

EDIÇÃO N° 2023/1

Fotografia ©CERN

INTERACÇÕES

Bosão de Higgs - 10 anos de uma descoberta

O LIP na calibração de ProtoDUNE-II

SND@LHC - uma nova experiência no LHC

I N T E R A C Ç Õ E S

E D I Ç Ã O N ° 2 0 2 3 / 1

Design Sónia Ribeiro

Textos Catarina Espírito Santo e Catarina F. Gonçalves

Revisão Catarina F. Gonçalves

Contribuições Alberto Blanco, André David, Daniel Galaviz, Henrique Carvalho, Joana Gonçalves de Sá, José Maneira, Luís Mendes, Nuno Castro, Nuno Leonardo, Patricia Conde, Paulo Almeida, Paulo Brás, Paulo Fonte, Pedro Assis, Pedro Silva, Ricardo Gonçalo, Rita Pestana, Rui Curado Silva, Sérgio Sousa (BioSIM)

Contatos

comunicação@lip.pt

www.lip.pt/boletim



editorial

O Boletim do LIP saiu pela última vez em Agosto de 2020. Serviu o longo interregno pandémico para o transformar. Surge agora renovado, e mais virado para fora — procurámos torná-la mais acessível e interessante para todos os que nos queiram acompanhar. E queremos saber quem está do outro lado: o que vos interessa, o que pensam do nosso trabalho, o que gostariam que fosse diferente. Por tudo isto, mudou de nome. É agora a revista INTERACÇÕES.

Porque no fundo é sempre de interações que tratamos — sejam elas entre partículas elementares ou com o Universo distante, entre computadores em rede ou entre disciplinas para criar aplicações inovadoras, entre seres humanos ou comunidades. Utilizamos a física e os seus métodos, juntamente com ferramentas e modelos computacionais de grande escala, para estudar as interações e compreender o mundo que nos rodeia em muitos campos e problemas complexos diferentes.

Faz sentido, uma revista em papel? A pergunta é hoje incontornável. Embora a maior parte dos nossos canais de comunicação sejam online — estamos nas redes sociais, temos notícias (sempre frescas) no sítio web do LIP, queremos reforçar a newsletter que distribuimos por correio electrónico, para a comunidade LIP e brevemente também para fora — acreditamos que às vezes é bom folhear uma revista. Ter muito tempo para o fazer. Lê-la na praia sem que a luz do sol seja um problema. Deixá-la num sítio onde alguém a possa encontrar. Muitas vezes temos vontade de a oferecer a quem ainda não nos conhece bem. Às vezes, faz falta para chegarmos um pouco mais longe.

Contamos lançar dois números por ano — o de Primavera e o de Outono. Este é um número especial. Tem mais de 60 páginas, em vez das 30 e poucas que esperávamos. Quisemos recuar pelo menos um pouco para vos trazer algumas boas histórias de 2022. Prometemos não exagerar tanto da próxima vez.

Até lá, queremos saber de quem nos lê. contactem-nos através das redes sociais do LIP ou do e-mail comunicacao@lip.pt. Desde já, muito obrigada por estarem connosco. E boas leituras!

D E S T A Q U E

Bosão de Higgs - 10 anos de uma descoberta

6

A S T R O P A R T Í C U L A S

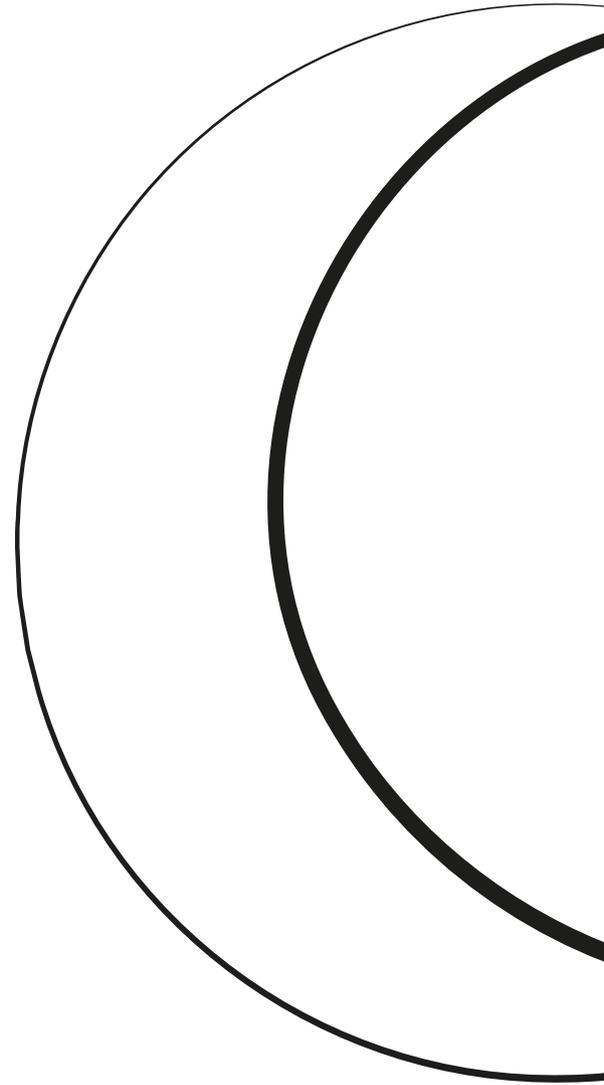
O LIP na calibração de ProtoDUNE-II

20

P A R T Í C U L A S

SND@LHC - uma nova experiência no LHC

30



DETECTORES

38

O projecto HiRezBrainPET

COMPUTAÇÃO AVANÇADA

46

INCD: da ciência política à saúde

COMUNICAR CIÊNCIA

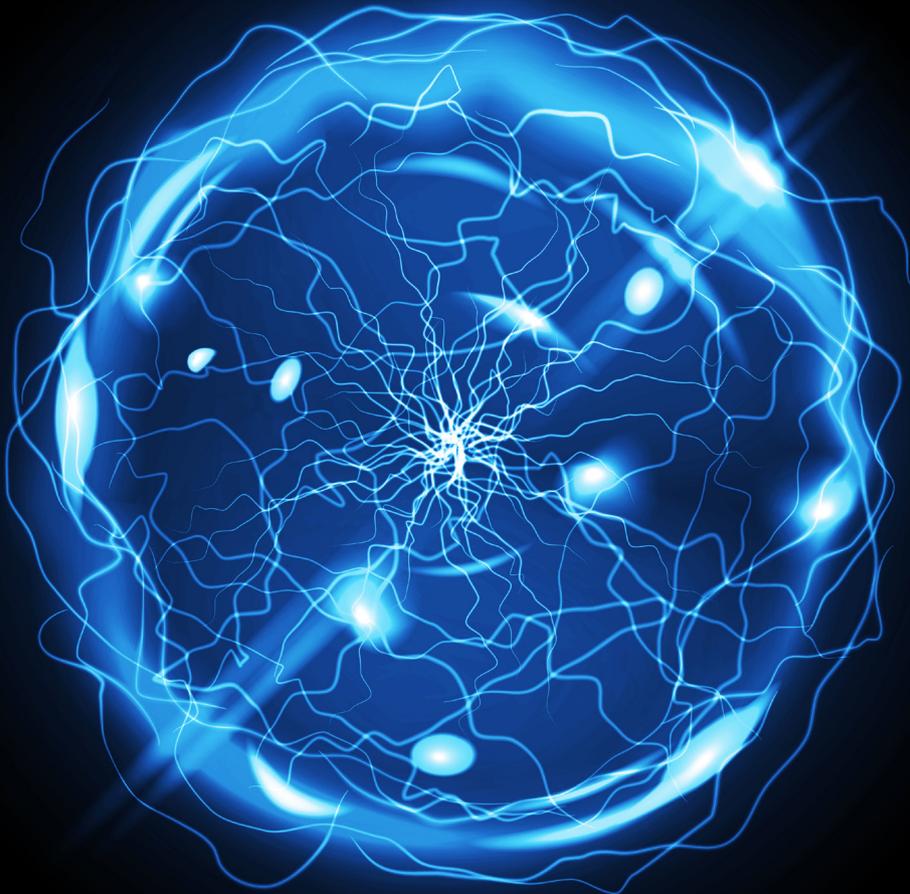
54

Viagem virtual ao observatório Pierre Auger

OUTRAS INTERACÇÕES

58

Bosão de Higgs



10 anos de uma descoberta

O dia a dia da ciência é feito de pequenos avanços, pequenas mas indispensáveis descobertas. De vez em quando, é-nos dada a oportunidade de viver uma grande descoberta — ou de participar nela directamente. Foi o caso dos investigadores do LIP que procuravam o Higgs nas experiências ATLAS e CMS do acelerador LHC do CERN.

O Boletim falou com alguns deles: André David e Pedro Silva (CMS), Patrícia Conde e Ricardo Gonçalo (ATLAS).



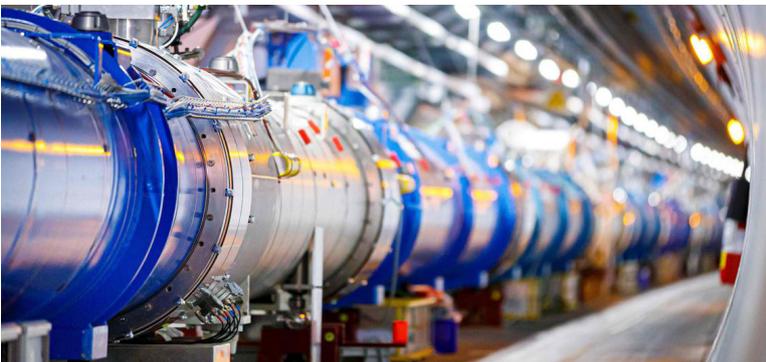


Fig.1 LEP ©CERN, fig.2 LHC © Valentin Flauraud

Fig.1 ALICE, fig.2 ATLAS, fig.3 CMS, fig.4 LHCb, ©CERN

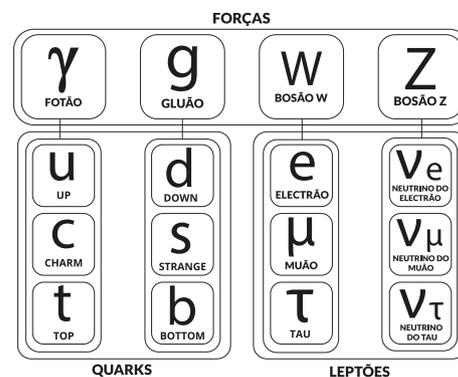
A primeira menção oficial do conceito do LHC, o grande acelerador de hádrons, foi registada num workshop do CERN e da ECFA (European Committee for Future Accelerators) em Lausanne, na Suíça, em Março de 1984. Foi então apresentada a possibilidade de este acelerador do futuro co-existir com o LEP, o grande acelerador de electrões, no túnel que estava nessa altura em construção. O LEP arrancou no Verão de 1989 e haveria de funcionar até ao ano 2000.

As colaborações ATLAS e CMS foram criadas e apresentaram as cartas de intenção das experiências em 1992, após anos de trabalho no desenvolvimento de

detectores e de negociações entre os vários grupos. O conselho do CERN aprovou a construção do LHC em Dezembro de 1994, e a aprovação oficial das experiências aconteceu em Janeiro de 1997. O LHC viria a ser instalado no túnel do LEP, mas somente depois de este ser desmantelado e serem realizados trabalhos de engenharia civil – entre outros fins, para escavar as cavernas subterrâneas para os detectores gigantes que aí vinham. O arranque do LHC aconteceu em 2008. Os quatro grandes detectores ALICE, ATLAS, CMS, e LHCb registam os resultados dos choques entre as partículas que percorrem o anel a uma velocidade próxima da velocidade da luz.

Tardara, mas podiam finalmente prosseguir os testes da história contada pelo **modelo padrão da física de partículas**, desenvolvido no início da década de 1970 para descrever as partículas que compõem toda a matéria e as interações entre elas.

O modelo tinha sido posto à prova e confirmado ao longo dos anos numa variedade de experiências — que tinham também medido os parâmetros que o modelo não conseguia prever. O LHC permitiria ir mais longe — confirmar algumas das suas previsões mais importantes, ou talvez descobrir algo que o modelo não pudesse explicar.



Robert Brout © WOLF FOUNDATION



François Englert © Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud



Peter Higgs © Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

Em particular, faltava encontrar uma peça fundamental: o bosão de Higgs. Em 1964, Robert Brout, François Englert e Peter Higgs tinham proposto um mecanismo que permitia explicar o facto de as partículas elementares terem massa através da introdução do chamado campo de Higgs, que preencheria todo

o Universo. O mecanismo matemático funcionava na perfeição. Mas tinha como efeito secundário o aparecimento de uma nova partícula: o bosão de Higgs. Se a teoria estivesse certa, o bosão de Higgs tinha de aparecer. Caso se negasse a sua existência, havia que repensar tudo.



Mapa do LHC, ©CERN

Faltavam ainda uns bons anos para o arranque do LHC quando Ricardo Gonçalo e Patricia Conde, ambos com o doutoramento terminado há pouco tempo, se juntaram a ATLAS. Dedicavam-se ao desenvolvimento de ferramentas necessárias ao funcionamento da experiência. “Foi preciso fazer tudo de raiz, não é como se alguma destas coisas existisse no supermercado, os detectores são peças únicas” sublinha Ricardo Gonçalo. Utilizando dados simulados, preparavam-se o melhor possível para encontrar o bóson de Higgs. “A descoberta do bóson era necessária para confirmar o modelo padrão, caso contrário nada fazia sentido”, nota Patricia Conde.

Vindo de uma licenciatura em Engenharia Física, só no mestrado é que Ricardo Gonçalo ouviu falar do bóson de Higgs. Custava-lhe a acreditar que aquela pudesse ser a peça fundamental para explicar o mundo como o conhecemos: “Eu queria era mostrar que aquilo não

existia”. E foi com essa convicção que iniciou o seu trabalho na experiência ATLAS rumo à (não) descoberta do bóson de Higgs.

Às 10:28, do dia 10 de Setembro de 2008, o LHC começou a funcionar. Os feixes de prótons percorreram ciclicamente os 27 quilómetros do túnel e iniciaram-se as colisões, para alívio de todas as equipas que estavam implicadas no projecto. Tornava-se cada vez mais real uma nova era na investigação em física de partículas. Costuma dizer-se que o que é bom acaba depressa, e o início do LHC pareceu confirmar na perfeição o ditado. Nove dias depois, durante testes de aumento de potência do acelerador, deu-se um acidente que obrigou à interrupção de todos os trabalhos. Quando os bombeiros e a equipa de radioactividade do CERN chegaram à zona do túnel onde parecia estar o problema, encontraram neve.



Reparações no LHC ©CERN

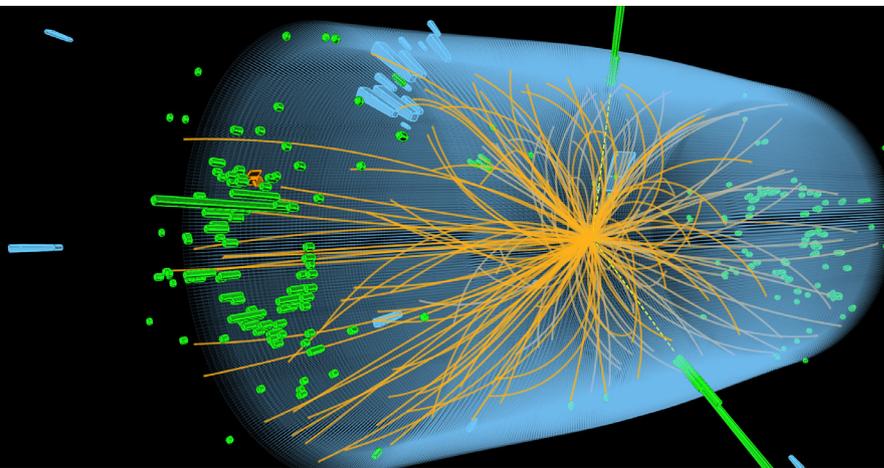


Sala de controlo na retoma de dados do LHC ©Maximilien Brice, CERN

Devido a uma soldadura defeituosa entre dois dos magnetes do acelerador, deu-se uma explosão que causou danos mecânicos e a libertação de uma grande quantidade de hélio líquido (a -271 graus Celsius no interior dos magnetes em funcionamento) para o túnel. “Ainda demorámos dois ou três dias a perceber o que realmente tinha acontecido”, recorda Ricardo Gonçalo. “Deram-nos um brinquedo fantástico para as mãos e pouco depois estragou-se”, lamenta.

Só ao fim de um ano é que o acelerador voltou a funcionar. Mas é possível encontrar um lado positivo em quase tudo. “A paragem acabou por ser boa, (...) se não tivesse acontecido íamos passar muito tempo a arranjar coisas que não funcionavam e a resolver erros de software e hardware. Assim, estivemos um ano a trabalhar para afinar todos os pormenores”, explica o investigador. “Quando ligámos a máquina, estava tudo a funcionar na perfeição”, corrobora Patricia Conde.

O LHC voltou a arrancar em Novembro de 2009. Recolheu dados até perto do final do ano e, após uma curta paragem técnica, retomou a operação (a uma energia superior) em Fevereiro de 2010. A partir daí, acumulou dados durante cerca de nove meses por ano — 24 horas por dia, sete dias por semana — com uma performance que superou as melhores expectativas.



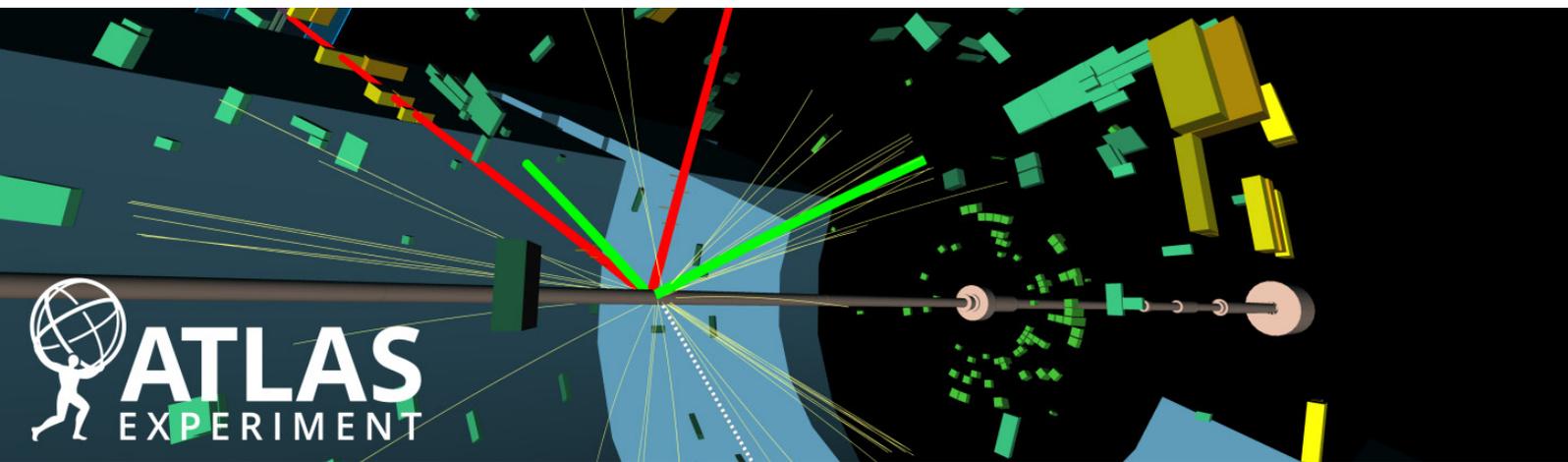
Evento de CMS candidato a um bosão de Higgs ©CERN

André David conhece bem os cantos à casa. Chegou ao CERN em 2006 e por lá ficou. Foi nessa altura que começou a trabalhar na experiência CMS. Tinha terminado o doutoramento e o LHC estava a ser construído. “Acompanhei toda a instalação e a altura em que se pôs tudo a funcionar de forma síncrona”, conta. Esteve presente na primeira tomada de dados, no acidente que obrigou à longa paragem, no recomeço e nas inúmeras conquistas que foram sendo feitas — incluindo a descoberta do bosão de Higgs. Em 2009, quando o anel gigante retomou a actividade, não pensava muito na pesquisa do Higgs propriamente dita. Perdia-se antes de entusiasmo por todo o trabalho que tinha de ser feito para garantir que o detector funcionava constantemente nas melhores condições, e que dados de elevada qualidade eram recolhidos.

