tinham em equipamentos militares, em desenvolvimento de tecnologia e de equipamento militar. A defesa predominou. Essa é uma característica de um regime militar. E o apoio à ciência, lá, era total desde o início, os cientistas eram uma elite.

O espírito militar é de apoio total ao cientista. Mas eles sempre querem direcionar a coisa. É natural, quem financia sempre quer direcionar. No caso da ciência aplicada, por exemplo. Nos Estados Unidos, que são uma sociedade mais democrática, as ciências aplicadas desenvolvem-se muito mais apoiada pelos órgãos militares. No financiamento para energia e defesa, eles botam muito mais dinheiro do que o Departamento de Comércio. Não tem nem comparação.

Acho que uma das quedas de investimentos em ciência e tecnologia é o fim do espírito militar. Eu atuo na área aplicada, em matemática, computação, engenharia e todo desenvolvimento nessa área. O computador é a grande revolução tecnológica da nossa era, a grande descoberta tecnológica do programa nuclear. Quem fez o computador? Ele veio de uma necessidade militar de fazer cálculo de nêutrons, para ver como funcionava, para simular um reator, já que fazer experiência era perigoso. Aliás uma atividade que se tornou corriqueira depois: em vez de fazer experiência, simula-se no computador.

PERGUNTA: Essa questão do investimento militar em ciência e tecnologia é coisa patente. Na época da ditadura o próprio CNPq esteve muito bem. Mas eu falo de concordar em compartilhar os órgãos de decisão, de ver com bons olhos uma Agência Espacial Brasileira, de aceitar uma participação maior.

RAUPP: Eles só aceitaram essa Agência Espacial em caráter civil quando estavam apertadíssimos. Então, não é um bom teste. Sei lá se eles fariam isso sem uma pressão significativa dos senadores. Eles controlavam a coisa, eles têm grande influência na Agência Espacial, não vamos tapar o Sol com a peneira. O diretor geral, o Dr. Gylvan, é presidente. O diretor geral da Agência é um brigadeiro, há um compartilhamento.

Pesquisa em Astrofísica no Brasil

Walter Junqueira Maciel

8 de outubro de 1996

Foi combinado que eu falaria sobre "Pesquisa em astrofísica no Brasil". Mas acho que falar sobre isso apenas, no Brasil, fica muito pretensioso. Então, vou diminuir um pouquinho o meu escopo e começar colocando aqui duas datas, por várias razões. A primeira delas é porque eu praticamente sempre convivi com toda a pesquisa em astrofísica no Brasil. Vou partir de 1970, época em que terminei a minha graduação e comecei a pós-graduação. Em segundo lugar, eu diria que 90% da pesquisa que se fez em astrofísica no Brasil foram realizados nesse período. Muito pouco foi feito antes de 1970, embora houvesse coisas importantes.

Participo da Astrofísica, praticamente, na segunda fase, de 1970 para cá. A primeira fase seria uma espécie de pré-história, que eu vou comentar daqui a pouco. Na verdade, entrei um pouco antes. Vou me adiantar um pouquinho dizendo que o principal instrumento de observação óptica e astrofísica no Brasil de hoje é um telescópio do Laboratório Nacional de Astronomia, em Itajubá, Minas Gerais. Na verdade, participei do projeto de escolha de sítio do telescópio quando ainda era estudante. Foram pesquisados vários morros do Brasil, nessa região entre Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, para descobrir qual seria o melhor. Mas essa foi uma etapa preliminar. Na verdade, a pesquisa feita no Brasil, nesse século xx, está contida precisamente nesse período.

Vamos começar falando um pouco sobre onde atualmente se faz pesquisa em Astrofísica no Brasil. Vocês sabem que o Brasil é um país bastante grande, mas que não tem muitos lugares onde se faça pesquisa. Com um pouco de boa vontade, consigo identificar três lugares, e entre eles estou incluindo as grandes instituições, como, por exemplo, o Observatório Nacional, uma das

maiores instituições de pesquisa no Brasil. Em centros menores, há um ou dois jovens doutores que estão começando também a pesquisar.

Pode ser que eu tenha deixado de fora algumas instituições em que se faz pesquisa, porque não o fazem de uma forma sistemática. Esse foi o critério que usei para definir. Pode-se perceber que não só existem universidades federais fazendo pesquisa em astrofísica, mas não são muitas. Vou comentar um pouco sobre cada uma dessas instituições em que a pesquisa é feita de forma sistemática. Primeiro, por razões óbvias, o instituto no qual eu trabalho, na Universidade de São Paulo. Vocês sabem que é a maior Universidade do Brasil, e nela está o Instituto Astronômico e Geofísico (IAG). É um instituto anterior à Universidade de São Paulo. Ele foi criado por um observatório e, muito mais tarde, foi incorporado pela USP.

O mesmo não aconteceu com o Observatório Nacional, que acabou sendo incorporado ao CNPq. Mas o IAG, tem um importante departamento de astronomia. Para vocês terem uma idéia, ele tem cerca de 120, 130 pessoas trabalhando, contando-se professores, estudantes e técnicos. Então, é um grande departamento para qualquer padrão que vocês possam imaginar. É um dos maiores, senão o maior da América Latina, e não tem muitos departamentos,

Instituições de pesquisa em astronomia no Brasil

	instituição	doutores	%
1	IAG/USP	51	31,9
2	ON/CNPq	36	22,5
3	INPE/MCT	24	14,9
4	UFRGS	9	5,6
5	UNESP	7	4,3
6	UFMG	4	2,5
7	LNA/CNPq	4	2,5
8	OV/UFRJ	4	2,5
9	UFSC	4	2,5
10	UFRN	3	1,9
11	UERJ	3	1,9
12	UFF	3	1,9
13	UFV	2	1,3
14	UEL	2	1,3
15	UFSC	2	1,3
16	UFES	1	0,6
17	UFPR	1	0,6

mesmo nos Estados Unidos ou na Europa, que sejam tão grandes. Há alguns, mas não muitos.

A diferença com relação a um mapa dos Estados Unidos, por exemplo, é que a quantidade de pontinhos que vocês vão ver é bem maior do que nos daqui, e os pontos estão mais bem distribuídos.

O Observatório Nacional, certamente, vocês conhecem melhor do que eu. É uma das instituições mais antigas. Nesses institutos, os maiores, é onde se concentra a maior parte dos doutores. Quero fazer uma distinção que as pessoas nem sempre fazem: o que eu chamo de pesquisa significa que eu tenho de pegar um problema, levantar uma bibliografia, investigar aquele problema e chegar a um resultado que eventualmente será publicado numa revista. Essa é uma característica da astrofísica.

A astrofísica é uma ciência internacional. Isso significa que o trabalho que se faz aqui é bastante semelhante ao que se faz em qualquer país, seja nos países do Primeiro Mundo, seja em outros locais. Então, o grosso dessa pesquisa está sendo feita nesses três primeiros institutos. Existem outros um pouco menores, como, por exemplo, o Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre. É um Instituto bastante importante em termos nacionais, porque ele sempre teve um grupo relativamente pequeno de pessoas, mas de alta competência, e tem também uma capacidade considerável de formação de pessoal.

Quero insistir sobre esse ponto e vou voltar a ele ainda várias vezes. Acho que o que fez a astrofísica brasileira deslanchar nesses últimos 15 anos, de 1980 para cá, foi justamente o sucesso que se obteve na formação de pessoal. E o Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul é bastante ativo nesse ponto. Eles formam um número pequeno de pessoas, muito bem formadas e que acabam disseminando esse conhecimento de um modo importante.

Algo semelhante acontece também no Instituto de Ciência e Exatas da UFMG, em Belo Horizonte, como, aliás, ocorre em quase todas federais. Todas elas são muito semelhantes nesse aspecto. Elas têm um instituto ou departamento de Física e, dentro desse departamento, acaba nascendo um departamento ou um grupo de astronomia. Esse grupo de astronomia acaba sendo uma parte muito pequena. Então, o lugar natural de nascimento desses núcleos, na maior parte das vezes, é o departamento de física. Portanto, é mais do que natural que eles se encaminhem para a astrofísica. A formação do astrofísico é exatamente a mesma formação do físico. Apenas ele tem algumas coisas que o físico não tem.

O Seis é um laboratório nacional de astrofísica. Ele é um pouco diferente

dos outros, no sentido de que não é uma instituição que forma alunos, mas é um laboratório, ou seja, um lugar no qual existem instrumentos que todo mundo pode usar. Mas ele tem mudado um pouco a sua característica, de uns tempos para cá. Tem se dedicado não só ao desenvolvimento da instrumentação, que vai ser usada junto com esses equipamentos, mas também está aumentando o número de pesquisadores. Já tem um número de pesquisadores razoável.

De um modo geral, o número de pessoas decresce, no Brasil. Chegou a hora de falar do Observatório do Valongo, que tem um curso de graduação e formação. Nós formamos já há bastante tempo, e há um grupo de pesquisadores que aos poucos foi se tornando mais especializado, como professores envolvidos na parte de pesquisa, que é o nosso objetivo.

Vou englobar os outros departamentos todos de uma só vez. Eles ficam no Rio Grande do Norte, no Espírito Santo, em Santa Maria, em Santa Catarina, na Universidade Estadual de Londrina, e na Universidade Federal de Viçosa. Todos esses são aquisições recentes da astrofísica brasileira.

Esse é o ponto que quero comentar. Eu estava falando justamente sobre isso quanto ao Observatório Nacional. Hoje, existem cerca de 20 doutores em astronomia no Brasil que estão sem emprego. Essa é uma coisa absolutamente inédita no Brasil. Há cinco anos isso não existia.

Quando fui contratado na USP, eu era mestre, tinha feito meu mestrado há um ano. Hoje em dia, uma pessoa que tenha o mestrado sequer pode sonhar em ter um emprego. Ele deve ter um doutoramento. E mais: ele deve ter um pós-doutoramento no exterior. Isso significa que o número de pessoas formadas aumentou bastante, e o número de vagas nas instituições – vocês estão vendo que a maior parte delas são instituições federais – não está aumentando.

Existe uma contenção de contratações praticamente no Brasil todo, tanto no plano federal quanto no estadual. No caso de São Paulo, por exemplo, em que a universidade é estadual, ou no caso de Londrina, que também é estadual. Isso significa que cada vez mais temos um número de pessoas, de pesquisadores jovens terminando o doutorado, ou fazendo o pós-doutoramento, e que não têm emprego. Eles estão sobrevivendo com bolsas. Esse é um processo crescente.

Uma das saídas que as pessoas têm é procurar os lugares fora dessas instituições que estão na verdade saturadas e com dificuldades de contratação de pessoal. Esse fenômeno explica o surgimento de outros centros. Recentemente, dois astrofísicos foram contratados pela Universidade de Santa Catarina, em Florianópolis. A idéia é formar um pequeno grupo lá, que depois possa crescer dentro de um departamento de física, como todos os outros.

Na Universidade Federal do Espírito Santo, em Vitória, tem dois astrofísicos que estão tentando criar um grupo. Na Universidade Federal de Viçosa, existe um, e há possibilidades de se criar um segundo. Esses são institutos pequenos que fazem pesquisa. Há 15 anos, seria quase impossível. Se uma pessoa não conseguisse emprego nesses institutos maiores, dificilmente conseguiria fazer pesquisa.

Hoje as coisas mudaram muito, porque existe correio eletrônico, existe internet, a maior parte dessas universidades está razoavelmente bem equipada do ponto de vista de computação. Há meios de cálculo e, através da rede, meios de acesso à informação. Isso significa que não ficou tão difícil fazer pesquisa nos lugares mais distantes, nos lugares que têm menos tradição na área de astrofísica. Isso explica porque hoje temos relativamente um grande número de instituições. Se fizéssemos a mesma tabela há 10 anos, não íamos passar talvez da metade.

Misturei a UFRJ, a UERJ e a UFF no mesmo bolo. Espero que ninguém fique ofendido com isso, mas o critério que eu tenho é o seguinte: no Rio de Janeiro, na parte de pesquisa, há o Observatório Nacional, o Observatório do Valongo e outras instituições. Mas as outras têm uma pessoa só fazendo pesquisa. Por exemplo, na UFF, tem alguém que trabalha na parte de astrofísica de dados; na UERJ, tem uma pessoa; na UFRJ já há mais pessoas.

Já se tem uma idéia das principais instituições de pesquisa. Agora vamos ver quantas pessoas trabalham nessas instituições. Não tenho o levantamento completo, mas é feito um levantamento a cada seis meses, e ele tem variado bastante. Conheço casos de pessoas que eram experientes, trabalhavam, mas não chegavam a terminar o doutorado. Então, o número de doutores mostra a robustez científica de uma instituição.

No IAG, por exemplo, existem cerca de 35 doutores contratados, fora os que não são contratados e estão trabalhando lá. O Inpe tem bastante também, como o Observatório Nacional, junto com o Observatório de Valongo e outras instituições – a UFF a UFRJ e a UERJ. Isso também mostra que a concentração é relevante nas instituições grandes.

Acabei de saber que houve um concurso em Porto Alegre, nessa instituição. Inscreveram-se dez pessoas e só três acabaram fazendo o concurso. Mas dez já dão uma idéia do número de pessoas em disponibilidade e em condições de se deslocar para um lugar distante, que é o Rio Grande do Sul; a maior parte são pessoas que moram aqui, têm família, geralmente a mulher trabalha, o marido está estudando. Não é todo mundo que pode se dar ao luxo de mudar para uma instituição a mil quilômetros de distância com facilidade. O Brasil tem essa dificuldade, que é o tamanho.

PERGUNTA: 150 doutores?

WALTER MACIEL: Há cerca de 120 ou 130 doutores contratados e talvez uns 20 que não estão contratados atualmente. Então, teríamos cerca de 140, o que seria um número razoável de doutores. Agora vocês podem fazer um exercício: dos 140, 100 com certeza têm alunos. Se cada um tiver dois alunos, então teremos 200 mais 100. Serão 300. A Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) tem só 450.

PERGUNTA: Mas esses números crescem como uma epidemia.

WALTER MACIEL: Eles estão crescendo, o Brasil realmente está se desenvolvendo.

PERGUNTA: Você falou que a SAB tem 500?

WALTER MACIEL: Não, tem menos. O último número que vi era de cerca de 440 a 450 sócios. Desses sócios, tem esses 150 doutores, e talvez uns 100 mestres, por aí. Só no IAG temos cerca de 50 estudantes em doutoramento.

PERGUNTA: Desses doutores, quantos mestres fizeram doutoramento aqui?

WALTER MACIEL: Não tenho esse número aqui de cabeça, mas tenho a lista. Eu diria que os que fizeram doutoramento até, digamos, 1980, 1985, são 80 e poucos. Quase todos fizeram fora, pouquíssimos fizeram aqui. Mas, de 1985 para cá, eu diria que 90% fizeram aqui.

PERGUNTA: Existe algum tipo de barreira entre o pessoal que faz o doutoramento lá fora e o que faz aqui? Existe alguma espécie de discriminação?

WALTER MACIEL: Não que eu saiba. Isso depende muito, porque hoje em dia a astrofísica ficou muito internacionalizada. Então veja, você faz um doutoramento, não importa onde, se fez um bom doutoramento, se publicou dois ou três artigos em boas revistas, não importa onde ele foi feito, as revistas são as mesmas, na área em que você vai publicar. Enfim, são três ou quatro revistas em cada subárea, que acabam concentrando a maior parte dos trabalhos.

Então, se você fez um doutoramento e publicou dois ou três artigos numa revista boa, seu doutoramento é tão bom quanto qualquer outro. Conheço pessoas que fizeram doutoramento no exterior e tiveram dificuldade de publicar seu trabalho. Elas têm o doutoramento, o título no exterior, mas se formos comparar com o que saiu desse doutoramento nos quatro, cinco anos seguintes, vamos ver que foi muito inferior ao de muitas pessoas que fizeram doutoramento aqui.

No caso do IAG, eu tenho certeza. No caso do Observatório Nacional, também. Devemos ter um cuidado muito grande com a qualidade das teses que saem. Eu tenho alunos, quase todos os alunos que trabalham comigo, antes

de defender as teses, eles já submeteram um ou dois artigos. Porque você submete um artigo num tempo muito menor do que você faz a tese. Então, a partir do momento que você faz a tese e publica – a publicação da tese em si pode ser considerada uma coisa muito importante; mas há gente mais antiga que ainda acha que não se deve publicar nada. Deve fazer a tese, o trabalho, publicar na forma de tese, aí depois você pensa em escrever o artigo.

Isso em astrofísica é um absurdo completo. Você tem de fazer o trabalho e se aquela parte está terminada, você deve publicar. Depois, você junta três, quatro, cinco artigos e publica. Na Europa, por exemplo, na Holanda, eles pegam artigos que estavam originalmente escritos em inglês, grampeiam todos juntos, somam, fazem um negócio bonitinho e lançam.

Aqui no Brasil não chegamos nesse estágio. Ainda temos de pegar os artigos, mesmo os que já foram publicados, e reescrevê-los, senão as revistas não aceitam. Mas pelo menos aceitam que o resultado científico já tenha sido publicado antes, o que já é um bom começo.

Atualmente não existe qualquer distinção entre um pesquisador que fez doutorado fora e aqui. Talvez nos primeiros tempos ainda se pudesse pensar nisso, porque nos primeiros tempos havia um grupo grande com doutoramento fora, e um grupo pequeno, porque aqui não havia orientador. Mas isso se inverteu completamente.

Hoje em dia, se você terminar o mestrado e quiser fazer um doutoramento fora, ou se terminar a graduação e quiser fazer o doutoramento fora, será muito complicado, o CNPq dificilmente dará bolsa. A Faperj talvez funcione, como a Fapesp. Mas dificilmente, em termos de critério, elas darão, porque custa muito caro você manter um estudante em doutoramento no exterior. Vamos ter de mandar a pessoa ficar cinco anos fora. E com o mesmo dinheiro mandam-se três ou quatro pessoas para ficar dois anos num doutorado sanduíche. É muito mais barato. Sem contar que, desses que vão passar cinco anos, muitos voltam depois de dois anos, desistem. Então, esse é um risco enorme. E há uma razão principal: temos 100 doutores, muitos desses estão envolvidos em orientação de alunos. Eles podem orientar teses tão boas quanto qualquer outro. É claro que no Brasil ainda somos subdesenvolvidos. Não vou querer comparar uma instituição boa de fora com uma instituição boa daqui. Uma instituição boa em Harvard, por exemplo, tem outro nível. O Brasil não é Primeiro Mundo em nenhum aspecto.

Do ponto de vista do aluno, se ele puder escolher, e quiser ir para o exterior, é até bom. Mas só os alunos muito bons conseguem isso. Além do mais, eles têm de estar empenhados em fazer doutorado fora. Caso contrário, o normal é fazer doutoramento aqui e depois ir fazer um pós-doutoramento fora.

Agora vou falar um pouco sobre a instrumentação disponível para os pesquisadores. Porque astrofísica é essencialmente uma ciência baseada em observação. A maior parte dos astrofísicos trabalha com modelos ou com interpretações de observações. Estas são feitas em observatórios, e os observatórios costumam ser radiobservatórios ou observatórios ópticos. Alguns usam infravermelho, alguns entram na parte milimétrica. Existe um descompasso enorme entre a instrumentação disponível para o pesquisador brasileiro, o número de pesquisadores que temos e a produção científica desses observadores.

Esse é um problema que temos no Brasil. Há telescópios ópticos, quer dizer, a maior parte dos astrônomos brasileiros é de astrônomos relacionados com o comprimento de onda óptico. O número de radioastrônomos é bastante pequeno. O principal instrumento que existe é um telescópio óptico de 1,60m, que está lá no LNA, em Itajubá. E esse telescópio é um telescópio de 30 anos, concebido na década de 1960, instalado na década de 1970 e que passou efetivamente a produzir resultados nos anos 80.

O resto são coisas pequenas. Há telescópios de 60cm, 50cm. São telescópios muito bons para treinar estudantes, para fazer algum tipo de pesquisa mais ou menos elementar e podem ser usados se houver uma boa instrumentação. Principalmente hoje, com o CCD (Câmera com dispositivo de carga acoplado), às vezes pode-se usar um telescópio de 60cm. Há 10 anos não se podia. Há 10 anos, um telescópio de 60cm valia pouco. Hoje vale mais, porque existem periféricos que compensam, de uma certa forma, a deficiência da abertura.

