

# **Documento da Área de Partículas e Campos para a IV Conferência de Ciência e Tecnologia**

---

**Comissão de Partículas e Campos da SBF**

**Sociedade Brasileira de Física**

**Fevereiro de 2010**

---

## Contents

<b>1. Estado da Arte</b>	<b>2</b>
1.1 Estado da Arte	2
1.2 Desafios e Perspectivas	3
1.3 O papel do Brasil na área.	7
1.3.1 Prêmios Recebidos	7
1.3.2 Atividades Teóricas	8
1.3.3 Atividades Experimentais	9
1.3.4 O Brasil na Área, em Números	9
<b>2. Relevância para a Sociedade</b>	<b>11</b>
2.1 Formação de Pessoal	11
2.2 Desenvolvimento científico e tecnológico	11
2.3 Impacto na economia	12
<b>3. Infraestrutura</b>	<b>12</b>
<b>4. Inclusão Social</b>	<b>13</b>
<b>5. Recomendações</b>	<b>14</b>

---

# 1. Estado da Arte

## 1.1 Estado da Arte

Desde tempos ancestrais os seres humanos maravilham-se com os fenômenos naturais que os cercam. Séculos de observações e experimentos delicados têm revelado quais são os blocos fundamentais da matéria e como eles interagem entre si. Estas descobertas formam a base de nossa civilização tecnológica, fundamentada na nossa compreensão de átomos, elétrons, fótons, e na teoria quântica. Todo esse grande corpo de conhecimento sobre o mundo em que vivemos, adquirido ao longo do tempo, em conjunto com observações recentes, parecem querer nos revelar questões e mistérios ainda mais profundos. Descobrimos nesses últimos dez anos, que não sabemos ainda do que é feito a maior parte do Universo. A descoberta de que a matéria escura (ME) e a energia escura (EE) dominam o Universo indica que a maior parte do cosmos não é constituída de matéria ordinária (prótons, nêutrons e elétrons) que conhecemos tão bem. Na verdade, a existência de ME já havia sido proposta por Zwicky na década de 30. Sua relevância para a formação das grandes estruturas no Universo, seu caráter exótico (matéria não bariônica), e que ela contribui com aproximadamente 22% para a massa e energia total do Universo são descobertas mais recentes e é tema de intensa pesquisa. Como discutiremos, a natureza da ME é um grande mistério e descobrir que partícula (ou partículas) a constitui é um dos grandes objetivos do Large Hadron Collider (LHC) do CERN, bem como de outros experimentos importantes. Desconhecemos também a natureza da energia escura, que contribui com  $\sim 73\%$  para a energia total do Universo e que pode ser a responsável pela expansão acelerada do Universo. Há ainda a possibilidade de que essa aceleração cósmica seja consequência de uma teoria de gravitação estendida ou ainda de teorias em que o espaço-tempo possui dimensões extras.

Um dos maiores avanços científicos realizados no século XX foi o desenvolvimento do Modelo Padrão da física das partículas elementares. Ele tem sido extremamente bem sucedido e é uma excelente aproximação na descrição das partículas elementares conhecidas e de suas interações até a escala de energia de algumas centenas de GeV. Contudo, o Modelo Padrão é incapaz de conciliar a mecânica quântica com uma das interações mais antigas conhecida pela humanidade, a gravitação. Isso impede um conhecimento mais profundo da origem do próprio Universo. Além disso, algumas descobertas recentes, como por exemplo a existência de uma pequena massa para os neutrinos, mostram que ele é incompleto e sugerem que uma nova física, além do Modelo Padrão, é necessária. Há ainda outras questões como, por exemplo, a geração das massas das partículas elementares, a origem da assimetria matéria-antimatéria ou ainda a existência de novas simetrias na natureza, como a supersimetria. Para responder a essas e outras questões fundamentais acerca da natureza do Universo são essenciais novas e mais acuradas observações cosmológicas bem como aceleradores de partículas mais potentes.

Com o início da operação do LHC e os preparativos para o International Linear Collider (ILC), a física das partículas elementares está ingressando em uma nova era. Com um significativo aumento tanto na escala de energia como na taxa de colisão, novos experimentos terão acesso direto a novos fenômenos em que estaremos explorando uma nova fronteira de energia, a escala de Tera elétron-volt. Estamos entrando em uma década

de grande excitação para a física das partículas elementares em que as descobertas e os desafios a serem enfrentados nas diversas frentes criarão uma interdependência cada vez maior entre experimentais e teóricos e entre físicos, cosmólogos, astrofísicos e astrônomos. A comunidade brasileira precisa estar preparada para esses novos tempos ampliando sua atuação e destaque no cenário internacional.