O grupo do LIP teve desde o início grandes responsabilidades no sub-detector ECAL de CMS, que tem um papel particularmente importante na detecção de fótons e na determinação da sua energia

com precisão. André David esteve muito implicado nesse trabalho. Além de desenvolver, testar e afinar a maquinaria, uma parte importante do trabalho era perceber como encontrar um fóton e como medir com precisão a sua energia — partir dos sinais eléctricos registados nos muitos canais de leitura do ECAL e reconstruir as partículas que lhes deram origem exige um conhecimento detalhado da resposta do detector e o desenvolvimento de algoritmos dedicados.

No final de 2009, o artigo científico estava já muito bem encaminhado. “A certa altura questionámo-nos sobre o que iríamos fazer a seguir”, diz. A resposta não tardou a chegar: o desafio seguinte seria encontrar dois fótons. De acordo com o modelo padrão esta era uma das assinaturas possíveis do bosão de Higgs — podia até ser uma das mais promissoras, dependendo de qual fosse a sua massa. “Nem todos os pares de fótons são interessantes na procura do Higgs”, explica. Um par de fótons podia resultar do decaimento de um bosão de Higgs ou de outros processos já conhecidos, que não são aquilo de que se estava à procura. Foi preciso analisar em



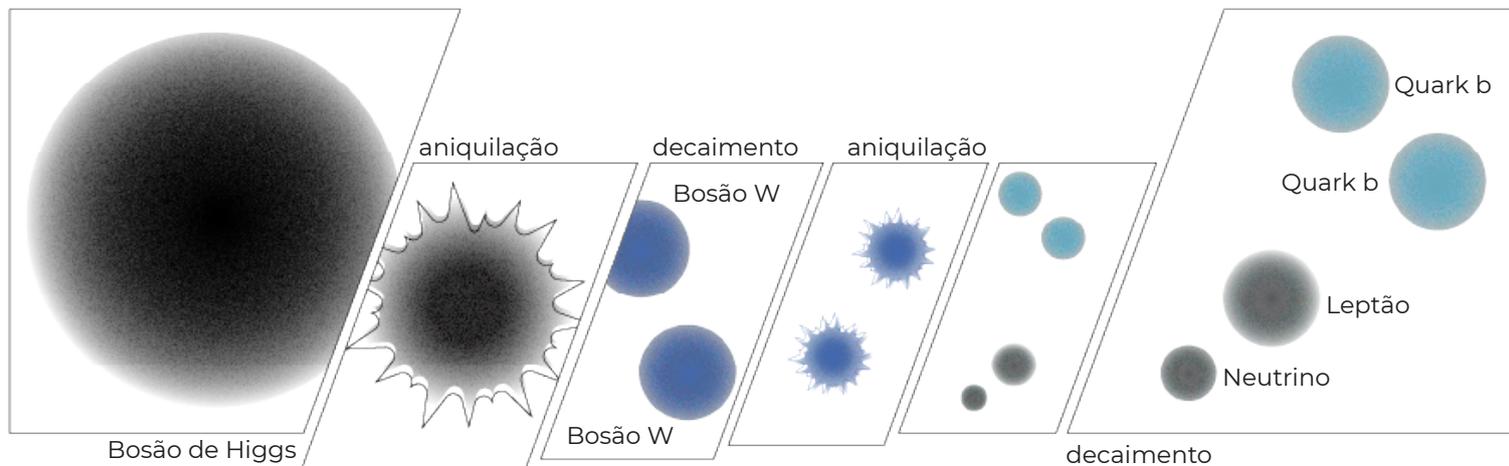
Evento de ATLAS candidato a um bóson de Higgs ©CERN

detalhe os sinais medidos pelo detector, reconstruir os fótons usando os métodos que tinham estado a desenvolver, medir as suas propriedades, e perceber como distinguir os pares de fótons interessantes.

De acordo com o modelo padrão, o bóson de Higgs devia desaparecer quase imediatamente depois de ser produzido, desintegrando-se noutras partículas de várias formas possíveis, cada uma com uma probabilidade associada — dependente da massa do Higgs. Ora, o modelo padrão não prevê o valor da massa. Ainda assim, alguns resultados anteriores (em particular do LEP e do acelerador Tevatron no Fermilab, EUA) davam pistas indirectas de que, pelo menos no quadro do modelo, esta se devia situar algures entre os 115 e os 130 GeV. Assim, os investigadores não esperavam observar o bóson de Higgs directamente — procuravam, sim, assinaturas, ou seja, padrões típicos no detector que pudessem resultar do seu decaimento. E não sabiam qual das assinaturas seria mais importante para a descoberta.

Nas experiências, houve múltiplas equipas a tentar encontrá-lo em diversos canais, ou modos de decaimento, com assinaturas diferentes. A contribuição de cada canal para a descoberta dependeria não só da probabilidade a ele associada (a tal que depende da massa) mas também da originalidade da assinatura.

O estado final com dois fótons a que André David se dedicou tinha uma baixa probabilidade associada, mas uma assinatura difícil de imitar (pelo menos na perfeição) por outros processos. E tornava-se mais relevante para massas mais elevadas. Acabou por ser um dos dois canais que primeiro deu a certeza da descoberta. O outro foi o decaimento em dois bósons Z, resultando num estado final com quatro electrões ou múons. Seguiu-se a desintegração em dois bósons W (originando no estado final dois electrões ou múons e dois neutrinos), em que trabalhou Joana Miguens, então estudante de doutoramento de Patricia Conde, que escolheu passar esse período no CERN.



Representação gráfica de um decaimento do bóson de Higgs em dois bósons W

Muito diferente é o caso da desintegração do bóson de Higgs num par de quarks b: sendo um canal muito provável para o decaimento do Higgs, é também o estado final resultante de muitos outros processos frequentes no LHC — ou seja, apesar de o sinal que se procura ser aqui muito mais forte que no canal dos dois fótons, o ruído de fundo é elevado. Em ATLAS, Ricardo Gonçalves era por esta altura coordenador deste grupo. O entusiasmo era grande. Cada um dos detector, ATLAS e CMS, tirava milhões de “fotografias” num único segundo. Lá pelo meio podia estar a assinatura do Higgs, mas era preciso acumular dados, caso contrário também podia ser apenas algo que se assemelhava à partícula que tanto queriam encontrar.

A análise dos dados resultava na construção de gráficos nos quais esperavam que se fosse delineando um pico — formado por uma acumulação de eventos — algures na zona de massa favorecida. Para ser validada, qualquer observação teria de ser estatisticamente significativa e acontecer tanto em ATLAS como em CMS. Houve alguns momentos de emoção ao longo do

percurso. No Verão de 2011, numa conferência em que ATLAS e CMS apresentavam o panorama de todos os canais, “observou-se um pequeno excesso de eventos em torno dos 140 GeV em ambas as experiências”, conta Patricia Conde. O anfiteatro, onde estavam mais de 1000 pessoas, ficou em silêncio. “Ouvia-se uma mosca a atravessá-lo”, lembra Ricardo Gonçalves. A relevância estatística da observação era muito pequena para o entusiasmo que gerou. “Quando começámos a tomar mais dados, percebemos que aquele pico tinha coincidido em ATLAS e CMS apenas por acaso”, diz a investigadora. O que parecia uma descoberta era afinal apenas uma flutuação estatística.

Foi precisamente em 2011 que, terminado o doutoramento no grupo do LIP em CMS, Pedro Silva chegou ao CERN como fellow. “A prioridade era bastante clara”, refere. Tratava-se de escolher um canal e começara procurar o Higgs. Pedro Silva não escolheu o caminho mais trilhado. “Se os dados vão mostrar pela primeira vez um regime de energia nunca antes explorado, então a minha preferência é ir por aí”,



Fabiola Gianotti, Joe Incandela e Rolf Heuer ©CERN

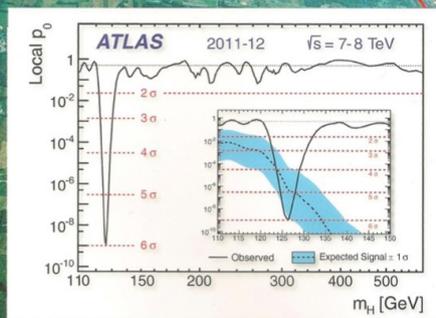
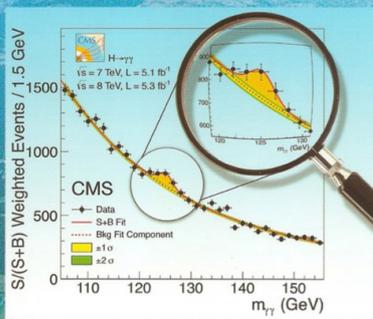
explica, “porque é realmente a primeira vez e é uma oportunidade única”, diz. “Em ciência não podemos apostar só em caminhos seguros, também temos de nos aventurar em caminhos desconhecidos”. Por isso escolheu procurar o Higgs numa região que só seria acessível no LHC: a das massas superiores a 200 GeV.

Os dados indicavam que a produção directa na região de massas entre 115 e 130 GeV seria o caminho seguro, mas “seguro para encontrar o que se esperava no quadro do modelo”. Ora, sabe-se que o modelo é limitado— não tem matéria escura, nem gravidade, é um modelo incompleto. E havia uma grande expectativa de que a nova física aparecesse rapidamente à escala do TeV. “Estava tudo em aberto”, conclui. Quando se começaram a acumular os excessos, houve uma reunião para avaliar os esforços nos diferentes canais. “Perguntaram se as pessoas gostariam de mudar de canal para participar mais directamente na descoberta”. Pedro Silva e um colega do grupo do CERN decidiram que não fazia

sentido, e que iam continuar a trabalhar naquele canal. “A pesquisa era interessante por si”, sublinha. Excluíram a presença do Higgs entre 200 GeV e 1 TeV. Mas voltemos à descoberta que ainda não o era. “Nas semanas que antecederam o anúncio íamos vendo o pico a crescer mas não sabíamos exactamente qual a relevância”, recorda Patrícia Conde, “A certa altura percebia-se que estávamos muito perto de anunciar a descoberta”. André David confirma a memória de uma atmosfera de grande expectativa, embora sempre contida — afinal, não se sabia nada do que se passava em ATLAS. Só podia haver descoberta se os dados de ambos os detectores – que analisavam os mesmos canais de produção e decaimento da partícula – fossem coerentes entre si. Os coordenadores das duas colaborações, Fabiola Gianotti (ATLAS) e Joe Incandela (CMS), e o director geral do CERN, Rolf Heuer, estavam evidentemente dentro do segredo e a acompanhar o evoluir da situação. “A noção do quão importante era tudo o que tínhamos vindo a fazer só veio no dia antes do anúncio”, recorda André David.



First observations of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson at the LHC



www.elsevier.com/locate/physletb

< Best wishes!
< Peter Higgs

Artigo autografado por Peter Higgs ©Ricardo Gonçalves

Este aconteceu a 4 de Julho de 2012, no CERN. Alguns dos presentes tiveram a certeza de que ia ser anunciada a descoberta quando viram que o próprio Peter Higgs estava entre os convidados. Patricia Conde recorda que no próprio dia ainda se discutia se na apresentação de Fabiola Gianotti apareceria a palavra “descoberta” ou uma versão mais cautelosa. Os resultados apresentados pelas duas experiências bateram tão certo que só restou a Rolf Heuer dizer: “I think we’ve got it”. “Custava a acreditar que aquilo estava realmente a acontecer”, admite Patricia. Ricardo arranjou motivos a dobrar para celebrar. “Disseram-me que o Peter Higgs ia sair de determinado elevador, às 17h. Às 16h e 59 minutos eu fiz questão de lá estar, com o artigo na mão, e ele entrou”, conta. “Pedi-lhe para o autografar e ele fê-lo. Ainda hoje tenho isso guardado a sete chaves”, acrescenta.

As reuniões diárias, as noites a preparar resultados para o dia seguinte, haviam, finalmente, compensado. “Tirar o Higgs daquele monte enorme de dados foi algo extraordinário”, diz Ricardo Gonçalves. A antiga convicção de que o Higgs não existia fora totalmente por água abaixo.

André David recorda ter “pensado logo que a partir dali podíamos acalmar um bocado o ritmo, nem me passou logo pela cabeça que tínhamos uma ferramenta nova para explorar”, admite. Afinal, “foi como se tivéssemos encontrado as escadas. Agora havia toda uma escadaria para subir”.

Para Pedro Silva, “as coisas acabaram por dar um bocado a volta”. Um ano depois, participou nas

primeiras medidas de caracterização e pesquisas de nova física com o Higgs. “Nessa altura, começou-se a pensar com mais detalhe como o Higgs era produzido”, conta. Uma parte considerável dos bósons de Higgs é produzida off-shell, com massas superiores a 200 ou 300 GeV (originando imediatamente outras partículas). “É um efeito subtil, que só aparece porque tudo isto é governado pela mecânica quântica”, explica. Não é uma produção directa, não aparece um pico — e a taxa é muito baixa. É o efeito de uma interferência com o ruído de fundo e confunde-se com ele. Por isso tem de se procurar de uma forma especial. “Para fazer este tipo de análise é necessário ter por trás um modelo teórico, que na altura foi desenvolvido e refinado. Também aqui os resultados foram compatíveis com o modelo padrão”, conclui. Assim, acabaram por “reconverter a pesquisa de alta massa para medir a produção off-shell e pôr os primeiros limites no tempo de vida do Higgs. “Não há forma de capturar o Higgs e medir o seu tempo de vida, só através destas medidas indirectas se pode chegar lá”, explica. “Foi interessante, foi a primeira vez que se usou aquela técnica e foram os limites mais precisos”. Recentemente, usando todos os dados recolhidos até agora, foi possível reutilizar esta técnica para medir com precisão o tempo de vida do Higgs, “fazendo exactamente o mesmo tipo de análise que fizemos há seis anos.” É até agora a medida mais

exacta. Depois da primeira demonstração de que era possível, Pedro Silva foi “fazer outras coisas”.

Ricardo Gonçalo continuou a trabalhar na procura do Higgs a decair em dois quarks b, onde o sinal foi finalmente confirmado em 2017. Desde então, vários outros modos de decaimento e propriedade têm sido estudadas. “Continuamos a trabalhar nele, há muita coisa por descobrir”, diz Patricia Conde. Actualmente, todos os investigadores combinam o trabalho de exploração dos dados com a preparação das experiências ATLAS e CMS para fase de alta luminosidade do LHC. A descoberta do Higgs não foi a única vitória que o CERN alcançou com o LHC, mas foi, de longe, a mais especial. Nas palavras de Ricardo Gonçalo, “É fantástico todo o trabalho desenvolvido e tudo o que já se aprendeu com e sobre esta partícula, que há dez anos nem existia”. Ainda assim, é cedo para concluir se é ou não o do modelo padrão. “A precisão que temos actualmente não é a que vamos ter no fim do LHC. Há um desvio real? É ou não compatível com o modelo? É tudo uma questão de incerteza”, explica Pedro Silva, “O modelo é uma construção, foi-se adaptando aos dados experimentais, a questão é qual é a peça seguinte”. E conclui, dizendo: “Se descobrirmos um desvio, temos uma pista para o que vem a seguir. Há muitas coisas a explorar no LHC, e que só poderão ser exploradas no LHC, agora e por muitos anos”.



years
HIGGS boson
discovery

Portugal no LHC



Gaspar Barreira



Amélia Maio



João Varela



Jorge Gomes

Em 2022 celebraram-se os 10 anos da descoberta do Higgs, mas também os 30 anos das colaborações ATLAS e CMS — em que o LIP esteve desde o início —, e por isso 30 anos de Portugal no LHC. Foram três décadas de investigação de ponta em física de partículas, aplicações tecnológicas que vão muito além deste domínio, e formação avançada de jovens cientistas e engenheiros.

Embora levada a cabo por um grande número de pessoas, esta aventura tem três protagonistas indiscutíveis: Gaspar Barreira (1940-2019), director do LIP e representante de Portugal no Conselho do CERN até ao seu desaparecimento; Amélia Maio e João Varela, que criaram e lideraram até muito recentemente os

grupos portugueses em ATLAS e CMS, respectivamente. Estes grupos desenharam, testaram e construíram componentes fundamentais das duas experiências, tiveram responsabilidades importantes em diversas análises, incluindo as que levaram à descoberta do bóson de Higgs, e estão hoje empenhadas no sucesso do Run 3 do LHC e na preparação da fase de alta luminosidade.

A Grid, modelo de computação distribuída que congrega centenas de centros informáticos numa infraestrutura única, foi desenvolvida para tornar possível a análise das enormes quantidades de dados produzidas pelas experiências do LHC. Sob a liderança de Gaspar Barreira e Jorge Gomes, coordenador do

Grupo de Computação do LIP, o laboratório participou em todos os grandes projectos europeus nesta área, faz parte da LHC Computing Grid (WLCG), constituída pelo CERN e por todos os principais laboratórios de física de alta energia do mundo, e opera um nó “Tier-2” do WLCG.

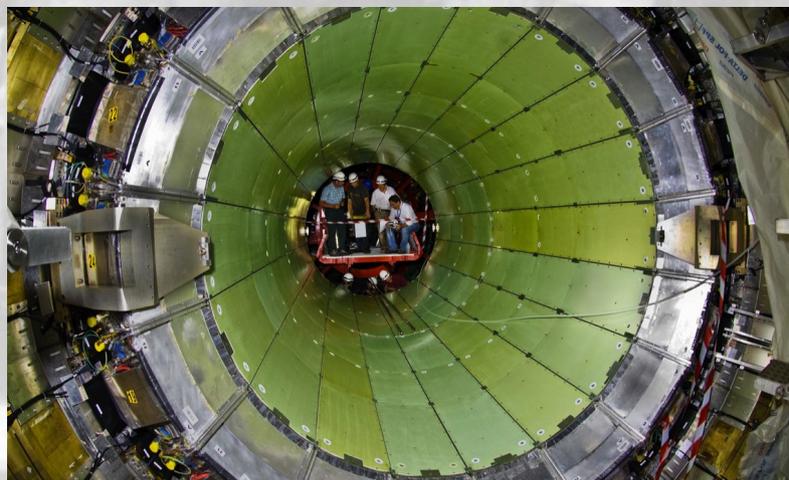
Recordemos as palavras de Gaspar Barreira ao Boletim do LIP aquando da celebração dos 25 anos de ATLAS e CMS: “(...) Portugal tornou-se membro do CERN e o LIP foi criado em 1986. (...) Ainda na primeira metade dos anos 90, foi criado o LHC Resources Review Board que seguiu todo o processo de LHC nas fases de planeamento, construção e operações — no que diz respeito a máquina, às experiências e à computação. Estive lá desde a primeira reunião, e é por isso que

posso dizer que conheço praticamente todos os parafusos do LHC”.

Na mesma ocasião, João Varela, que tinha terminado o seu mandato como vice-coordenador da colaboração internacional CMS, acrescentou: “Consequência directa da adesão de Portugal ao CERN e da internacionalização da ciência portuguesa promovida por José Mariano Gago, a participação no LHC é um dos sucessos mais expressivos da ciência em Portugal. Portugal não foi um actor menor na descoberta do bóson de Higgs, como a dimensão do país pode sugerir. A contribuição portuguesa, reflectida em artigos científicos e posições de liderança científica a vários níveis nas colaborações CMS e ATLAS, está acima da média”.



Módulos do detector TileCal de ATLAS



Detector ECAL de CMS



O LIP na calibração de ProtoDUNE-II

A missão científica da DUNE é desvendar os mistérios dos neutrinos, ajudando a responder a algumas das questões mais prementes da física do nosso tempo. Uma equipa do LIP esteve recentemente na Plataforma de Neutrinos do CERN a instalar o sistema de calibração laser para a segunda fase de ProtoDUNE — a série de protótipos que estão a ser usados no desenvolvimento dos detectores para DUNE.



É na plataforma de neutrinos do CERN que os detectores ProtoDUNE estão a ser usados nos testes de várias possibilidades para os detectores finais da experiência de neutrinos DUNE. Estes protótipos são cubos com seis metros de altura feitos para conter árgon líquido, que precisa de ser mantido a temperaturas abaixo de -184° Celsius. É a primeira vez que o CERN investe no desenvolvimento de detectores e infraestruturas para um projecto de física de partículas que será construído nos EUA.