Esse é um ponto importante. Mas telescópio de porte médio, hoje em dia, nem isso é mais considerado de porte médio. Para nós seria apenas um telescópio. Esse é um dos grandes problemas que a astrofísica brasileira tem atualmente e que se reflete na incapacidade que as pessoas têm de conseguir juntar esforços para obter um equipamento melhor.

Esse telescópio do Observatório foi um projeto iniciado na década de 1960. Muniz Barreto – era o diretor do Observatório Nacional; é uma peça-chave desse telescópio. Mas, nesses últimos 20 anos, esses 100 doutores, que, em princípio, teriam a responsabilidade de prever o futuro, principalmente dos seus estudantes, não foram capazes de se juntar, de conjugar esforços e criar algo que hoje estivesse funcionando, algo de dois, três metros, pelo menos.

Espero que esse problema seja resolvido a partir do ano 2000. O Brasil agora está envolvido em dois projetos. Um é o projeto Soar, que envolve um telescópio de 4 metros, o outro é o projeto Gemini, que envolve dois telescópios de 8 metros. O Brasil já faz parte de um deles e está tentando entrar no outro. Mas nesses dois casos, o Brasil só vai ter uma pequena fatia. O Brasil vai

entrar no projeto com vários outros países e vai ter, no caso do Gemini, que é um telescópio maior, duas semanas por ano de observação. É muito pouco.

Hoje seria muito pouco, com 100, 150 doutores, vocês imaginam daqui a 5 anos. Essa é uma deficiência grave que existe na astrofísica brasileira hoje. De uma certa forma, ela vai limitar o tipo de trabalho que as pessoas podem fazer. Ou os pesquisadores vão ter de usar os dados desses observatórios, ou eles vão se associar, que é o que está acontecendo, com pesquisadores de outras instituições, que têm acesso a outros telescópios que não estão nessa lista. Os instrumentos não estão no Brasil, como estão no Chile, de um modo geral. Então, os pesquisadores vão trabalhar com tratamento de dados, que é uma linha de projetos que também não era possível há 10 anos. Hoje é importante o desenvolvimento de projetos a partir de banco de dados.

Existem muitos observatórios principalmente no Hemisfério Sul. Existem satélites enviando dados diariamente, numa velocidade absolutamente fantástica. Esses dados, apesar de serem obtidos por um determinado grupo, acabam ficando de domínio público num tempo bastante curto. Então, existe campo para inúmeros projetos de pesquisas, porque hoje está todo mundo mais ou menos bem situado do ponto de vista de informática. É possível fazer trabalhos que não eram possíveis antes.

Um comentário a mais: além desse telescópio, que é o principal instrumento, temos um outro instrumento importante, que é o radiotelescópio, uma antena de 13 metros, que também é da mesma época, da década de 1960.

Esse radiotelescópio foi resultado de um esforço nacional, praticamente envolveu várias instituições: do Rio de Janeiro, São Paulo e de Minas Gerais. Foi iniciativa de um grupo que hoje se chama Craae, que já se chamou Craam, que já fez parte do Observatório Nacional, e do Inpe. É um grupo de status institucional absolutamente incompreensível, mas existe, é o mesmo grupo até hoje, desde a década de 1960, com pequenas alterações. Eles estão sediados em São Paulo. É um grupo cujo o chefe foi Pierre Kaufman, que construiu uma antena. Foi quem conseguiu a antena na década de 1960 e conseguiu aplicá-la para problemas importantes relacionados à física do Sol. Durante muito tempo, ela foi o principal instrumento astrofísico que havia no Brasil. Depois foi instalado outro, já no campus novo, na parte óptica. Existe um segundo, no Inpe, porque na verdade é o Inpe que paga esse pessoal. O Inpe é uma das instituições que faz parte desse Craae. Existe um outro instrumento, de 9 metros, no Inpe. Ele é um pouco mais limitado, não tem muitos resultados ainda.

O telescópio de 50 cm no Rio Grande do Sul, por exemplo, foi comprado na mesma época que o que está atualmente no LNA, que era do Valongo. Foi

bastante importante na formação desse mesmo grupo de Porto Alegre. A mesma coisa está acontecendo com o telescópio da UFMG.

Como último comentário: ainda tem o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). Se vocês repararem, verão que não coloquei o ITA naquela lista de instituições. Isso porque o ITA não tem astrofísica, mas teve. Eu fiz meu mestrado lá. Na época, era o único lugar que tinha mestrado em Astronomia no Brasil. Foi no começo dos anos 70. Eles tinham esse telescópio, no qual observei; obtivemos resultados importantes, que foram produzidos, principalmente pelo Carlos Alberto Torres, que hoje está no LNA. Esse telescópio foi bastante importante, foi, na verdade, o primeiro telescópio que deu resultados de pesquisas de astrofísicos publicadas de uma forma sistemática. Hoje em dia ele não está desativado, mas também não está sendo usado mais em pesquisa.

Já falei bastante sobre pessoas, instituições, aparelhos, instrumentos importantes. Agora vou falar um pouco sobre o que foi feito nesses últimos 20 anos. Isso é uma coisa difícil de fazer, porque algumas pessoas fazem suas pesquisas e não tendem a publicá-las. Muita gente deixa-a na gaveta e não publica, o que é um problema também na astrofísica brasileira. Ainda não existe aquele fluxo contínuo de pesquisas, como existe numa instituição do Primeiro Mundo, em que o sujeito que faz um projeto observa, o que tem os dados, reduz, analisa, trata, escreve um artigo e publica. Isto é uma cadeia. Em qualquer área de pesquisa essa cadeia tem que ser seguida.

Nem todo mundo no Brasil se deu conta disso. A pessoa faz aquilo e depois começa a fazer uma outra coisa. Depois não tem tempo, acha que vai gastar tempo para pensar em publicar uma coisa, precisa de tempo para fazer um novo projeto, aliás, já está fazendo. Às vezes é um pouco chato mesmo. Às vezes a pessoa já fez a pesquisa, já sabe o resultado e está interessada em outro resultado, que ela ainda não sabe.

Vamos ter de parar um pouco com o novo, voltar para o velho, gastar um tempo e publicar, o que não é uma coisa muito simples. Você tem de se adequar, tem de descobrir onde publicar, que revistas usar. Deve-se enfrentar os referees das revistas, que sempre estão lá para dizer que o seu trabalho não vale nada. E vai ter de convencê-los de que o seu trabalho é bom. Esse é um trabalho longo, gasta-se tempo nisso.

Vou tentar fazer um pouco da história dessa produção, mas não consegui fazê-la como eu queria. Em 1974, os astrônomos brasileiros deram um grande passo para o desenvolvimento da astrofísica e da astronomia, de um modo geral. Foi fundada a Sociedade Astronômica Brasileira. Essa sociedade, a partir de então, reúne-se todos os anos. Há dois meses, houve a 22ª Reunião

Anual da SAB. Pode-se dizer, então, que já existe uma certa tradição em termos de Sociedade Astronômica.

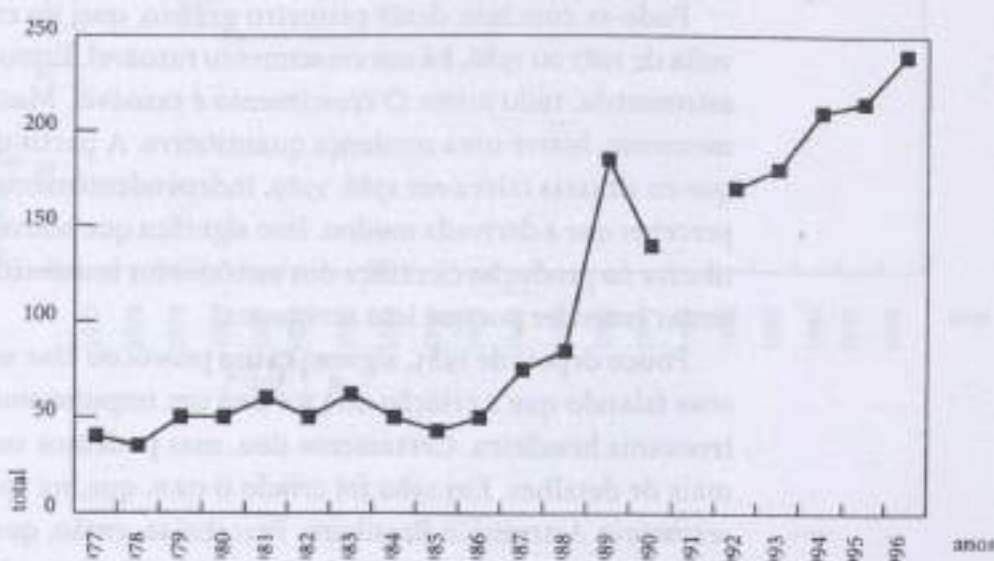
Já mencionei que a SAB tem 400 e tantos sócios, mas ela começou com 50. A SAB hoje é uma instituição que tem peso na América Latina. Participamos também das reuniões latino-americanas. Os outros países têm problemas muito parecidos com os nossos. Na Argentina, há uma sociedade astronômica semelhante à nossa. No Chile, há problemas muitos sérios, porque eles têm muitos equipamentos, mas não têm astrônomos nem qualquer tipo de sociedade. O México não tem sociedade, mas tem a UNAM, onde todo mundo trabalha. No fundo é a mesma coisa.

Os outros países são apenas pontinhos. A SAB, Sociedade Astronômica Brasileira, certamente é a mais importante hoje na América Latina. E se algum de vocês já participou de alguma reunião da SAB sabe que o nível dos trabalhos que se apresentam, de um modo geral, é semelhante ao de qualquer outra reunião internacional.

A *American Astronomic Society* – é claro que existe uma diferença de volume, o número de astrônomos por habitante nos Estados Unidos é muito maior do que aqui; na Europa é a mesma coisa. Ainda não chegamos a esse ponto. Ainda somos Terceiro Mundo, mas o que fazemos estamos fazendo bem.

Esses cento e tantos pesquisadores e os seus estudantes, esse grupo de pessoas, a pesquisa que eles fazem é do mesmo nível que a maior parte das

Transparência 2 *Variações do número total de comunicações apresentadas à SAB*



pesquisas feitas no Primeiro Mundo. Na minha maneira de entender, o desempenho dos astrônomos nas reuniões da SAB é uma primeira medida no índice da pesquisa feita no Brasil. Não é a única, certamente, se é a mais importante, não sei ainda dizer, mas certamente é a primeira. Conheço a Sociedade desde que nasceu. Talvez eu seja a única pessoa do Brasil que tem todos os boletins da Sociedade, desde o primeiro número. Já emprestei alguns dos meus exemplares à própria Sociedade, porque eles não tinham mais.

Então, como por acaso tenho essas coisas todas, consultei e fiz uma estatística dos últimos 20 anos. Isso serve para se ter uma idéia da pujança da astrofísica brasileira, como ela cresceu nos últimos 20 anos. Apenas para comparar algumas coisas da astrofísica, para entendê-la melhor, temos o primeiro resultado, para o ano de 1977, até 1996. Esse é o número total de contribuições que foram apresentadas nas reuniões da SAB ano por ano. Há um vazio, em 1991, porque não foi feita a reunião. E tem um pico, em 1989.

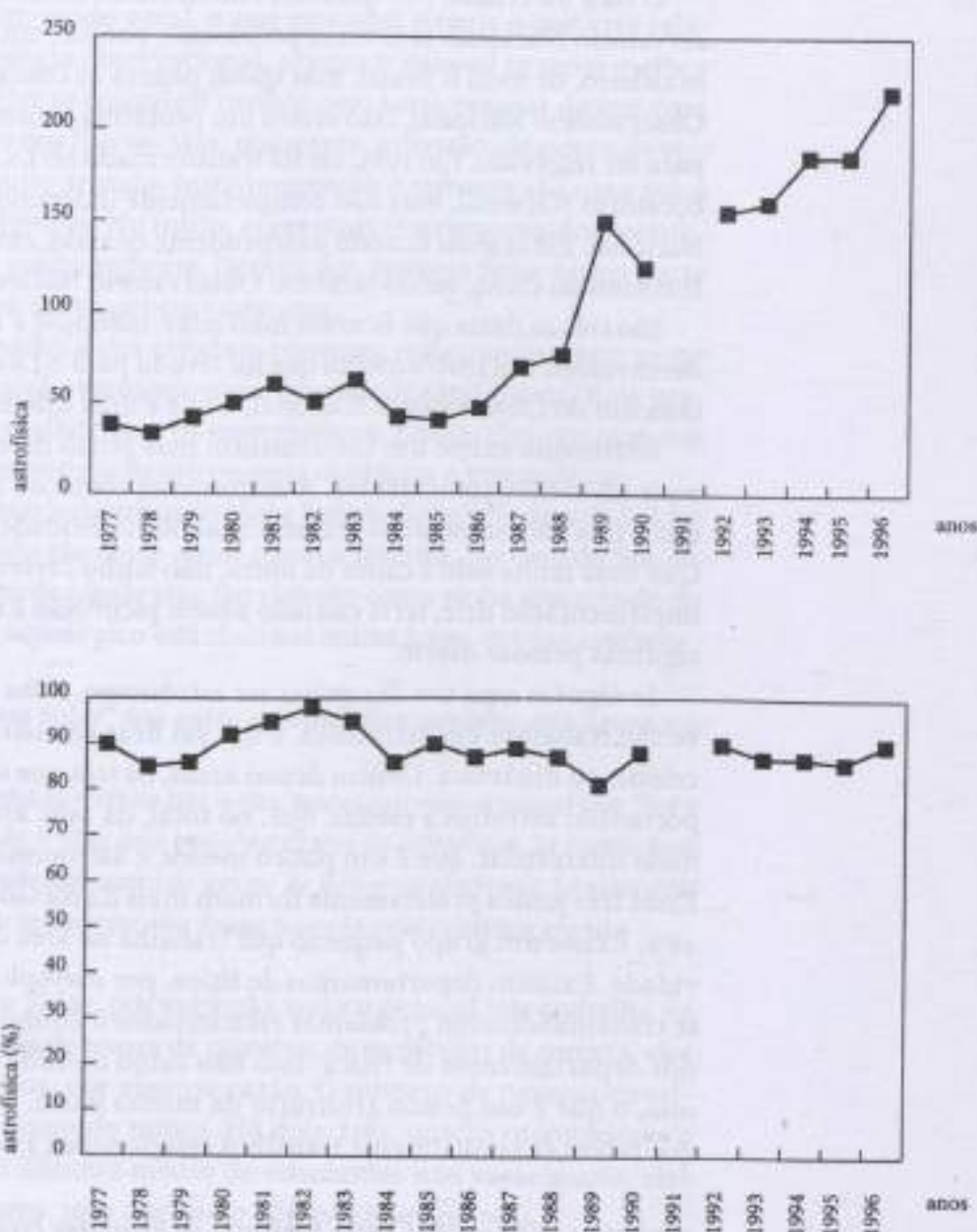
Em 1989, a reunião na SAB não foi como todas as outras. Esse ano de 1989 foi especial, porque foi feita uma Reunião Latino-Americana. Por acaso, ela foi no Brasil. Então, a reunião da SAB confundiu-se com a Reunião Latino-Americana e houve grande participação.

Coloquei isso porque significa que o pico foi o estímulo a mais dado aos pesquisadores, porque se tratava de uma Reunião Internacional. Veio gente de toda a América Latina, algumas pessoas dos Estados Unidos e Europa. Há pessoas que fazem esse gráfico, mas não põe esse encontro. Mas eu acho ele importante, principalmente porque nos dá alguma informação. Ele mostra onde podemos chegar em cada ano. Temos um desvio da ordem de 50 publicações, 50 trabalhos. Mas alguma informação pode ser retirada daqui.

Pode-se concluir, desse primeiro gráfico, que, da criação da SAB até por volta de 1987 ou 1988, há um crescimento razoável. Estou incluindo astrofísica, astrometria, tudo junto. O crescimento é razoável. Mas, a partir de um certo momento, houve uma mudança quantitativa. A partir de um certo momento que eu situaria talvez em 1988, 1989, independentemente desse outro, pode-se perceber que a derivada mudou. Isso significa que houve uma mudança quantitativa na produção científica dos astrônomos brasileiros nessa época. Vamos tentar entender por que isso aconteceu.

Pouco depois de 1985, alguma causa provocou esse acréscimo. Já ouvi pessoas falando que a criação do LNA deu um impulso muito grande para a astronomia brasileira. Certamente deu, mas podemos ver isso com um pouco mais de detalhes. Em 1980 foi criado o OAB, que, na época, chamava-se Observatório Astrofísico Brasileiro. Percebe-se, então, que muita coisa mudou. Mas entre 1980 e 1985, o OAB tinha um telescópio que funcionava, mas tinha

Transparência 5 Variações do número de teses de doutoramento (painel superior) e dissertações de mestrado (painel inferior) defendidas no IAG/USP



poucos periféricos. Esses periféricos eram usados de uma forma bastante discriminatória pelos pesquisadores. Isso criou uma série de problemas, talvez os mais velhos se lembrem.

O OAB foi criado, por questões burocráticas, como departamento do Observatório Nacional. Isso criou problemas, porque, em princípio o OAB seria brasileiro, de todo o Brasil, mas quem pagava as contas era o orçamento do Observatório Nacional. Isso criava um problema enorme, que levou dez anos para ser resolvido. Em 1985, ele foi transformado no LNA, que aí já era um Laboratório Nacional, mas não completamente independente do Observatório Nacional. Ele acabou ficando independente quando, em 1989, passou a ser um Instituto do CNPq, sendo também Observatório Nacional.

São três as datas que ficaram marcadas: 1980, 1985 e 1989. Em São Paulo, se desenvolveu um instrumento que foi levado para o LNA, não para um departamento do Observatório Nacional, o que é uma diferença importante.

Realmente existe um crescimento; mas posso dizer duas coisas que são mais ou menos coincidentes. A astronomia começou a crescer na época em que o LNA efetivamente se transformou numa unidade nacional de pesquisa. Que uma tenha sido a causa da outra, não tenho certeza. A criação do LNA, a implementação dele, teria causado aquele pico? Não é tão óbvio assim, como algumas pessoas dizem.

Se alguém aqui um dia quiser ser astrônomo, saiba que, em cada dez, nove vão trabalhar em astrofísica, e um vai ficar em astrometria, ou mecânica celeste, ou dinâmica. Dentro dessas áreas, há três que são mais ou menos importantes: astrofísica estelar, que, no total, dá 25%; astronomia da galáxia e meio interestelar, que é um pouco menor, e astronomia extragaláctica, 21%. Esses três juntos praticamente formam mais da metade dos 25%, um total de 46%. Existe um grupo pequeno que trabalha na área de cosmologia e relatividade. Existem departamentos de física, por exemplo, na USP, onde há gente trabalhando com problemas relacionados à cosmologia, o que é comum nos departamentos de física. Isso não estou considerando como Astronomia, o que é um pouco arbitrário da minha parte. Mas são pesquisadores que fazem ocasionalmente trabalhos relacionados à cosmologia.

PERGUNTA: *No caso do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), há um grupo de cosmologia. O Mário Novelo, o Ivan, aquela turma que tem trabalhado sistematicamente nisso não apareceu aí.*

WALTER MACIEL: *Não apareceu justamente por essa razão que eu disse. Meu quadro é um pouco arbitrário, na verdade, porque você sabe que existe uma cosmologia que é mais observacional e uma cosmologia que é mais ligada à parte matemática e*

teórica. A divisão das duas pode ser colocada onde você quiser. Não vou entrar nessa discussão.

Eu diria que, de um modo geral, o que está aqui é mais o que está relacionado com a cosmologia observacional, porque o pessoal se sente melhor freqüentando a SAB. Eles se entendem melhor com essas pessoas do que com os físicos, nas reuniões dos físicos. Mas, realmente, a divisão, do ponto de vista teórico, não tem muito sentido. Instrumentação e *software* são uma coisa constante, aparecem sempre. No início, eram mais instrumentação e periféricos. Atualmente, há muito *software*. Depois, Sol, Sistema Solar é uma parte relativamente pequena, mas também constante.