## **1.2 Desafios e Perspectivas**

### **1. Os Princípios da Natureza - Há novas leis físicas e novas simetrias a serem descobertas?**

Nossa busca pelas leis fundamentais da Natureza tem revelado que as leis da física, e as partículas governadas por elas, existem devido às simetrias da Natureza. Isto nos leva a questionar se existem ainda outras simetrias ainda não descobertas. Uma delas pode ser a supersimetria, que prevê a existência de uma companheira supersimétrica para cada partícula elementar conhecida. Parte do forte apelo teórico da supersimetria, que é um ingrediente essencial da teoria de supercordas, é sua possível conexão com a matéria escura já que ela fornece um candidato natural, o neutralino. A supersimetria pode ser descoberta em aceleradores de partículas e o LHC, o mais potente acelerador em atividade, tem experimentos dedicados à esse tipo de investigação.

### **2. As Forças Fundamentais - Existe uma teoria unificada das interações?**

Nossa compreensão das leis básicas da Natureza indicam que ao nível mais fundamental partículas e forças convergem para formar estruturas unificadas através das simetrias. Propostas como a grande unificação, ou propostas mais radicais como a teoria de supercordas, que inclui a força gravitacional, são as grandes candidatas. Além disso, a compreensão das propriedades fundamentais da teoria quântica de campos, como o confinamento dos quarks, ou o desenvolvimento de técnicas de cálculos não perturbativas necessárias para o computo de espectros de energia, ou ainda a relação de diversas teorias entre si, rotuladas genericamente como dualidades, fazem parte do grande esforço teórico para compreender as teorias que descrevem a Natureza. Um dos sete problemas do milênio, elegidos pelo Clay Mathematics Institute, e para o qual existe um prêmio de um milhão de dólares, é precisamente o problema do confinamento nas teorias de gauge.

### **2. Energia Escura - Qual a causa da aceleração cósmica?**

Nos últimos dez anos as evidências indicando a aceleração da expansão cósmica se multiplicaram. Contudo, a fonte dessa aceleração permanece essencialmente desconhecida. A explicação mais simples é associá-la à densidade de energia do vácuo ou constante cosmológica, caracterizada pelo parâmetro da equação de estado na qual a razão entre pressão e densidade de energia é constante e igual à  $-1$ . Uma alternativa interessante à constante cosmológica é um campo escalar extremamente leve que se comporta efetivamente como um termo cosmológico variável. Outra proposta, bastante explorada recentemente, é que a aceleração cósmica pode ser explicada se a teoria da relatividade geral não é adequada para descrever o universo em suas maiores escalas. Outra possibilidade para a aceleração cósmica são as teorias com dimensões extras, nas quais a matéria ordinária estaria con-

finada a uma “brana” tridimensional, que por sua vez estaria contida em um espaço de dimensionalidade mais alta, chamado de “bulk”. Das interações fundamentais, somente a gravidade poderia se propagar nessa dimensão espacial extra. Qualquer uma das alternativas acima representa uma mudança radical em nosso conhecimento sobre a matéria, a energia e o espaço-tempo. Denominamos genericamente de energia escura toda possível explicação para a aceleração cósmica, independente dela ser uma nova componente exótica com pressão negativa e gravitacionalmente repulsiva, ou uma modificação da gravitação de Einstein.

Grande esforço teórico e observacional tem sido dedicado ao entendimento da natureza da energia escura. Novos experimentos estão sendo planejados e construídos. O objetivo científico principal desses experimentos é determinar as propriedades da energia escura utilizando dados de mapas e catálogos de galáxias (e de outros objetos distantes) que serão elaborados nos próximos 10 anos. É importante que esses levantamentos tenham uma estratégia de observação que permita a combinação de diversos testes cosmológicos. Diferentes testes usualmente apresentam uma distinta sensibilidade à energia escura e estão sujeitos a diferentes erros sistemáticos. Portanto, para obtermos resultados robustos essa combinação é fundamental. Além disso, é necessário considerar tanto testes que medem a história da expansão do universo (geralmente determinada por medidas da distância de luminosidade, distância de diâmetro angular etc., como função do desvio para o vermelho, os testes cinemáticos), como aqueles sensíveis à taxa de crescimento de estruturas (os testes dinâmicos) que, em geral, é suprimida quando a energia escura começa a dominar o conteúdo cósmico. Esse último é capaz de quebrar a degenerescência entre diversos modelos, que descrevem exatamente a mesma história cosmológica do espaço-tempo de fundo. Considerar esses dois tipos de testes (cinemático e dinâmico) é crucial se desejamos descobrir se a aceleração cósmica é proveniente de uma componente exótica com pressão negativa ou de uma gravitação modificada.

Em linhas gerais, os principais objetivos da pesquisa em energia escura são: a) determinar da melhor forma possível se a aceleração cósmica é consistente com a constante cosmológica, isto é, com uma equação na qual a razão entre pressão e densidade de energia é constante e igual a  $-1$ . b) caso essa razão não seja igual a  $-1$ , determinar da melhor forma possível sua dependência com o desvio para o vermelho. c) buscar uma possível falha da teoria da relatividade geral checando a consistência dos testes cinemáticos e dinâmicos.