O primeiro protótipo, ProtoDUNE-I, demorou dois anos a construir e oito semanas a encher com 800 toneladas de árgon líquido do mundo. Tornou-se assim o maior detector de árgon líquido do mundo. Em 2018, registou pela primeira vez traços da passagem de partículas — oriundas quer dos raios cósmicos quer de um feixe produzido no complexo de aceleradores do CERN. Deu assim início a um novo capítulo na história de DUNE.

Esta primeira fase de testes validou a utilização de um detector de argon líquido de grandes dimensões e fundamentou diversas escolhas para o desenho final dos detectores.

Os testes prosseguiram com um novo protótipo usando a chamada tecnologia de dupla fase, assim chamada por usar simultaneamente árgon nas formas líquida e gasosa. O LIP, então recém chegado à colaboração, teve uma participação activa nos testes. Foi escolhida para o desenho final a tecnologia de uma só fase — em que o detector contém apenas árgon no estado líquido.

Desde 2020, está em curso na plataforma de neutrinos do CERN a preparação de ProtoDUNE-II. O LIP está implicado nos testes de módulos de deriva horizontal, feitos com elementos já do tamanho real — apenas com menos elementos que no detector final.

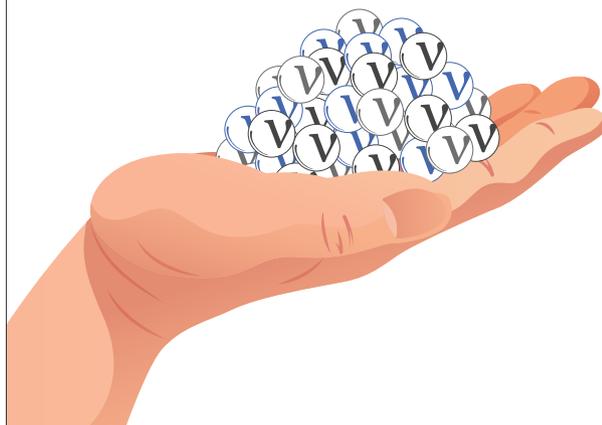
O que são neutrinos?

Os neutrinos são a segunda partícula mais abundante no Universo, a seguir aos fótons. Estão constantemente a ser produzidos em reacções nucleares dentro das estrelas. Na Terra, são produzidos em decaimentos radioactivos de átomos e em interacções dos raios cósmicos na atmosfera. Os neutrinos são extremamente difíceis de detectar porque interagem muito pouco com a matéria — podem atravessar o Sol e a Terra sem serem perturbados.

Existem três tipos (ou sabores) de neutrinos: neutrino do electrão, neutrino do muão, e neutrino do tau. Os neutrinos vão alternando entre os três sabores enquanto se propagam — dizemos que oscilam — e têm massa, o que não estava previsto no Modelo Padrão da Física de Partículas. Sobre as massas dos neutrinos apenas sabemos que são minúsculas (estimamos que o neutrino do electrão seja pelo menos um milhão de vezes mais leve do que o electrão). Os valores das massas são ainda desconhecidos, bem como a relação entre elas. Os neutrinos podem desempenhar um papel importante na explicação da assimetria entre matéria e anti-matéria no Universo, o que os torna ainda mais misteriosos e interessantes para a ciência actual.

Os neutrinos são:

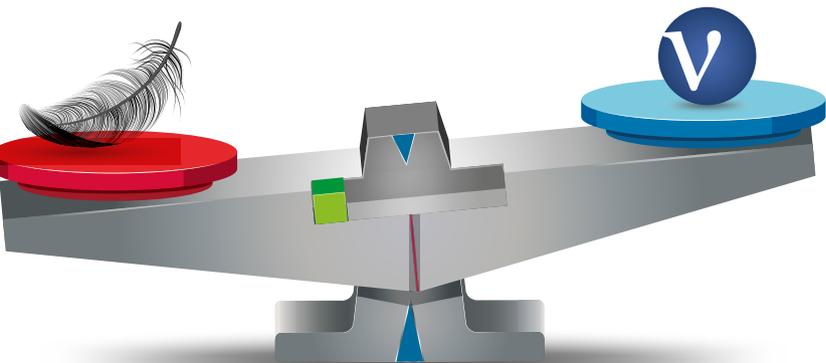
Abundantes



Oscilantes



Leves



Misteriosos



Difíceis de detectar

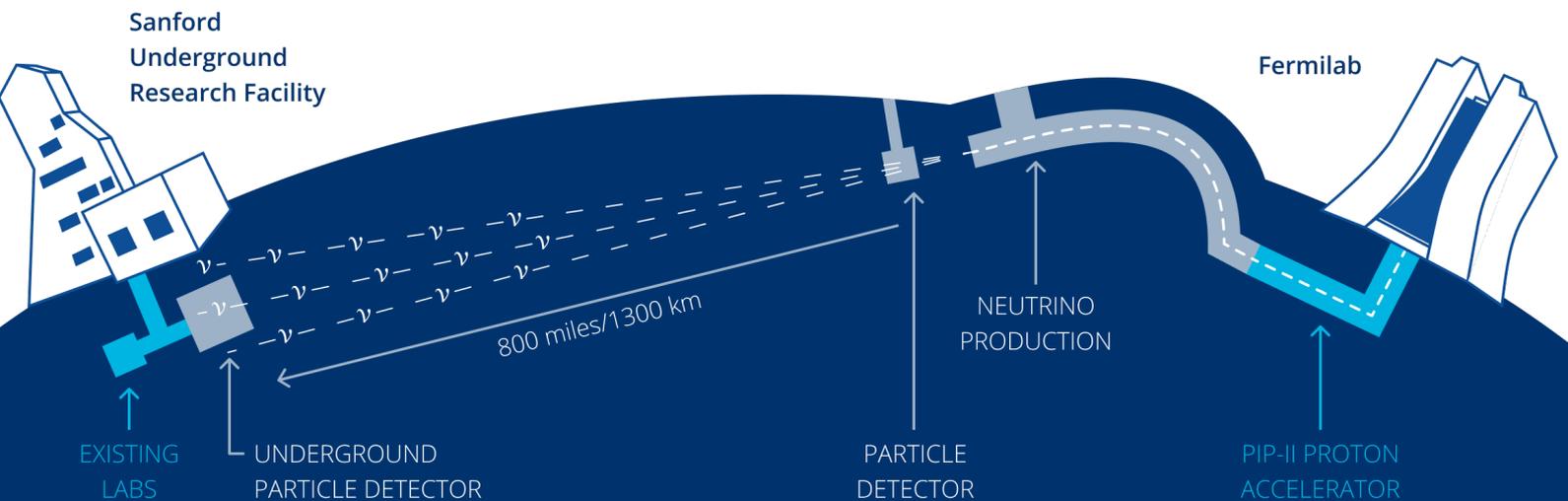
DUNE

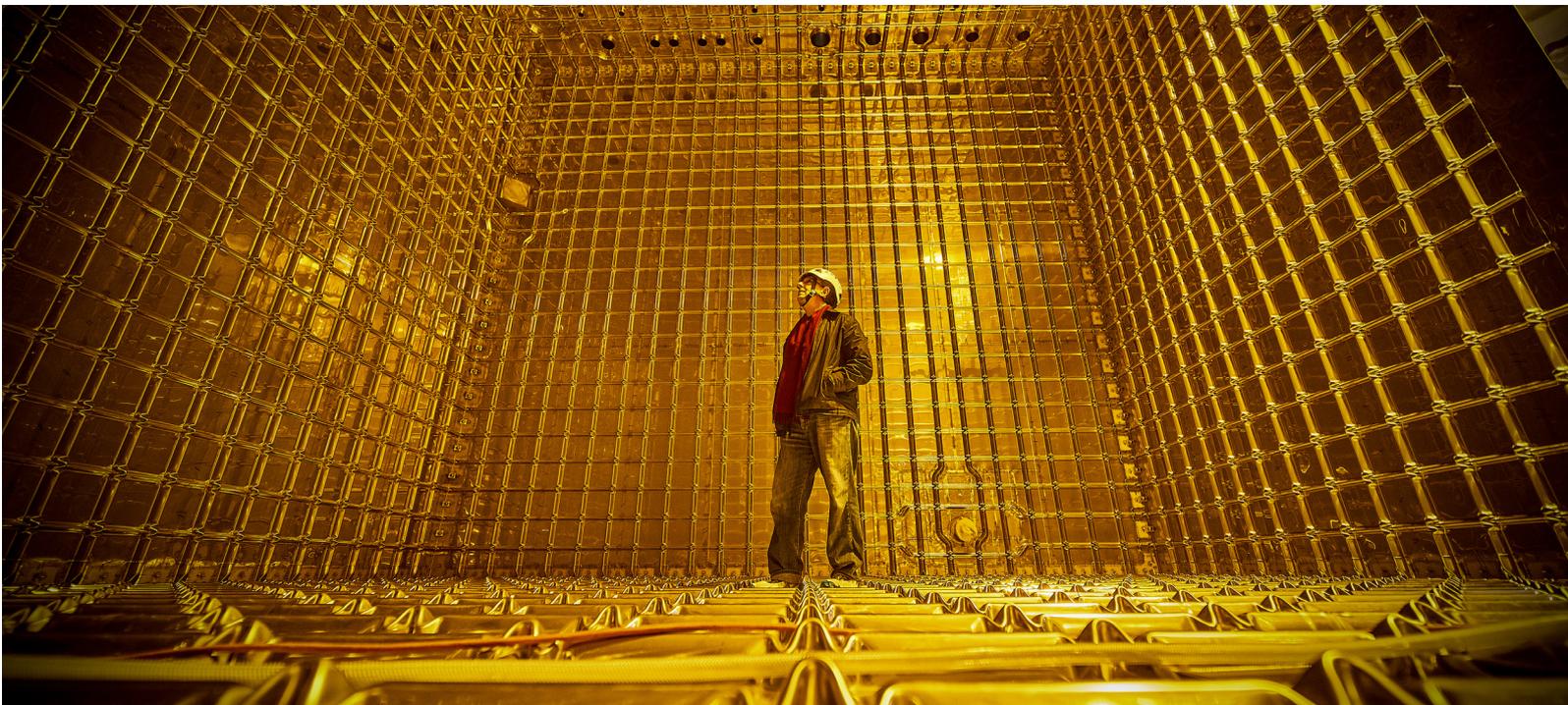
Na experiência DUNE, feixes muito intensos de neutrinos e anti-neutrinos produzidos no Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory, Illinois, EUA) serão detectados a 1300 km de distância no laboratório subterrâneo SURF (Sanford Underground Research Facility, South Dakota, EUA) que está instalado numa antiga mina de ouro a quase 1,5 km de profundidade.

Os neutrinos vão atravessar em linha recta o pedaço do planeta Terra entre os dois pontos, numa trajectória subterrânea que atingirá uma profundidade de cerca de 30 km. Ao longo do percurso, os neutrinos vão oscilar. DUNE investigará em detalhe as oscilações

dos neutrinos e a hierarquia das suas massas (qual é o neutrino mais leve?), entre outros aspectos fundamentais para compreendermos melhor o papel do neutrino na evolução do Universo.

DUNE não terá apenas um detector de neutrinos, mas uma série deles: no Fermilab estará o chamado “detector próximo” — na realidade uma série de detectores que permitirão caracterizar e monitorar o feixe inicial. No SURF estará o “detector distante” — um conjunto de quatro grandes detectores de árgon líquido. São estes que de momento mais nos interessam.





Detector DUNE ©DUNE

Quando os neutrinos entram no detector, alguns deles vão interagir com um núcleo de árgon — não que a interacção seja muito provável, já sabemos que os neutrinos interagem fracamente. É por isso que precisamos de muitos neutrinos (um feixe com biliões de neutrinos) e de muitos núcleos de árgon (10 mil toneladas em cada um dos quatro detectores). Quando a interacção ocorre, causa um recuo nuclear, provocando ionização. Sob a acção de um campo eléctrico, as cargas (electrões e iões) vão deslocar-se, multiplicar-se e ser recolhidas. Deixam no árgon líquido traços de ionização que podem ser vistos por sistemas complexos de aquisição e reconstrução de dados, capazes de nos dar uma imagem tridimensional de

processos subatómicos para nós totalmente invisíveis. Usando a posição de recolha das cargas e a medida do tempo de chegada, o detector é capaz de medir a posição 3D de cada ponto onde ocorre uma interacção. É este o princípio de funcionamento de uma TPC — Time projection Chamber.

Dos quatro elementos do detector distante de DUNE, dois serão TPC de deriva horizontal (as cargas deslocam-se na horizontal, sendo recolhidas em eléctrodos verticais) seguindo o modelo da experiência de neutrinos ICARUS. Os outros dois serão câmaras de deriva vertical do tipo das usadas em LZ e noutras experiências que procuram matéria escura.



José Maneira, coordenador do grupo LIP-DUNE

Uma questão de calibração

A calibração do detector é um dos aspectos importantes a explorar em ProtoDUNE-II. O LIP lidera o consórcio de calibração de DUNE e tem grandes responsabilidades no desenvolvimento, construção e instalação do sistema de calibração laser do detector, numa colaboração entre o Grupo de Física de Neutrinos e a Oficina de Mecânica do LIP. O sistema óptico (laser

e periscópio) foi construído em Los Alamos. A maior parte do sistema mecânico foi da responsabilidade do LIP. Em Dezembro de 2022, cientistas e engenheiros das duas equipas juntaram-se no CERN para a instalação.

Neste tipo de calibração, usam-se traços compridos (que imitam os dos muões cósmicos) produzidos com lasers UV tão intensos que conseguem ionizar o argón — por processos de absorção multi-fotões (absorção simultânea de muitos fotões) uma vez que a energia destes fotões ópticos não é suficiente para tal.

Utilizando um laser acoplado a um periscópio, é possível orientar o feixe de calibração para diferentes regiões do detector. No LIP foram desenhadas, construídas e testadas grande parte das peças mecânicas de precisão e foi feita a integração mecânica de muitas peças, nomeadamente dos vários tipos de flanges que permitem acoplar o sistema ao detector e controlar a translação e rotação do periscópio, permitindo posicionar o laser de forma a iluminar diferentes zonas e direcções do interior do detector.

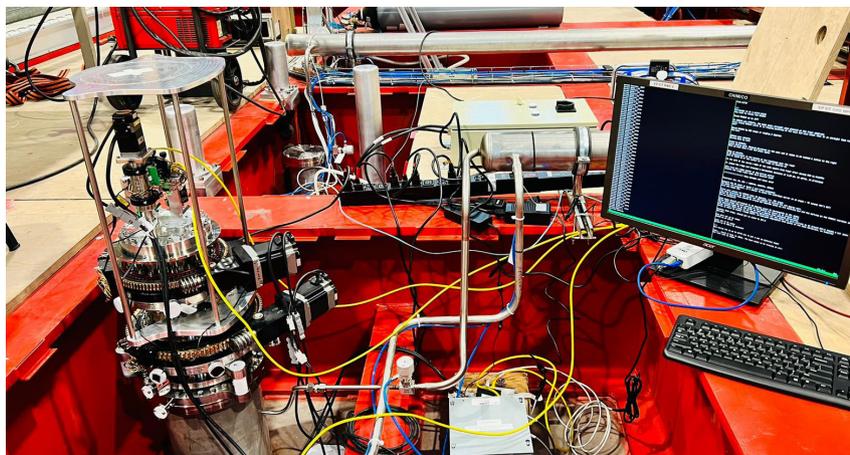
É assim possível comparar, por exemplo, a direcção verdadeira do feixe com a que é reconstruída usando os sinais vistos no detector. Evidentemente, isto exige mecânica de precisão — antes de mais nada, para saber com precisão qual é a direcção real do feixe. A comparação sistemática com a direcção reconstruída na calibração laser permite identificar e corrigir eventuais distorções causadas pelo campo eléctrico — em particular, a acumulação de iões (que são mais lentos) pode distorcer o campo e causar efeitos de desalinhamento geométrico.

Equipa do LIP na instalação do sistema de calibração laser de ProtoDUNE-II
Vladimir Solovov, José Maneira e Rui Alves



Em DUNE, pretende-se expandir a utilização da calibração laser. Esta deverá ser utilizada não só para calibrar a reconstrução em posição (da forma descrita acima) mas também a carga recolhida ao longo do traço da trajectória do neutrino no detector — com módulos de seis metros de altura, cinco metros de profundidade, e um plano vertical de altas tensões colocado ao centro, a distância de deriva para cada lado do módulo pode ser considerável. Pretende-se avaliar o efeito de eventuais não-uniformidades no sistema de recolha de carga do detector, ou da absorção de cargas (por impurezas) ao longo da deriva.

Para tal, está a ser desenvolvido no grupo do LIP em DUNE um modelo detalhado do feixe laser, que permitirá modelar as incertezas. Quaisquer incertezas residuais poderão ser canceladas comparando o que se obtém para cada orientação do feixe com uma direcção de referência: aquela em que o feixe está orientado paralelamente às paredes da câmara em que a carga é recolhida. Sendo constante a distância de deriva ao longo da trajectória, sabemos que quaisquer não-uniformidades na recolha de carga estarão relacionados com a estrutura do feixe, eficiência do detector e outros efeitos da instrumentação.





Elementos das equipas do LIP e de Los Alamos na plataforma de neutrinos do CERN

Inovação “made in LIP”

Como imediatamente se desconfia olhando para os desenhos CAD, o design, construção, teste e integração de grande parte das peças mecânicas do sistema de calibração laser foi um projecto complexo de engenharia mecânica. O grupo do LIP foi além disso responsável por uma variedade de tarefas cruciais para o funcionamento de todo o sistema — a escolha e teste dos motores, o sistema de controlo de criogenia e vácuo, os testes de verificação de fugas durante o movimento das flanges rotatórias, e interligação da electrónica de controlo dos motores com o sistema de

controlo e aquisição de dados de DUNE são apenas alguns desses aspectos.

O desenho do LIP resolveu de forma inovadora algumas limitações dos sistemas anteriores. Um exemplo é a forma encontrada para maximizar as regiões do detector que podem ser iluminadas, assim como as direcções possíveis do feixe laser a partir do exterior, ou seja, utilizando um desenho não invasivo do periscópio. A dificuldade estava no facto de a grelha metálica que rodeia o detector (destinada a criar um campo eléctrico o mais uniforme possível) ser muito fechada, tornando difícil inserir o periscópio e iluminar todas as direcções e regiões do volume.

Para contornar a questão, foi desenvolvido um sistema em que se usa o efeito de paralaxe, ou seja, usa-se não apenas o centro de cada região aberta entre as grades mas também posições descentradas nesta região. Consegue-se assim iluminar não só a zona em frente, mas também zonas contíguas, já fora do campo de visão perpendicular. Isto implica um sistema de flanges que permite dois movimentos de rotação acoplados, mas com eixos de rotação diferentes.

Outra inovação concebida no LIP foi aquilo a que podemos chamar o sistema de calibração do sistema de calibração. Será que conhecemos realmente bem a direcção do laser? Para ter a certeza de que a precisão é a pretendida, foram colocados dentro do detector minúsculos espelhos em que o laser é reflectido. Quando se vê a reflexão, sabemos que o laser está realmente a incidir naquela posição. Os espelhos foram também testados no LIP em Coimbra, nomeadamente no que diz respeito à medição da reflectividade a muito baixas temperaturas.