Na astronomia dinâmica eles estudam planetas, ressonâncias, tem gente que trabalha na Embratel, estudando o movimento de satélites etc. Esse pessoal às vezes se sente melhor com os matemáticos. Então, eles criaram um mundo à parte, com encontros de astronomia dinâmica e matemática.

Vamos agora comentar a classificação "Sol e Sistema Solar". Na área de Sol, há um crescimento, mas não tão óbvio assim como o anterior. No caso do Sol, do Sistema Solar, não apareceu aquele pico tão violento como vinha aparecendo de um modo geral. Então, aquele pico está mais nas outras áreas, que são estelares.

PERGUNTA: "Sol e Sistema Solar" tem outra característica também: não aparece o pico latino-americano.

WALTER MACIEL: Eu tinha percebido isso antes, tentei entender, e pensei que "Sol e Sistema Solar", na verdade, é uma área pequena dentro da astrofísica. Se é uma área pequena, ela acaba dependendo muito de um ou de dois grupos apenas. Se esses dois grupos vão muito bem, ou se não vão, isso acaba fazendo uma diferença grande.

Na parte de Sistema Solar, por exemplo, todo o pessoal que trabalha na área de cometas, de perda de massa de cometas, de moléculas de cometa, eles não foram contabilizados, por alguma razão. O número de pessoas envolvidas nessa área não aumentou muito. Há dois, três, quatro orientadores e seus estudantes, mas o número médio de estudantes não varia muito, eles vão saindo, entram outros, mas o número não está aumentando.

A astrofísica estelar é tradicionalmente a área em que a astrofísica começou. As pessoas começaram a estudar e as primeiras teses foram na área de estrelas variáveis. Existem alguns picos.

Procurei classificar todos os trabalhos, de 1977 a 1996, usando o mesmo critério. Mas muitas vezes eu próprio ficava em dúvida. Às vezes um determinado trabalho podia estar numa área ou em outra. Então, sempre há uma

certa oscilação. Proporcionalmente, a astrofísica estelar está diminuindo, apesar de, em termos absolutos, estar aumentando. Essa é uma outra característica importante da astrofísica brasileira, que está relacionada, primeiro, com a utilização de dados de telescópios maiores – não os nossos telescópios, mas de outras instituições. Muitos desses trabalhos foram feitos em colaborações com pesquisadores de outro país. Isso significa que está havendo uma mudança qualitativa, que muita gente que trabalhava na área estelar está agora trabalhando na área extragaláctica, porque estão tendo acesso a instrumentos maiores e estão trabalhando com grupos em que existem mais problemas interessantes do que os problemas que são mais ou menos claros.

Não estou diminuindo a astrofísica estelar. Trabalho um pouco com isso, mas acho que, hoje em dia, existe uma certa tendência para as pessoas trabalharem em astrofísica extragaláctica, ou com aglomerados de galáxias, o que não existia há vários anos. Isso talvez explique porque, proporcionalmente, a astrofísica estelar esteja perdendo terreno, embora continue aumentando, em termos do número de pessoas e de trabalhos. É uma área bastante ativa, e certamente vai continuar sendo.

Em astrofísica da galáxia e meio interestelar, a situação é mais ou menos parecida. A queda certamente é mais brusca, porque o patamar é menor. Naquela porta que vimos antes, astrofísica estelar tinha no total 25%. Esse aqui era de 14%. Então, a astrofísica da galáxia e meio interestelar passou a ser relativamente menos importante, embora o número de trabalhos também continue aumentando. Há uma outra razão: muita gente que trabalhava com meio interestelar na nossa galáxia agora está trabalhando no meio interestelar das Nuvens de Magalhães. Se pegarmos os últimos boletins de reuniões da SAB, isso já está catalogado como astronomia da galáxia.

Há um pouco de contradição, uma coisa que está fora da galáxia, ser classificada como dentro. Na contabilização que fiz, usei uma definição tradicional: se você está nas Nuvens de Magalhães, não está na nossa galáxia, então classifiquei como extragaláctica. Isto mostra que, de uma certa forma, muita gente que estava fazendo projetos relacionados ao meio interestelar da nossa galáxia agora está trabalhando com a Nuvem de Magalhães pequena, e uma parte com a Grande Nuvem de Magalhães.

Isso serve para explicar, em parte, porque está diminuindo. A outra explicação é que muitas pessoas realmente passaram a trabalhar com astrofísica extragaláctica. Não tenho o número para mostrar, mas a minha interpretação é essa. Nos outros dois casos anteriores, havia uma queda perceptível, mas aqui não há nenhum indício de queda. Provavelmente esse é um caminho para o futuro. As outras áreas vão continuar, mas essa vai aumentar não

só em termos proporcionais como também em termos numéricos. A área de cosmologia e relatividade é muito pequena. É difícil falar em estatística, mas também há um pico. Talvez isso seja interessante. Esse pessoal também não está muito ligado ao LNA. Então, proporcionalmente ele está aumentando, mas tenho um pouco de receio de tirar muitas conclusões a respeito, porque é uma área tão pequena que as oscilações passam a ser do tamanho das variações das demais.

Instrumentação e *software* também apresenta um indício de crescimento bem claro, mas em termos relativos está diminuindo. Não acho difícil explicar por que está diminuindo. Geralmente esses trabalhos são feitos pelos pesquisadores em associação com os técnicos, geralmente usando um instrumento, um acessório ou um *software*. Mas em termos de instituição, essa é sempre uma fração mais ou menos pequena. A partir do momento que o número de instituições aumenta, a tendência é aumentar o número de pesquisadores nessa área. Mas em termos proporcionais, dentro de uma reunião científica, isso certamente não deve ser muito importante. Então, como o número de trabalhos está aumentando nas outras áreas, é natural que esse comportamento seja observado.

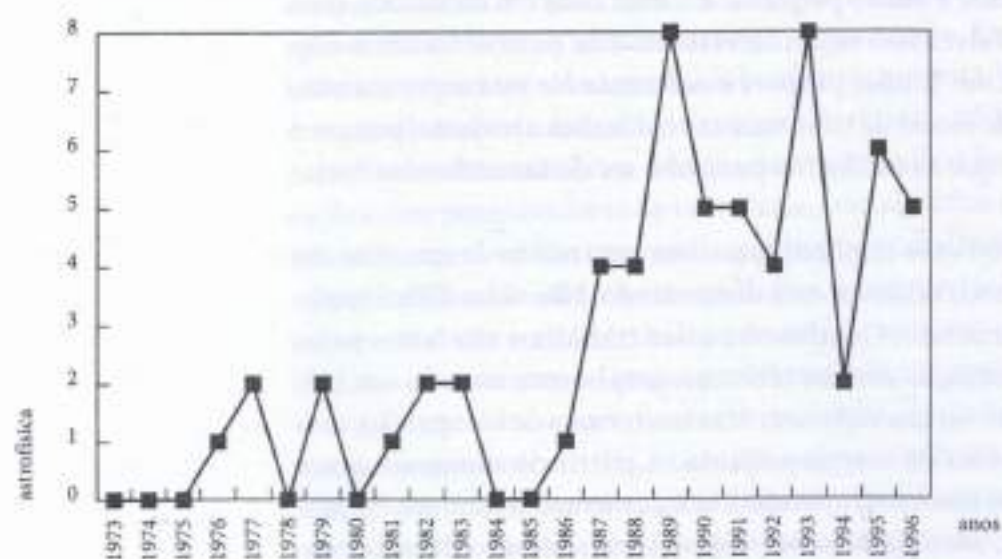
Agora acho que posso dizer que já que existe esse acréscimo de produção científica, pelas reuniões da SAB. Entre 1987, 1988 e 1989, acho difícil explicar isso com base no LNA. Onde está a explicação? Acho que ela é bastante simples, e já podemos ver, por exemplo, nesse diagrama.

Nesse diagrama, está o número de dissertações de mestrado defendidas no IAG e o número de teses de doutorado defendidas no IAG. Por que o IAG? Porque estou querendo medir o crescimento da formação de pessoal. Ora, quem faz a formação de pessoal na área de astrofísica? São três instituições: o IAG, o Observatório Nacional e o Inpe. Essas três compreendem 90% das formações. As outras instituições são importantes em termos qualitativos, mas a tendência geral não pode mudar, porque essas três é que vão definir.

Eu só tinha dados do IAG à mão. Do Observatório Nacional, eu tinha uma parte. Agora acabaram de me dar o resto. Suspeito, embora não possa afirmar, porque ainda não fiz o gráfico do Observatório Nacional, que esse resultado vai aparecer também no Instituto do Observatório Nacional.

O número de teses de mestrado oscila de uma forma bem acentuada. Não se pode dizer que haja um crescimento, mas a oscilação é muito grande. Talvez se eu fizesse 15 intervalos maiores, seria mais fácil. Mas já dá para ver o que eu queria mostrar: o número de teses de doutoramento teve um pico. Minha interpretação é que esse pico indica que deu um salto qualitativo no número de pessoas formadas, no número de doutores, isto é, o número de





peessoas que efetivamente iriam dirigir trabalhos de pesquisas deu um salto qualitativo. Também defendi minha tese aqui. As pessoas que defenderam tese em toda essa faixa são pessoas que praticamente entraram junto comigo.

No início, as coisas não eram como hoje. O Observatório Nacional, o Inpe e o IAG não tinham aquela bela estrutura que hoje têm, com uma pós-graduação bem definida, cursos bonitinhos. Os alunos chegam lá e até reclamam. Mas há 15 ou 20 anos, não havia nada disso. Os orientadores não sabiam orientar, não tinham experiência, eram pouquíssimos. Alguns eram estrangeiros, ficavam no Brasil um ano e iam embora, não dava certo.

Isso significa que, por todas essas razões, as teses demoravam muito mais a ser defendidas. Os primeiros doutores que fizeram doutoramento no Brasil tiveram muita dificuldade para terminar suas teses. Hoje em dia, isso não acontece mais. Coincidiu que, quando chegou essa fase, o número de doutores que havia se formado atingiu uma massa crítica tal que começou a produzir. Cada um deles começou a trabalhar e a pegar um ou dois alunos. Então, de repente, num intervalo de dois ou três anos, o número de doutores aumentou tanto que o número de pesquisas que seriam feitas aumentou. As pessoas começaram a dar o resultado total que a gente viu.

De lá para cá, há um crescimento. Mas como o doutoramento é uma coisa que leva de quatro a cinco anos para ser feito, eu não deveria ter feito o quadro ano a ano, eu deveria juntar em intervalos maiores. Estou mostrando isso apenas para dizer que existe um crescimento do pessoal, que é o pessoal que vai efetivamente dirigir a pesquisa.

PERGUNTA: *Nesse gráfico, vejo menos o crescimento linear do que três etapas bem distintas: até 1975 que não existe nenhuma tese; no período de 1975 a 1984, há algo em torno de uma tese por ano, por média; de 1985 em diante, pula-se para um patamar de quatro teses por ano. Esses patamares são como transições de fases.*

WALTER MACIEL: *Está correto, estou de acordo.*

PERGUNTA: *Quer dizer que, para ocorrer alguma coisa a partir de 1985, alguma coisa aconteceu por volta de 1980. Para você ter uma tese, você tem quatro anos de duração. A resposta ao seu estímulo vai ocorrer quatro anos depois. Não foram esses doutores formados nesse período de 1975 a 1984 que saíram para seus pós-doutoramento, você e seus colegas saíram, voltam e começam a ter sua produção aparecendo no gráfico?*

WALTER MACIEL: *No fundo, de uma certa forma, é isso o que estou dizendo. Estou sendo bem cuidadoso e não quero afirmar o que é causa e o que é efeito, porque já vimos que usando dados do LNA a gente se arrisca.*

PERGUNTA: *Você só vai ter a resposta alguns anos depois de implantado.*

WALTER MACIEL: *Minha conclusão é a seguinte: houve uma diferença qualitativa nesses dois períodos. Já havia um certo número de doutores. Não cheguei a falar nisso, mas todos os que contabilizei foram fazer o pós-doutoramento fora e voltaram. Então, quando voltaram, havia uma certa massa crítica tal que era multiplicada por dois ou três.*

Acho que o que explica o crescimento da produtividade é o aumento de pessoal. Esse aumento de pessoal só foi possível quando houve condições de formação desse pessoal. Aqui no Rio de Janeiro, houve muita objeção e oposição quando o Observatório Nacional começou a formar gente. Houve muita oposição. Havia pessoas que defendiam que o Observatório Nacional devia fazer pesquisa, devia deixar a formação para as universidades ou para outros grupos, sem levar em conta que, pelo menos em Astrofísica – como na maior parte das ciências básicas –, a pesquisa e a formação de pessoal são indissolúveis. Eu faço pesquisa, tenho meus alunos e dou aulas para eles. Eu aprendo com eles e eles aprendem comigo. Eu não saberia fazer de outro jeito.

Se quisermos pensar que a astrofísica deve crescer mais no Brasil, essa é uma outra questão, que não vou discutir. Nesse caso, é importante que aquelas três instituições sejam reforçadas. É importante que os jovens doutores se encaminhem para elas, mesmo que percam algum tempo. Hoje em dia, os jovens doutores nem pensam nisso. As pessoas que hoje são orientadores desses jovens doutores perderam um tempo enorme nessa fase. Porque não existia pós-graduação, não existia computador, não existia internet, não existia coisa alguma. Queríamos convidar alguém para dar um curso, escrevíamos uma carta e esperávamos um mês para ter a resposta dizendo: "Não posso". Aí escrevia-se outra carta e dali a um mês vinha outro "não posso".

Sobre a porcentagem dos trabalhos de origem observacional, talvez possamos pensar um pouquinho, olhando o diagrama das teses de mestrado e doutorado. A escala aqui é diferente, de 1981 até 1996, contando os dados do LNA. Até 1996, havia cerca de 35 teses e dissertações de mestrado. Vamos dizer que houve 25, 20 ou 25 teses de doutoramento. São dissertações de mestrado e teses de doutoramento, em função do tempo, obtidas do LNA. Esses são trabalhos cujos resultados foram essencialmente obtidos a partir de dados observacionais.

O dado do LNA é de 1989. Quando o LNA passou a ser um Instituto do CNPq, as coisas já estavam funcionando. Isso significa que, quando o LNA passou a ser uma instituição nacional, o número de teses feitas no Brasil inteiro aumentou; parece que havia, até aquele momento, alguma coisa repressada. Depois, voltou a um crescimento, a um equilíbrio.

PERGUNTA: Em 1985, o telescópio de 1,60 já estava funcionando? É mais ou menos isso?

WALTER MACIEL: Estava funcionando, no período em que se vê que o número de teses aumentou. Mas o telescópio era usado de forma restrita. É, o resultado vai aparecer em 1988, que é a tese do pessoal que estava trabalhando em 1985, no LNA, para conseguir defender tese em 1988.

PERGUNTA: É interessante porque temos estatísticas de alguns formandos do Valongo. Fizemos uma grande reforma curricular em 1983. Em 1987, esses alunos estavam sendo formados. Na nossa estatística, podemos ver que crescemos abruptamente. Cresceu a quantidade de alunos sendo formados, defendendo tese de mestrado em outras instituições, usando o LNA.

WALTER MACIEL: Eu estava falando exatamente sobre isso antes de vir para cá. Falei sobre a mudança que houve no Valongo e na qualidade dos alunos depois da reforma. Esta é uma tentativa ainda tímida para se analisar isso. Todos esses resultados de pesquisa que mostrei são resultados de teses ou de dissertações de mestrado que se podem geralmente associar a artigos publicados, por exemplo, na SAB. Esse crescimento do Valongo tem um significado, mas é um significado relativo, nunca absoluto.

Vamos supor que você tenha 200 trabalhos publicados e apresentados numa reunião da SAB. Isso não significa que irão sair 200 artigos. Isso me parece óbvio. Digamos que um trabalho de mestrado leve três anos. Então, em princípio, ele pode significar três comunicações para a SAB, em três anos consecutivos; e pode dar um artigo, talvez dois. Existe uma relação de fator dois entre trabalhos inscritos e trabalhos efetivamente publicados.

Percebe-se que há esse comportamento, depois há uma subida, para ficar mais ou menos constante. São artigos realmente publicados em revistas indexadas. A primeira coisa que podemos ver é que estão crescendo. Com o tempo, o LNA está crescendo, embora não haja nenhum pico violento, nenhuma subida a partir de 1989, mas o crescimento é contínuo. O ano de 1985 é justamente um divisor de águas. Uma tese de mestrado dá três publicações, um ou dois artigos. Dividindo-se um pelo outro, encontramos o fator 2. Se isso for verdadeiro, se eu puder extrapolar isso para as áreas que não usaram dados do LNA, posso concluir que houve também esse pico na distribuição de publicações dos pesquisadores brasileiros a partir daquela época. A meu ver, esse pico foi causado pelo sucesso na formação de pessoal.

PERGUNTA: O LNA começa em 1985. Em 1988, ele passa a ser nacional, há uma produção, e vamos supor que agora haja um número mais ou menos contínuo de trabalhos saindo. Teríamos de dizer que o equipamento chegou ao seu limite de uso de

lucros. Daí a necessidade de se ter um equipamento de mais valor para a pesquisa continuar crescendo.

WALTER MACIEL: Isso é um pouco difícil de concluir, porque não estão incluídos no diagrama do LNA os dados que foram obtidos usando-se outros telescópios. O João Steiner fez uma palestra há algum tempo e mostrou que, se pegarmos os trabalhos publicados há 20 anos e os trabalhos publicados hoje, e se virmos quantos eram de um autor só e quantos eram de dois ou três autores, em função do tempo, existe uma variação bem clara. Há 20 anos, o número de publicações de um só autor era bem grande em relação às que tinham mais de um autor. Hoje, o número de publicações com mais de um autor aumentou demais. Isso significa que as pessoas estão se juntando na mesma instituição ou em instituições diferentes, ou em países diferentes, o que ficou fácil por causa da comunicação através da rede.

Uma pessoa tem os dados de um satélite, você faz uma associação com ela, você observa a parte do óptico, ela observa no ultravioleta. Essa é uma coisa realmente muito maior. Não tenho pretensão de entrar nisso. O máximo que comecei a fazer foi verificar se a produção dos brasileiros em revista tem esse mesmo comportamento. Mas não consegui terminar, porque essa é uma tarefa muito longa.

Evitei falar sobre a história disso e dos resultados de 1970 para cá. Não falei como se chegou a isso. Há muitas outras pessoas no Brasil, no Observatório Nacional e mesmo no IAG que conhecem isso melhor do que eu. Até sugeri que convidassem o Paulo Marques, que conhece bastante disso. Uma das razões para eu colocar 1970, é que esta foi a data em que morreu Abraão de Moraes. Provavelmente, a maior parte de vocês nunca ouviu falar dele. Abraão de Moraes era um antigo diretor do Observatório Nacional e do IAG. Ele era mecânico celeste de formação. Nunca foi astrônomo. Mas, na minha maneira de ver, ele no fundo foi o pai da astrofísica brasileira. Muitas pessoas contribuíram, não vou dizer que foi só uma. Mas se eu tivesse de citar uma única pessoa responsável pelo crescimento da astrofísica no Brasil a partir dos anos 70, essa pessoa seria Abraão de Moraes. Ele é que teve a visão de juntar alguns estudantes muito bons e mandá-los para a França, para fazer doutoramento. Os estudantes voltaram e passaram a plantar a sementinha. A sementinha está aqui. Era isso que eu tinha a dizer.

PERGUNTA: Essas colaborações em que o Brasil está, a mais barata delas é de 10 milhões de dólares, só a parte brasileira. Com esses 10 milhões de dólares, o Brasil só vai usar 30% do tempo, com um telescópio de 4 metros. O ideal seria termos um bom telescópio. Mas é muito caro.

WALTER MACIEL: Existem outras saídas. Por exemplo, o Observatório Nacional está

agora implementando uma espécie de aluguel com um telescópio do ESO. Aliás, isso é uma coisa que não mencionei, mas é importante. O Chile tem os melhores sítios do mundo, mas tem meia dúzia de astrônomos. Eles têm um problema inverso ao nosso. Temos muita gente e não temos os equipamentos, nem montanhas. Eles têm morro, têm equipamentos e não têm gente

PERGUNTA: E têm céu.