#### **4. As Partículas Elementares**

Hoje em dia são conhecidas 57 espécies distintas de partículas elementares e suas propriedades são compreendidas detalhadamente. Elas são agrupadas em três famílias de quarks e léptons, que diferem entre si apenas pela suas massas. Da mesma forma que a mecânica quântica levou à compreensão da tabela periódica dos elementos necessitamos de uma nova teoria que explique os padrões que encontramos para as partículas elementares. Ela deve levar a uma compreensão para a existência de três famílias e para as grandes diferenças de massa entre elas. Um estudo detalhado dos quarks e léptons nos aceleradores revelarão as pistas essenciais para a solução desses problemas.

## 5. Matéria Escura

A maior parte da matéria do Universo é escura. Sem ela galáxias e estrelas não se formariam e a vida não existiria. Observações recentes mostram que ela é completamente diferente de qualquer forma de matéria descoberta ou medida em laboratório. Do lado teórico, a supersimetria prevê a existência de partículas que interagem fracamente com a matéria ordinária fornecendo candidatos à matéria escura. É necessário estudar a matéria escura através de sua detecção direta em detectores colocados em grande profundidade como o Cryogenic Dark Matter Search, nos Estados Unidos, ou criando matéria escura nos aceleradores de partículas, onde poderá ser estudada em detalhe.

## 6. Neutrinos

Esta é uma das partículas mais elusivas e surpreendentes da Natureza. Eles interagem tão fracamente que trilhões de neutrinos passam pelos nossos corpos a cada segundo sem qualquer interação. O sol produz uma quantidade imensa de neutrinos produzidos pela fusão nuclear. Essas reações produzem um tipo de neutrino que se transmuta em dois outros tipos durante a viagem à Terra. O neutrino tem uma massa muito pequena, menos que um milionésimo da massa do elétron. A existência de neutrinos massivos requer uma física nova, talvez relacionada com a unificação. Estudos detalhados das propriedades dos neutrinos estão em andamento em diversos experimentos, tais como o Main Injector Neutrino Oscillation Search, nos Estados Unidos, e são essenciais para a compreensão de seu comportamento.

## 7. O Início do Universo

O Universo originou-se à cerca de 13.7 bilhões de anos atrás num evento cataclísmico na singularidade inicial, o Big Bang. A seguir, sofreu um período extremamente curto de expansão acelerada, a inflação cósmica, após o qual houve uma fase de expansão desacelerada e esfriamento. Várias transições de fase ocorreram moldando o Universo e deixando relíquias que são observadas ainda hoje. A compreensão do próprio Big Bang e da inflação requer novas propostas para a física fundamental, uma teoria de gravitação quântica. A reconstrução da história cósmica está sendo feita através de telescópios e satélites dedicados e também através da recriação em laboratório das mesmas condições iniciais do Universo logo após o Big Bang. Através de colisões de núcleos pesados em energias ultra-relativísticas, como as que são efetuadas no acelerador RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) nos Estados Unidos, ou as que serão efetuadas no LHC com núcleos do elemento chumbo, é possível criar um estado similar ao estado primordial que irá evoluir e passar pelas várias transições de fase da matéria nuclear como ocorreu no período de expansão inicial do nosso universo.

## 8. Antimatéria

Sabemos que para cada partícula fundamental existe uma antipartícula. No Big Bang é quase certo que a mesma quantidade de partículas e antipartículas foram produzidas. As observações atuais, entretanto, indicam que existe muito mais matéria do que antimatéria. Um pequeno desequilíbrio entre matéria e antimatéria deve ter ocorrido durante a evolução do Universo, caso contrário toda matéria e antimatéria teriam se aniquilado deixando um

Universo apenas com fótons e sem matéria. Assimetrias sutis entre matéria e antimatéria são conhecidas experimentalmente mas não são suficientes para explicar o grande domínio da matéria sobre a antimatéria. Mecanismos novos que fazem a matéria se comportar diferente da antimatéria devem existir, podendo estar conectados com novas interações além das conhecidas. Experimentalmente, este problema é abordado de duas formas. A primeira é através do estudo da quebra de simetria que poderia ocasionar este desequilíbrio entre a matéria e a anti-matéria. No LHC, o experimento LHCb é dedicado inteiramente a este estudo. A anti-matéria é também estudada através da formação e observação de núcleos e átomos de anti-matéria nos aceleradores para determinar suas características físicas. No laboratório CERN, o experimento ALPHA estuda as características do átomo de anti-hidrogênio, formado por um núcleo de anti-próton acoplado a um pósitron. No acelerador RHIC, novos núcleos de anti-matéria, como o anti-híper trítio, foram descobertos e estão sendo estudados.