O futuro está a chegar

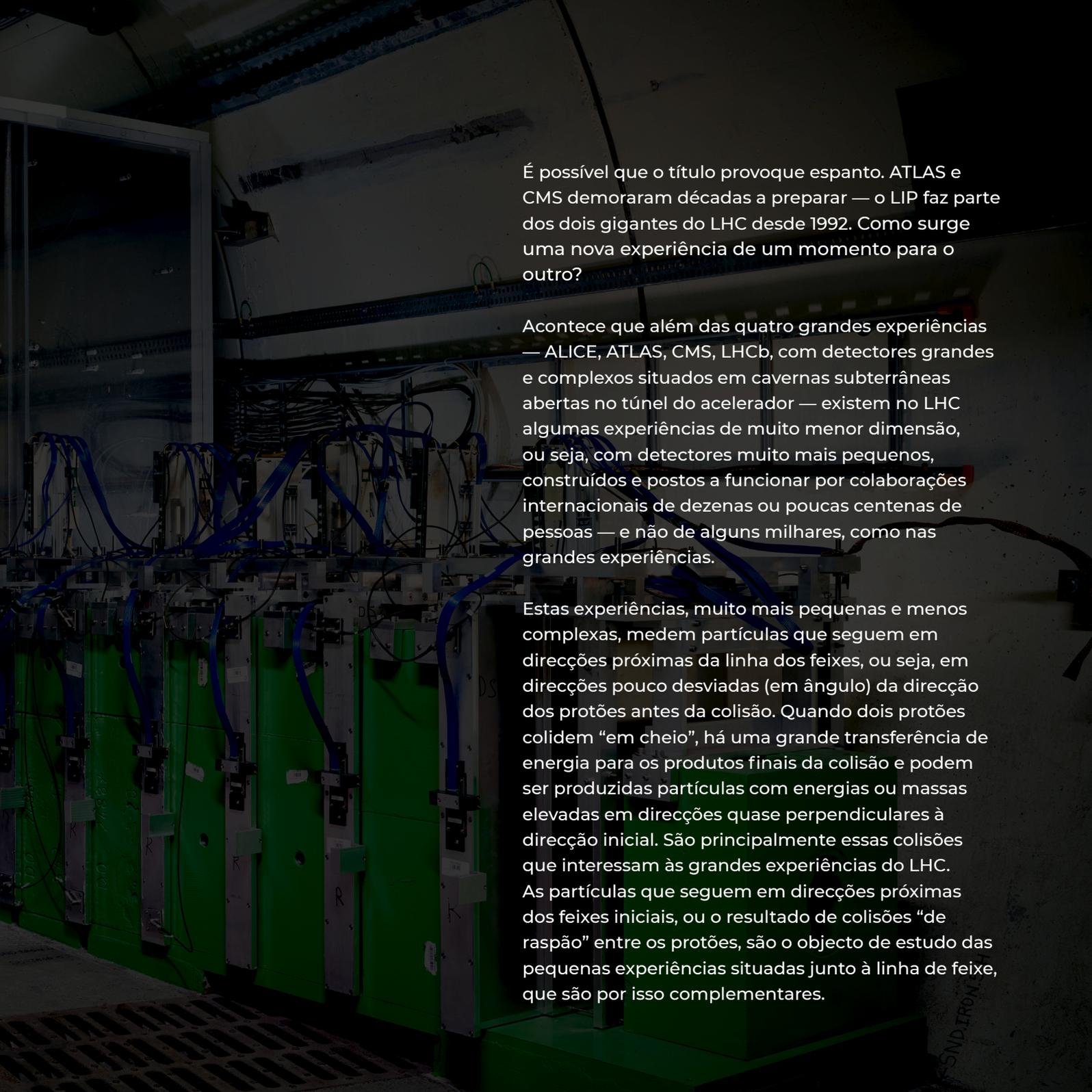
Mais de mil cientistas e engenheiros de 32 países estão a trabalhar no desenvolvimento e construção de DUNE, que é a maior colaboração mundial no campo da Física de Neutrinos.

Enquanto os testes de protótipos decorrem na plataforma de neutrinos do CERN e os detectores vão sendo desenhados e construídos, há trabalho de engenharia civil a fazer nos laboratórios que vão acolher DUNE. Em 2017, começaram as escavações necessárias para instalar o novo feixe de neutrinos no Fermilab e os quatro detectores no SURF. O primeiro destes detectores deve ser instalado em 2025 para ser testado. O feixe é esperado em 2026. DUNE será certamente um dos projectos mais relevantes da física de partículas das próximas décadas.

A scientist wearing a white hard hat and safety glasses is kneeling in a large, dimly lit tunnel. He is looking towards a large, complex piece of equipment that is partially open, revealing internal components and wiring. The tunnel walls are concrete, and the equipment is made of metal and various colored panels (blue, green, white). The overall atmosphere is technical and focused.

Há uma nova experiência no LHC, e vai detectar neutrinos!

A experiência SND@LHC foi aprovada, construída, instalada e posta a funcionar em pouco mais de um ano. Começou a recolher dados em Julho de 2022, no arranque do terceiro período de funcionamento do LHC (Run 3). Pela primeira vez, vão ser detectados neutrinos produzidos em colisões de partículas num acelerador construído por mão humana. No final do Verão, conversámos com Nuno Leonardo, investigador responsável do grupo do LIP em SND@LHC.



É possível que o título provoque espanto. ATLAS e CMS demoraram décadas a preparar — o LIP faz parte dos dois gigantes do LHC desde 1992. Como surge uma nova experiência de um momento para o outro?

Acontece que além das quatro grandes experiências — ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, com detectores grandes e complexos situados em cavernas subterrâneas abertas no túnel do acelerador — existem no LHC algumas experiências de muito menor dimensão, ou seja, com detectores muito mais pequenos, construídos e postos a funcionar por colaborações internacionais de dezenas ou poucas centenas de pessoas — e não de alguns milhares, como nas grandes experiências.

Estas experiências, muito mais pequenas e menos complexas, medem partículas que seguem em direcções próximas da linha dos feixes, ou seja, em direcções pouco desviadas (em ângulo) da direcção dos prótons antes da colisão. Quando dois prótons colidem “em cheio”, há uma grande transferência de energia para os produtos finais da colisão e podem ser produzidas partículas com energias ou massas elevadas em direcções quase perpendiculares à direcção inicial. São principalmente essas colisões que interessam às grandes experiências do LHC. As partículas que seguem em direcções próximas dos feixes iniciais, ou o resultado de colisões “de raspão” entre os prótons, são o objecto de estudo das pequenas experiências situadas junto à linha de feixe, que são por isso complementares.

Física de neutrinos em aceleradores

Quando se acrescenta que a nova experiência vai detectar pela primeira vez neutrinos produzidos em colisões num acelerador de partículas, o espanto pode dar lugar à estranheza. Em sete décadas de aceleradores de partículas, com detectores cada vez mais complexos, em que diferentes camadas medem diferentes tipos de partículas ou diferentes propriedades das partículas, nunca detectámos um neutrino?

Os neutrinos são partículas algo parecidas com os electrões mas extremamente leves, sem carga eléctrica, e que interagem muito fracamente com qualquer tipo de matéria. São por isso muito difíceis de detectar — isto porque uma partícula só é detectada quando interage com qualquer coisa, neste caso com a matéria que constitui o detector.

Até agora, nos aceleradores, apenas conseguimos inferir a passagem de neutrinos — são sempre as partículas em falta, que não foram detectadas, mas têm de estar lá para haver conservação da energia e da quantidade de movimento, equilibrando o resultado da colisão nas diferentes direcções. E sabemos que os neutrinos são as únicas partículas capazes de atravessar estes grandes detectores sem serem vistas.



Então, como se detecta um neutrino? As experiências de neutrinos costumam ser detectores enormes (para que haja pelo menos algumas interações com o material do detector) instalados no fundo de minas ou debaixo de montanhas (que os protegem da radiação cósmica). Ali, praticamente só os neutrinos conseguem chegar. Nestas condições, temos a certeza de que as interações que ocorrerem no detector são provocadas por estas partículas, descontado algum “ruído de fundo” que aprendemos a contabilizar. Os neutrinos detectados nessas experiências podem ser produzidos no interior do Sol, em explosões de supernovas, em interações de partículas cósmicas na atmosfera, em decaimentos radioactivos ou em reactores nucleares na Terra.

Mas como é que um pequeno detector como SND@LHC vai conseguir detectar neutrinos, as mais esquivas das partículas elementares? A luminosidade extrema das colisões próton-próton no LHC produz um grande fluxo de neutrinos nas direcções próximas do feixe. Além disso, estes têm energias elevadas, o que leva a probabilidades de interacção relativamente altas. Juntando os dois factores, será possível detectar uma pequena fracção dos mutíssimos neutrinos produzidos — o que, ao fim de algum tempo, será uma quantidade razoável!

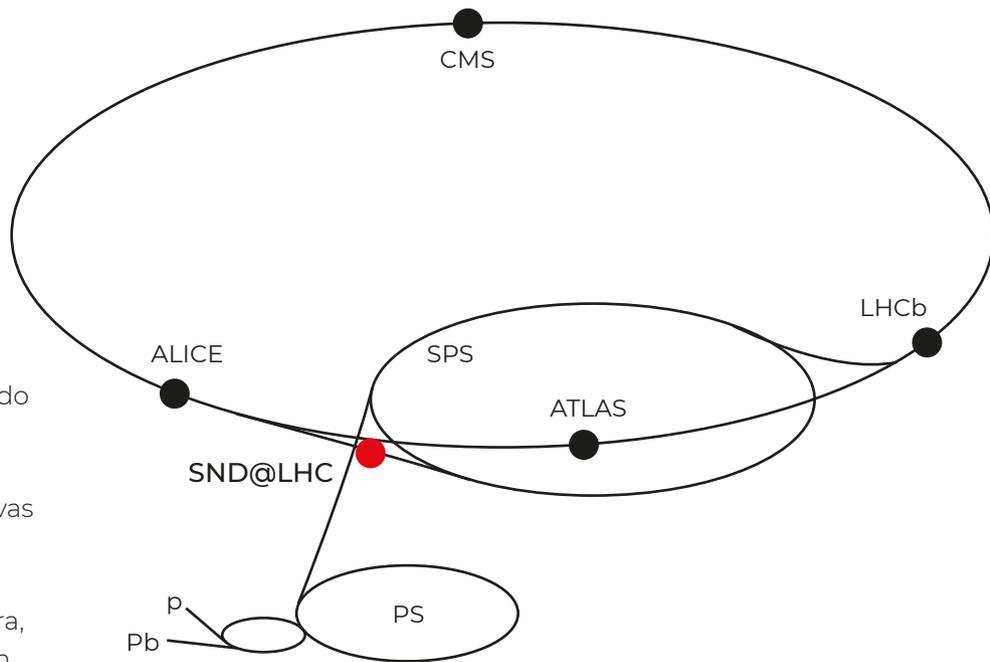
Durante a sua primeira fase de funcionamento, espera-se que SND@LHC recolha uma luminosidade integrada superior a 150 fb^{-1} , correspondente a mais de 1000 interações de neutrinos de alta energia no detector.

O LHC é uma verdadeira fábrica de neutrinos ainda por explorar. Produz os três tipos que conhecemos (neutrino do electrão, neutrino do muão e neutrino do tau) assim como as respectivas antipartículas em quantidades comparáveis. SND@LHC poderá detectar os três tipos de neutrinos, investigar a universalidade leptónica (no fundo, trata-se de verificar se as coisas se passam da mesma forma nas três famílias de leptões que conhecemos) e estudar a partícula mais desconhecida do Modelo Padrão da física de partículas: o neutrino do tau.



Scattering and Neutrino Detector
at the LHC

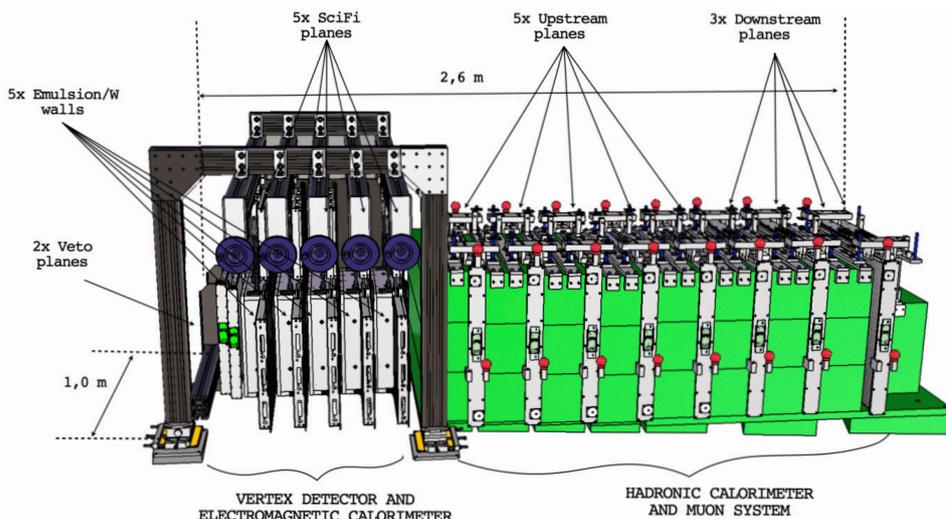
Além disso, uma grande parte dos neutrinos que serão detectados em SND@LHC resultará do decaimento de partículas contendo quarks pesados. Isto permitirá o estudo da produção e decaimento de sabores pesados numa região que as grandes experiências de LHC não podem explorar. Estas medições serão também relevantes para compreendermos a produção de neutrinos de muito alta energia em interações de raios cósmicos, reforçando a ponte entre a física de aceleradores e a física das astropartículas. SND@LHC pode ainda ser usada para procurar novas partículas que interajam fracamente. Por exemplo, se as colisões do LHC produzirem partículas de matéria escura, estas podem escapar de ATLAS e, quem sabe, viajar cerca de meio quilómetro até atingirem o detector SND@LHC.



Localização do detector SND@LHC no LHC do CERN

A experiência SND@LHC está situada a 480 metros da experiência ATLAS, num túnel não utilizado que liga o LHC (Large Hadron Collider) ao SPS (Super Proton Synchrotron). Posicionado ligeiramente fora da linha de feixe do LHC, chegam ao detector neutrinos produzidos nas colisões do LHC que sejam emitidos em direcções desviadas de um pequeno ângulo em relação à linha de feixe. SND@LHC consiste num alvo onde alguns neutrinos vão interagir num conjunto de dispositivos que nos vão permitir medir a energia do neutrino e detectar muões produzidos quando os

neutrinos interagem com o alvo. SND@LHC inclui 800 kg de placas de tungsténio intercaladas com planos de emulsão e planos de fibras ópticas cintilantes. A emulsão actua como detector de vértices com resolução micrométrica, enquanto o plano de fibras ópticas fornece uma medida do tempo. Em conjunto, actuam como um calorímetro electromagnético, permitindo medir a energia do neutrino. Seguem-se planos de barras cintiladoras intercaladas com blocos de ferro, servindo como calorímetro hadrónico. A jusante, está o sistema de identificação de muões.



Esquema do detector SND@LHC ©CERN

Uma corrida contra o tempo

Apesar de tudo, as grandes escalas de tempo da física de partículas não estão totalmente ausentes nesta história. A ideia de detectar neutrinos no LHC tem mais de 20 anos. Por seu turno, o detector SND já estava previsto como parte da futura experiência SHiP para detectar neutrinos no SPS — outro objectivo já antigo. Mas o nascimento de SND@LHC foi precisamente o contrário disso: uma corrida contra o tempo.

Quando os calendários dos aceleradores do CERN foram revistos e SHiP foi empurrada um pouco mais para o futuro, bastou juntar as pontas e surgiu a ideia de usar o detector SND de forma independente e numa nova localização, no LHC. Ou seja, SND@LHC. É Nuno Leonardo, coordenador do grupo do LIP em SHiP e em SND@LHC, que nos conta a história daquele que descreve como “um período intenso”.

Montagem do detector SND@LHC ©CERN



A experiência foi aprovada em 2021. Era preciso construir e instalar o detector a tempo do Run 3 do LHC, com início no Verão de 2022. Havia pouco tempo para tudo, mas o maior desafio era a janela temporal para a instalação no LHC: tão estreita que não havia margem para erros. Nas palavras de Nuno Leonardo, “Se alguma coisa faltasse ou precisasse de correções, podia não haver experiência, porque não havia tempo para refazer nada”.

Ao núcleo de laboratórios que estava a desenvolver os vários componentes de SND para SHiP juntaram-se outros para construir tudo o que faltava. Alguns deles acabaram por dar contribuições fundamentais. “Foi o caso do LIP”, salienta Nuno Leonardo. Em SHiP, o LIP está implicado no sistema de muões. O coordenador do grupo do LIP explica que “A decisão de participar em SND@LHC já tinha sido tomada. Com a aprovação da experiência, é claro que a actividade foi deslocada para o curto prazo”. Foi preciso definir rapidamente onde se encaixavam naquele puzzle do qual tinha de resultar



Nuno Leonardo, coordenador do grupo SHiP/ SND@LHC no LIP

uma experiência completa. A decisão acabou por estar relacionada com as necessidades da experiência e com as responsabilidades do grupo em SHiP.

O LIP ficou responsável pela estrutura mecânica do detector de muões, sem a qual não havia experiência. Foi construída na Oficina de Mecânica do LIP, em Coimbra. Nuno Leonardo explica como foi possível acomodar toda esta actividade sem tempo para obter financiamento dedicado: “A oficina do LIP usou fundos próprios. Tínhamos um estudante de mestrado, o Guilherme Soares. Através de outro projecto foi possível arranjar alguns fundos para que passasse bastante tempo no CERN, nomeadamente durante os testes em feixe. Houve também uma contribuição da PETsys [empresa spin-off do LIP] que forneceu placas de electrónica”. Guilherme Soares terminou o mestrado e é hoje estudante de doutoramento no grupo.



Construção da estrutura mecânica na oficina do LIP Coimbra

Os primeiros neutrinos detectados em colisões de partículas num acelerador foram apresentados em Março de 2023 pelas experiências SND@LHC e FASER, apenas nove meses depois de terem começado a tomar dados no LHC. FASER observou neutrinos do muão, e ainda eventos candidatos a neutrinos do electrão. SND@LHC apresentou os seus primeiros resultados, mostrando oito eventos candidatos a neutrinos do muão. Os resultados foram divulgados na conferência Rencontres de Moriond, que se realizou em La Thuile, Vale d' Aosta, Itália.

A recolher dados

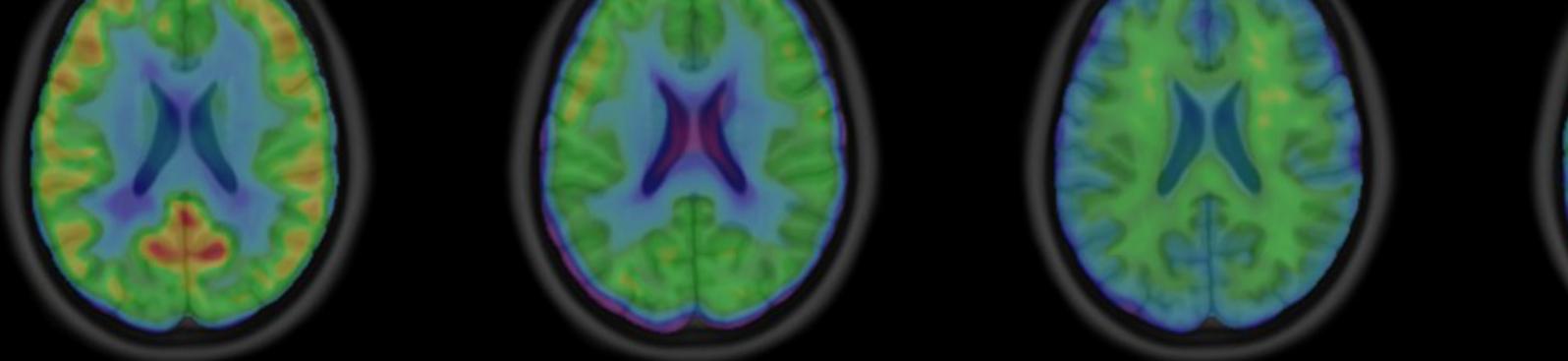
O Run 3 do LHC arrancou a 5 de Julho de 2022, e SND@LHC está desde essa altura a tomar dados. Como em todas as experiências, houve uma fase inicial de “commissioning”, ou entrada em funcionamento, em que vários aspectos são afinados — podem ir surgindo alguns problemas, que vão sendo resolvidos. Como a preparação da experiência foi uma verdadeira corrida contra o tempo, uma parte do sistema de análise e monitorização online necessitava ainda de ser aperfeiçoada ou mesmo desenvolvida.

O sistema está já bastante automatizado, com notificações e alarmes que avisam os especialistas quando acontece alguma coisa, a qualquer hora do dia ou da noite. Durante o dia, existem turnos para a realização de vários tipos de tarefas, que podem ser remotas ou presenciais. Um exemplo característico dos detectores com emulsões é a necessidade de equipas que, regularmente, vão ao detector substituir as emulsões (tijolos). Trazem as que vão para “revelação” (análise por grupos com competências específicas nessa área), que são substituídas por novas. A localização e a estrutura do detector foram pensadas tendo em conta esta necessidade.