WALTER MACIEL: Têm céu, têm 10% do tempo de todos os telescópios estrangeiros instalados lá, mas não usam isso, não podem usar porque não têm gente. Nessa última reunião da SAB, houve uma mesa redonda com dois chilenos que foram convidados para isso. Eles estão querendo discutir parcerias. Numa das parcerias que está sendo feita com eles, eles estão alugando um telescópio, há alguém que vai morar lá. Eles querem incentivar que as pessoas passem a ir para lá, fiquem lá, porque eles não conseguem atingir esse crescimento que tivemos em 20 anos. Eles não vão conseguir crescer. Em cinco anos, pretendem dobrar o número de pesquisadores, mas duvido que consigam.

PERGUNTA: Nos projetos, que você falou da SAB, como se articulam os países?

WALTER MACIEL: Não sou a melhor pessoa para falar sobre isso. Mas é um grande projeto. São dois telescópios de 8 metros cada um deles. Um vai ser colocado no Chile, e o outro, no Havaí. Desse projeto, os Estados Unidos têm 50%, o Canadá, 30%. Os países são: Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, sobram 5% para o Chile, 2,5% para a Argentina e 2,5% para o Brasil (5 milhões de dólares).

O Brasil entrou depois que já estava tudo pronto. Com muito custo conseguiu uma parte. Para nós, são duas semanas por ano. Os 2,5% corresponderiam a mais, são dois telescópios de 8 metros. Comparando com um desses de 1,60, isso equivale a meses de pesquisa a menos. Mas isso resolve o problema de alguns grupos, que vão fazer projetos em que eventualmente poderá ser usado esse tempo tão pequeno. Isso vai ficar pronto no começo do século XXI.

O outro projeto é um telescópio de 4 metros, que também será colocado no Chile. Esse projeto não está ainda definido, porque ainda estão conseguindo verbas. Mas é um projeto da Universidade da Carolina do Norte, em que entrou o Brasil como sócio. O Brasil será um sócio tão importante quanto os americanos. Só que, por alguma razão que não entendo muito bem, vamos ficar apenas com 30% do tempo. Enfim, é um telescópio grande, e o Brasil vai pagar 14 milhões de dólares se entrar mesmo, e também vai ser colocado lá no Chile.

PERGUNTA: E esse aluguel de um telescópio de 1,60 metros?

WALTER MACIEL: Esse é um projeto do Observatório Nacional com o ESO, já que o astrônomo deles é que vai para lá, agora este mês. Mas eles têm 6 meses do tempo desse

telescópio. O Chile tem muitos telescópios. Eles estão até fechando alguns deles, dando, vendendo, porque não compensa para os europeus terem um telescópio de 1,60 metros. Na Europa, eles querem de 3, de 4, de 5 metros, mais ou menos. Nós estamos 30 anos para trás nesse aspecto. Nosso telescópio era bom há 30 anos. Hoje, era para estarmos deixando o telescópio de 3 metros, para sairmos para um desses maiores. E não temos nem esses de 3 metros. Acho que esse foi o nosso grande erro nesses últimos 20 anos.

PERGUNTA: Mas essa parceria, de uma certa forma, compensa isso?

WALTER MACIEL: Não. Você fala desses dois projetos? Essas são coisas para o século XXI. É como se você estivesse passando de um degrau para o degrau de cima sem ter passado pelo do meio. O que a gente ganharia passando pelo meio não vamos ganhar nunca. Isso se o outro degrau der certo. Não temos tanta certeza, porque um deles é bem limitado e o outro ainda não está definido. Há muitos problemas, muitas críticas.

Muitos países têm outros projetos grandes, com telescópios de 6 ou 8 metros. Só que, na maior parte desses países, em qualquer universidade há um telescópio de 1,50 ou 2 metros. Aqui, a USP, a maior universidade do Brasil, que tem o maior departamento de astronomia, tem um telescópio de 60 cm, que está abandonado. Isso eu acho que não faz sentido. A USP devia ter um telescópio de 2 metros. O Observatório Nacional tinha de ter um telescópio de 2 metros. Houve projetos em todos esses lugares, os grupos fizeram os projetos, mas, por alguma razão, eles não deram certo.

PERGUNTA: Das principais instituições que trabalhavam com Astrofísica, as mais antigas são o Observatório Nacional, o IAG e o Valongo, que passaram pela mudança que ocorreu na astronomia dinâmica. As outras instituições, surgidas nas décadas de 1970/1980, surgiram dentro de uma astrofísica já estabelecida. Ou seja, nesse tipo de pesquisa que você fez, encontra-se, nessas três instituições, um trabalho mais concentrado em astronomia dinâmica. Você percebe alguma mudança com relação a isso?

WALTER MACIEL: Acho que o que mostrei é bem significativo do que aconteceu, que foi o seguinte: no final da década de 1960, praticamente não havia astrofísica no Brasil. O Brasil teve uma astrofísica que poderia ter sido brilhante, que fazia o Schemberg. O Schemberg, na década de 1930, fez trabalhos que até hoje as pessoas citam. Mas ninguém sabe que ele é o brasileiro Mario Schemberg. Você pergunta por aí e as pessoas pensam que ele é polonês.

Talvez houvesse uma falta de interesse. Se, na década de 1930, o Schemberg tivesse motivado meia dúzia de estudantes da USP para entrar na astrofísica, talvez essa história que começou na década de 1970 tivesse começado na década de 1950. E aí o Brasil estaria igual à Argentina. O Brasil pegou o bonde andando. Hoje, a Argentina tem astrônomos velhos, aposentados, porque eles começaram muito antes de nós. Só que nós já passamos na frente. Mas poderíamos estar muito mais adiante.

A astrofísica dessa época se perdeu aqui, no Observatório Nacional. Houve aqui alguma coisa, no começo do século, que, por alguma razão que não entendo bem, acabou sumindo. Na minha maneira de ver, isso é algo bem limitado. Há um buraco entre as décadas de 1920 e 1960. Não sei porque aconteceu. O Observatório tinha todo o pique para continuar e, de repente, saiu de um negócio, para retornar a ele mais adiante.

PERGUNTA: *Mas houve a guerra.*

WALTER MACIEL: *Mas em muitos outros lugares houve guerra também.*

PERGUNTA: *Pelo que se vê, pela documentação, o Observatório Nacional investiu mais na física através da Alemanha. Na década de 1930, o Observatório estava a ponto de importar grandes equipamentos da Alemanha.*

WALTER MACIEL: *Isso aí eu não sei.*

Pergunta: *Isso foi bloqueado.*

WALTER MACIEL: *Mesmo nessa época, houve pesquisadores brasileiros usando equipamentos não astronômicos, não científicos. Mas o que eu tinha a dizer para concluir é que, nessa época, descontando esses dois aspectos, o que houve no Rio de Janeiro, até o começo do século, e o que houve em São Paulo, na década de 1930, não teve continuidade. Havia pessoas interessadas na área de mecânica. Naturalmente elas se encaminharam para a astronomia dinâmica. Algumas das pessoas que foram para o exterior eram dessa área. E continuam até hoje fazendo esse tipo de astronomia.*

Mas não houve um aumento significativo do número dessas pessoas. Vocês podem discordar ou não, mas o que aconteceu de muito interessante no século XX, a partir da década de 1920, foi a astrofísica. Os problemas astronômicos que estão ligados à astronomia dinâmica são interessantes. Mas foi criada uma nova classe de problemas, que são os problemas da astrofísica. Acho natural que um maior número de pessoas estivesse motivado a entrar na astrofísica. Isso não aconteceu só no Brasil, mas no mundo.

Distribuição das Galáxias e o Universo

Paulo Sérgio de Souza Pellegrini

24 de outubro de 1996

Vamos seguir aqui um pouco da evolução histórica do conhecimento alcançado pelo homem com o estudo das galáxias e nossa contribuição neste assunto. Vou falar basicamente da estrutura do universo e de como as galáxias se situam dentro dele.

Desde a época de Galileu, até os dias de hoje, estamos procurando entender como é o universo em que vivemos. Qual o seu tamanho? Sucessivamente, graças a avanços tecnológicos, muitos passos importantes foram dados, ao longo do tempo. O primeiro deles foi a própria construção da primeira luneta, que acabou permitindo a Galileu ver que essa camada de aparência leitosa, no céu, que denominamos Via Láctea, é composta de estrelas. Isso, que não se podia discernir a olho nu, ficou muito claro através da luneta utilizada por Galileu.

Via Láctea: o sistema de estrelas onde vivemos



Somente cem anos depois é que o filósofo Immanuel Kant sugeriu a idéia de que a Via Láctea nada mais era do que um sistema de estrelas, onde estamos inseridos. Ele é um sistema muito achatado, como se fosse um disco, e nós o vemos, como uma faixa mais luminosa, cortando o céu. Olhando na direção do plano desse disco, vemos mais estrelas e estamos vendo essa faixa mais luminosa. Quando olhamos perpendicularmente ao plano do disco, vemos menos estrelas.

Foi basicamente dez anos depois que William Herschel começou a desenvolver um trabalho, mais sistemático, que iria levar, muito mais tarde, ao descobrimento das galáxias. Àquela altura dos acontecimentos, ninguém podia fazer qualquer idéia a respeito do que era uma galáxia. O que Herschel fazia, na época, era contar estrelas em diferentes direções no céu para determinar a forma do sistema de estrelas em que vivemos.



Forma do nosso sistema de estrelas como estimada por Herschel. O Sol é o ponto mais escuro situado um pouco à esquerda do centro do sistema.

Entretanto, alguns objetos não tinham a aparência usual de uma estrela. Eram pequenas nebulosidades que pareciam cometas, que ele precisava diferenciar das estrelas, para evitar que fossem contados. Herschel resolveu catalogar esses objetos, que chamou de "estrelas nebulosas".

Quase cem anos depois, William Parsons conseguiu realizar um novo avanço tecnológico. Com um telescópio mais poderoso, ele começou a mostrar que aquelas nebulosidades tinham uma estrutura; algumas delas pareciam ter forma espiral. E ele deu a elas o nome de nebulosas espirais.

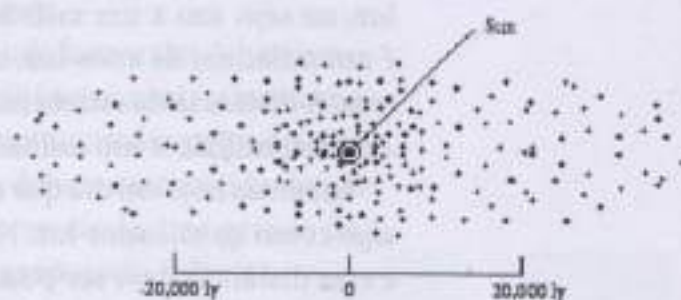
O avanço consecutivo foi o surgimento de uma técnica para medir distâncias. As distâncias, em astronomia, são um grande problema. Sempre foi, e acho que sempre será, porque, na astronomia, as distâncias são muito grandes, e os erros envolvidos nas medidas podem ser muito grandes, também.

Àquela altura dos acontecimentos, já se tinha uma boa idéia de que algumas estrelas apresentavam uma variabilidade de brilho, e eram chamadas estrelas variáveis. A variabilidade deve-se a uma pulsação da própria estrela. Para um certo tipo de estrela chamada Cefeida, há uma regularidade de

pulsção muito grande, e uma relação da frequência dessa pulsção com a luminosidade intrínseca da estrela. Quanto mais intrinsecamente brilhante ela é, mais lentamente ela pulsa. Quanto mais intrinsecamente fraca ela é, mais rapidamente ela pulsa. Essa é uma relação bem definida. Se soubermos que uma estrela é uma Cefeída e medirmos a frequência de sua pulsção, saberemos, através desta relação, qual é a sua luminosidade intrínseca. Com este parâmetro determinado e medindo-se a luminosidade observada, sabemos a sua distância.

Na virada do século, os astrônomos Hugo Seelinger e Jacobus Kapteyn já estavam mapeando o nosso sistema estelar, encontrando Cefeídas e determinando suas distâncias. Eles mapeavam essas estrelas, numa busca sistemática em várias direções. Isso permitiu um dos primeiros mapeamentos da nossa Galáxia, cujo resultado apresentado por Kapteyn, tinha a forma mostrada abaixo. Ele achava que o Sol estava mais ou menos no centro do sistema, e que a forma da nossa Galáxia devia ser bastante achatada, tendo cerca de 60.000 anos-luz de diâmetro. Esse resultado não é correto e representa praticamente a metade da nossa Galáxia onde o Sol está situado. Nem Kapteyn, nem Herschel sabiam que existe muita poeira no disco da nossa Galáxia, o que atenua fortemente o brilho das estrelas e com isso "esconde" cerca de metade do nosso sistema estelar mas não é tão absurdamente diferente daquilo que sabemos que é a Galáxia, hoje em dia. Então, Kapteyn já tinha, por volta de 1910, mais ou menos a idéia de como era a forma de nosso sistema de estrelas.

A forma da nossa Galáxia segundo o estudo de Kapteyn



Entretanto, essas pesquisas sistemáticas foram fundamentais para se compreender o universo e dar sustentação às novas idéias que iriam surgir. De fato, em 1914, o astrônomo Heber Curtis sugeriu que aquelas nebulosidades espirais, já conhecidas, não são nada mais do que galáxias idênticas à nossa, situadas a distâncias muito grandes. Grandes como algo em torno de 9 milhões de anos luz!



Imagem de uma "estrela nebulosa" (na denominação de Herschel) ou uma "nebulosidade espiral" (na denominação de Parsons)

Aqui vale a pena fazer uma observação para se mostrar como são absurdamente grandes os números com que trabalha a astronomia. Quando se fala em anos-luz, estamos falando de uma distância que a luz percorre durante um ano, numa velocidade de 300 mil quilômetros por segundo. Isso é 10 x um milhão x um milhão de quilômetros. A distância do Sol é de 18 minutos-luz, ou seja, 100 x um milhão de quilômetros. O tamanho do sistema solar é um milésimo de anos-luz, correspondendo a 40 x um milhão de quilômetros. A distância da estrela mais próxima de nós é cerca de 4 anos-luz, ou seja 40 x um milhão x um milhão de quilômetros.

Sabemos hoje em dia que a distância do Sol até o centro da nossa galáxia é algo como 40 mil anos-luz. Nós estamos mais próximos da borda da galáxia, e essa distância deve ser pouco menor que o seu raio. Hoje em dia, sabemos que uma galáxia é um sistema como mostrado na figura abaixo. Nossa galáxia tem um diâmetro aproximado de 100.000 anos-luz e sua espessura é relativamente pequena, como 15.000 anos luz.

Imagem de uma galáxia semelhante à nossa Galáxia. A posição aproximada do Sol está indicada na figura como "Sun"



PERGUNTA: *Essa é a nossa galáxia?*

PELLEGRINI: *Não, esta é uma galáxia parecida com a nossa. Embora só possamos ver a nossa galáxia a partir de dentro, podemos mapeá-la (por exemplo, em na banda de ondas rádio) e até traçar algumas de suas estruturas (como os braços espirais), obtendo uma idéia de sua forma.*

Voltando para nossa seqüência histórica, a sugestão de Curtis, de que as nebulosidades espirais seriam galáxias a 9 milhões de anos-luz, representava a existência de objetos, como a nossa galáxia, situados a uma distância de quase 10 x um milhão x um milhão de quilômetros! Na verdade, a década de 1920 foi marcada por um debate intenso de Curtis com outro astrônomo, Harlow Shapley, que defendia a idéia de que essas nebulosidades deveriam ser pequenas e podiam estar dentro da nossa Galáxia.

Essa discussão tornou-se pública em 1920, quando houve um debate entre Shapley e Curtis, promovido pela Academia de Ciências norte-americana, onde aconteceu um empate entre os argumentos apresentados pelos dois debatedores. A audiência de cientistas não saiu do debate convencida de que uma idéia era mais correta que a outra e permaneceu ainda uma grande dúvida: as nebulosidades eram locais ou eram externas à nossa galáxia?

Foi então em 1923, que veio uma grande virada neste jogo, quando o astrônomo Edwin Hubble detectou uma estrela Cefeida na nebulosidade conhecida na direção da constelação de Andrômeda. Essa é uma nebulosidade de grandes extensões. Andrômeda, vista a olho nu, tem o tamanho aproximado de um palmo de mão projetado contra o céu, com o braço esticado. Ela é muito tênue e é a galáxia mais próxima da nossa. Hubble conseguiu encontrar uma Cefeida neste sistema. Ele mediu a sua distância, e obteve cerca de

1 milhão e 400 mil anos-luz. Assim, definitivamente, sistemas como esse eram externos à nossa galáxia, pois esta tem um diâmetro muito menor (o valor aceito na época era cerca de 60.000 anos-luz, como determinado por Kapteyn). É a partir daí que estas nebulosidades passaram a ser chamadas de galáxias e reconhecidas como sistemas estelares da mesma natureza que a Via Láctea.

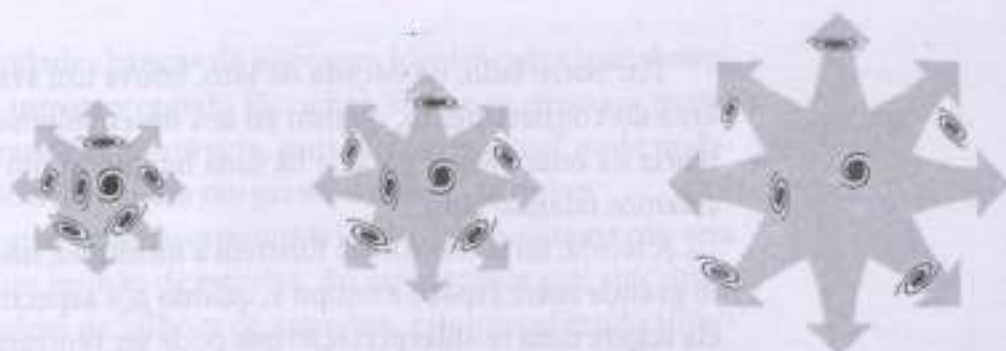


Edwin Hubble e a placa fotográfica indicando a descoberta, na nebulosidade de Andrômeda, de uma estrela variável, marcada entre dois pequenos traços e a designação "VAR", no canto superior direito

Daí em diante, Hubble começou a medir as distâncias que nos separam de várias galáxias. Um pouco antes disso, o astrônomo Vesto Slipher tinha mostrado que, quando se decompunha a luz das galáxias em seus espectros de cores, estes estavam deslocados para o vermelho, cada uma com deslocamento diferente. Embora a princípio isto não tenha sido compreendido, já se sabia, da Física (analogamente ao efeito Doppler), que se deveria esperar um deslocamento das frequências do espectro para maiores valores (no caso da luz, para o vermelho) se um objeto se afasta de nós.

Sabendo deste fato, quando Hubble mediu as distâncias para várias galáxias, ele também obteve seus espectros e demonstrou a lei básica da cosmologia moderna. Praticamente todas as galáxias estão se afastando de nós de acordo com uma lei bastante bem definida: quanto mais distante a galáxia está, maior é o deslocamento de seu espectro para o vermelho, ou seja maior é a velocidade com que ela se afasta de nós. Na verdade, todas as galáxias estão se afastando umas das outras. Essa é a lei de Hubble, que mostra que o universo está em expansão. Podemos caracterizar a expansão do universo mais ou menos como na figura abaixo. Para compreender melhor essa lei, vamos nos imaginar numa galáxia qualquer, nesta figura. Quanto mais longe uma outra galáxia está de nós, maior é a velocidade com que ela se afasta de nós.