## 9. Ondas Gravitacionais

Uma das previsões mais antigas da teoria da relatividade geral é a existência de ondas gravitacionais. Da mesma forma que cargas elétricas aceleradas geram ondas eletromagnéticas, massas em movimento produzem ondas gravitacionais. A intensidade dessas ondas é extremamente pequena e requer o uso de técnicas extremamente sofisticadas para a sua detecção. Existem várias antenas gravitacionais em operação, como o LIGO, Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory, nos Estados Unidos, que utiliza a interferência de lasers, ou o Detector de Ondas Gravitacionais Mario Schenberg, no Brasil, que utiliza uma esfera ressonante. O objetivo desses detectores é medir as polarizações, frequências e amplitudes de ondas gravitacionais dando início a um novo tipo de astronomia usando ondas gravitacionais.

## 10. Dimensões Extras

Nos últimos anos, a hipótese da existência de dimensões extras teve um grande impulso porque os testes clássicos, do tipo Eotvos, impôs que modificações da lei gravitação de Newton só podem existir para distâncias menores do que alguns milímetros. Esta ordem de distâncias corresponde a uma energia de alguns TeV, que é próximo a energia do acelerador LHC. Caso algum fenômeno exista nestas distâncias poderíamos ter um sinal tanto em aceleradores como em experimentos do tipo Eotvos. Um conceito revolucionário da teoria de supercordas é a unificação de todas as forças e partículas fundamentais da Natureza como diferentes formas de vibração de pequenas cordas. A consistência matemática da teoria requer a existência da supersimetria e de dimensões extras. A existência de dimensões extras pode se manifestar tanto na área de partículas elementares como na cosmologia e a detecção de sua existência, de seu número e de seu tamanho são essenciais.

## 11. Potencial Contribuição Brasileira

A área da física das partículas elementares e teoria de campos passa por um período de grande atividade, não só pelos grandes avanços nas diversas teorias como também pelo grande conjunto de resultados científicos que foram obtidos recentemente. Mais ainda,

existe hoje uma integração maior entre as diferentes subáreas da física de altas energias, onde por exemplo, os conhecimentos obtidos dos experimentos de aceleradores contribui na análise de dados de raios cósmicos, ou os dados obtidos em experimentos de astrofísica e cosmologia abrem novos testes para serem efetuados em aceleradores. Esta integração entre as diferentes áreas acelera o processo de evolução do conhecimento e aumenta mais ainda as atividades desta área de conhecimento. Com o início das operações do acelerador LHC e o amadurecimento das análises de dados de outros experimentos como o Pierre Auger e os experimentos do FERMLAB e RHIC, esperamos um período de atividade maior ainda com novas descobertas e a abertura de novas fronteiras de estudos. A participação efetiva de pesquisadores brasileiros é fundamental para que possamos continuar a fazer parte deste período de descobertas, e possibilitar a manutenção de nosso programa científico na fronteira do conhecimento. Dentro deste contexto, é de vital importância que se mantenha uma política científica que permita a participação contínua dos brasileiros nos grandes centros teóricos e experimentais, não só de pesquisadores doutores como também de alunos que irão formar a próxima geração de pesquisadores. Existe também a necessidade de uma flexibilidade maior nas formas de fomento e apoio à pesquisa para que se adaptem à nova realidade de participação nas grandes colaborações internacionais. Além do apoio à atividade externa, para fixar e aumentar de forma efetiva a participação brasileira nesta área é necessário desenvolver núcleos e centros de pesquisas especializados em instrumentação, transferência de tecnologia e gestão de TI.

### **1.3 O papel do Brasil na área.**

A física brasileira nasceu com os trabalhos pioneiros na área da física das partículas elementares na década de 40. Nomes como Gleb Wataghin, Guido Beck e seus descendentes científicos, como César Lattes, Mário Schenberg, Marcelo Damy de Souza Santos e Leite Lopes, para citar uns poucos, difundiram e sedimentaram a área no Brasil. Hoje em dia temos uma grande comunidade cujo trabalho dá prosseguimento às linhas iniciadas pelos patriarcas da física brasileira. A seguir descrevemos as atividades desenvolvidas nos anos recentes e as perspectivas para o futuro.

#### **1.3.1 Prêmios Recebidos**

Os trabalhos realizados no Brasil tem recebido reconhecimento no exterior não só através da publicação em revistas de prestígio mas também através de prêmios recebidos por nossos pesquisadores. Esse é um indicador bastante importante da qualidade dos trabalhos desenvolvidos no Brasil. Listamos, a seguir, alguns desses reconhecimentos recebidos nos últimos cinco anos.

- Em 2009 o prof. Nathan Berkovits do IFT/Unesp foi agraciado com o TWAS Prize in Physics da The Academy of Sciences for the Developing World pelo seu trabalho com espinores puros na teoria de supercordas.
- Na área de fenomenologia das partículas elementares o prof. Gustavo Burdman do IFUSP foi agraciado com uma Guggenheim fellowship em 2009.