Nas grandes experiências do LHC, não está previsto trabalho regular junto do detector durante os períodos de funcionamento, mesmo quando não há feixe no acelerador.

SND@LHC está muito próximo do feixe — é uma zona pouco estudada, evitada sempre que possível nas grandes experiências. A primeira coisa a fazer é perceber os “fundos”: compreendemos a origem das partículas que estamos a detectar? Os modelos e simulações conseguem reproduzir o que se observa? É um trabalho desafiante, detalhado e longo que está a ser feito pela colaboração.

SND@LHC está aprovada para o Run 3 do LHC (que deve durar até ao final de 2025) podendo ter melhoramentos — por exemplo, detectores produzidos no LIP que permitam medir o fundo de muões. O que se segue? Entre as propostas para a fase de alta luminosidade do LHC estão SNDAdvanced (com detectores em diferentes localizações) e a CERN Forward Physics Facility (FPF) que, se aprovada, vai incluir vários projectos, entre eles SND. É cedo para dizer, mas é certo que a aventura ainda está no início.

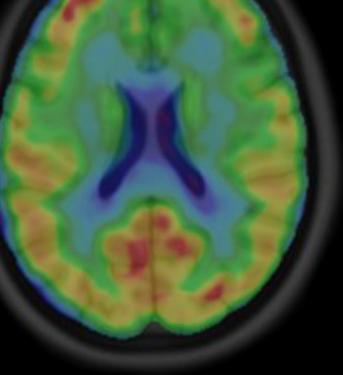


HirezBrainPET

espreitar o funcionamento do cérebro com anti-matéria

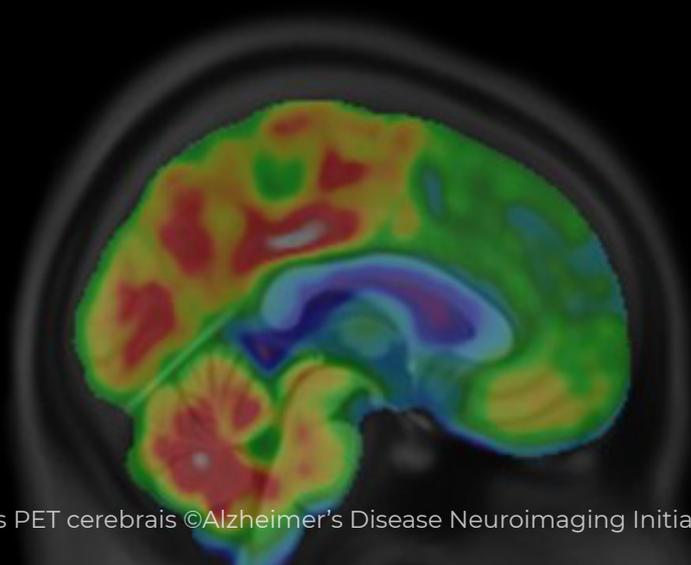
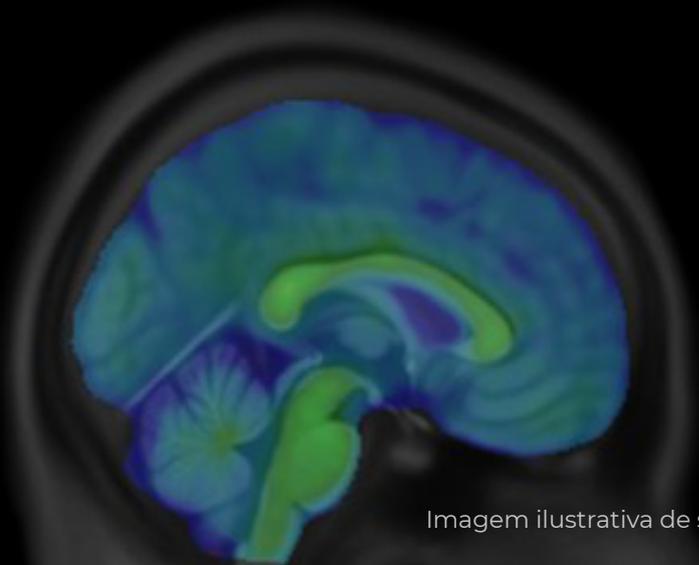
O projecto HirezBrainPET desenvolveu um tomógrafo PET cerebral com resolução espacial sub-milimétrica utilizando uma tecnologia inovadora baseada em Câmaras de Placas Resistivas (RPC-PET) em que o LIP é líder mundial. Um dispositivo com estas características pode mudar o paradigma no diagnóstico e investigação de doenças que afectam o sistema nervoso central. Alguns meses depois do seu término, conversámos com Paulo Fonte, coordenador do grupo do LIP, professor do ISEC, e principal responsável técnico do projecto.





Do laboratório de física para o hospital

A utilização de radiação para ver o interior do corpo humano está longe de ser uma novidade. A imagiologia médica desempenha hoje um papel fundamental no diagnóstico, planeamento e monitorização de terapias, bem como na investigação médica. Em particular, a tomografia por emissão de positrões (positron emission tomography, PET) permite localizar e medir in vivo funções fisiológicas e patologias a elas associadas. Isto tem aplicações importantes no diagnóstico e investigação de algumas das doenças mais importantes do sistema nervoso central — neurológicas (epilepsia, Alzheimer, Parkinson, Huntington), psiquiátricas (depressão, esquizofrenia), acidentes vasculares cerebrais (AVC) e doenças neuro-oncológicas.

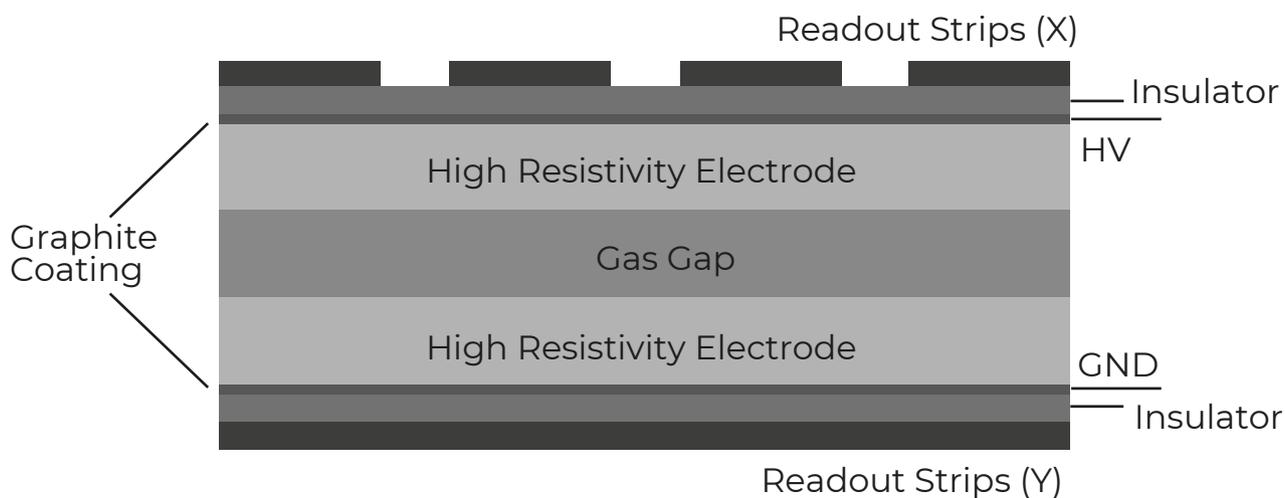


O desenvolvimento de novos detectores de partículas e da instrumentação e ferramentas associadas tem um papel chave nos avanços em física de partículas e está em constante evolução. No entanto, as correspondentes aplicações na área da saúde têm ciclos de desenvolvimento longos e dispendiosos, com equipas multidisciplinares e procedimentos de aprovação naturalmente estritos. Estão ainda muitas vezes sujeitas às leis do mercado. Da conjugação destes dois factores pode surgir um desfasamento maior que o desejável entre o estado da arte da tecnologia e o equipamento de utilização comum (e acessível a todos) na prática clínica.

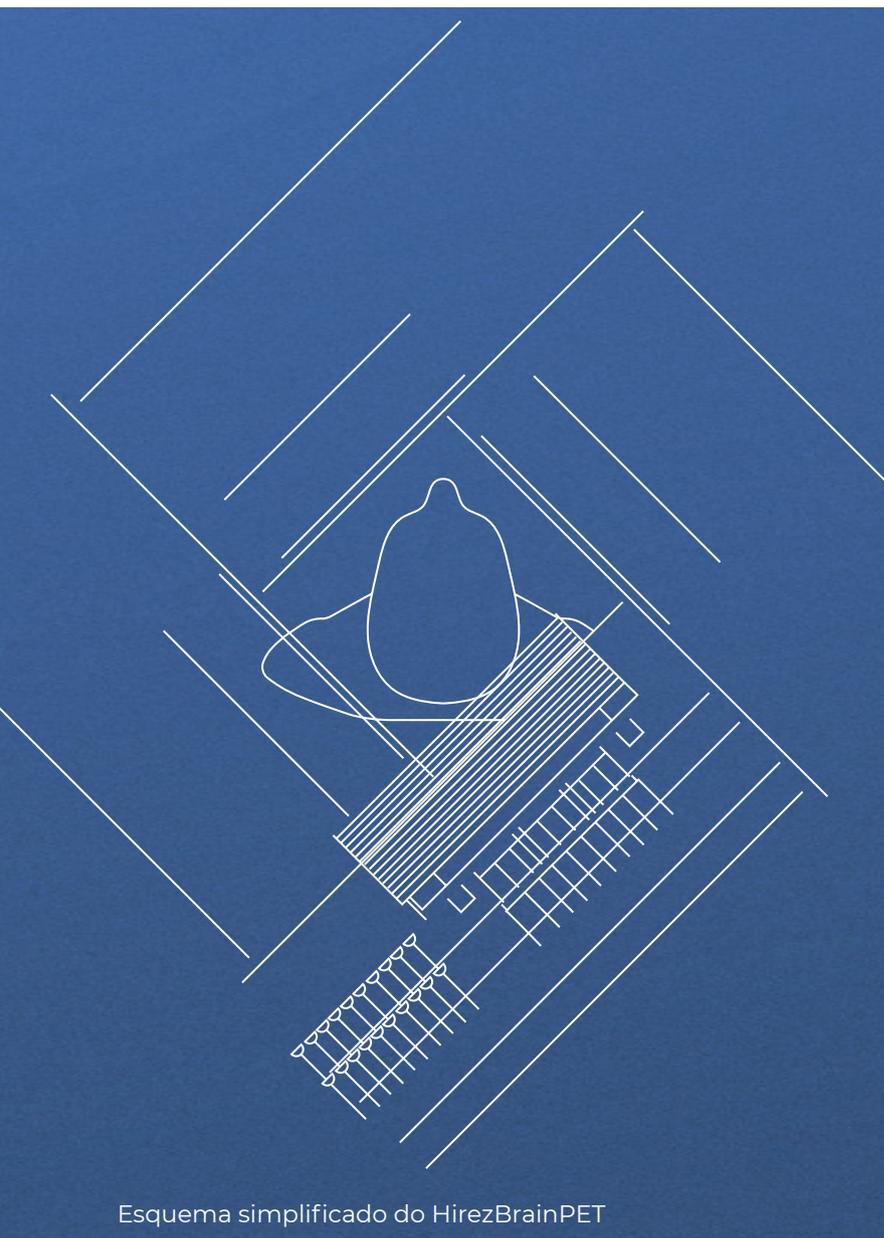
Este é certamente o caso da tecnologia de PET. Esta técnica conheceu importantes avanços nas últimas

décadas, particularmente com o desenvolvimento de moléculas radioactivas cada vez mais específicas e selectivas. Estes avanços não foram contados acompanhados pela melhoria dos tomógrafos utilizados nas unidades de saúde (os dispositivos utilizados para fazer as medições que permitem obter as imagens).

A utilização desta técnica tem sido limitada pela baixa resolução espacial (tipicamente da ordem de cinco milímetros) quando comparada com outras técnicas de imagiologia cerebral, como a ressonância magnética (MRI) ou a tomografia computadorizada (CT) que, não tendo a sensibilidade e a especificidade da PET, apresentam uma resolução espacial inferior a um milímetro.



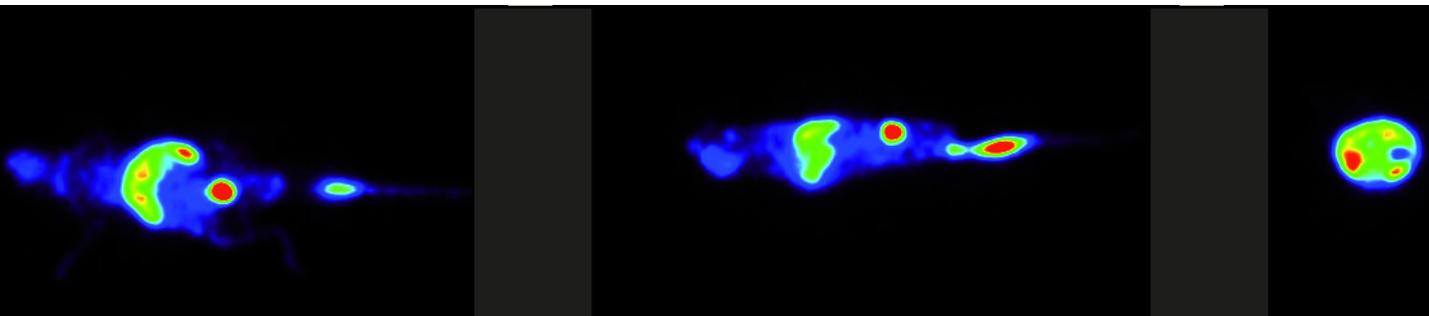
Esquema simplificado de uma RPC



Esquema simplificado do HirezBrainPET

Os projectos de desenvolvimento e inovação nas tecnologias da saúde procuram que este desfasamento seja tão reduzido quanto possível, tendo um importante papel societal. É o caso do HirezBrainPET (Imagiologia neurofuncional cerebral por tomografia de emissão de positrões de alta resolução) que desenvolveu um tomógrafo PET para exames do cérebro humano com elevada resolução espacial baseado em detectores de partículas, designados por câmaras de placas resistentes (resistive plate chambers, RPC). O sistema pode ser adaptado para a obtenção de imagens PET de alta resolução de outros órgãos.

O projecto foi proposto e levado a cabo por um consórcio constituído pela empresa ICNAS — Produção Unipessoal, Lda. (ICNAS-P, uma empresa de produção radiofarmacêutica pertencente à Universidade de Coimbra), pelo LIP e pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), sendo financiado pelo programa “Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico — Portugal 2020”. Depois de algumas vicissitudes, que incluíram uma longa espera pela avaliação e aprovação e um adiamento devido à pandemia de COVID-19, o projecto decorreu entre Junho de 2019 e Abril de 2022.



Imagens de alta resolução de scans PET de pequenos animais

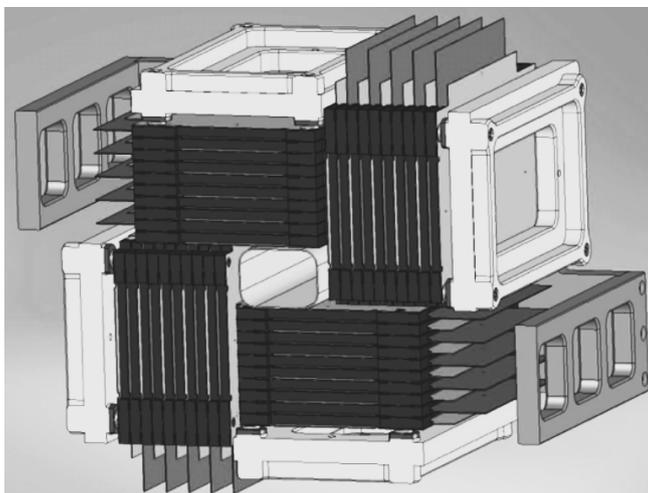
Duas décadas de desenvolvimento

Não foi certamente em 2019 que a aventura começou — teria aliás sido impossível fazer tudo de raiz em tão pouco tempo. O início remonta antes a 2000, altura em que Paulo Fonte começou a pensar na ideia de usar detectores RPC para este tipo de aplicações. “Tudo começou com uma conversa com Dario Crosetto, numa conferência em que ele lançou a ideia de um instrumento PET para imagiologia de corpo inteiro usando cristais cintiladores para detectar os fótons”, revela. O físico italiano foi pioneiro, numa altura em que ainda não existiam cálculos ou simulações que permitissem realmente estimar o que se conseguiria fazer com tal instrumento. Actualmente existem muitos projectos concluídos ou em curso, sobretudo de equipas de cientistas da China e dos EUA. Acontece que um PET de cristais cintiladores para exames de corpo inteiro tem um preço proibitivo.

A ideia que surgiu na altura foi a de usar detectores RPC para fazer precisamente a mesma coisa. É um facto que as RPC são detectores económicos e versáteis. A parte “estranha”, ou inovadora, da ideia é que as RPC não são bons detectores de fótons, uma vez que estes têm de

se converter em partículas carregadas para serem detectados. Ao longo dos anos, procurou-se consolidar a ideia. Participaram muitos elementos do grupo, alguns dos quais estudaram o assunto nos seus trabalhos de tese. Como explica Paulo Fonte, “no grupo, criámos modelos e simulações, desenvolvemos algum equipamento para demonstrar determinados aspectos. No início conseguimos apoio financeiro, mas depois não”. Trata-se de um problema recorrente em projectos aplicações tecnológicas de grande relevância mas, cujos tempos de desenvolvimento são considerados longos.

Foi construído um instrumento completo, um scanner PET para pequenos animais. “Na verdade foi uma prova de conceito”, refere Paulo Fonte. Como não existia financiamento dedicado, muita coisa foi feita aproveitando material de outros projectos. Apesar de todos estes constrangimentos, a sua utilidade dificilmente pode ser exagerada: o PET animal construído no LIP “está a funcionar no ICNAS desde Agosto de 2014”. Já foram realizados centenas de testes em ratinhos, e os resultados foram usados em estudos de doenças degenerativas e testes de novos fármacos.



Desenho técnico do scanner PET animal



Paulo Fonte, Coordenador do grupo RPC-PET do LIP

O HirezBrainPET

É neste contexto que surge o projecto HiRezBrainPET de construção de um protótipo completo e funcional de um scanner PET para exames cerebrais em humanos. Pretendeu-se fazer algo bastante mais ambicioso. Nas palavras de Paulo Fonte, “praticamente tudo foi melhorado em relação ao PET animal”.

A dimensão passou para 30 cm x 30 cm, o que torna a construção bastante mais difícil, dado que as placas de vidro partem com facilidade. Por outro lado, com o vidro é possível fazer camadas de gás muito finas e empilhadas. Isso é importante para a resolução em tempo e para evitar erros de paralaxe, o que é fundamental para utilizações PET.

Os eléctrodos de recolha de sinal foram muito melhorados. Enquanto o sistema de aquisição de dados é standard e foi adaptado de outro projecto, o sistema de leitura e tratamento dos sinais foi desenvolvido para permitir a leitura e armazenamento em paralelo dos dados registados em cada canal de leitura, podendo transferir-se e registar-se Gigabits de informação por segundo. Foi introduzida a medida do tempo, além da medida da posição.

Mas a “bandeira” deste PET foi a promessa de uma resolução sub-milimétrica na medida em posição, determinante para aplicações em exames ao sistema nervoso. A resolução prometida foi atingida. Em testes com raios cósmicos, obtiveram-se 100 microns em posição e 60 ps em tempo. Estão em cursos testes adicionais com fotões.

A sensibilidade é o calcanhar de Aquiles desta técnica, pela baixa eficiência a detectar fótons. Ainda assim, o objetivo definido na proposta inicial (0,1%) foi atingido com apenas metade das RPC instaladas, sendo expectável que sejam atingidos os valores típicos dos aparelhos baseados em cristais (0,3%) usando a totalidade das RPC. O investigador sintetiza e conclui: “O tomógrafo foi avaliado relativamente às características fundamentais, nomeadamente resolução em posição e sensibilidade. Foi também realizada uma imagem com um fantoma cerebral para evidenciar a capacidade de obter imagens em condições realistas. O próximo passo são os testes em pessoas, fundamentais para provar o valor clínico”.