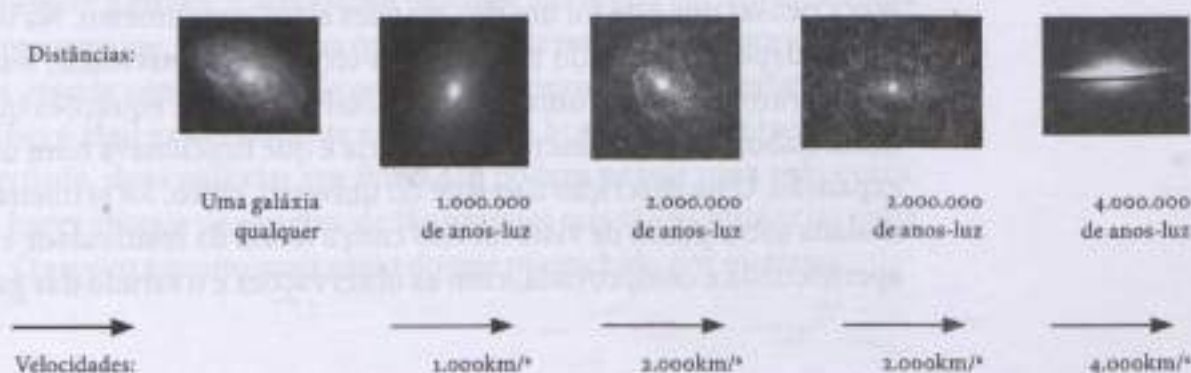
Representação esquemática da expansão do universo



Na verdade, não estamos falando apenas de movimentos, mas é o próprio espaço que está em expansão. É como se na sequência da esquerda para a direita, na figura acima, o painel mais à esquerda fosse esticado em todas as direções levando consigo as galáxias. A mesma configuração se mantém, mas há uma expansão do conjunto. Todo mundo está se afastando de todo mundo. A única forma de expansão que garante esta propriedade exige que pontos do espaço separados por distâncias maiores se afastem com velocidades maiores e proporcionais à distância entre eles. Isso sugere um evento inicial de criação do universo como se fosse uma "explosão", afastando todos os pontos do Universo.

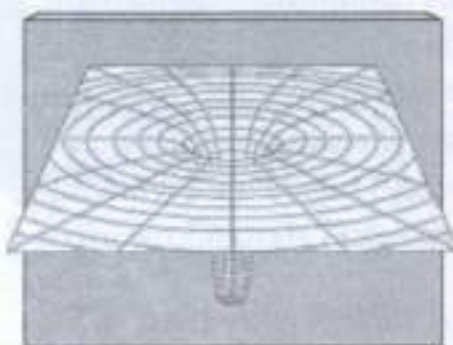
PERGUNTA: *Pode explicar isso?*

PELLEGRINI: *Uma forma simplificada para representar a expansão do universo é representá-la linearmente, por exemplo, como na figura abaixo. Suponhamos que vivemos na galáxia mais à esquerda e numa determinada direção (para a direita) vemos as 4 galáxias mostradas, que estão situadas a distâncias de 1.000.000, 2.000.000, 3.000.000 e 4.000.000 de anos-luz. Ao medirmos as velocidades com que elas se afastam, obteríamos valores na proporção 1.000, 2.000, 3.000 e 4.000 km/s, indicadas pelas setas. Essa é a lei de Hubble. Ela é uma constatação inquestionável, sendo comprovada quanto mais se continua medindo distâncias e velocidades de galáxias no universo.*



Por outro lado, na década de 1910, houve um avanço muito grande nesta área do conhecimento, quanto ao seu desenvolvimento teórico. Surgiu aí a teoria da relatividade geral, e há uma ligação muito grande entre ela e o que estamos falando aqui.

A teoria, tal como Albert Einstein a formulou, não faz uma distinção muito grande entre espaço e tempo e, quanto aos aspectos da força gravitacional, ela sugere uma re-interpretação que pode ser representada como se uma massa muito grande deformasse o espaço que está em torno dela, como na figura abaixo.



Representação da curvatura do espaço causada por uma massa

Então, considerando-se o universo como sendo o conjunto de toda a massa existente, o espaço total existente está completamente curvado sobre si e "fechado" dentro dele mesmo. O conjunto todo está em expansão, mas só existe espaço dentro do que chamamos de universo. Não existe espaço "fora" do universo. O universo é o espaço fechado em si mesmo e se expandindo.

Na verdade, Einstein, ao formular a teoria, assumiu que o universo era estático, porque era uma noção mais simples de ser trabalhada e não havia indícios de sua expansão. Mais tarde, quando ele tomou conhecimento dos resultados de Hubble, constatando que o universo está em expansão, ele chegou a pensar que este foi um dos grandes erros que cometeu. Na verdade, um pouco depois de ter sido formulada a teoria da relatividade, outros físicos mostraram que havia uma solução possível para as equações que Einstein tinha elaborado para descrever tal teoria e que funcionava num universo em expansão. Uma descrição coerente do universo, então, foi primeiramente formulada sob o ponto de vista teórico com a teoria da relatividade e mais tarde aperfeiçoada e comprovada, com as observações e o estudo das galáxias.

As galáxias são as unidades básicas do universo. Identificadas inicialmente como nebulosidades intrigantes para Herschel, elas se mostraram muito tempo mais tarde de grande importância, pois são os "pontos" onde podemos observar o universo a distâncias tão grandes quanto se possa.

Quando falamos de uma galáxia, estamos falando de um sistema que tem cerca de 100 mil vezes um milhão de estrelas. Ao estudarmos galáxias situadas até distâncias da ordem de bilhões de anos-luz, estamos obtendo informações sobre regiões do universo situadas a estas distâncias.

A origem das galáxias pode ser encontrada nos instantes iniciais do universo, entre 12 e 15 bilhões de anos atrás, quando, em sua matéria primordial, constituída de partículas elementares e distribuída de forma quase homogênea, surgiram irregularidades e pequenas aglomerações. Neste material inicial, essas pequenas aglomerações de matéria acabaram se agrupando, por gravitação, e formando "nuvens" gigantescas desse material, como no esquema mostrado na figura abaixo. A contração dessas nuvens dá origem à formação de estrelas em seu interior, formando um objeto luminoso. Se a

Esquema de formação de uma galáxia a partir de condensações de matéria do universo primordial



nuvem não tem rotação, o sistema final é de forma esferoidal; e se tem rotação, forma-se um objeto achatado como um disco.

As galáxias têm formas muito diferentes. Elas podem ser caracterizadas como elípticas, se têm uma forma regular, meio arredondada, como na figura abaixo, ou no máximo um pouco achatada. A galáxia elíptica mostrada na figura tem da ordem de 100 mil vezes um milhão de estrelas. Tudo que estamos vendo na imagem é estrela. Cada estrela percorre sua órbita particular, afetada pelo conjunto restante. Esse sistema quase não tem rotação. Embora estejamos vendo uma grande condensação de estrelas, podemos ignorar a existência de choques. Isso é algo extremamente raro, devido às grandes distâncias entre elas. Na verdade, duas galáxias em interação podem passar uma pela outra, quase sem haver choque de estrelas, de tão grandes que são as distâncias entre as estrelas. O espaço é muito mais vazio do que preenchido por matéria.



Galáxia elíptica M87

As galáxias lenticulares têm um bojo dominante, semelhante a uma galáxia elíptica, e um pequeno disco muito fraco, como na figura abaixo. Elas são um tipo intermediário entre as elípticas e as espirais.



Galáxia lenticular Sombrero

Galáxias espirais típicas são mostradas na figura abaixo. No painel superior esquerdo é possível perceber, na região central da galáxia, o seu bojo, e a ele conectado, os braços espirais que formam uma estrutura muito grande. No núcleo central, estão as estrelas da primeira geração. Quando uma galáxia se forma, suas primeiras estrelas vão preferencialmente para o centro, formando o bojo; as outras, que ainda estão se formando a partir do gás que está se compactando, se agrupam num disco, se a nuvem de gás inicial tem uma rotação significativa. Uma grande diferença de uma galáxia elíptica para uma espiral é que, na elíptica, aparentemente não há gás. Essencialmente, todo o gás que deu origem à galáxia, formou estrelas. Nas galáxias espirais, vemos um bojo, basicamente formado pelas estrelas mais velhas, e um disco, onde há estrelas mais jovens. Esses discos ainda contêm gás inicial, que ainda atualmente está dando origem a estrelas. Praticamente todas as estrelas que vemos nos braços destas galáxias são estrelas jovens, em termos astronômicos.

Galáxias espirais NGC 4414 e NGC 891. Esta última está de perfil e pode-se ter uma idéia do achatamento de seu disco



A galáxia espiral de Andrômeda (M31), a primeira que teve sua distância determinada por Hubble em 1923. Pode-se ver também duas galáxias satélites que são elípticas anãs



As irregulares não têm formas bem definidas, como exemplificado na figura abaixo. Essas galáxias, usualmente, têm muito menos massa do que as dos outros tipos, mostradas anteriormente.

Finalmente devem-se mencionar os quasares, que são objetos que têm a aparência de uma estrela, mas que por apresentarem, nos seus espectros, um deslocamento para o vermelho muito grande, são supostamente galáxias elípticas, muito brilhantes, situadas a distâncias maiores que 2 bilhões de anos luz. São objetos através dos quais podemos observar o universo distante, até cerca de 50 bilhões de anos-luz.

Galáxia irregular Pequena Nuvem de Magalhães, uma galáxia satélite da nossa Galáxia



PERGUNTA: *Essas regularidades e irregularidades têm alguma coisa a ver com a idade dessas galáxias?*

PELLEGRINI: *Em princípio, não. Pode-se considerar que todas as galáxias se formaram mais ou menos na mesma época. O que faz a diferença é a quantidade de massa que ela tem para se formar, se ela tem muita ou pouca rotação e quão rápido as estrelas se formam. Devem-se considerar essas três características ao mesmo tempo. Se, para uma determinada massa disponível para formar uma galáxia, ela tiver uma rotação significativa, ela vai se achatar formando um disco pouco denso e, enquanto isto acontece, as estrelas não se formam tão rapidamente e continuam a surgir ainda hoje. Se ela quase não tem rotação, ela só colapsa, e teremos uma galáxia de forma arredondada. Nesse caso, as estrelas se formam muito rapidamente; todo o gás vai se transformar em estrela muito rapidamente e forma-se uma galáxia elíptica. A forma de uma galáxia (se arredondada e homogênea, ou se achatada e com braços) é essencialmente determinada por essa mecânica de formação, e varia pouco com a sua idade. Uma exceção a isso é o caso de colisões de galáxias que podem alterar suas formas, usualmente resultando numa galáxia de forma elíptica.*

Como a gravitação é a força dominante no universo em grandes escalas, grande parte das galáxias apresenta uma tendência a formar pares, grupos, aglomerados e estruturas maiores. Dificilmente se pode dizer que uma galáxia está isolada; a maioria faz parte de algum sistema. Podemos mencionar vários exemplos deste fato, em diferentes escalas de tamanho:

- As duas galáxias que melhor conhecemos, a nossa e a de Andrômeda, têm dois satélites;
- A nossa Galáxia faz parte de um grupo, denominado Grupo Local, formado por cerca de 30 galáxias, das quais três têm dimensões semelhantes à Via Láctea e várias são galáxias irregulares e anãs. Na verdade, se observássemos nosso Grupo Local de uma distância muito grande, não veríamos qualquer uma dessas galáxias pequenas. É muito provável que elas sejam numerosas no Universo, mas simplesmente não conseguimos vê-las;
- A maioria das galáxias se associa em grupos, contendo entre 2 e 50 membros, e aglomerados contendo cerca de 1000 galáxias, como os mostrados nas figuras abaixo. Um aglomerado de galáxias tem um tamanho tipicamente de 9 milhões de anos-luz, ou seja, 90 x um milhão x um milhão x um milhão de quilômetros. As galáxias nestes sistemas têm uma dinâmica complexa. É possível ver no painel à esquerda que a interação gravitacional entre galáxias muito próximas causa deformações em suas estruturas. Provavelmente, muitas delas se fundem formando objetos cada vez maiores, como a galáxia

central do aglomerado mostrado no painel à direita. Alguns aglomerados ainda estão se formando. Hoje em dia, acredita-se se que as galáxias se formaram há muito tempo atrás, ou seja, muito antes dos grandes grupos onde elas se encontram. Muitos destes aglomerados e estruturas maiores ainda estão em formação.

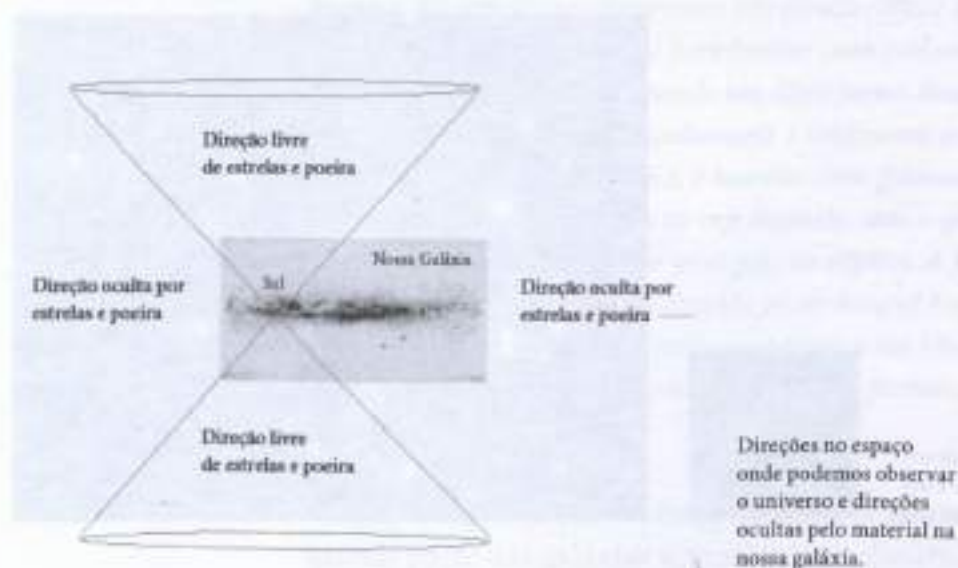
Um exemplo de um grupo de galáxias e um aglomerado de galáxias



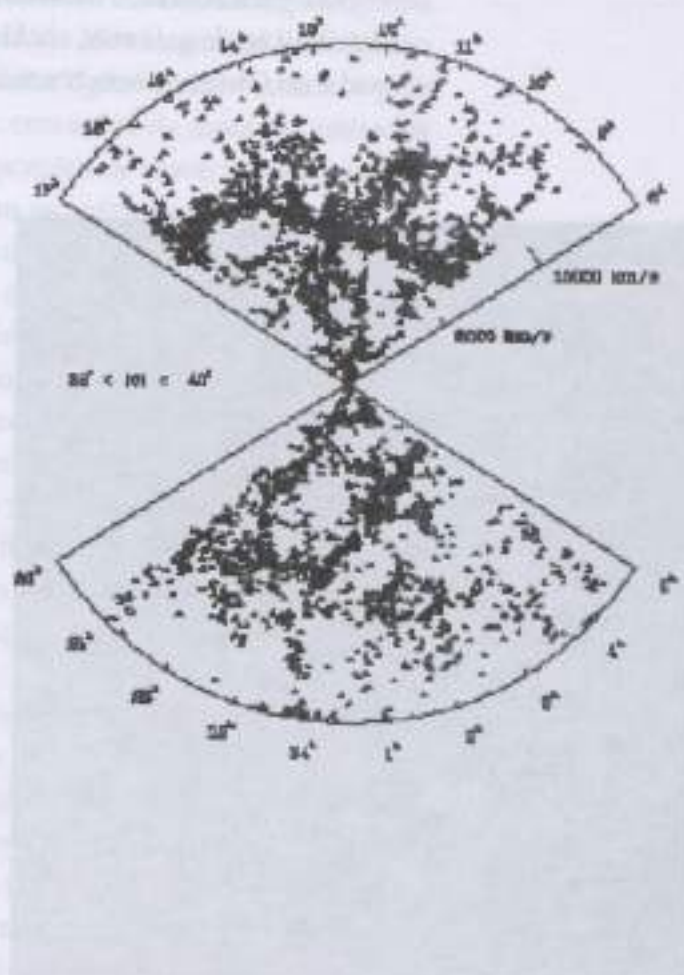
Galáxias, grupos e aglomerados estão imersos em estruturas maiores denominadas Estruturas em Grande Escala no Universo, as quais foram descobertas a partir dos mapeamentos de galáxias iniciados no final da década de 1970. De fato, em 1976 eram conhecidas cerca de 3 mil distâncias de galáxias. Com isso era possível mapear até o conjunto de aglomerados onde está o nosso Grupo Local, denominado Superaglomerado Local. Foi na virada dos anos 70 para os anos 80 que surgiu o primeiro mapeamento de galáxias que estendeu o conhecimento para distâncias bem maiores. Isso foi feito pela primeira vez no céu do Hemisfério Norte, por um grupo de astrônomos de Harvard. No início dos anos 80, através de uma colaboração que tínhamos iniciado com este grupo, construímos um instrumento idêntico ao utilizado por eles e começamos a mapear o céu do Hemisfério Sul. Nesse trabalho conjunto, que incluiu astrônomos de Harvard, do Observatório Nacional e da Universidade do Cabo, mapeamos cerca de 15.000 galáxias, cobrindo grande parte da área do céu.

Deve-se lembrar que vivemos numa galáxia tipo espiral, que tem um disco contendo estrelas e poeira, em cuja direção não podemos observar o universo distante, devido à absorção da luz por esse material. Desta forma, só

temos uma visão completa do universo, na direção de dois cones perpendiculares ao plano do disco da nossa galáxia, como no esquema mostrado na figura abaixo. Portanto, as distribuições de galáxias, mostradas nas figuras a seguir, são aquelas que observamos dentro destes cones de observação livres da absorção da nossa galáxia.



A geometria da distribuição de galáxias encontrada é exemplificada na figura abaixo, que mostra um corte ao longo de uma fatia fina, na distribuição de galáxias observada. Este corte tem espessura de 10° graus (um na direção do céu do norte e outro na direção do céu do sul) e se estende em profundidade, num volume com uma geometria de dois pedaços de pizza finos. Cada ponto na figura é uma galáxia e a profundidade é de aproximadamente 700 milhões de anos luz em cada direção. É possível perceber que as galáxias se agrupam em grandes estruturas cujas projeções parecem filamentos. Na verdade, são estruturas como grandes "paredes", das quais estamos vendo um corte.



Um corte, em fatia, na distribuição de galáxias.

PERGUNTA: Nós estamos no centro?

PELLEGRINI: (Nesta figura) Estamos no centro, olhando em duas direções opostas em fatias finas (10° graus de espessura), cortando a distribuição de galáxias em profundidade. Esta foi a distribuição de galáxias revelada com estes estudos. Algumas das pequenas condensações de pontos na figura representam aglomerados de galáxias, contendo até 1000 galáxias. Por outro lado, pode-se perceber a existência de grandes regiões desprovidas de galáxias. As grandes paredes, que chegam a dimensões de 200 milhões de anos-luz, delineiam espaços vazios de dimensões de 350 milhões de anos-luz. Resultados posteriores têm mostrado que este é o padrão da geometria da distribuição, mesmo a distâncias maiores. Podemos descrever a distribuição de galáxias no universo como algo parecido com um conjunto de células irregulares adjacentes, em cujas superfícies finas estão as galáxias, e, na parte mais interna de cada uma, não há matéria visível.

Na figura abaixo, é mostrada uma imagem, como uma fotografia de toda a distribuição de galáxias, obtida neste mapeamento feito pelos grupos de Harvard e do Observatório Nacional.



Distribuição de galáxias observada nas direções perpendiculares ao plano do disco da nossa Galáxia. A profundidade é cerca de 700 milhões de anos-luz em cada direção.

As duas maiores estruturas vistas nas duas direções diferentes são as duas grandes paredes encontradas nestes mapeamentos.

Mas, como se formam todas estas estruturas que estamos vendo? Para responder isto, temos que recorrer aos conceitos de como era o Universo inicial e descrever uma outra linha de raciocínio. A distribuição da matéria primordial do Universo era bem homogênea. E isso nós sabemos porque conseguimos perceber um remanescente desse universo primordial, que é uma radiação cósmica de fundo, na banda de microondas, que é essencialmente constante, para qualquer direção que você consiga medi-la. Essa radiação é um remanescente da explosão inicial do universo, que percorre livremente o espaço. A descoberta dessa radiação foi uma das grandes comprovações da "explosão" inicial, feita em 1965, e que deu o Prêmio Nobel para Arno Penzias e Robert Wilson.