- Na área de gravitação e cosmologia o prof. G. Matsas do IFT/Unesp recebeu o prêmio de Outstanding Referee da American Physical Society.
- Na área de gravitação e cosmologia o prof. Saulo Carneiro da UFBA ficou em segundo lugar no ano de 2009 na competição de trabalhos originais promovido pela Gravity Research Foundation.
- Diversas menções honrosas do Gravity Research Foundation foram concedidas à trabalhos brasileiros: Odylio D. Aguiar do INPE e R. M. Marinho do ITA em 2009; R. Maier e I. Damião Soares ambos do CBPF em 2009; R. Aldrovandi e J. G. Pereira ambos do IFT/UNESP em 2008; H.P. de Oliveira da UERJ, I. Damião Soares do CBPF e E. V. Tonini do CEFET-ES em 2006, 2007 e 2008; A. Accioly do CBPF, R. Aldrovandi e R. Paszko do IFT/UNESP em 2006; Saulo Carneio da UFBA em 2006.

### 1.3.2 Atividades Teóricas

Existem grupos de pesquisa espalhados pelo Brasil nas mais diversas áreas da pesquisa teórica. O grupo de teoria de cordas do IFT/UNESP tem destaque internacional graças à sua proposta de formulação da teoria de supercordas utilizando espinores puros. Existem outros grupos que estudam vários aspectos da teoria de cordas: no IFUSP há um grupo interessado na integrabilidade e na correspondência AdS/CFT, na UFRJ há interesse na correspondência AdS/CFT aplicado à QCD e o estudo de branas no contexto cosmológico ocorre na UnB e UFCG. O estudo da teoria quântica de campos também merece destaque. Existem grupos na UERJ, IFT/Unesp e USP-São Carlos dedicados ao estudo de aspectos não perturbativos das teorias de gauge que também tem recebido atenção internacional. Ainda no IFUSP, CBPF, UFRJ, UFBA e UFPA existem grupos que se dedicam ao estudo de várias propriedades das teoria quânticas de campos, inclusive o problema do confinamento e o efeito Casimir. Pesquisas em teoria quântica de campos em espaços-tempos curvos tem sido realizadas no IFT/Unesp, USP, USP-São Carlos, UNICAMP e UFPA. Teorias de campos não-comutativas, supersimétricas ou não, também são objeto de estudo principalmente no IFUSP, UFRGS, UFRJ, CBPF, UFPB, UnB e UFABC. A dualidade entre teorias de campos é estudada no IFUSP, UFRJ, CBPF, UFPB, Unesp-Guaratinguetá, UFCE e UFMA. Diversos aspectos matemáticos das teorias de campos são estudados no CBPF, IFT/Unesp, UFF, UFPB, UnB, UFBA, UFPA e USP-São Carlos. Estudos sobre relatividade geral e gravitação, com ênfase na física de buracos negros e referenciais acelerados tem sido desenvolvidos no IFUSP, UNICAMP, IFT/Unesp, USP, USP-São Carlos, CBPF, UERJ, UFABC, UNICAMP e UFPA. Mais recentemente o estudo da violação da simetria de Lorentz tem ocupado diversos grupos no IFUSP, UFRJ, UFPB, UFF, UFES, UFCG e UFMA. Os grupos teóricos mantém uma intensa atividade na organização de workshops, escolas à nível de pós-graduação e conferências tópicas, inclusive, trazendo para o Brasil várias conferências internacionais tradicionais.

As melhores contribuições brasileiras na fenomenologia da física de partículas nos últimos tempos foram os estudos dos mésons escalares (em particular do méson  $\sigma$ ) envolvendo pesquisadores do CBPF; extensões do modelo padrão no IFT/Unesp e a fenomenologia de oscilações de neutrinos, na PUC-RJ, IFUSP e UNICAMP.

### 1.3.3 Atividades Experimentais

Existem grupos de pesquisa no Brasil participando dos principais experimentos de fronteira da física de altas energias. Através da participação direta nas colaborações destes experimentos, pesquisadores brasileiros contribuem de forma efetiva tanto na área de desenvolvimento tecnológico de instrumentação como também em softwares de análise e processamento de dados e estudos de problemas científicos de fronteira. Os grupos brasileiros têm acesso direto aos principais centros de pesquisa e laboratórios mundiais como o FERMI-LAB e o Brookhaven National Laboratory nos estados Unidos, o CERN na Europa e o Laboratório Pierre Auger na Argentina. Aqui no Brasil, os grupos interagem com a iniciativa privada para a implementação de novos centros de excelência como o laboratório aberto de instrumentação montado no CBPF e o centro de computação de alta performance do GRID, montado em várias instituições de São Paulo e do Rio de Janeiro. A interação com a iniciativa privada se estende também ao desenvolvimento de produtos, como o exemplo das lentes óticas do experimento Pierre Auger, que foi projetado como parte de um programa de doutorado e implementado e fabricado por uma empresa da cidade de Indaiatuba em São Paulo. Além das lentes óticas, o experimento Pierre Auger desenvolveu em parceria com a indústria brasileira os tanques detectores do experimento que estão operando no altiplano argentino.