Os primeiros testes vão avançar no ICNAS, mas é uma etapa que vai implicar um trabalho longo. O que é habitual fazer-se numa primeira fase é recorrer a pacientes que vão ser submetidos a um exame PET convencional e que sejam voluntários para fazer um segundo exame, sem que isso implique nenhuma

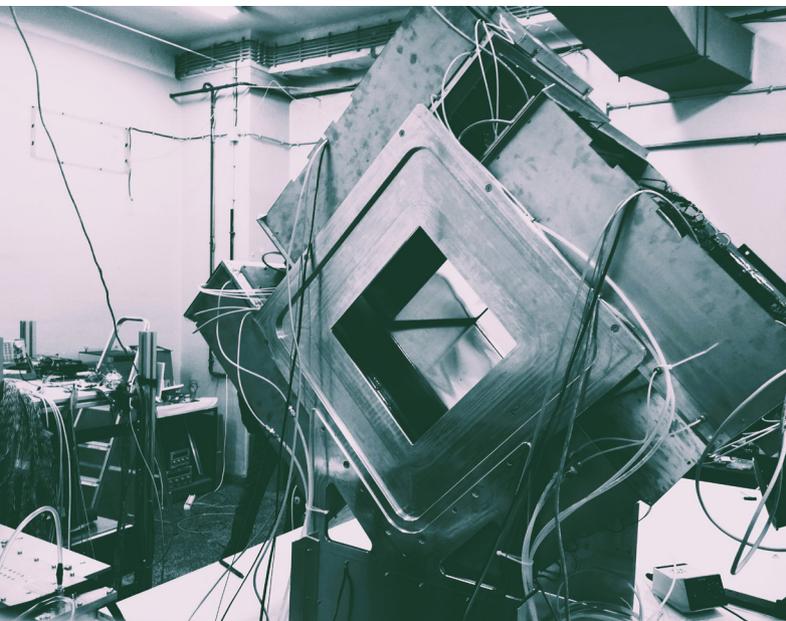
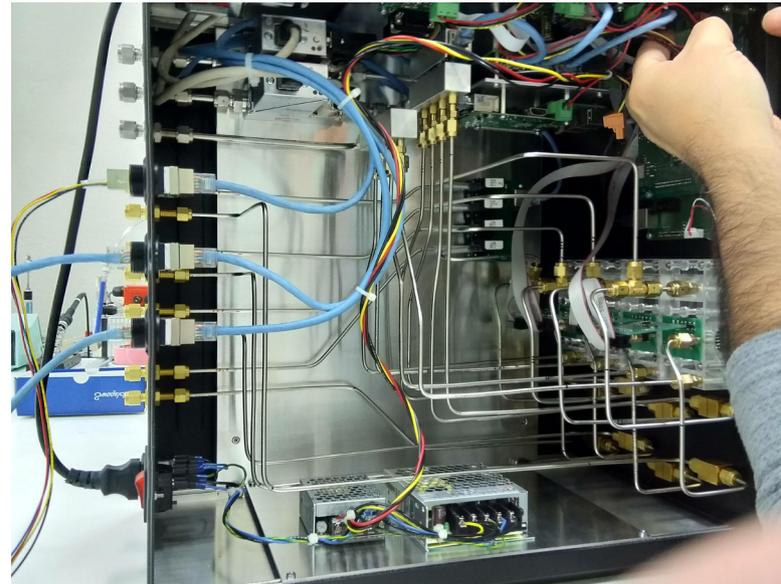
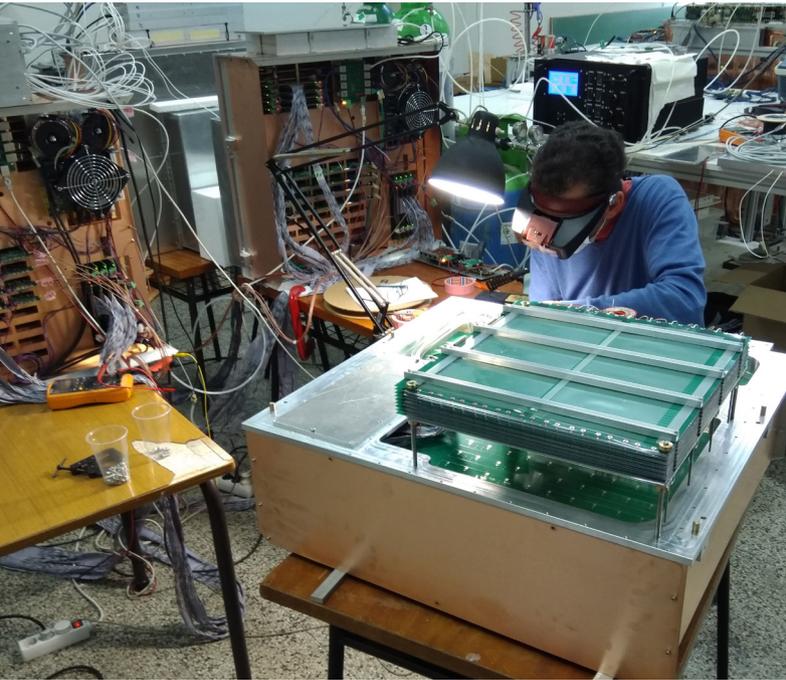
preparação ou medicação adicional. Tratando-se de um protótipo, será necessário fazer algumas adaptações para que o aparelho se enquadre melhor em ambiente hospitalar. No que diz respeito à transferência desta tecnologia para a indústria, “o primeiro passo é a sua divulgação em conferências e artigos que cheguem aos diferentes grupos de potenciais interessados, a nível global,” diz Paulo Fonte. Existem já manifestações de interesse, não só para o PET cerebral mas também para outras aplicações com requisitos semelhantes. O trunfo está na relação entre a resolução oferecida e o preço, sempre muito inferior ao da tecnologia mais convencional.

Terminamos onde começámos, com a pergunta feita no ano 2000: e um PET humano de corpo inteiro? Sendo claro que preço e performance podem ser muito competitivos, o desenvolvimento envolve uma escala de financiamento que implicaria um tipo de enquadramento que até ao momento não foi encontrado.

Edifício ICNAS ©ICNAS



Fases de construção do protótipo do scanner RPC-PET cerebral do projecto HighRezBrainPET do LIP/ICNAS





Infraestrutura
Nacional de
Computação
Distribuída

O que liga a ciência política à investigação em saúde?

Pelo menos uma coisa: os recursos computacionais da INCD

O LIP coordena a Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD), que disponibiliza recursos computacionais à comunidade científica em Portugal. É também responsável por toda a parte técnica e pelo apoio aos utilizadores. Aqui destacamos dois projectos de investigação em que estes recursos foram utilizados — dois estudos de áreas totalmente distintas e com necessidades de computação muito diferentes, que têm em comum o facto de os recursos disponibilizados pela INCD terem sido fundamentais para os tornar possíveis.

Computação intensiva ao serviço da saúde

Investigadores portugueses descobriram moléculas promissoras para o desenvolvimento de fármacos otimizados contra a COVID-19. Testaram cerca de 200 mil moléculas com recurso à computação avançada.

Novembro de 2019. Wuhan, China. É anunciado o primeiro caso confirmado de COVID-19. Março de 2020. Porto, Portugal. Os meios de comunicação social davam conta de que havia um paciente infectado e um outro em avaliação. A partir daí, o dia-a-dia, a vida como a conhecíamos, mudou – até hoje. Os primeiros dados de um estudo divulgado pelo Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge mostraram que, no cenário inicial de infeções a nível nacional, dominava uma variante do SARS-CoV-2 com uma mutação específica numa proteína. Pelos quatro cantos do mundo multiplicaram-se linhas de investigação com foco na proteína Spike, que se tinha relevado fundamental para que o vírus infectasse, com sucesso, as células humanas.

Qualquer pequeno pedaço de informação sobre ela podia ajudar Sérgio Sousa e a sua equipa do laboratório BioSIM (Biomolecular SIMulations Resaerch Group) que, desde cedo, foram chamados para esta luta de desenvolver fármacos que pudessem impedir a infeção. O trabalho começou logo nesse mesmo mês em que, no mundo – e no país –, eram confirmados casos atrás de casos. “Na altura, fomos abordados pela Crowd Fight for COVID, uma plataforma colaborativa de cientistas espalhados pelo mundo, e foi-nos pedido que entrássemos numa rede de investigadores com técnicas experimentais já capazes de fazer certos testes para avaliar os mecanismos de propagação do vírus”, conta o investigador. Sem hesitar, o grupo português arregaçou mangas e embarcou no desafio. Coube-lhes encontrar, através de recursos computacionais, moléculas com capacidade inibitória, ou seja, com capacidade de evitar a propagação do vírus.

Sérgio F. Sousa, Investigador, BioSIM
©Sérgio F. Sousa



A proteína Spike do SARS-CoV-2 é, segundo Sérgio Sousa “uma parte essencial para que o vírus consiga infectar as células humanas”. “É uma espécie de espigão que existe na superfície do vírus, que interage com os receptores ACE2 das células humanas, presente nas células pulmonares”, explica, acrescentando que é como se houvesse um “reconhecimento” entre as duas.

Para desenhar fármacos que possam evitar esta interação entre a proteína do vírus e a humana, o grupo do BioSIM começou por criar um “modelo tridimensional” deste processo, usando recursos computacionais da Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída. Construíram-no “à escala atómica”, através de “estruturas cristalográficas” que já haviam sido publicadas por outros cientistas, e simularam o tal reconhecimento. Fizem-no através de Unidades de Processamento Gráficas - mais conhecidas por GPU – que, como explica o investigador, “são usadas popularmente para permitir uma melhor visualização de gráficos”, como acontece, por exemplo, em jogos de computador. Na investigação de Sérgio Sousa, foram usadas para “estudar sistemas com várias centenas de milhar de átomos, para perceber como é que diferentes proteínas interagem entre si”. Neste caso concreto, para estudar a forma como ocorre o reconhecimento molecular entre a proteína Spike do vírus e os receptores ACE2.

Este modelo tridimensional serviu de base ao teste de um grande número de moléculas recolhidas em bibliotecas virtuais que podem ser compradas, para perceber se alguma conseguiria impedir que o vírus infectasse as células humanas. “Testámos cerca de 200 mil, para tentar escolher um conjunto delas que posteriormente passassem para ensaios experimentais”, adianta Sérgio Sousa. Importava descobrir se algumas destas moléculas conseguiam ligar-se ao complexo Spike-ACE2 (e por lá permanecer) e qual a força desta associação. Nesta tarefa não foram utilizadas GPU. Mas foi a grande quantidade de CPU (Unidades de Processamento Central) disponibilizadas pela INCD que permitiu “avaliar, com detalhe atómico, a capacidade que cada uma delas tem de bloquear ou limitar o reconhecimento entre as

duas proteínas”, concretiza. “Estes recursos computacionais permitiram-nos fazer uma espécie de ranking de moléculas, desde as menos à mais promissoras”, explica, estando, assim, dados os primeiros passos nesta descoberta de armas eficazes contra a propagação do vírus. “Se não tivéssemos acesso a estes recursos, teríamos testado um número muito mais pequeno de moléculas e significaria muito menos hipótese de sucesso”, acrescenta.

Recolhidas as moléculas que apresentaram maior potencial – entre 20 a 30 –, a informação foi disponibilizada a outros grupos que colaboravam com o laboratório e que, depois de compararem as tais moléculas, as testaram de duas formas distintas: in vitro e em modelos celulares. “Se tivessem efectivamente actividade inibitória interessante nestes modelos, seria feita uma optimização dessas moléculas”, concretiza o investigador.

Os resultados mostraram-se, de facto, animadores: duas das moléculas foram cobertas por patentes e posteriormente melhoradas. Introduziram-lhes “pequenas alterações, quase cirúrgicas, para que originem fármacos mais específicos, com menos efeitos secundários, com maior afinidade, e para circularem melhor no nosso organismo”, acrescenta.

O passo seguinte – e aquele em que a equipa se encontra actualmente – é a testagem nas diferentes variantes do SARS-CoV-2 que têm surgido, com o objetivo de “assegurar que estas novas moléculas – e potenciais fármacos – em desenvolvimento, mantenham a actividade”, esclarece. “Para já, os nossos resultados dizem que sim”, sublinha. Se estas suspeitas forem confirmadas, os ensaios animais estão próximos e, ainda com a esperança e ambição contidas, os ensaios clínicos também poderão estar ao virar da esquina.



Recursos Computacionais e Ciência Política

Investigadores do grupo SPAC (Social Physics and Complexity) do LIP criaram uma ferramenta que permite aceder online e fazer pesquisas em documentos de 40 anos de democracia em Portugal. Os recursos computacionais disponibilizados pela INCD foram fundamentais.

A utilização de métodos computacionais em estudos relativos à política nacional é cada vez mais frequente, mas muito está ainda por fazer. Joana Gonçalves de Sá e Paulo Almeida, do grupo Social Physics and Complexity (SPAC) do LIP, em colaboração com alguns colegas, propuseram-se a tornar a democracia portuguesa pesquisável na Internet. Na prática, foi como se tivessem encontrado uma biblioteca de textos políticos — debates parlamentares e programas eleitorais — desarrumada e a tivessem organizado de forma a que qualquer pessoa pudesse encontrar facilmente a informação que procurava. “Não havia forma de fazer uma pesquisa simples no site do parlamento, não se conseguia perceber que temas eram discutidos em que debates. Por isso pensámos numa ferramenta com utilidade para a comunidade científica em geral”, explica a investigadora, sublinhando que, para o fazer, utilizaram recursos da Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD).

O primeiro passo foi criar um corpus de documentos. “No fundo, é uma coleção de textos que está estruturada de forma pesquisável”, concretiza Paulo Almeida. Para tal, precisaram de recolher toda a informação do site do parlamento relativa aos debates parlamentares. É por lá que estes se encontram transcritos, na íntegra, desde 1821: “Tivemos de usar um programa que visita as páginas do site e que recolhe e guarda informação relevante de forma a não prejudicar qualquer serviço”, diz Joana Gonçalves de Sá. Ainda que estivessem disponíveis documentos desde tempos em que Portugal ainda era uma monarquia, os investigadores do LIP quiseram concentrar-se numa época mais recente e trabalharam sobre os debates que decorreram a partir 1976.

Reunidos os ficheiros tiveram de os processar com linguagens de programação: “vinham em HTML e tivemos de processar cada um deles até chegar ao XML, que é um formato semi-estruturado de texto, que usa tags”, acrescenta. Através delas, foi possível dividir os vários momentos das sessões, identificar os diferentes oradores e os partidos a que pertenciam. Pelo caminho, os desafios foram-se acumulando, principalmente quando a tarefa consistia em corrigir o máximo de erros ortográficos possível e ensinar o computador a detectar os oradores. “Para termos um corpus final, com todos os debates, com o mínimo de falhas na ortografia e com todos os intervenientes e respectivas forças políticas identificadas, foram precisos dois anos”, admite Joana Gonçalves de Sá, reforçando que o trabalho nunca foi feito a tempo inteiro e que não houve qualquer financiamento associado, tendo sido possível concretizá-lo com “bocadinhos de dinheiro de outros projectos e muita boa-vontade dos investigadores envolvidos”.

Sem os recursos disponibilizados pela INCD, ambos os investigadores reconhecem que este projecto teria sido extremamente difícil de levar a cabo. A infraestrutura disponibilizou todo o apoio de forma gratuita – e ainda hoje o faz. “O corpus do parlamento está alojado numa máquina virtual na infraestrutura da INCD, o que permite que esteja acessível na Internet, sem custos de manutenção para o grupo de investigação e isso é importante para nós”, realça Paulo Almeida. “Facilitou-nos mesmo muito o trabalho”, acrescenta Joana Gonçalves de Sá.

Quatro décadas de democracia portuguesa transcritas para uma máquina culminaram website que tornou mais fácil a pesquisa e que pode servir investigadores e a população em geral. “Ao corpus, adicionámos um motor de busca que permite extrair a informação que o utilizador procura”, explica

Joana Gonçalves de Sá, Coordenadora do grupo SPAC do LIP ©Expresso



Paulo Almeida, Data Manager do grupo SPAC do LIP



Paulo Almeida. “Se alguém quiser saber quantas vezes uma palavra foi dita, consegue obter não só o gráfico da variação das vezes que foi mencionada, quando e quem a disse, bem como a frequência com que foi utilizada”, exemplifica Joana Gonçalves de Sá, notando que também é possível “extrair um texto completo e perceber em que contexto essa mesma palavra foi usada”.

Um ano depois de estar concluída, em 2018, os investigadores decidiram testar a base de dados em que tinham vindo a trabalhar desde 2016 e arregaçaram mangas para a aplicar num estudo sobre a democracia portuguesa. A análise, intitulada “Spot the differences, a computational approach to inferring party positions from electoral manifestos, parliamentary discourses, and voting patterns”, compreende o período de 1999 – altura em que o Bloco de Esquerda (BE) elege o primeiro deputado – até 2019 e abrange outros quatro partidos, além do já mencionado: PS, PSD, PCP e CDS-PP. “Com Lília Perfeito, também do SPAC do LIP, Manuel Marques Pita da Universidade Lusófona e Sofia Serra da Silva, do ICS/UL comparámos debates, votações dos partidos e medidas enunciadas nos programas eleitorais”, explica a investigadora. “No fundo, usámos três corpus distintos – o dos debates parlamentares, o dos programas eleitorais e o do sentido de voto – para tentar perceber como é que os partidos se alinham nestas vertentes”, acrescenta.

As conclusões revelaram que, quanto ao posicionamento relativo dos partidos, há dois blocos partidários muito bem estabelecidos – o da esquerda, que inclui o BE e o PCP, e o da direita, com o PSD e o CDS-PP –, que, nos dias de hoje, estão muito mais polarizados. Por outro lado, no PS verifica-se uma variação de posição, movendo-se entre

estes dois extremos. Os discursos, as votações e os conteúdos programáticos dos respectivos programas eleitorais fazem sobressair ainda mais a existência destes dois blocos que separam muito claramente a direita da esquerda. “Dentro de cada bloco, os partidos são quase indistinguíveis”, nota a investigadora. “O PCP e o BE votam de forma igual mais de 90% das vezes, tal como acontece entre o PSD e o CDS-PP. E mesmo em termos de discurso, nós temos muita dificuldade em separá-los”, sublinha.

Estes resultados chamaram a atenção de jornalistas da revista Visão, que decidiram publicar uma reportagem com base neste estudo desenvolvido pelos investigadores do LIP e colegas. Esta foi, aliás, uma boa alavanca para que mais interessados viessem pedir para aceder ao corpus para realizarem trabalhos jornalísticos. O próximo passo será dá-lo a conhecer à população, para que qualquer pessoa saiba que esta ferramenta existe e está mais que apta a contribuir para a inovação na forma como se faz ciência política em Portugal.

Parlamento português, © Gerardo Santos/Global Imagens



Viagem virtual ao Observatório Pierre Auger

O dispositivo autónomo de visualização virtual 3D do observatório de raios cósmicos Pierre Auger foi desenvolvido pelo LIP no Minho. Foi agora oficialmente apresentado à colaboração e testado numa feira de ciência em Brasília.

No meio da animação reinante, a jovem permanece imperturbável. Enverga uns óculos de realidade virtual e parece muito concentrada. Na verdade, ela sente-se em plena Pampa Amarilla, na Argentina, onde se situa o Observatório Pierre Auger. Ouve o vento que faz abanar os arbustos, vê a terra arenosa junto aos sapatos, as montanhas com neve ao longe.

Baixando-se pode até entrar num dos detectores de superfície do maior observatório de raios cósmicos do mundo — estão cheios de água, mas neste mundo virtual isso não constitui problema. Mais adiante, roda sobre si própria procurando ver melhor as cascatas de partículas que se desenvolvem na atmosfera devido às interacções de raios cósmicos que chegam de todas as direcções. Percebe-se que quando muda de direcção vê realmente coisas diferentes: o mundo virtual enche todo o espaço à sua volta.

Os outros visitantes observam os seus movimentos, muitos deles esperando a sua vez. Só a projecção 2D no ecrã por trás dela e as explicações dos jovens monitores ali presentes lhes permite ter uma ideia do que se está a passar, em três dimensões, no mundo virtual em que ela se encontra.