Através dessa radiação, sabemos que o Universo era bastante homogêneo logo após sua explosão, há bilhões de anos atrás. Mas se era tão homogêneo assim, como vemos hoje um universo tão heterogêneo? Isso acontece pela ação da força gravitacional. Pequenas concentrações de matéria, causadas por atração gravitacional, deram origem a porções de matéria, que, gradativamente, atraíram mais matéria e formaram os primeiros objetos. A gravitação é responsável, ao longo de bilhões de anos, pela destruição da homogeneidade do universo inicial e pela formação das estruturas que vemos.

Na verdade, até pouco tempo atrás, persistia a dúvida se os primeiros objetos que se formaram teriam sido as galáxias, que depois se agruparam em grupos, aglomerados e paredes, ou se teriam sido formadas inicialmente as grandes estruturas, que se fragmentaram em galáxias. Essas grandes estruturas poderiam ser essas paredes que observamos. Entretanto, essa última idéia não teve muito sucesso em explicar muitos resultados observados e prevalece atualmente a idéia de que o Universo começou formando objetos de menores massas, como as galáxias, e hierarquicamente foi formando estruturas maiores.

Neste ponto podemos perguntar: este volume conhecido é representativo do universo como um todo? Estima-se que a idade do universo seja de 15 bilhões de anos. Isto significa que o raio do universo é da ordem de 15 bilhões de anos luz. Desta forma, o volume do universo mapeado por estes estudos representa cerca de um milésimo do volume total do universo. Entretanto, à medida que novos mapeamentos aprofundam o volume conhecido, (hoje em dia com mais de 50.000 galáxias mapeadas) tem-se comprovado que a distribuição que observamos representa bastante bem o padrão visto no resto do universo. Por isso, este pequeno volume que temos disponível parece ser representativo do universo e dele podemos retirar propriedades estatísticas do universo como um todo.

Na verdade, grandes avanços na parte observacional têm sido alcançados nos últimos anos, graças às novas tecnologias que têm surgido, bem como telescópios e detectores modernos e muito mais eficientes. Atualmente, um astrônomo pode medir, em alguns telescópios terrestres, cerca de 400 distâncias de galáxias simultaneamente. O maior desafio é tratar e armazenar esses dados, mais do que obtê-los com rapidez. De fato, observar o universo cada vez mais distante é sempre uma meta para a cosmologia e tem fornecido resultados interessantes. Por exemplo, como vimos aqui, já sabemos que o universo surgiu de uma grande "explosão", há cerca de 15 bilhões de anos, e pequenas homogeneidades começaram a surgir na distribuição de sua matéria primordial, que por atração gravitacional agrupou matéria, formando

galáxias. Um indício da formação de galáxias pode ser obtido com o estudo de quasares. Estes objetos são dos mais distantes que podemos observar no universo, tendo suas distâncias estimadas em até 50 bilhões de anos-luz. Isto significa que a luz que estamos observando destes objetos foi emitida há 50 bilhões de anos atrás e por isso acredita-se que um quasar é um processo de grande liberação de energia, ocorrendo em uma galáxia que acaba de se formar. Observar o universo distante é essencial para descobrir a origem e evolução das estruturas nele existentes.

Outro ponto que deve ser lembrado também é que tudo isso aqui apresentado se refere à matéria visível do universo. É sabido na astronomia, desde a década de 1930, que existe uma grande quantidade de matéria no universo que não conseguimos ver. Em 1933, um astrônomo chamado Fritz Zwicky, em seu estudo de aglomerados de galáxias, determinou a energia do movimento total das galáxias desses sistemas, que é basicamente relacionada à massa total do aglomerado. Entretanto, quando ele contabilizava a massa visível, esta era muito menor do que aquela que estava causando a dinâmica observada. Isso ficou conhecido como o problema da "massa faltante".

A astrônoma Vera Rubin também mostrou que, nas galáxias espirais, a rotação observada só pode acontecer se existe uma grande quantidade de matéria, que não vemos, envolvida na causa desse movimento. A quantidade de matéria invisível, em ambos os casos, chega a ser cerca de 90% da matéria total dos sistemas examinados, ou seja, estamos vendo apenas 1/10 da massa do universo!

Por outro lado, nos últimos anos, a física de partículas evoluiu muito e fez previsão da existência de várias partículas elementares, criadas no universo primordial, e existentes até hoje, cujas características principais são: não absorver nem emitir luz e apenas interagir gravitacionalmente. Os modelos atuais de formação de estruturas e galáxias explicam bastante bem o universo observado quando se considera que estas partículas são parte importante da matéria primordial do universo.

Esse é um ponto importante e que tem a ver com a evolução do universo. Por exemplo: sabemos que o universo está em expansão, mas isso vai continuar indefinidamente? Tudo vai depender, fundamentalmente, da quantidade de massa que existe dentro dele. Se a massa total do universo for pequena, ou seja, abaixo de um certo valor crítico conhecido, essa expansão vai durar eternamente. Neste caso, só houve um evento de criação do universo, com uma "explosão", seguida de uma expansão eterna.

Se a quantidade de massa dentro do universo for maior do que esse valor crítico, a atração gravitacional vai ser forte o suficiente para parar essa

expansão e retrocedê-la, contraindo todo o universo até concentrá-lo num volume muito pequeno, o que criará as condições para uma nova grande "explosão", seguida de nova expansão, repetindo-se tudo novamente. Esse processo não tem início, nem fim definidos. Nesse caso, não tem sentido falar de uma criação do universo, porque podem existir infinitos eventos desse tipo, para o passado e para o futuro.

Por isso tudo, é importante mapear e estudar as galáxias. Através destes estudos saberemos a origem das galáxias e estruturas que vemos no universo a sua própria evolução.

Na observação de uma galáxia você vai detectar luz, inclusive ultravioleta, e raios x. As galáxias emitem uma variedade de frequências bastante grande. Quase todas elas têm uma boa parte da sua energia liberada na forma de luz no espectro visível. Existem galáxias que emitem muita radiação no infravermelho ou rádio; existem algumas que emitem muita radiação em raios x. Os telescópios ópticos foram, no passado, os únicos instrumentos existentes. Hoje em dia, com aparelhos mais modernos, as galáxias são analisadas em diversas outras bandas de frequência.

A observação de uma galáxia passa, no início, pelo seu reconhecimento através de uma imagem, que pode ser uma placa fotográfica ou um detector de imagem mais moderno, como há hoje em dia. Quando analisamos alguma propriedade, usamos essa imagem como um todo, para determinarmos seu brilho ou estudarmos sua distribuição de luz, ou utilizarmos a luz decomposta na forma de um espectro, para obtermos, por exemplo: sua composição química, o tipo de estrela mais importante que ela tem, sua velocidade, sua dinâmica interna. Extraímos várias informações a partir do seu espectro, ou seja, da luz decomposta.

No caso da matéria escura não é assim. Não há como fazer uma observação direta. Então, como sabemos se tem matéria escura em volta de uma galáxia? No caso de uma galáxia espiral, por exemplo, que tem rotação, temos como medir a maneira como a rotação cresce desde o centro da galáxia até a sua borda visível. Se a galáxia fosse limitada ao seu disco visível, a rotação deveria diminuir em suas partes mais externas. Entretanto, quando se observa na banda rádio, percebe-se que isto não acontece e a rotação das partes mais externas continua constante. Isso só acontece se houver massa além daquela que se está vendo. É possível até determinar a distribuição dessa massa invisível.

Uma galáxia típica deve ser constituída de uma parte visível e uma outra, com dimensões cerca de 10 vezes o seu tamanho visível, formando um grande halo de matéria escura. Num aglomerado de galáxias, provavelmente os

halos de galáxias individuais estão em contato e formam um grande halo comum para o conjunto todo. As galáxias estão se locomovendo aí dentro. Sabemos, então, da existência dessa matéria escura pela dinâmica que se observa, seja ela a rotação de uma galáxia, ou o movimento das galáxias dentro de um aglomerado.

PERGUNTA: *Pode explicar a evolução dessa medida? É pela tecnologia? Dá para falar dessa evolução da tecnologia, que caminha junto com a teoria?*

PELLEGRINI: *Se colocarmos lado a lado a evolução do conhecimento observacional e a evolução do conhecimento teórico, veremos que elas caminham juntas. Dentro dessa evolução observacional, fundamentalmente, cada grande passo foi desenvolvido a partir de algum avanço tecnológico. A luneta permitiu a Galileu ver que a Via Láctea é constituída de estrelas. Daí em diante, a construção de instrumentos cada vez mais poderosos, com os quais se pudesse detectar luz cada vez mais fraca, permitiu a observação de objetos a distâncias cada vez maiores. Evoluímos de uma luneta pequena até os grandes telescópios – que, hoje em dia, têm espelhos de 8 metros de diâmetro, que permitem a observação de objetos muito distantes. Isto foi um grande avanço da tecnologia mecânica, eletrônica e óptica.*

Depois disso, os grandes avanços são representados pelos instrumentos com os quais se vai detectar alguma coisa. Até 1800, a técnica era você olhar no telescópio e registrar num desenho o que estava vendo. O surgimento da emulsão fotográfica veio contribuir para proporcionar uma medida mais precisa dos objetos estudados. Através da imagem registrada por um depósito de um composto de prata (sob efeito da luz) na emulsão fotográfica, pode-se medir, com precisão, as dimensões dos objetos e a intensidade da luz, que foi o que produziu a densidade da imagem. As emulsões foram ficando cada vez mais sofisticadas, com grãos cada vez mais finos, o que permitiu um melhor detalhamento das imagens.

No final da década de 1970, surgiram os chamados detectores de estado sólido que são conjuntos de diodo que reagem a chegada de um fóton (um elemento de luz), liberando um elétron. Os elétrons liberados desta forma podem ser medidos facilmente, através de amplificação. A contínua diminuição do tamanho dos diodos tem levado à substituição das placas fotográficas por estes detectores com a vantagem de que, com a amplificação, podem-se medir níveis de intensidade luminosa muito baixos.

Um exemplo da rapidez do avanço tecnológica nesta área pode ser dado com uma comparação da evolução do nosso trabalho iniciado em 1980 e que utilizou um detector de estado sólido com uma linha de diodos, desenhado para obter o espectro de uma galáxia de cada vez. Hoje em dia, já é muito difícil competir em mapeamentos de galáxias com os grandes grupos internacionais, que usam instrumentos mais modernos. Nestes instrumentos, é possível levar para o telescópio uma placa metálica na qual

estão acopladas fibras ópticas localizadas nas posições previamente conhecidas onde as galáxias estão, e medir 400 delas, simultaneamente.

PERGUNTA: *E os CCD (Câmera com dispositivo de carga acoplado)? São mais sensíveis do que os radiotelescópios?*

PELLEGRINI: *Eu só falei aqui, basicamente, de resultados na faixa óptica e o uso de um instrumento depende do fenômeno que você tem interesse de estudar. Entretanto, em qualquer caso, quanto maior é o diâmetro do instrumento, mais radiação pode ser captada, ou seja, quanto maior a antena de um radiotelescópio, mais eficiente ele será. Da mesma forma, quanto melhor é o receptor, mais eficientemente pode-se captar a radiação. Deve-se lembrar também que, observando-se em diferentes bandas de frequência, podemos detectar um fenômeno físico diferente do que se está observando num instrumento óptico. Uma galáxia "normal", por exemplo, não emite muita radiação na banda rádio, a não ser as galáxias com alguma atividade nuclear. Então, dependendo do fenômeno físico que se quer observar, um radiotelescópio pode ser mais adequado do que um instrumento óptico. Na verdade, o conhecimento da radiação proveniente de um objeto, em frequências diferentes, é muito importante para a sua compreensão mais ampla. O avanço tecnológico tem permitido que se façam instrumentos cada vez mais poderosos, atuando em diferentes bandas de frequência, permitindo detectar níveis de radiação cada vez mais fracos e objetos cada vez mais distantes.*

PERGUNTA: *Como fica a astronomia em relação ao Telescópio Espacial Hubble, com imagens um pouco mais nítidas? Isso vem transformar as teorias astronômicas?*

PELLEGRINI: *O Hubble tem sido uma peça fundamental para uma variedade de estudos e para a maioria das teorias desenvolvidas na astronomia. Por ele estar fora da atmosfera, é um instrumento que registra imagens mais nitidamente. Vendo-se mais nitidamente, podemos ver maior detalhamento nas imagens e observar objetos mais distantes. As imagens apresentadas pelo Hubble têm trazido algumas novidades, mas, de certa forma, têm basicamente confirmado muitas das teorias astronômicas.*

As imagens obtidas de galáxias distantes revelaram alguns aspectos diferentes com relação às galáxias mais próximas, aparentando um número relativamente maior do tipo espiral. Essas imagens fundas do Hubble mostram um Universo mais inicial e sugerem haver alguma evolução das galáxias até a época atual. O Hubble tem comprovado, com dados de melhor qualidade, muitas idéias anteriormente sugeridas e tem revelado, com maior detalhamento, as estruturas de locais de formação de estrelas, de algumas estrelas que explodem como supernovas e estrelas que têm um tipo especial de ejeção de matéria. Não era possível, até então, ver esses detalhes e eles são extremamente importantes para melhorar as teorias existentes.

PERGUNTA: *Como se identifica uma galáxia?*

PELLEGRINI: Desde a década de 1950, até hoje em dia, já existem disponíveis extensos levantamentos de objetos no céu. Em particular, dois desses foram feitos com telescópios que são verdadeiras câmaras fotográficas apontadas para o céu, obtendo imagens com exposições de cerca de uma hora, até o limite máximo que a emulsão fotográfica pode detectar. Essas placas fotográficas (de cerca de 30cm X 30cm), assim obtidas, foram copiadas em acetato, e mais recentemente também digitalizadas, e constituem arquivos de imagens que podem ser usados para identificar objetos no céu. Estrelas são sempre pontuais nessas imagens (ou apresentam uma cruz superposta, devido à óptica do telescópio) e galáxias têm forma e estrutura como nas figuras aqui mostradas.

Se você examinar uma imagem fotográfica do céu vai ter dificuldades de discernir se os objetos muito pequenos são galáxias distantes ou estrelas da nossa Galáxia. Entretanto, se você obtém um espectro destes objetos vai poder discriminar entre estrela ou galáxia por dois motivos. O primeiro é que o espectro de uma estrela é diferente do espectro de uma galáxia. O segundo é que o espectro da galáxia vai estar deslocado para o vermelho, pois ela é um objeto distante e está se distanciando de nós, seguindo a expansão do Universo.

Mas você não consegue determinar o centro do universo pelo movimento das galáxias. A analogia mais fácil que se pode fazer é com uma bola inflável, onde estão espalhadas algumas formigas e alguém está enchendo de ar esse balão. As formigas andam muito lentamente e o balão é inflado rapidamente. Como cada formiga percebe as outras formigas nesse "universo" em duas dimensões (a superfície do balão)? Ela simplesmente vai ver todas as outras se afastando dela. Essa analogia não é exata, porque, na visão tridimensional, a formiga poderia ver espaço que circunda o balão. Mas se ela não percebe isso (como nós não percebemos mais dimensões do que três), tudo o que ela vê são as suas vizinhas se afastarem. Assim é o nosso caso com as galáxias que nos circundam. Apenas vemos esse movimento relativo, com todas as galáxias se afastando de nós. Dessa forma, não se consegue determinar um centro para essa expansão.

PERGUNTA: *E se têm espectros diferentes, têm uma coloração meio esverdeada, outras são vermelho-alaranjado. Isso tem alguma coisa a ver com a distância a que elas ficam?*

PELLEGRINI: Não. Quando você olha uma imagem de uma galáxia, como as que são mostradas aqui, as cores são "falsas", são produzidas pela emulsão fotográfica ou por algum tratamento da imagem. Se você olhar para uma galáxia num telescópio, ela essencialmente vai ser branca. O olho humano dificilmente distinguirá as pequenas nuances de cor. Você não vai ver cor alguma. Por outro lado, se você trabalhar com o espectro de uma galáxia e com filtros especiais selecionando partes do espectro, você perceberá que o bojo de uma galáxia espiral é mais avermelhado, enquanto os braços são mais azulados. Isto é devido ao fato de que as estrelas do bojo são mais velhas e

emitem mais radiação na parte mais vermelha do espectro e as estrelas dos braços são mais jovens e emitem mais radiação na parte mais azul do espectro. Outro efeito que deve ser mencionado também é que, devido ao deslocamento para o vermelho dos espectros de galáxias muito distantes, sua cor total pode ser mais avermelhada. Entretanto esses efeitos na luz total são pequenos e somente são perceptíveis quando selecionados com filtros especiais.

PERGUNTA: O buraco negro seria a massa escura?

PELLEGRINI: Não. Um buraco negro é um colapso gravitacional, que pode ser de uma estrela, ou de um objeto mais massivo no núcleo de uma galáxia. Pensemos no caso de uma estrela. Durante sua evolução, estrelas de massas maiores que determinado limite passam por um evento explosivo que ejeta quase toda sua massa para o meio interestelar e sua parte mais interna colapsa, atingindo níveis de densidade extremamente altos. Nos casos de objetos de maior massa, o colapso produz um objeto com um nível de densidade tal, que a sua gravidade impede que qualquer coisa escape para o seu exterior, inclusive a luz. Este é um objeto que não será visível por luz própria, mas absorverá a luz nele incidente.

A matéria escura que foi aqui mencionada é uma partícula elementar, algo menor que elétrons ou prótons, que não interage com a radiação, ou seja, nem emite, nem absorve radiação. Ela simplesmente interage gravitacionalmente com a matéria do Universo. Ela está espalhada pelo universo todo, e não localizada e concentrada num pequeno volume, como é o caso dos buracos negros.

PERGUNTA: O sol pode se tornar um buraco negro?

PELLEGRINI: Uma estrela pra se tornar um buraco negro tem que ter uma massa superior a 2,4 vezes a massa do sol e, portanto, ele não vai se tornar um buraco negro. O sol primeiramente vai se tornar uma estrela gigante e depois vai arrefecer em luz, tornando-se uma estrela compacta, pequena e de pouco brilho, denominada anã branca.

PERGUNTA: E em relação à expansão do universo, a lei de Hubble diz que a distância é proporcional à velocidade. Isso é absolutamente linear?

PELLEGRINI: A lei pode ser aplicada de forma linear para galáxias mais próximas que 1 bilhão de anos-luz. Para as mais distantes, é necessário levar em conta a teoria da relatividade geral e utilizar uma expressão mais exata.

PERGUNTA: Agora, não no modelo observado, mas no modelo teórico, uma explosão qualquer, a explosão do universo, ela acompanha mais ou menos a explosão de uma bomba, os gases de uma bomba também se expandem. Existe uma teoria da explosão que explica essa linearidade?

PELLEGRINI: Não. A expansão do universo segue uma lei específica, como a lei de Hubble, e não é descrita como uma explosão de uma bomba.

PERGUNTA: As partículas de matéria mais afastada dão uma distância, dão velocidade maior?

PELLEGRINI: Uma galáxia não pode se deslocar no espaço com velocidade maior que a da luz, mas ela pode se afastar de nós, devido à expansão do universo (isto é, do espaço) a uma velocidade maior que a da luz. Uma galáxia se afastando a uma velocidade maior que a da luz, devido à expansão, não pode ser por nós observada, pois sua luz ainda não nos alcançou.

PERGUNTA: Existe um limite para se observar? Chega uma hora em que, quando isso aí supera a velocidade da luz, não é possível mais se observar?

PELLEGRINI: Sim. O universo observável tem um limite dado pela velocidade da luz. Além de uma distância, que pode ser calculada como a velocidade da luz vezes o tempo de vida do universo, não conseguimos observar.

PERGUNTA: É possível que, além do observável, haja mais matéria se expandindo numa velocidade maior do que a da luz?

PELLEGRINI: Pode e deve haver mais matéria, além desse limite, se expandindo com uma velocidade (em relação a nós) acima da velocidade da luz. Mas essa é uma região do universo à qual não temos acesso, pois sua luz não chegou até nós. Nos momentos iniciais do universo, a expansão pode ter acontecido com velocidade superior à da luz, mas com seus constituintes se deslocando, nesse espaço em expansão, com velocidades inferiores à da luz. Dessa forma, a proibição física de não termos objetos se movendo a velocidades maiores que a da luz, num universo causal, é satisfeita. Por outro lado, algumas regiões do universo foram separadas pela expansão e só posteriormente, com uma eventual desaceleração da expansão, poderão se ver mutuamente.