Além do ganho científico da participação direta dos pesquisadores brasileiros nas análises de dados e nas descobertas científicas que foram obtidas nestes experimentos, com a produção de artigos científicos nas principais revistas de prestígio e de grande impacto, como Science e Nature, as atividades dos grupos experimentais é também bastante ativa na área de divulgação científica e programas de extensão universitária e complementação dos programas de graduação e pós-graduação. Além dos diversos workshops, escolas de aperfeiçoamento, e seminários de divulgação, existem programas especiais de divulgação e extensão como o programa Helen do laboratório CERN que permitiu que alunos de graduação efetuassem estágios prolongados no acelerador LHC e nos seus experimentos.

Para melhorar a interação entre os diversos grupos experimentais do Brasil, e auxiliar na cooperação dos diversos programas em andamento, foi criada uma Rede de Cooperação em Altas Energias coordenado diretamente pelo MCT.

A detecção de ondas gravitacionais vem sendo desenvolvido no Brasil através do detector Mario Schenberg, que utiliza uma antena esférica instalado no IFUSP. Este detector, quando plenamente operacional, poderá determinar a direção e a polarização, além da amplitude das ondas detectadas na faixa de frequências em torno de 3,2 kHz. Existe um ampla colaboração com grupos de matéria condensada, envolvendo criogenia, supercondutividade e nanotecnologia, para o desenvolvimento desta antena.

### 1.3.4 O Brasil na Área, em Números

No Brasil existem cerca de 470 professores que orientam cerca 350 estudantes de doutorado, além de cerca de 50 pós-docs, assim distribuídos entre suas quatro sub-áreas:

	Teoria de Campos	Cosmologia e Gravitação	Fenomenologia	Experimental
Professores	40%	25%	20%	15%
Pós-docs	44%	35%	8%	13%
Doutorandos	40%	30%	19%	11%

Nota-se uma grande concentração nas áreas mais teóricas de teoria de campos e gravitação. Este desequilíbrio não é salutar para a área e só poderá ser desfeito com a consolidação dos grupos de pesquisa experimentais que poderão então atrair mais jovens para a área.

A distribuição geográfica dos pesquisadores é a seguinte:

Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
3%	13%	3%	69%	12%

É notável a grande concentração dos grupos de pesquisa na região sudeste. Estes números já foram piores mas melhoraram graças aos esforços que o governo federal vem fazendo, garantindo uma quantidade mínima de recursos às regiões mais desprovidas. Essas medidas devem ser continuadas e novos incentivos devem se dados para os grupos que desejam se fixar em tais regiões.

Por fim, a distribuição dos pesquisadores por tipo de instituição (federal, estadual ou privada) é a seguinte:

Federal	Estadual	Privada
71%	22%	7%

Deve ser destacado que temos obtido um enorme avanço na formação de pessoal. Nossos melhores estudantes, assim que concluem o doutorado, podem competir com estudantes estrangeiros, em condições de igualdade, na obtenção de posições de pós-doutores em instituições renomadas, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa.

De uma forma geral, os grupos de teoria de campos tem mantido um nível de excelência e de competitividade muito bom, com publicações nas revistas de mais alto impacto na área. Uma agregação maior entre os mesmos é desejável a fim de aumentar a visibilidade internacional. Isso pode ser obtido através da formação de redes ou de um instituto nacional.

Na área experimental, a estratégia para o aumento da relevância brasileira deve ser o de agrupamento dos experimentais de altas energias em poucos grupos e a formação de fenomenólogos atrelados exatamente aos experimentos em que estes grupos estarão atuando, requerendo, portanto, a formulação de uma política científica para a área. A ordenação de uma política científica neste sentido já vem sendo iniciada pela formação da RENAFAE, a Rede Nacional de Física de Altas Energias. A RENAFAE coordena as atividades dos diferentes grupos experimentais para aumentar a cooperação entre os mesmos e

melhorar a difusão de recursos e resultados. Outro ponto que deve ser mencionado é a diversidade da participação brasileira nos experimentos de altas energias, com contribuições em todos os níveis desde contribuição na P&D dos experimentos, construção e montagem de detectores e sistemas de eletrônica, participação em tomadas de dados, lideranças em análises de física, e coordenação científica e operacional. Existe, portanto, espaço para o aumento da contribuição brasileira não só na área de física, mas também nas diversas áreas de engenharias técnicas e computação.