Estamos em Brasília, na feira de ciência que, de 28 de Novembro a 4 de Dezembro de 2022, celebrou a 19ª edição da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. O tema foi “Bicentenário da Independência: 200 anos de ciência, tecnologia e inovação no Brasil”, e o objetivo foi o de mobilizar a população, especialmente crianças e jovens, em torno de actividades valorizando a criatividade, a atitude científica e a inovação.

O *stand* é o do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). O dispositivo que está a fazer tanto sucesso podia dar pelo nome de código de LIP-VR3D-Auger. É um visualizador 3D virtual (VR3D) do Observatório Pierre Auger e foi desenvolvido no pólo do Minho do LIP, em Braga, por Henrique Carvalho, que salienta a colaboração e as valiosas discussões com outros membros do grupo do LIP em Auger.

O LIP-VR3D-Auger foi recentemente testado nas Jornadas do LIP, o encontro bienal da comunidade LIP, e em eventos de divulgação no Minho. Foi oficialmente apresentado à colaboração Pierre Auger na reunião que decorreu de 13 a 18 de Novembro de 2022, junto ao Observatório, em Malargue, província de Mendoza (Argentina).

É no stand do CBPF que se encontra Luís Mendes, colaborador do LIP actualmente no Brasil, que levou o LIP-VR3D-Auger para Brasília: “Achei que uma feira de ciência desta dimensão era uma excelente oportunidade para testar os óculos”, diz. “Tivemos filas de gente que queria experimentar. Achei logo que iria ser um sucesso, mas nem imaginava o sucesso que teria com pessoas surdas e pessoas com perturbações do espectro do autismo,” admite.

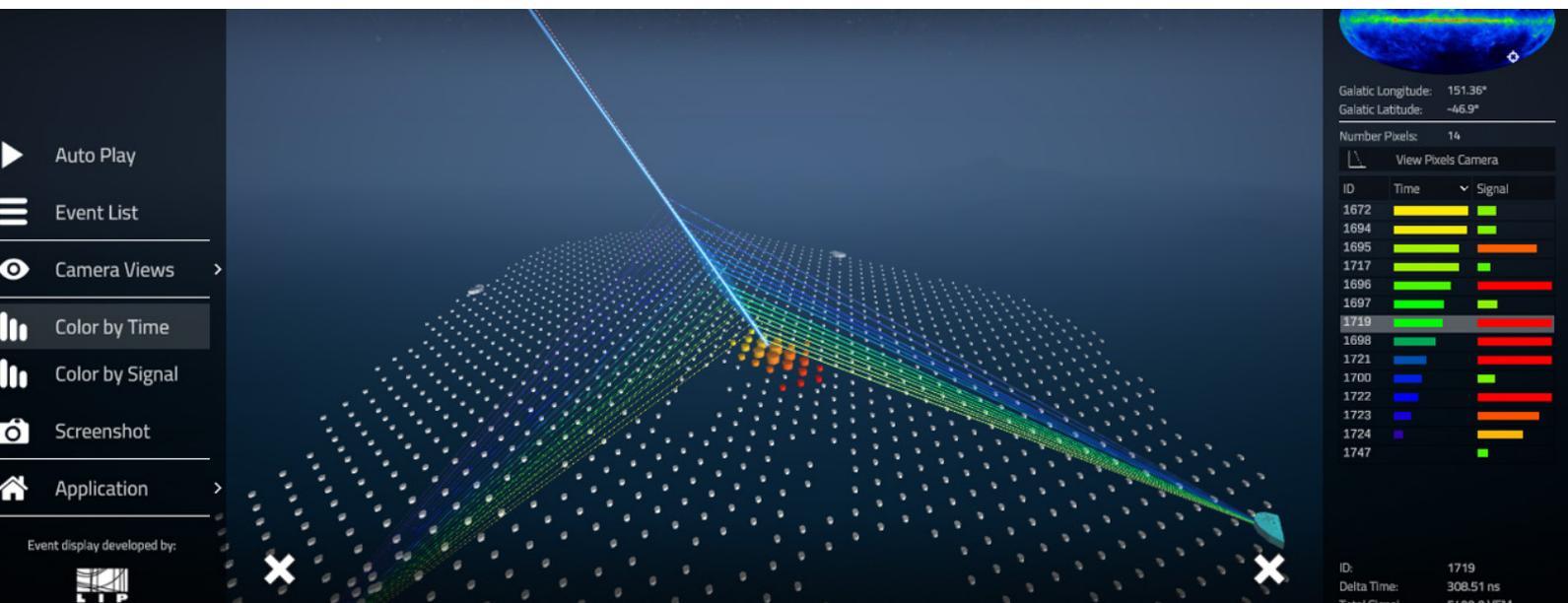
O equipamento consiste nuns óculos de realidade virtual e dois comandos. Tudo como num jogo de computador. O utilizador pode passear pelo local onde se encontram os mais de 1600 detectores de superfície do Observatório, vendo com grande detalhe não só a paisagem mas também os detectores. No outro modo de funcionamento disponível, pode visualizar o

desenvolvimento na atmosfera de cascatas originadas por raios cósmicos de alta energia e a sua detecção no Observatório — fenómenos que, na realidade, não são visíveis a olho nu.

Os óculos funcionam um pouco como uns binóculos: têm um ecrã para cada olho, e uma app que constrói a partir daí uma visão 3D que nos é mostrada (tecnologia VR3D). A existência de câmaras dirigidas para fora permitiram a implementação de uma medida de segurança: mundo virtual tem uma fronteira. Se esta for ultrapassada, o visitante passa a ver o mundo real.

Henrique Carvalho resume a história e o modo de funcionamento deste dispositivo: “tudo começou com o desenvolvimento de um visualizador 3D das cascatas de partículas detectadas em Auger (o LIP3dAuger) para

Visualizador LIP3dAuger que serviu de base ao LIP-VR3D-Auger, desenvolvidos por Henrique Carvalho, do LIP



uso quer pelos próprios cientistas da colaboração quer para fins de divulgação e educação”.

Este desenvolvimento foi feito em Unity, uma linguagem muito popular no desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis (iOS e Android) que pode ser usada para criar jogos 3D e outras experiências interactivas — e que é hoje utilizada em muitas áreas, do cinema à engenharia.

A partir do visualizador LIP3dAuger, os investigadores do LIP em Auger Sofia Andringa e Raul Sarmiento criaram com Henrique Carvalho a Masterclass de Auger — uma actividade em que alunos do ensino secundário analisam dados de uma experiência de física de partículas e astrofísicas. A edição-piloto desta masterclass decorreu nas comemorações do aniversário do LIP de 2022 e envolveu os três pólos do LIP: Lisboa, Coimbra e Braga. A Masterclass de Auger está agora integrada na lista oficial de masterclasses internacionais do IPPOG, International Particle Physics Outreach Group.

Para Henrique Carvalho, o passo seguinte foi adaptar o visualizador de cascatas aos óculos QUEST2 da Meta, que também correm Android. Foram também alargadas as funcionalidades disponíveis, nomeadamente integrando uma descrição detalhada dos detectores e do ambiente que rodeia o observatório. O facto de o equipamento ser totalmente autónomo e portátil alarga muito as possibilidades de utilização.

Trazer a física de partículas ao público geral implica sempre um esforço para tornar o mundo invisível da física de partículas mais próximo dos visitantes. Em geral, usamos a detecção de partículas cósmicas em dispositivos simples que permitem ver rastros da sua passagem para mostrar que as partículas existem mesmo e fazem parte do nosso dia-a-dia. Como explicou Nuno Castro (membro da direcção do LIP e professor da UM), estes instrumentos de visualização, virtuais e interactivos, cumprem um papel complementar: “permitem transpor essa experiência para os detectores mais complexos usados em alguns dos grandes projectos internacionais em que o LIP participa, nomeadamente no acelerador LHC do CERN e em experiências de astropartículas, como neste caso”.





outras

interacções

Ministra da Ciência e do Ensino Superior visitou o CERN

No dia 13 de Setembro de 2022, Elvira Fortunato, ministra da ciência, tecnologia e ensino superior, realizou uma visita oficial ao CERN. Fizeram parte da comitiva Francisco Correia Santos, vice-presidente da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Luís Anjos Ferreira e Ana Maduro Marques, reitor e vice-reitora da Universidade de Lisboa, Cláudia Cavadas, vice-reitora da Universidade de Coimbra, e Rogério Colaço, presidente do Instituto Superior Técnico.

A visita foi acompanhada por Mário Pimenta, delegado português ao conselho do CERN e presidente do LIP, Rui Macieira, embaixador de Portugal nas Nações Unidas, e Júlio Vilela, embaixador de Portugal na Suíça. Destacamos ainda a presença de outros membros da direcção e investigadores do LIP, assim como de membros da comunidade portuguesa no CERN.

A visita teve como objectivo principal “proceder a um balanço da investigação desenvolvida pelo CERN e da participação de Portugal, que contribui para os custos de operação do Laboratório Europeu, representando essa contribuição cerca de 1,1% do orçamento geral do CERN”, de acordo com o comunicado publicado no site do Governo, onde se acrescenta que “Este apoio permitiu a Portugal em 2021 ter um excelente retorno em termos de participação de recursos humanos nacionais nos diversos programas”.

Elvira Fortunato foi recebida por Fabiola Giannotti, directora-geral do CERN e visitou vários pontos de

interesse no laboratório, em particular a experiência CMS do LHC, em que Portugal participa através do LIP, o Centro de Dados do CERN, o hall de montagem dos ímans supercondutores do LHC, o centro de visitantes dedicado ao World Wide Web, entre outros. Participou ainda num encontro informal com a comunidade Portuguesa no CERN, organizado pelo seu representante, Paulo Gomes. Em destaque esteve também a Estratégia Europeia para a Física de Partículas 2021-2025, que tem como prioridade imediata a conclusão do projecto que aumentará de modo significativo o número de colisões no LHC.

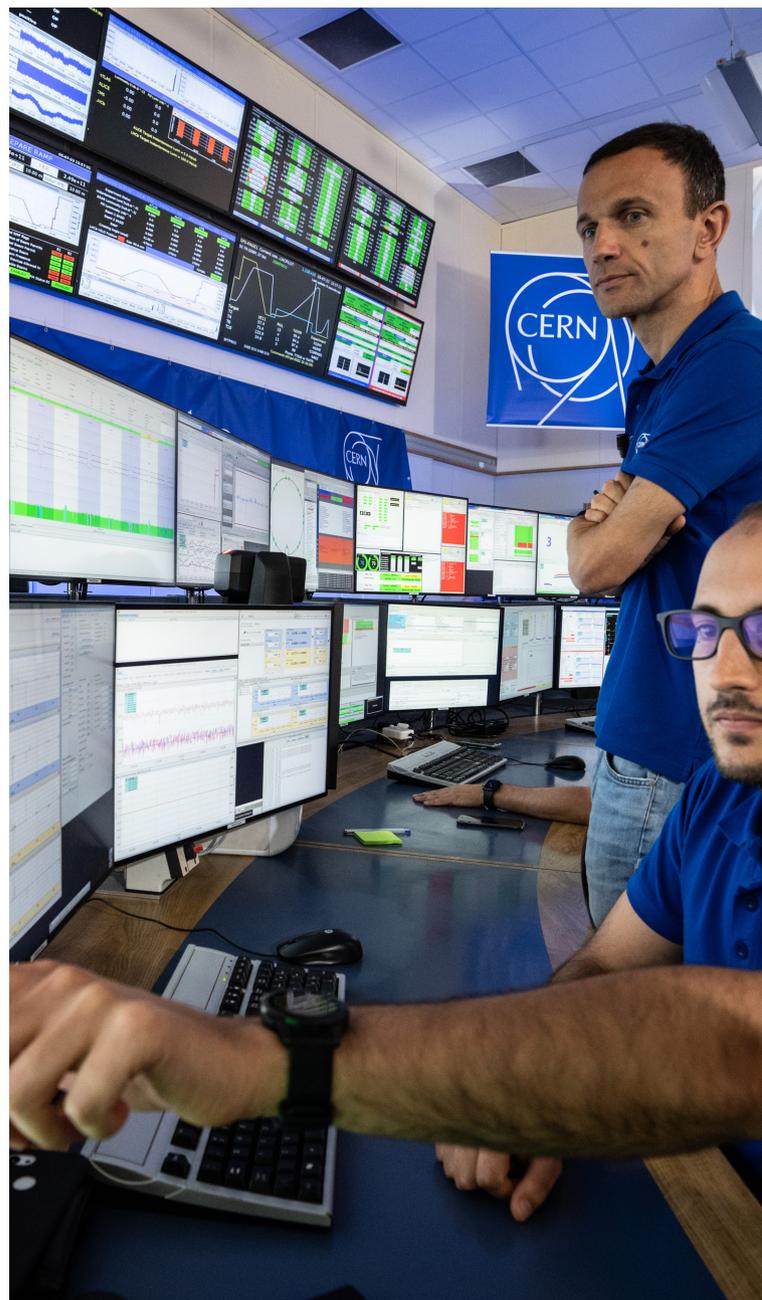


O LHC está de volta

A 5 de Julho de 2022, as colisões de protões voltaram ao LHC — e com um novo recorde de energia (13,6 TeV). Após três anos de trabalho para levar ao limite o desempenho do acelerador e dos quatro detectores principais, o LHC arrancou em Abril, quando circularam no anel dois feixes de protões com uma energia de 450 GeV (a energia com que são injectados neste acelerador) e com um número relativamente pequeno de protões. Seriam necessários alguns meses para se chegar às colisões de alta intensidade e alta energia.

Durante este terceiro período de funcionamento do LHC (Run 3) as experiências vão recolher dados não só a um valor recorde de energia, mas também com uma intensidade dos feixes muito superior, que resultará num número de colisões sem precedentes. Cada uma das experiências ATLAS e CMS deverá registar mais colisões durante o Run 3 do que no conjunto dos dois períodos de tomada de dados anteriores. Outras novidades importantes do Run 3 são a entrada em funcionamento de duas novas experiências, FASER e SND@LHC; colisões protão-hélio para medir a frequência com que são produzidos anti-protões; e colisões envolvendo iões de oxigénio que irão melhorar os conhecimentos dos raios cósmicos e do plasma de quarks e gluões (um estado da matéria que terá existido pouco depois do Big Bang). A dimensão e qualidade dos conjuntos de dados que vão ser recolhidos permitirão continuar a testar com grande precisão o Modelo Padrão da física de partículas, compreender melhor as propriedades do bóson de Higgs e sondar alguns dos grandes mistérios do universo.

Sala de controlo do CERN ©CERN

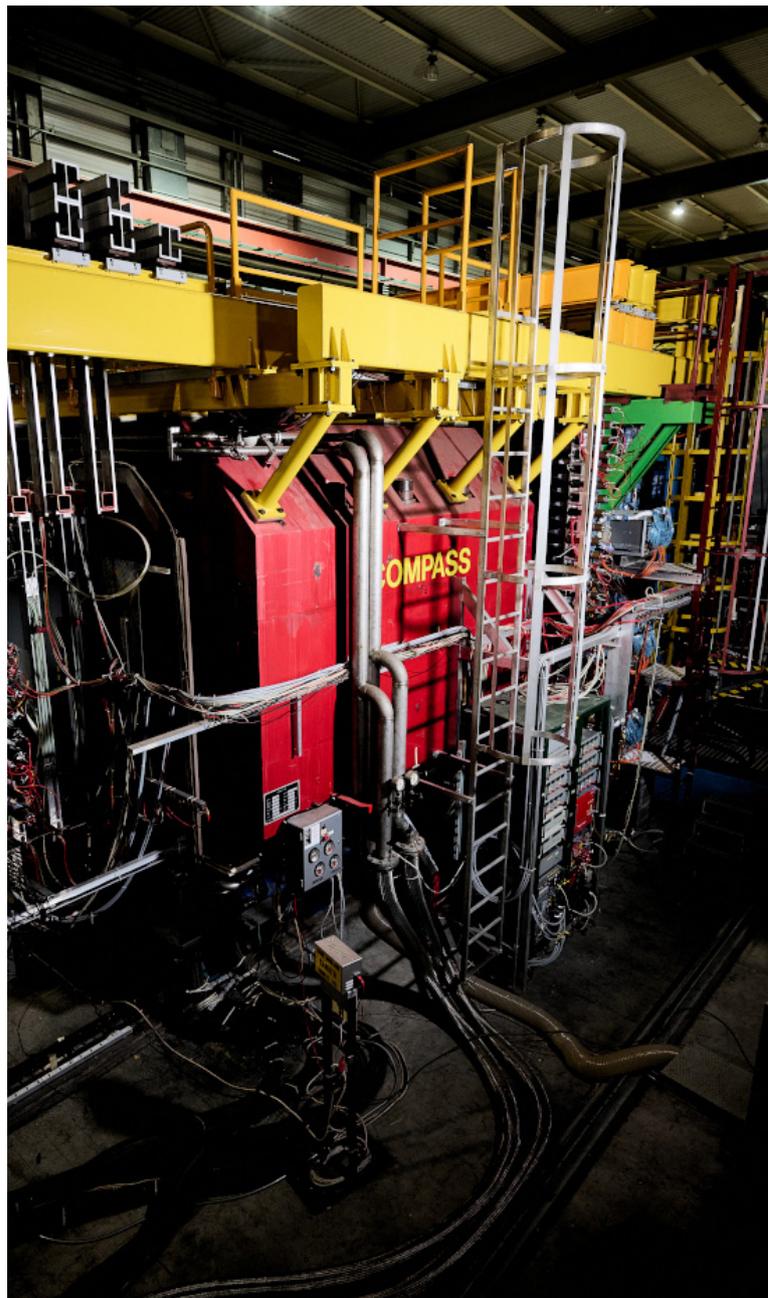


De COMPASS a AMBER

Terminou no dia 9 de Novembro de 2022 a última tomada de dados da experiência COMPASS, que funcionou durante 20 anos no acelerador SPS do CERN. Segue-se uma fase de análise de dados. O hall experimental dará lugar a AMBER. AMBER, sucessora de COMPASS, é a nova experiência de alvo fixo aprovada pelo CERN e de que o LIP é membro fundador. AMBER herda vários componentes do COMPASS, introduzindo também novos detectores e alvos, assim como tecnologia de aquisição de dados de última geração.

Na experiência COMPASS, feixes de alta intensidade de múons e hádrons oriundos do acelerador Super Proton Synchrotron (SPS) colidiam com um alvo polarizado a uma temperatura próxima do zero absoluto. Um espectrómetro com 60 metros de comprimento observava as partículas resultantes da colisão. A experiência COMPASS foi aprovada pelo CERN em Fevereiro de 1997. A tomada de dados começou no Verão de 2002. Durante a sua primeira fase, COMPASS alcançou a medição mais directa e precisa a nível mundial da contribuição de glúons para o spin do nucleão. Uma segunda fase dedicada à compreensão da estrutura tridimensional do nucleão começou em 2012. O LIP está em COMPASS desde o seu início. O grupo é responsável pelo sistema de controlo de detectores e esteve sempre profundamente envolvido na análise dos dados, com especial responsabilidade em Drell-Yan — produção de pares de léptões de massa elevada numa colisão de hádrons (partículas constituídas por quarks) — uma ferramenta poderosa para sondar a estrutura destas partículas.