PERGUNTA: Então essa linearidade pára num ponto?

PELLEGRINI: A expressão que define a expansão deixa de ser linear à medida que observamos distâncias cada vez maiores. Sua expressão exata, que é obtida usando-se a teoria da relatividade geral, é um pouco mais complexa. O limite do universo que vemos é uma questão diferente. Este é um limite representando uma distância a partir da qual você não vê o restante do universo.

PERGUNTA: O universo observável, ele não é infinito absolutamente?

PELLEGRINI: O universo é finito, mas não tem limite. Usando a mesma analogia das formiga na bola se inflando, ela é finita, mas não tem limite. A formiga vai andar na

bola, achando que ela não tem fim. Na verdade, a bola é finita, mas devido à sua curvatura, ela não tem fim.

PERGUNTA: É de 50, 60 mil o número de galáxias observadas, mapeadas. Qual seria o limite teórico do universo, o número seria muito maior do que esse?

PELLEGRINI: As galáxias atualmente mapeadas encontram-se dentro de um volume cerca de um milésimo de volume do universo. O raio estimado para o universo é da ordem de 15 bilhões de anos-luz. O número de galáxias no universo deve ser da ordem de centenas de milhões.

PERGUNTA: É sobre a velocidade da luz?

PELLEGRINI: Essa é a configuração da expansão, mensurável até os limites mais profundos que a observação permite.

PERGUNTA: Pode-se estar perdendo um outro tipo de energia?

PELLEGRINI: É o próprio espaço que está sofrendo essa expansão. Cada galáxia pode estar parada relativamente ao espaço imediato que a circunda. Não é ela que está se movendo no espaço. O espaço está se expandindo e levando tudo consigo. Isso dá uma velocidade relativa entre nós e o resto do universo.

PERGUNTA: Se você estivesse numa outra galáxia e fosse observar a nossa, ela também estaria parada. Então, como você está vendo movimento?

PELLEGRINI: Como todo o espaço está se expandindo, se eu estivesse numa outra galáxia também veria todos os outros corpos (inclusive a nossa Galáxia) se afastando. Isto acontece porque a expansão do espaço leva todos os corpos, parados neste espaço, a se afastarem uns dos outros.

PERGUNTA: Mas se você diz que o espaço está aumentando, está ganhando energia, o que é isso? Da onde é que está vindo essa energia? A primeira coisa que alguém fala sobre energia é que ela se conserva. Quando se fala em explosão, tem que explicar: por quê? Qual a explicação que você dá para isso?

PELLEGRINI: A questão da expansão do universo, para ser analisada com exatidão, deve ser tratada dentro da Teoria da Relatividade Geral. A energia total do universo é dada pela energia de movimento de todos os seus constituintes e pela energia potencial de toda a sua massa. Essa deve ser conservada. Por outro lado, a expansão observada é decorrente de uma "explosão" inicial que lhe deu a configuração que medimos. O universo que vemos foi criado com essa energia total e com esse padrão de expansão. Você está querendo dizer que você precisa de uma fonte constante para que isso aconteça?

PERGUNTA: *Nos anos 90, diziam que havia a possibilidade de o universo ser formado por camadas de galáxias...*

PELLEGRINI: *Esse tipo de conclusão foi feita num mapeamento de uma área muito pequena do céu. A repetição disso para outras direções mostrou que esse pode ser um efeito estatístico. Escolhendo-se uma área de céu muito pequena e examinando-se em profundidade é como se estivéssemos olhando o universo através de um feixe fino. Dessa forma, detectaremos matéria quando esse feixe de observação "corta" uma parede de galáxias e não veremos nada quando esse feixe atravessa uma região vazia. Como o universo tem uma estrutura com galáxias localizadas nas superfícies de células irregulares, mas de tamanhos parecidos, como aqui mostrada, estatisticamente vamos detectar, nestes feixes de observação, galáxias nas distâncias características da dimensão destas células. Esta sugestão de distribuição de galáxias em camadas não se verifica nos mapeamentos cobrindo maior área de céu e mais fundos que têm sido feitos atualmente.*

O Observatório do Valongo e o ensino da Astronomia

Heloísa Maria Boechat Roberty

21 de novembro de 1996

Agradeço o convite e a oportunidade de falar um pouco sobre o Observatório do Valongo, em cuja direção estou há um ano, substituindo o professor Gilson Gomes Vieira. Tentarei fazer aqui uma revisão histórica do Observatório. Vamos falar um pouco da história e da criação do curso de astronomia do Observatório, do Departamento de Astronomia hoje e dos planos que temos para ele.

A revisão da história é bem rápida. Li vários artigos e livros e me ative basicamente a um artigo do professor José Adolfo S. Campos, em que ele conta a história do ensino de Astronomia. O ensino da astronomia começa como uma disciplina, em 1810, ou seja, dois anos depois que D. João chegou ao Brasil, na Academia Real Militar. A programação curricular resumia-se ao cálculo diferencial integral aplicado à física e à astronomia, mecânica celeste, ensinada segundo as obras de La Place, e métodos de determinação de latitude e longitude.

Essas aulas da Academia eram dadas na Casa do Trem (atualmente Museu Histórico Nacional), na ponta do Calabouço, aquele restaurante universitário em que ocorreu, em 1968, a morte de um estudante. Depois, as aulas passaram a ser dadas no Largo de São Francisco, onde atualmente está o Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, da UFRJ. As aulas práticas de astronomia eram dadas no terraço do prédio do Largo de São Francisco.

Em 1827, foi criado o Imperial Observatório, hoje Observatório Nacional. Em 1842, houve uma mudança, e a Academia Real Militar passou a ser Escola Militar, o que significou uma grande mudança para a astronomia. Nessa Escola Militar, já constava uma cadeira de astronomia e geodésia, e as aulas

eram dadas no Observatório Imperial. Mais de 10 anos depois, a Escola Militar passou a ser Escola Central. Criou-se o curso de engenharia civil, e as aulas de astronomia, geodésia e topologia eram dadas nesse curso, mas as aulas práticas eram no Observatório. Em 1871, o Imperial Observatório foi desligado da Escola Central, que passou a ser a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, na qual o ensino de ciências desvinculava-se da área militar, e os alunos não tinham mais aulas práticas.

Em 1876, no Imperial Observatório, trabalhava o doutor Manoel Pereira Reis, formado em engenharia. Em 1876, ele obteve o título de Astrônomo Imperial, primeiro astrônomo do Observatório, e foi designado para chefe da Comissão de Astronomia. Ele era um pesquisador, um professor e uma pessoa ativa na astronomia da época. Mas aí começaram os desentendimentos. Pereira Reis desentendeu-se com Emmanuel Liais, que era o diretor do Observatório. Houve uma briga por causa do processo usado na determinação do meridiano do Rio de Janeiro. Foi uma confusão, uma briga que durou muito tempo. Pereira Reis, sentindo-se mal no Imperial Observatório, saiu de lá e foi para a Escola Politécnica. Ali ele defendeu uma tese sobre teoria completa dos cometas e passou a ser catedrático na Escola Politécnica do Rio de Janeiro.

Como professor da Escola Politécnica, Pereira Reis conseguiu a aprovação da construção de um pequeno Observatório para as aulas práticas. Foi doado um terreno, no Morro de Santo Antônio. Os instrumentos foram doados por vários pesquisadores e instituições, e formou-se então o Observatório Astronômico da Escola Politécnica (que deu origem ao Observatório do Valongo). Assim, o do Valongo nasceu para ser um observatório-escola, o Observatório Astronômico da Escola Politécnica. Este Observatório foi crescendo, e o próprio Pereira Reis foi acertando a aquisição de instrumentos, como astrolábio, lunetas, que atualmente estão no Observatório do Valongo e fazem parte do acervo que queremos restaurar. Em 1906 e 1907, que era o Observatório da Escola Politécnica, foi reformado, e importou-se o telescópio Cooke, o nosso telescópio do Observatório, que é belíssimo.

Já em 1921, havia uma campanha de restauração e de melhoria do centro da cidade, e queriam desmontar o Morro de Santo Antônio, assim como se retirou o Morro do Castelo, onde era a Esplanada do Castelo, hoje Largo da Carioca, que ia dos fundos do Teatro Municipal até o convento de Santo Antônio. Desmontaram o morro, e o Observatório da Escola Politécnica ganhou outro terreno, no Morro da Conceição, onde ficava a Chácara do Valongo. Entre 1924 e 1926, houve a mudança para lá. Nessa época, a Escola Politécnica estava sob a direção de Paulo de Frontin, e o Observatório da Escola Politécnica passou a ser o Observatório do Valongo, nome dado pela região que ele ocupou.

Todos os instrumentos foram levados para lá. Mas na década de 1930, as atividades do Observatório começaram a se reduzir. O Observatório da Escola Politécnica, hoje Observatório do Valongo, tornou-se mais observatório-escola, para aulas práticas. Quem dava aulas eram os chamados preparadores. Cada cátedra tinha o seu preparador, e quem dava as aulas práticas era esse preparador. Em 1936, morreu o preparador-mór de astronomia, Orozimbo do Nascimento. Com a morte dele, parou-se de usar o Observatório do Valongo, que caiu no completo abandono.

Até 1958, na área do Observatório, havia criação de porcos e galinhas. Alguns instrumentos voltaram para o terraço da Escola Politécnica, para algumas aulas, mas o Observatório ficou abandonado, até a criação do curso de astronomia. Nesta mesma época, em São Paulo, Abraão de Moraes estimulava o pessoal a sair para fazer doutorado em astronomia no exterior, porque não havia astronomia nessa época, no Rio de Janeiro. O Observatório Nacional, já com esse nome, estava sob a direção de Lélío Gama; passava por uma fase de estagnação.

Em 1958, mais uma briga surgiu no Observatório Nacional, e saíram de lá dois astrônomos: Alécio Moreira Gomes e Mário Dias. Eles saíram do Observatório, foram para a Universidade do Brasil e criaram o curso de graduação em astronomia. Logo um ano depois, Luís Eduardo da Silva Machado, o professor Machado, que ficou na direção do Observatório durante anos, entrou e montou o corpo docente do curso de graduação. As aulas teóricas eram na Faculdade Nacional de Filosofia, onde estava o curso de graduação, e as aulas práticas eram dadas no Observatório.

Teve início, então, a tarefa de limpeza e de recuperação do prédio, e os instrumentos começaram a ser usados para o ensino do curso de graduação. Desde a sua formação, o curso foi constantemente bombardeado por Lélío Gama, que combateu com rigor, ferozmente, o curso de graduação. Mas aos trancos e barrancos o curso foi crescendo. De 1958 a 1960, o Observatório ficou sob a responsabilidade do doutor Eremildo Viana. Depois, a responsabilidade coube ao professor Machado. Em 1967, houve a mudança da Universidade do Brasil para Universidade Federal do Rio de Janeiro, e fez-se uma grande alteração na estrutura universitária. O Observatório do Valongo passou a ser um órgão suplementar da UFRJ, dentro do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN).

O Observatório passou a ter autonomia administrativa e o primeiro diretor foi o professor Machado. O curso de astronomia pertencia ao Departamento de Astronomia do Instituto de Geociências, e o Observatório fornecia a infra-estrutura para o funcionamento do departamento.

Entre 1967 e 1969, começou o acordo de cooperação entre o Brasil e os países do Leste, e através de troca por café diversos instrumentos de grande porte foram adquiridos, como o astrógrafo, os telescópios de 60 cm. A Condé está montada no Observatório, e o espectrógrafo está em Campinas. Já se sabia que não havia condições de se colocar esses instrumentos no Rio de Janeiro. Era preciso procurar lugar como um sítio para instalá-los. Aí o pessoal do Observatório do Valongo: o professor Machado, o professor Adolfo, o professor José Augusto e os demais começaram a escolher o sítio para colocar a Estação de Montanha. Existe uma série de relatórios contando a escolha do sítio, no início da década de 70.

Quanto à questão do sítio, é interessante porque, em 1970, eles escolheram o sítio, e em 1971 ganharam o terreno, no Pico do Dias. Levaram muita gente para colocar a pedra fundamental da Estação de Montanha, em Brásópolis. Levaram alguns instrumentos, como os astrógrafos de 50 cm, de 60 cm, e puseram-nos num galpão, próximo ao Pico do Dias.

No Observatório do Valongo, ingressei em 1970, para fazer o curso de graduação em Astronomia. Em 1971, houve uma reforma curricular no curso. Na verdade, o curso foi sofrendo reformas ao longo de sua existência.

Nessa mesma época, em 1972, o Observatório Nacional, junto com o Silvío Ferraz, também estava querendo montar um Observatório Astrofísico Brasileiro. Já tinham conseguido um telescópio de 1,60 m e queriam também colocar no Pico do Dias. Foi mais confusão, mais desavença. Aí, em 1973, parecia que tudo estava certo e que os dois observatórios, o do Valongo e o Nacional, iam compartilhar a região. No topo do Pico ia ficar o telescópio de 1,60 m; e embaixo ficaria o astrógrafo de 60cm.

Seis meses depois veio a comunicação de que o terreno havia sido desapropriado, não era mais do Observatório do Valongo. Aquilo foi um jato de água fria no pessoal do Valongo, porque eles não tinham onde colocar os instrumentos. Ficaram alijados da situação. Nisso, montaram o telescópio Condé, no próprio Valongo, e o de 60 cm, que já estava lá em Brásópolis, foi cedido ao hoje LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica). Dessa época, de 1974 até 1986, os instrumentos ficaram encaixotados e, em 1986, foram levados para Campinas, onde foram montados o astrógrafo e o telescópio de 50cm.

Em 1974, teve início a instalação do LNA e surgiu a Sociedade Astronômica Brasileira (SAB). Quase não havia pós-graduação. Disso eu sei porque acabei meu curso de graduação em 1973 e não tinha como fazer astrofísica, porque não existia pós-graduação no Rio. O Observatório Nacional não tinha nada. O pessoal ainda estava fazendo o doutorado fora.

Outro dia, conversando com o Lício, comentávamos que em 1975, se eu tivesse esperado mais um ano, teria feito a pós-graduação no Observatório Nacional. Porque foi em 1974 que comecei a fazer a minha tese de mestrado. Eu tinha vontade de continuar estudando astrofísica, mas só havia radioastronomia em São Paulo.

Foi aí que a astronomia e a astrofísica começaram a crescer com o LNA. Começaram a chegar os doutores recém-formados, eles passaram a formar grupos, a formar recursos humanos. Nessa época, o Observatório do Valongo ficou totalmente isolado da comunidade, não participava de nada e isto foi muito ruim. Mesmo assim foi-se batalhando e tentando levar.

Em 1984, nosso curso sofreu uma reforma curricular muito radical. Os alunos passaram a ter mais física e matemática, ficaram mais bem preparados e começaram a sair e a procurar a pós-graduação que estava começando a existir.

Atualmente, acho que a história da formação da astronomia é essa. O Observatório continua a ser um observatório-escola. Ele dá apoio e infra-estrutura ao curso de astronomia do Departamento de Astronomia, cuja infra-estrutura queremos melhorar muito, e estamos conseguindo alguma coisa. Há uma biblioteca, cujo prédio foi mudado recentemente.

Para quem não conhece o Observatório, aqui é o prédio principal. Aqui está a cúpula da Cooke. Aqui é o chamado mausoléu, que era o lugar onde



Prédio da biblioteca do Observatório do Valongo

o telescópio de 50cm ia ser instalado. Já havia o pedestal no centro, para colocar o instrumento. Mas como ele foi para Campinas, ficou esse espaço. Na gestão do professor Gilson, a biblioteca foi transferida para este espaço; antes estava abrigada em duas salas, que eram mais um depósito de livros. Agora ela tem cara de biblioteca, tem uma bibliotecária, está organizada e está crescendo. Temos ainda muita coisa a fazer, mas as coisas já estão sendo encaminhadas.

Embaixo é a Condé, o telescópio que também é usado agora para ensino, agora a gente está querendo desenvolver para ensino. Então, continuando, temos a biblioteca, temos agora o Laboratório de Computação, para docentes, que fica no prédio principal, em cima, e temos alguns microcomputadores e uma estação de trabalho que chegou há pouco tempo, bem como a parte de impressão.

Inauguramos esse ano o Laboratório de Informática para a graduação, onde temos todos os computadores ligados em rede. Nesse Laboratório de Informática, o professor dá aula com ensino interativo de astronomia. O professor tem o seu computador, os alunos têm os seus computadores, todos ligados à internet. Isso melhorou muito o ensino. Há pouco tempo conseguimos ligar à rede de alto desempenho da UFRJ, que está funcionando, com e-mail etc. Temos ainda o telescópio Condé, de que já falei, e estamos



Prédio principal
do Observatório de
Valongo com a cúpula
do telescópio Cooke

Cúpula do telescópio
Cooke do Observatório
de Valongo



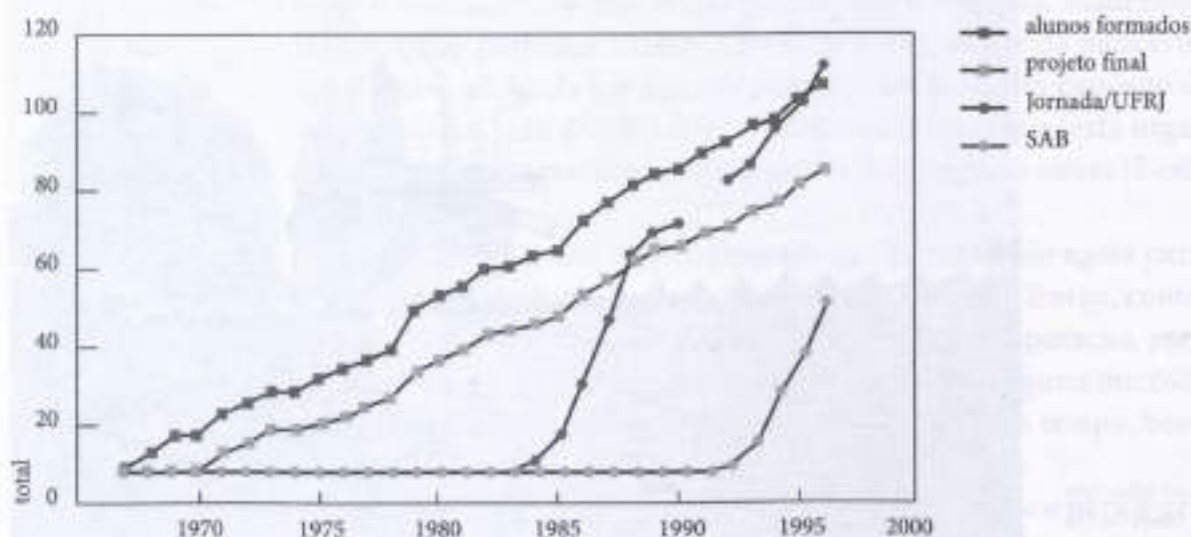
querendo colocar uma câmera CCD, equipamentos para formar um Laboratório de Fotometria, e trazer o espectrógrafo, que ainda está em Campinas, para formar aqui esse Laboratório de Fotometria. Isso é infra-estrutura.

Ainda temos o telescópio Cooke que também é um instrumento muito antigo e que precisa sofrer algum tipo de desenvolvimento, colocando-se CCD também, melhorando a cúpula. Mas há uma dificuldade de conseguir dinheiro. Esse ano, de 1996, foi um ano péssimo. Não conseguimos dinheiro para nada, só tratamos da manutenção, mesmo assim das coisas mais precárias. Temos ainda os telescópios de campo, o astrógrafo, que está em Campinas, na Estação Astronômica Municipal de Campinas. Estamos a ponto de fazer um convênio com o Inpe, para a utilização do celostato e o Pierre Kaufman está à frente disso. Eu acho ótimo, porque está lá parado, enferrujando, vai ser ótimo colocá-lo em operação.

Esse é o Observatório que dá apoio ao Departamento e ao curso de astronomia. O curso de astronomia está chefiado agora pela professora Lilia I. Arang-Prado. A coordenação do curso está com a professora Encarnación Gangels. Temos atualmente dez professores, sendo que cinco doutores. Estamos crescendo aos poucos, já temos esses cinco doutores, alguns mestres, e dois professores em doutoramento. Fazia muito tempo que não tínhamos tão poucos professores.