## 2. Relevância para a Sociedade

### 2.1 Formação de Pessoal

Os desafios apresentados pela física do século XXI requerem soluções de longo prazo e a única maneira de enfrenta-los é com a preparação de jovens altamente qualificados. Devemos atraí-los para a ciência utilizando uma das principais características do ser humano, a curiosidade. Foi isso que levou o homem à Lua, a explorar o sistema solar e o universo, a compreender o funcionamento de nosso planeta e do nosso próprio corpo. Mergulhamos nos átomos e no núcleo atômico e fomos à distâncias cada vez menores. A formação de pessoal altamente qualificado sempre tem sido uma das principais preocupações da área e temos investido com vigor nessa tarefa. Temos formado jovens teóricos capazes de competir e ganhar posições de pós-doutor no exterior. Nos últimos cinco anos formamos 278 doutores, 501 mestres e investimos em 807 estudantes de iniciação científica, assim distribuídos:

	Teoria de Campos	Cosmologia e Gravitação	Fenomenologia	Experimental
Doutorado	143	60	41	34
Mestrado	224	134	85	58
Iniciação	375	171	133	128

Para os próximos cinco anos, com o funcionamento pleno do LHC, projetamos um grande aumento na formação de recursos humanos na área experimental. A formação de alunos nos programas de altas energias permite o acesso às colaborações internacionais onde o estudante faz um estágio nos grandes centros de referência e uma interação direta com os grandes pesquisadores da área. Permite, também, uma interação grande entre os teóricos e os experimentais, e entre as área de conhecimento de ciência fundamental com as ciências aplicadas que é essencial para o desenvolvimento científico como um todo.

Para que a formação de novos pesquisadores e de pessoal técnico especializado seja mais efetiva e ampliada, é necessária uma política continuada de apoio aos grupos brasileiros na manutenção das colaborações internacionais, com programas, projetos e editais que permitam maior intercâmbio e mobilidade com outras áreas, instituições e colaborações e a possibilidade de desenvolver grandes projetos de instrumentação no país.

### 2.2 Desenvolvimento científico e tecnológico

A curiosidade científica é o principal motor da área de partículas e campos. A necessidade de compreender o Universo e o que ele contém é o seu objetivo. A utilização desse conhe-

cimento e das técnicas desenvolvidas para esse fim é o que gera a inovação. A WWW, o diagnóstico por imagens e a tecnologia genética são exemplos de aplicações que se tornaram realidade graças à ciência fundamental. A inovação sempre se dá através da expansão do conhecimento das ciências básicas aliada à pesquisa tecnológica, através de programas de treinamento em instituições providas de infraestrutura adequada. Os grandes avanços e desenvolvimentos da ciência do século XXI serão dominados pela nossa capacidade de manipular o que acontece na fronteira do conhecimento humano.

Sem dúvida alguma, a complexidade dos experimentos de altas energias e ondas gravitacionais gera uma demanda para o desenvolvimento de novas tecnologias tanto na área de instrumentação, como em eletrônica e na área de computação. Um exemplo local que vale ser mencionado é o desenvolvimento de técnicas de crescimento e moldagem de tanques de resina e camadas de isolamento que foram efetuados em parceria entre uma Universidade e uma indústria nacional para a fabricação de tanques de grande porte utilizados como detectores de superfície de raios cósmicos do observatório Pierre Auger. Outros exemplos como o desenvolvimento de placas de aquisição e conversão de sinal analógico para digital e circuitos programáveis estão vinculados a projetos de participação nos grandes experimentos de altas energias. Além da demanda gerada pelos grandes experimentos, a participação nestas colaborações permite o acesso a vários programas de pesquisa e desenvolvimento em andamento e a troca de conhecimentos. Esta troca de conhecimento pode ser aproveitada de forma mais efetiva se houver a formação de centros de tecnologia onde se possa efetuar a consolidação e transferência do conhecimento para a indústria nacional.

### **2.3 Impacto na economia**

Apesar do objetivo científico da área ser a compreensão dos mecanismos que a Natureza utiliza no seu nível mais fundamental, existem vários impactos diretos que influenciam no desenvolvimento econômico. Existe grande espaço para interação entre os grandes experimentos de altas energias e de ondas gravitacionais por um lado, e a indústria nacional, não só para o desenvolvimento de novas tecnologias mas também para a fabricação e fornecimento dos componentes necessários para estes experimentos. Um exemplo claro de uma necessidade imediata seria a formação de grandes centros de computação e processamento de dados, que poderiam ser montados com tecnologia já existente, da indústria nacional. Outro fato que vale ser aqui mencionado é a existência de um banco de dados no laboratório CERN dos fornecedores de equipamentos e peças dos experimentos do LHC. A participação da indústria nacional nos experimentos do LHC permite a inclusão destas empresas neste banco de dados abrindo um novo mercado que não mais se restringe aos experimentos com participação de pesquisadores brasileiros.