Detector COMPASS ©CERN



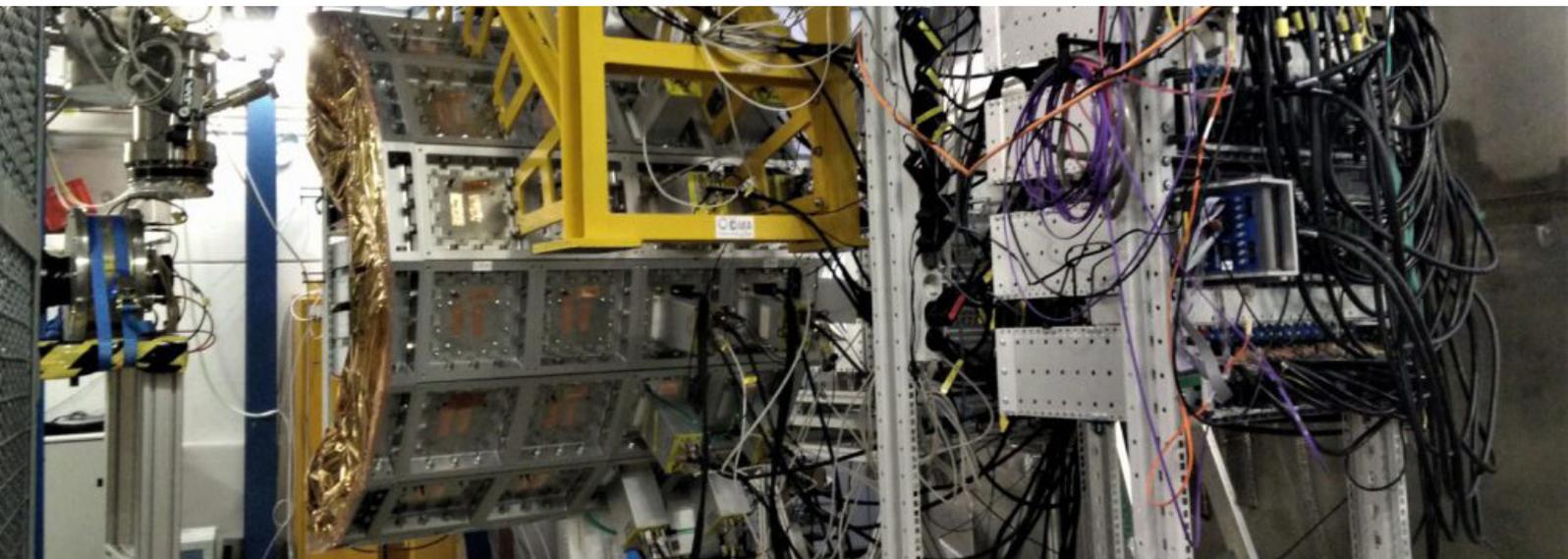
Novos detectores no GSI

Um novo detector RPC (Resistive Plate Chamber) construído no Laboratório de Detectores do LIP foi instalado na experiência R3B de FAIR/GSI (Reactions with Relativistic Radioactive Beams). O detector encontra-se a seguir ao íman supercondutor e medirá o momento dos prótons produzidos em reacções com feixes radioactivos. A excelente resolução temporal do detector (cerca de 50 ps) permitirá uma medição muito precisa do momento. Na primeira experiência em que foi utilizado (S522) o novo detector contribuiu para medir pela primeira vez as correlações de curto alcance de nucleões dentro de um núcleo radioactivo.

Na experiência HADES, também no GSI, as RPC já não são novidade. O grupo do LIP projectou, construiu e opera uma parede de 3 metros x 3 metros de RPC que mede com precisão o tempo de passagem das

partículas — uma informação importante para a determinação do tipo e do momento das partículas. Em 2020 e 2021, o grupo trabalhou para preparar HADES para a futura infraestrutura FAIR, onde se espera uma elevada taxa de partículas (200 kHz). Em 2022, concluiu-se a instalação em HADES de um novo detector desenhado e construído no LIP, estendendo a capacidade de medição a uma região mais próxima da direcção do feixe.

O GSI, em Darmstadt (Alemanha), opera a única instalação que permite acelerar núcleos de todos os elementos químicos que existem na Terra. As actualizações em curso permitirão pôr em operação o acelerador circular SIS100 de 1,1 km, o principal componente do novo Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR), actualmente em construção.



THOR (TGF Monitor) será lançado no Space Rider da ESA

A experiência THOR, liderada pelo Grupo de Instrumentação para Astrofísica (i-Astro) do LIP, foi selecionada para ser lançada no Space Rider, o novo veículo reutilizável da ESA. Trata-se de um detector de raios gama feito de telureto de cádmio (CdTe, um material cristalino semiconductor), dividido em pixels e com capacidades polarimétricas (isto é, capaz de medir a polarização da luz).

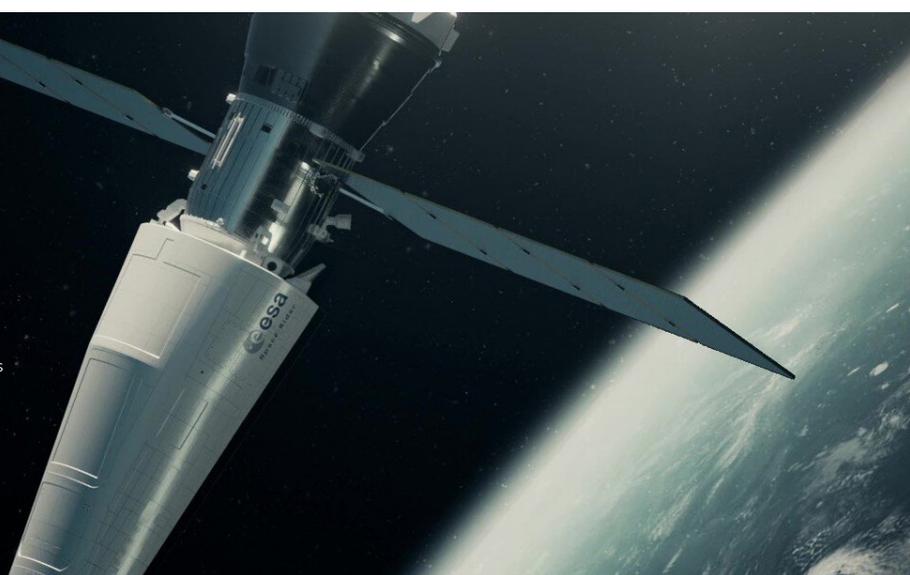
Ao medir os efeitos da radiação orbital em detectores de CdTe, o THOR contribuirá para estabelecer estes detectores como uma tecnologia com aplicações que vão da astrofísica à segurança da aviação. Realizará ainda medidas relacionadas com flashes de raios gama terrestres (Terrestrial gamma-ray flashes, TGF). Os TGF são emitidos por nuvens do tipo Cumulonimbus (nuvens com grande desenvolvimento vertical associadas a sistemas de trovoadas) e são uma

preocupação para a saúde e a segurança de tripulações e passageiros de aeronaves. A possibilidade de medir a sua polarização dos TGF pode contribuir para responder a questões em aberto sobre os processos físicos que lhes dão origem.

O Space Rider será lançado da base de Kourou (Guiana Francesa), em 2024, a bordo de um foguete Vega. Orbitará dois meses numa órbita terrestre baixa equatorial (LEO). A experiência será instalada no Space Rider, onde ficará exposta ao ambiente de radiação espacial. Apontará para o espaço, permitindo registar as emissões de raios gama por exemplo da Nebulosa do Caranguejo; e também para a Terra, registando TGF. O consórcio do projecto inclui o LIP e as empresas Active Space Technologies (Portugal), a Advacam (República Checa).

The logo for THOR (TGF Monitor) features the word "THOR" in a stylized, white, sans-serif font. The letter "O" is replaced by a blue circular graphic with concentric rings and a central dot, resembling a detector or a celestial body. The background is a dark space scene with a satellite in the foreground and the Earth's horizon in the lower right.

TGF and High energy astrophysics Observatory for gamma Rays



À procura da matéria escura

A matéria escura deve constituir cerca de 85% da matéria do Universo. Nunca foi directamente observada, mas os seus efeitos gravitacionais alertam-nos indirectamente para a sua presença.

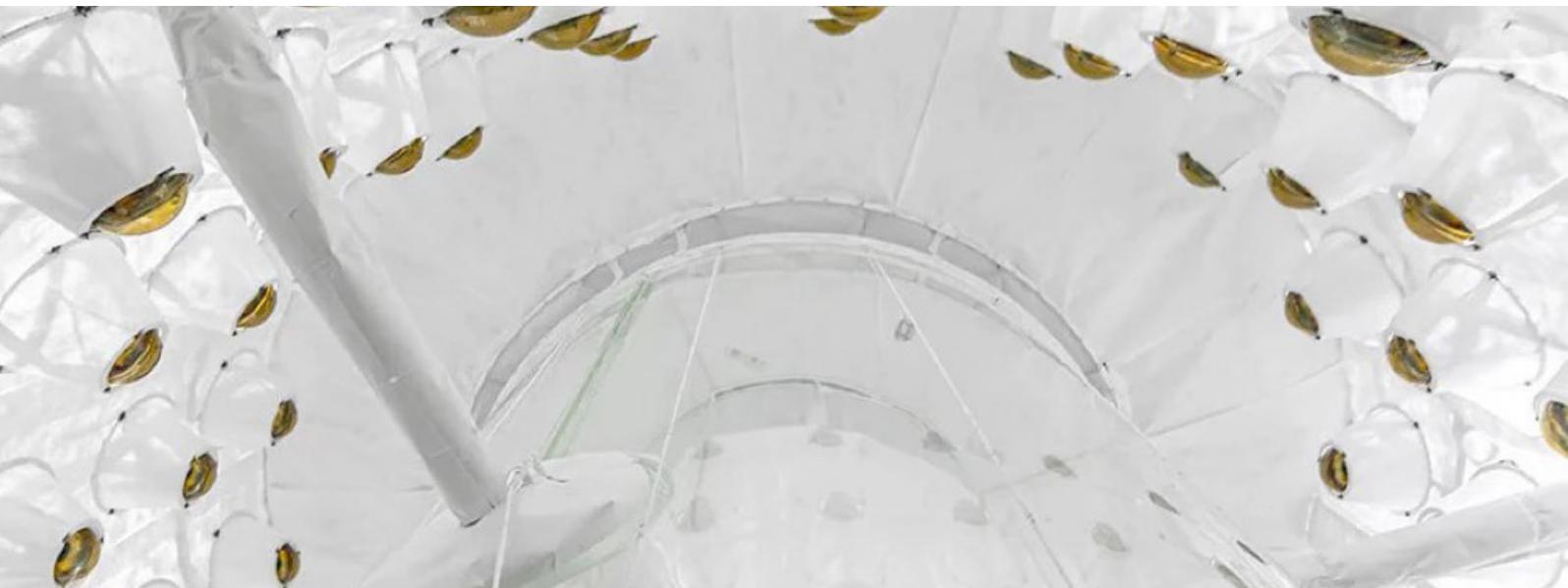
A colaboração internacional LUX-ZEPLIN (LZ), de que o LIP é membro fundador, apresentou no Verão de 2022 os seus primeiros resultados científicos. Não observando sinais de matéria escura, LZ pôs limites mais estritos ao fluxo que pode existir.

Com apenas 60 dias de aquisição de dados, é a experiência de matéria escura mais sensível do mundo. O detector LZ está instalado a uma profundidade de 1,5 quilómetros no laboratório SURF, nos EUA. É composto por 10 toneladas de xénon líquido contido num tanque de titânio e observado por 494 sensores capazes de detectar a mais ínfima quantidade de luz. Se a matéria

escura interagir com a matéria normal, pode colidir com um núcleo de xénon e produzir um sinal luminoso mensurável.

As colaborações LZ e XENON têm actualmente os detectores mais sensíveis já em funcionamento. A colaboração DARWIN está a desenvolver um detector de maior volume, também baseado em xénon líquido. As três colaborações juntaram-se recentemente no consórcio XLZD para desenhar e construir a experiência da próxima geração, que deverá começar a funcionar no final da década. Espera-se que este projecto permita avanços muito significativos para a nossa compreensão da matéria escura. O documento delineando o caso científico foi assinado por mais de 600 cientistas de 150 instituições em 28 países.

Detector LZ ©SURF



Novos projectos Europeus na área da Computação

O Grupo de Computação do LIP está em quatro projectos europeus iniciados em 2022. Os projectos AI4EOSC e IMAGINE centram-se no apoio a aplicações de inteligência artificial e machine learning. AI4EOSC continua o trabalho iniciado anteriormente de desenvolvimento de uma plataforma para deep learning, enquanto IMagine usará estes desenvolvimentos para apoiar investigação marinha e de água doce. Os projectos DT-GEO e interTwin lidam com gémeos digitais de processos físicos em vários domínios. DT-GEO vai focar-se em fenómenos como terremotos, vulcões, tsunamis e eventos extremos de origem antropogénica. O interTwin abrange áreas que vão da radio-astronomia à investigação climática. Em 2022, o grupo finalizou os projectos EOSC-Synergy, no qual desenvolveu uma plataforma de garantia de qualidade de serviço; e EuroCC, contribuindo para estabelecer o centro de competência nacional para

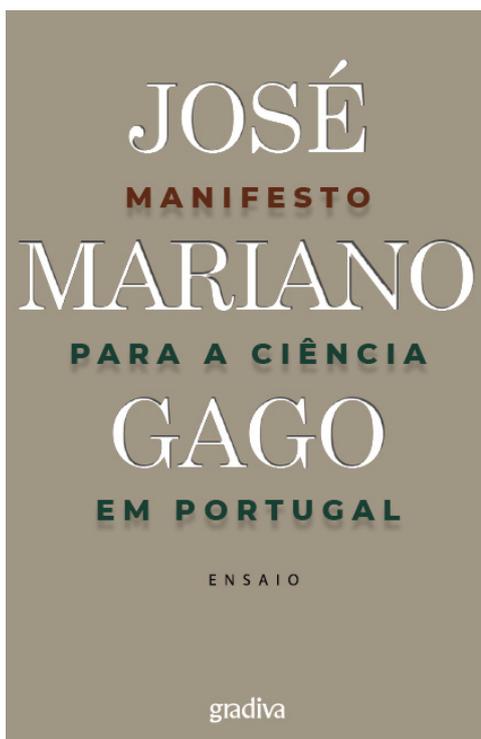
computação de alto desempenho, no quadro do projecto EuroHPC. Já em 2023, arrancou o projecto de acompanhamento EuroCC-2.

O trabalho do Grupo Social Physics and Complexity (SPAC) do LIP é financiado principalmente por uma bolsa do Conselho Europeu de Investigação (ERC Starting Grant) atribuída a Joana Gonçalves de Sá, coordenadora do grupo, para conduzir o projecto dedicado à investigação da propagação de notícias falsas “Fake News and Real People - Using Big Data to Understand Human Behaviour (FARE)”. No final de 2022, foi atribuída à investigadora uma bolsa ERC Proof of Concept (FARE_Audit) para o desenvolvimento de uma ferramenta de auditoria de motores de busca online, aumentando a transparência e reduzindo os impactos na disseminação de desinformação.



Livros

Destacamos três números recentes da emblemática colecção “Ciência Aberta”, da Gradiva. Cada um à sua maneira, todos eles estão relacionados com o LIP. José Mariano Gago foi o arquitecto da adesão de Portugal ao CERN e fundador do LIP — que está, pois, indissociavelmente ligado à implementação da sua visão para a ciência em Portugal. João Varela, investigador do LIP desde a sua fundação e o grande responsável pela participação portuguesa na experiência CMS do LHC ao longo de trinta anos. Alessandro de Angelis é colaborador do LIP e professor de física em Lisboa e em Pádua.

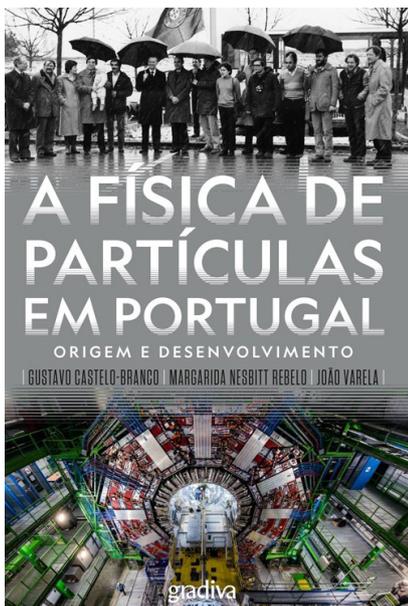


“A 16 de Maio de 2023, o José Mariano Gago faria 75 anos. Passaram já oito anos desde a sua morte, e 33 desde a publicação do seu ‘Manifesto para a Ciência em Portugal’. Contudo, o seu pensamento e acção continuam a ser de extrema actualidade: não há desenvolvimento científico sustentado numa sociedade sem cultura científica, ou que confunda ciência e tecnologia, reduzindo a primeira a um instrumento da segunda, ouvi-lhe muitas vezes. Mais do que uma homenagem, a presente reedição do ‘Manifesto para a Ciência em Portugal’ é o nosso contributo para que cada um, na construção da sua visão própria, possa a ele ter acesso.”
Mário Pimenta (presidente do LIP), Nota prévia à nova edição do “Manifesto”

“O ensaio ‘Manifesto para a Ciência em Portugal’ foi publicado pela primeira vez no final de 1990 (...). Portugal tinha entrado na CEE em 1986 e a palavra de ordem era “convergência”: era urgente que o país pudesse recuperar dos seus enormes atrasos, um dos quais, científico. (...) Este ensaio foi fundamental para lançar o debate sobre como e que ciência deveria ser feita em Portugal. (...) Reler o ‘Manifesto’, passados mais de 30 anos, ajuda a perceber o

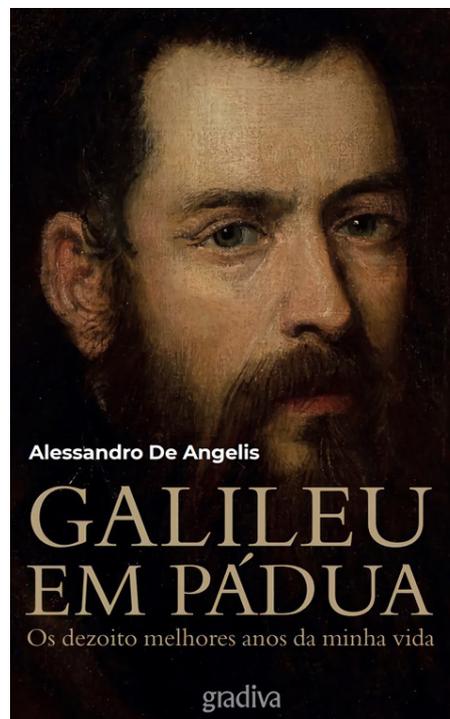
quanto a ciência portuguesa tem progredido, mas também o tanto que ainda está por cumprir. Feliz ou infelizmente o ‘Manifesto’ continua actual. (...)”

Joana Gonçalves de Sá, Nuno Castro, Patrícia Gonçalves, Prefácio à nova edição.



“A adesão de Portugal ao CERN (...) foi um marco na origem da Física de Partículas no nosso país. Os autores desta obra, cuja carreira profissional está ligada ao desenvolvimento da física de partículas, esclarecem, com base nas suas experiências pessoais, como se processou a evolução (...) Quem esteve na linha da frente? O que tornou possível que as equipas portuguesas passassem a desempenhar papéis de destaque em proeminentes projectos internacionais? Um livro que descreve as experiências dos autores no seu trabalho em Física de Partículas em Portugal desde a génese, mas que vai além disso: contribui com informação rigorosa para uma futura história desta disciplina”. É desta forma que a Gradiva apresenta a obra. João Varela destacou o sentimento de gratidão para com todos os que tornaram possível esta longa jornada: “não são dezenas, são centenas”, e também o papel do LIP — muito do que se fez não teria sido possível sem uma instituição que desse estrutura.

Este livro narra os anos de Galileu como professor em Pádua, a que mais tarde chamará “os dezoitos melhores anos da minha vida”. Foram anos desregrados e de intensa actividade científica, política, pessoal. Foram também aqueles em que Galileu apontou a luneta para o céu e fez as suas primeiras e reveladoras observações. “A vida de Galileu narrada quase na primeira pessoa” foi o título escolhido pelo jornal Público na pré-publicação de um excerto da obra. A editora destaca que o livro assenta numa “rigorosa pesquisa histórica” e “joga com os mundos da ficção e da não ficção”. Mas a ficção não parece ser aqui um objectivo, mas uma forma de ganhar a liberdade indispensável. O objectivo será chegar o mais perto possível da verdade, quando a investigação histórica não permite ir mais longe mas fica a intuição de que as coisas se terão passado (quase) assim. O resultado é um livro se lê como se tivesse sido escrito por Galileu. Damos por nós a acreditar que estamos a ler a sua prosa — e muitas vezes estamos, pois o autor transcreve extensivamente as suas cartas. Mas nem sempre. Podemos estar a ler uma carta que Galileu nunca escreveu. Ou que apenas não chegou até nós, quem sabe?



LET'S INSPIRE PEOPLE

www.lip.pt



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO
E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS
partículas e tecnologia

Minho

Universidade do Minho
Campus de Gualtar, CP3, 3.02
4710-057 Braga

Coimbra

Departamento de Física (DF)
Universidade de Coimbra
3004-516 Coimbra

Lisboa

Av. Prof. Gama Pinto, nº2
1649-003 Lisboa