Esse é um gráfico que as professoras Lilia e Encarnación estão fazendo sobre o levantamento e a evolução, com professores, projetos e tudo o mais

Gráfico 1 Professores



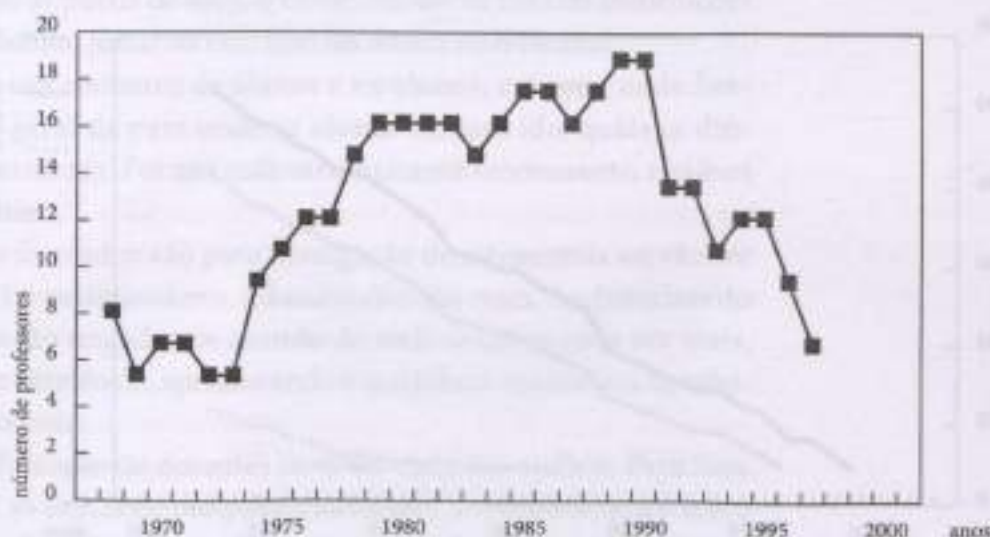
que tem no departamento. Fez-se um levantamento do número de professores por ano. Verificou-se que houve um crescimento, chegamos a ter 19 professores no Departamento. Agora estamos com dez, e como um pediu aposentadoria, vamos ficar com nove professores. São pouquíssimos.

Com essa quantidade de professores, fica difícil fazer qualquer coisa. É difícil, mas estamos batalhando. O corpo discente agora está com uma média de 60 alunos. Ingressam 30 alunos por ano. Formam-se uma média de quatro alunos. Temos um outro gráfico que mostra a evolução de alunos formados. Há 13 alunos formados em 1980, mas a média é de quatro alunos se formando por ano.

O curso, de uns tempos para cá, tem sido reconhecido, a partir de 1992. Houve até um reconhecimento público da qualidade dos cursos, ou seja, os alunos estão muito mais bem formados. Isso se deve também à abertura do Observatório do Valongo para a comunidade. Deve-se também à reforma curricular. Com a reforma curricular de 1984, os alunos passaram a ter mais física e matemática.

O curso tem sido muito bem recebido. Para se obter o título de astrônomo deve-se fazer um projeto de final de curso. Esse projeto é quase como uma monografia de mestrado. Então, o curso está quase ao nível de mestrado. Até ouvi do Ulisses que temos de tomar cuidado, porque os projetos estavam quase que em plano de mestrado. Estava havendo uma competição muito grande entre os alunos, e cada vez acabava-se mais formando alunos com doutoramento. Ou seja, os alunos estão muito bem, o curso está bem, os projetos estão muito bem. Com essa abertura, nossos alunos estão fazendo

Gráfico 2. Professores/Departamento de Astronomia/UFPA



iniciação científica, sendo que 12 têm bolsa do Observatório Nacional, três estão no Planetário e um aqui no Mast.

O gráfico mostra a evolução, o número acumulado de alunos, de projetos. O número de alunos foi crescendo. Atualmente temos 115 alunos formados, desde a criação do curso de astronomia. E aqui mostra-se a evolução. Aqui está a SAB, e foi nesse período que não houve participação dos alunos, não houve apresentação de trabalho na SAB. Só a partir de 1992 a participação começou a subir. Até então, o Observatório era muito isolado. Ele ficava ali, e a comunidade ficava em cima. Tudo o que vinha do Observatório do Valongo era negado.

Mas isso tudo mudou com muito trabalho. E depois da inserção de todos os grupos novos na comunidade, isso mudou. Há esse grupo que está querendo levantar o Observatório e estamos conseguindo bastante coisa. O principal é que nossos alunos estão sendo muito bem recebidos na comunidade. Eles entram no Inpe, no IAG, no Observatório Nacional. Eles entram muito bem em relação aos alunos de física, porque também já têm embasamento em física e porque têm astronomia desde o começo.

O gráfico mostra também o número acumulado de alunos formados, o número de projetos, e aqui começou a orientação externa dos nossos alunos, que estão sendo orientados também pelos professores do Observatório Nacional e do Inpe. Então, começou justamente aqui a haver alguma interação. Depois da mudança curricular, os alunos começaram a ser bem recebidos. Enfim, a gente tem aí a evolução do curso.

Gráfico 3 Alunos Formados

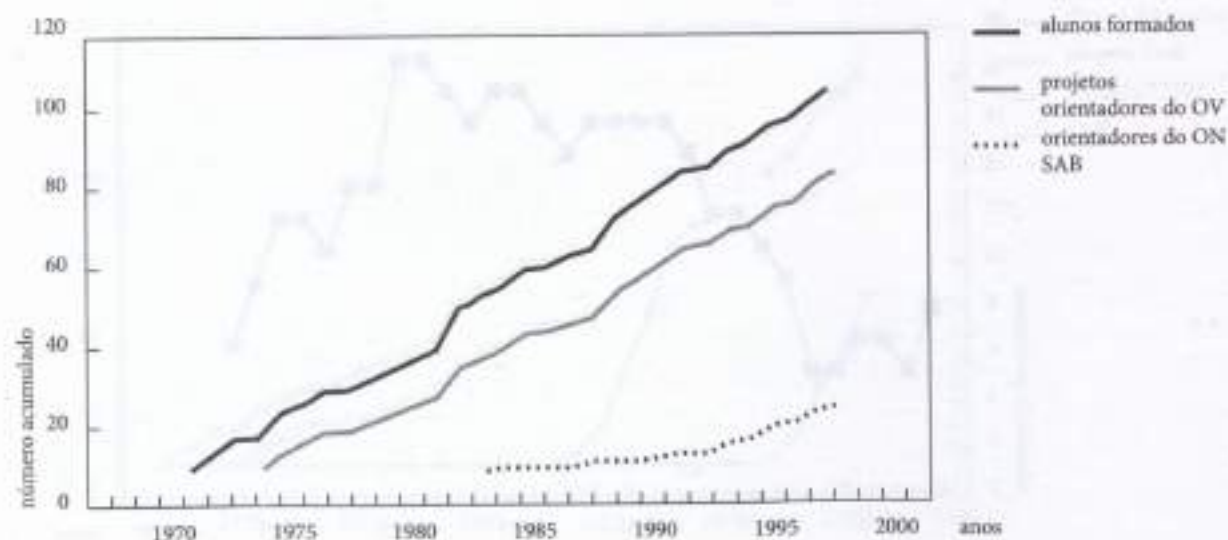
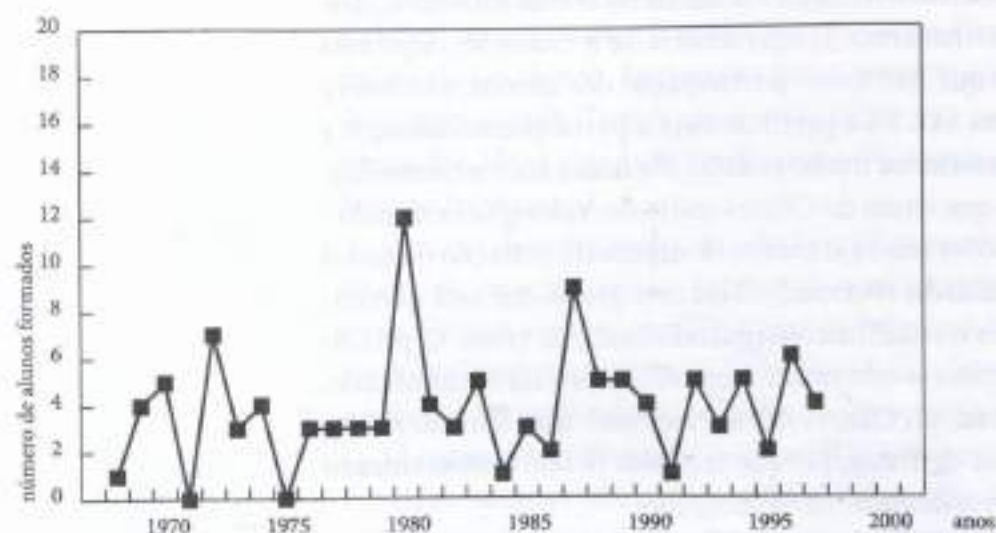


Gráfico 4 Alunos Formados



Tem mais alguma coisa que eu gostaria de salientar: até 1993, nosso curso não era considerado. A partir de 1993, o curso entrou na lista de instituições de ensino de astronomia, junto ao IAU. Isso foi muito interessante.

Houve também um encontro de alunos e ex-alunos, em 1993, onde fizemos um apanhado geral de para onde os alunos tinham ido, quais as dificuldades que encontraram. Foi um encontro bastante interessante, tiramos bastante proveito dele.

Os nossos alunos formados vão para divulgação de astronomia ou vão ser professores, ou vão ser pesquisadores. Os caminhos são esses. As diretrizes do curso de graduação são traçadas no sentido de melhorarmos cada vez mais, atingindo o nível de excelência, aprimorando a qualidade acadêmica, aperfeiçoando o quadro docente.

Acho que a qualificação de docentes deve ser cada vez melhor. Para isso, temos de fortalecer as linhas de pesquisas, aumentar a colaboração e a troca com a comunidade científica. Essas são as diretrizes. E temos alguns planos. Mas o principal é a contratação. Precisamos contratar professores e pesquisadores para conseguir realizar as atividades que queremos desenvolver, e levantar o Observatório mais ainda.

Na universidade, temos de ter atividades de extensão, atividades de ensino e atividades de pesquisa. Atividades de extensão temos algumas programadas. Primeiro, voltar a reativar a visita orientada, usando os instrumentos que temos. Depois, com vídeos, vamos ter uma coisa mais dinâmica. E, usando o Laboratório de Informática, estamos planejando a volta das visitas orientadas, de uma maneira diferente do Planetário, de uma maneira diferente do Mast, ocupando o espaço que a gente tem, que é diferente.

Quanto ao curso de extensão, foi aprovado agora um projeto Capes/Faperj, em que o Observatório do Valongo com o Instituto de Física da UERJ (com o professor Canali), montou um projeto para fazer curso de extensão para professores de 2º grau. Entramos também no programa de educação continuada da UFRJ, onde submetemos seis cursos. Durante o ano, vamos dar esses seis cursos. Esses cursos vão de 10 a 30 horas.

Estamos elaborando um curso de especialização de 360 horas. Isso já vamos fazer com a colaboração de professores externos, já que estamos com muito poucos professores. As atividades de ensino, estamos atualmente discutindo a reforma curricular. Essa reforma deve ser feita, porque usamos o Instituto de Física e Matemática, o Instituto de Física fez agora a sua reforma curricular, e mudou muita coisa. Já estávamos há muito tempo pensando em fazer uma reforma, e está na hora.

Estamos elaborando o plano de estrutura curricular com todos os deta-

lhes, com bastante cuidado, para fazer um curso mais atualizado, mais condensado, diminuído, cortando pré-requisitos de tal maneira que os alunos, por exemplo, de física, possam fazer Astrofísica-1. Uma reforma curricular no ensino é muito importante.

Além disso, estamos pensando em novos laboratórios de desenvolvimento de instrumentos, laboratórios de fotometria, laboratórios de radioastronomia para ensino. Andei conversando com o Dr. Thyrso, do Inpe, pois ele tem mais uma antena que está à disposição. Eles viriam aqui para fazer uma medida para saber qual seria a faixa de frequência que poderíamos usar lá. Fariamos um convênio, e o laboratório poderia ter um receptor feito na UFRJ, na Coppe. Além disso, os nossos alunos também podem ser treinados no LNA. Aliás, alguns já vão lá, com os seus orientadores. E essa é uma coisa que também não existia antes.

Também temos de fortalecer as atividades de pesquisa e precisamos contratar professores. Pedimos seis vagas, mas a comissão ainda não se reuniu. Mas acredito que deveremos ter pelo menos mais dois professores. Estamos pensando na contratação de professores visitantes e bolsistas de recém-doutorado, para aumentar o número de professores e trabalhar nessa parte de pesquisa.

Lá no Observatório, como a gente só tem o curso de graduação, ficamos amarrados, não podemos orientar alunos. Preparamos os alunos e os entregamos de mão-beijada. Queremos também começar a ter atividades de pós-graduação, e estamos pensando em credenciamento. Não precisa ser só no Observatório Nacional, posso por exemplo fazer credenciamento na Química se tenho projeto na Química. Ou seja, estamos buscando credenciamento de maneira a poder orientar e ter atividade de pós-graduação.

Isso tudo são os planos que temos em mente. E no futuro pensamos numa pós-graduação, quando tivermos massa crítica, professores e infra-estrutura montaremos a pós-graduação em astronomia da UFRJ. Mas isso tudo é o futuro.

É basicamente isso que o Observatório/Departamento é. Agora a USP criou um curso que se chama de Habilitação em Astronomia. Eu entrei na homepage do IAG e estava lá o curso, basicamente igual ao nosso: as cadeiras, o número de cadeiras de física, de matemática, astronomia, cursos obrigatórios. Mas é um curso de graduação que eles chamam de habilitação. Entra-se para a física e sai-se formado em Habilitação em Astronomia. Mas isso está começando agora, na USP.

Para nós foi muito interessante, porque, até 1992, nosso curso era bem combatido, porque achavam que não deveria haver curso de graduação em astronomia. Deveria haver só pós-graduação em astronomia. Mas agora a própria

USP tem. Houve um congresso da SAB em que falaram bem claramente que estávamos no caminho certo, fazendo o curso de graduação em astronomia, que realmente os alunos vêm com muito mais bagagem astronômica, pois eles já começam com a linguagem de astronomia desde o primeiro ano, e têm mais física, porque a física é necessária.

PERGUNTA: *Você citou especificamente o Lélío Gama, que combateu de início o curso. O que ele alegava?*

HELOISA: *Eles alegavam que o curso não deveria ser de graduação em astronomia. Deveria haver o curso de física e só uma pós-graduação em astronomia. Essa discussão ficou por um longo tempo.*

PERGUNTA: *Você, sendo formada em astronomia, sente as vantagens de ter sido formada astrônoma?*

HELOISA: *Acho bom, porque você tem a linguagem. O aluno que entra no curso de astronomia, no primeiro ano, está vendo física. Agora estamos mudando, para colocar mais física, vamos colocar física quântica, que não havia. A quântica era dada dentro de uma das astrofísicas. Mas agora vai ser quântica mesmo, vai ter o nome de quântica. Agora vai ter toda a física necessária.*

O aluno já começa desde o início da formação a ter a linguagem, a pensar em formação estelar, e já sai com quatro anos dessa formação. Atualmente, ele sai com quatro anos e meio e já tem outra visão. Se pegarmos depois, no mestrado, um aluno formado em astronomia e um formado em física, o de física não sabe nada de astrofísica, de astronomia. Eu acho muito diferente.

PERGUNTA: *Agora são quatro anos e meio?*

HELOISA: *São quatro anos e meio, mas estamos pensando em passar para quatro.*

PERGUNTA: *São as mesmas cadeiras da física?*

HELOISA: *Exatamente.*

PERGUNTA: *Eles são os únicos alunos que usam as disciplinas dadas para dois cursos. É um curso pesado?*

HELOISA: *São poucos os que fazem em quatro anos e meio. A maioria faz em cinco anos.*

PERGUNTA: *O pessoal da Geociência tem aula no Valongo? Tem alguma disciplina para quem é de Geografia?*

HELOISA: *Não tem. Com a reforma, queremos fazer isso. Temos de tirar os pré-requisitos. Agora há pré-requisitos, por exemplo, para astrofísica-1 tem de fazer antes*

Astronomia – I. Sem o pré-requisito, vamos poder prestar serviços para a geografia, para a física, para a química.

PERGUNTA: *Então eles não têm astronomia de posição, por exemplo?*

HELOISA: *Na Geografia, não. Porque a Geografia da UFRJ está se dirigindo para geografia humana. A UFF tem. Na Geografia há uma professora que foi formada pelo Valongo.*

PERGUNTA: *Eu fiz curso de topografia na UERJ e tinha astronomia de posição.*

HELOISA: *Isso é uma grande confusão. O curso de Geografia não ter astronomia, eu acho um absurdo. Mas nós estamos querendo mudar isso, porque o pessoal da comissão de ensino da SAB está preocupado, já se modificou em vários lugares do Brasil. Nós, particularmente, estamos querendo fazer o seguinte: ter o maior número de professores para a gente obter mais maleabilidade, para oferecer mais curso. É o meu sonho, montar um curso de licenciatura em ciências mesmo, que congregasse várias áreas, de biologia, geografia. Hoje em dia o aluno que entra na universidade para a física, para a astronomia, tira notas maiores em biologia do que em física.*

Então, o que se pode fazer é o seguinte: juntam-se três ou quatro professores que se disponham a dar cursos para as licenciaturas de Geografia, de Física, de Biologia etc. Você chega no curso e tem o professor de astronomia que vai oferecer um curso optativo para a licenciatura. Vocês não vão poder dizer "não". Isso, com o tempo, pode tornar-se uma matéria obrigatória. Queremos ir devagar, porque é muito complicado. Deve-se também tomar conta das publicações que existem em astronomia, as publicações de ensino, que são absurdas, grosseiras mesmo. Mas a comissão de ensino está cuidando disso.

PERGUNTA: *Uma dúvida: não sei se você leu o documento quando você falou de Brasópolis. Por que escolheram Brasópolis? Há uma razão forte para ser ali?*

HELOISA: *Na ocasião, era o lugar disponível em que chovia menos, era o pico mais alto.*

PERGUNTA: *Eu pergunto por causa da Mantiqueira, a Mantiqueira é enorme, tem Itatiaia.*

PERGUNTA: *Houve uma doação, também. Existia em Brasópolis um registro de dados pluviométricos muito antigo de um padre.*

HELOISA: *Era um padre que ia com seu aparelhinho e ficava medindo todo dia.*

PERGUNTA: *Era confiável, então?*

HELOISA: *Era mais ou menos confiável. Havia registros, e esses registros foram coletados e foram submetidos ao pessoal de meteorologia, da própria geociência. Levaram*

os dados para avaliação e os extrapolaram para ver o que se poderia esperar. O plano de sítio era de 1976. Eles iam montar uma estação meteorológica em Serra da Piedade. Quando o Observatório já tinha o projeto, descobriram que a Serra da Piedade não servia.

PERGUNTA: *Como é a relação do Observatório do Valongo com o do Observatório Nacional? É amistosa?*

HELOISA: *Agora é.*

PERGUNTA: *Os ex-alunos do Valongo estão no Observatório Nacional?*

HELOISA: *A própria Neide, que é professora lá, fez doutorado aqui. Mais dois professores nossos fizeram doutorado aqui.*

PERGUNTA: *Mas nessa política de pós-graduação, vocês não serão concorrentes?*

HELOISA: *Não. Nós vamos fazer tudo diferente, de uma maneira bem aberta, em colaboração com eles, numa área em que não haja conflito. Não existe mais animosidade, eles participam das atividades do Valongo.*

ISBN 85-86388-15-7



9 788586 388156

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS - MAST

Rua General Bruce, 586 - São Cristóvão

CEP 20921-030 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: 2580-7010 Fax.: 2580-7339

Ministério da
Ciência e Tecnologia