### **3. Infraestrutura**

A participação no GRID, rede mundial de computadores para processamento de dados é fundamental para a área de altas energias. No Brasil já existem alguns centros com sistemas de computadores que participam do GRID, na forma de centros secundários denominados de Tier2, que são centros de processamento de dados com objetivos mais específicos. Estes

centros estão distribuídos apenas nas cidades de São Paulo (USP e UNESP) e do Rio de Janeiro (CBPF, UERJ e UFRJ). No curto prazo é necessário aumentar a capacidade de processamento destes centros e ampliar a capacidade de armazenamento para que possamos ter um centro primário denominado de Tier1, do GRID . Em paralelo, é necessário expandir os centros de computação para além destas duas grandes cidades, a fim de ampliar e melhorar o acesso da participação de mais pesquisadores brasileiros nos programas científicos desenvolvidos no GRID. Para que isto ocorra, é necessária uma melhoria na qualidade das redes de comunicação fora dos grandes centros. O desenvolvimento de centros de instrumentação, e transferência de tecnologia também é vital para o desenvolvimento da área de altas energias no Brasil. Existem alguns laboratórios nacionais, com características de multiusuários como o laboratório nacional de Luz Síncrotron (LNLS) em Campinas, e o laboratório de instrumentação do CBPF no Rio de Janeiro. Mas é necessário ampliar a capacidade de desenvolver projetos variados nestes centros já existentes e também criar novos centros, com laboratórios multiusuários.

Existe, também, a necessidade de infra-estrutura computacional especial para o desenvolvimento de relatividade numérica. Já os recursos humanos de alta qualidade para o desenvolvimento de software são abundantes no Brasil. No caso de detecção de ondas gravitacionais, porém, ocorre o inverso: as instalações laboratoriais são satisfatórias mas existe a necessidade urgente de recursos humanos de qualidade nesta área experimental.

#### 4. Inclusão Social

O ensino de ciências no Brasil, tanto no nível fundamental quanto no médio, é reconhecidamente precário. A formação dos professores é incompleta e inadequada e poucos são aqueles capazes de levar para as salas de aula as últimas descobertas da ciência. Para isso, é necessário a contribuição dos pesquisadores na divulgação da ciência, quer ao nível de cursos para professores, na redação de artigos de divulgação para revistas e jornais, ou colóquios para o público leigo. A comunidade de partículas e campos participa ativamente em todas essas atividades.

Um iniciativa recente e bem sucedida é o projeto *Estrutura Elementar da Matéria: Um Cartaz em Cada Escola*. Seu objetivo foi a de levar a cada escola do Ensino Médio conhecimentos básicos sobre os constituintes elementares da matéria e as interações que regem o mundo subatômico. A distribuição de um cartaz contendo, de forma sucinta e coerente, um apanhado do conhecimento adquirido após a proposta de Mendeleiev amplia o horizonte de conhecimento dos estudantes, aguçando sua curiosidade científica e, possivelmente, despertando vocações para o estudo das ciências. O cartaz é acompanhado de um panfleto explicativo que permite ao professor ter acesso às informações necessárias para responder às questões levantadas pelos alunos.

Também apoiamos uma participação mais efetiva dos pesquisadores da área no programa educacional em todas os seus estágios. Algumas propostas específicas de como efetuar isto são: reciclagem de professores do ensino médio, estágios em laboratório para alunos de ensino médio e aprimoramento para professores de nível superior de instituições que não possuem contato direto com nossa área. Um exemplo a ser citado é o programa da

Unicamp de reciclagem de professores do ensino médio, onde a cada seis meses é feito um workshop focado em algum tópico de interesse e da atualidade na física. Também existe um programa que está sendo implementado e é coordenado pela secretaria estadual de ensino de São Paulo, onde as três universidades estaduais paulistas irão oferecer cursos de reciclagem e aprimoramento à distância para os professores da rede pública estadual.

Uma parceria entre o laboratório CERN e a SBF vem tentando iniciar um programa de intercâmbio de professores do ensino médio para participação em uma escola realizada nas dependências do CERN, em Genebra, que aborda assuntos de física de partículas com a intenção de capacitar os professores para que possam repassar aos alunos conceitos e tópicos de física de partículas elementares em níveis acessíveis.

Além da possibilidade de contribuição no programa educacional formal, a área de física de altas energias tem um papel muito importante na capacitação de pessoal qualificado tanto nas áreas técnicas como nas áreas de gestão. Participação em experimentos na área de altas energias exige treinamento em gestão de projetos e capacidade de colaboração internacional

## **5. Recomendações**

1. Melhorar a distribuição regional de pesquisadores, principalmente na região norte e centro-oeste, com mais incentivos para a fixação de pesquisadores (inclusive seniors) nessas regiões. Uma possível maneira seria a de parcerias entre órgãos de fomento federais e fundações de apoio à pesquisa estaduais (FAPs).

2. Melhorar o balanço entre o número de pesquisadores teóricos e experimentais, incentivando as atividades experimentais.

3. Apoio continuado às atividades experimentais através do financiamento de projetos por prazos mais longos, incluindo o fortalecimento e continuidade da RENAFEA.

4. Apoio para a nucleação de grupos de pesquisa teóricos de diversas instituições, de forma a consolidar a pesquisa nas instituições menores e com menos experiência, através de editais específicos. Eventual consolidação dos grupos de pesquisa teóricos num instituto nacional nos moldes daqueles já existentes em outras áreas.

5. A manutenção de uma política de estado para a ciência que seja sustentável, com suporte ininterrupto de apoio financeiro aos grupos de pesquisa produtivos e competentes e a formação contínua de recursos humanos na área.