

Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear

A Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), também conhecida por Laboratório Europeu para a Física de Partículas, e inicialmente designado como «Conselho Europeu para a Pesquisa Nuclear», é uma organização internacional fundada em 1954 por 12 países europeus (Bélgica, Dinamarca, França, República Federal da Alemanha, Grécia, Itália, Países Baixos, Noruega, Suécia, Suíça, Reino Unido, Jugoslávia). Hoje, são 23 os países-membros (juntaram-se, entretanto, a Áustria, Bulgária, Eslováquia, Espanha, Finlândia, Hungria, Israel, Polónia, Portugal, República Checa, Roménia, Sérvia, e a Jugoslávia saiu) e muitos outros partilham do estatuto de Observadores ou Associados, ou mantêm colaborações regulares. A sigla CERN provém da designação original em Francês (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire).

Na origem esteve a necessidade, partilhada por cientistas e políticos visionários, da criação de uma grande organização científica internacional, que unisse a Europa em torno da busca do conhecimento, sem fins militares nem comerciais. No rescaldo de uma guerra devastadora, urgia criar um espaço de cooperação alargada, impedir a fuga de «cérebros» e dotar a Europa de uma base científica e tecnológica que permitisse um novo Renascimento Científico. A convenção do CERN então assinada, e ainda hoje em vigor, estabeleceu uma base igualitária e democrática na sua gestão. São órgãos do CERN: o Conselho; o Diretor-Geral, o Comité de Política Científica e o Comité de Finanças.

O Conselho do CERN, que determina a política da Organização em todas as suas vertentes científicas, técnicas, financeiras e administrativas, é composto por delegados dos países-membros (dois por cada país). O Conselho reúne habitualmente quatro vezes por ano, acompanhando de perto o funcionamento da instituição: discute e aprova os orçamentos e os programas de atividade, bem como a admissão de novos membros; elege o seu presidente e o diretor-geral; aprova os restantes membros da direção; e elege e/ou ratifica membros de comissões especializadas.

O diretor-geral é o responsável executivo da Organização e é o seu representante legal. É eleito por maioria de dois terços dos Estados-membros e tem um mandato de cinco anos. Assiste às reuniões do Conselho, sem direito de voto, e apresenta ao Conselho os relatórios e programas de atividades. É assistido por um Diretório, cujos membros indica, e que o Conselho ratifica.

O Comité de Política Científica, formado por cientistas escolhidos com base no seu mérito, avalia as propostas efetuadas pela comunidade e faz recomendações sobre o programa científico do CERN.

O Comité de Finanças, composto por delegados das administrações nacionais dos Estados-membros, aprecia todos os assuntos relacionados com as contribuições financeiras dos Estados-membros, bem como os orçamentos e relatórios de contas da Organização, emitindo recomendações sobre os mesmos. As contribuições financeiras de cada país para o orçamento da Organização são calculadas proporcionalmente ao produto nacional bruto de cada país. No Comité de Finanças, em muitas votações, exige-se uma dupla maioria: de Estados-membros e da soma das percentagens das suas contribuições financeiras.

O valor total do orçamento do CERN em 2021 é cerca de 1 250 milhões de Euros, cobertos em 85% pelas contribuições dos países-membros, dos quais cerca de um terço é despendido em compras de bens industriais ou fornecimento de serviços à Organização por empresas exteriores.

Segundo as estatísticas de janeiro de 2021 (CERN, Personnel Returns Report Portugal), no CERN trabalham em permanência cerca de 2650 membros integrados nos seus quadros de pessoal; 730 *fellows* (cientistas e engenheiros com contratos de um a três anos); 530 estudantes de doutoramento, mestrado e licenciatura, e recém-graduados, em domínios técnicos e administrativos; e ainda 1100 membros associados (membros de outras instituições com contratos temporários no CERN). O número de utilizadores académicos externos com ligação regular ao CERN é de 11 400. No total, são mais de 16 mil pessoas em relação com o CERN (sem contar com o pessoal técnico das empresas de serviços, construção e manutenção).

O CERN é uma instituição de ciência fundamental cujo objetivo é a compreensão da natureza, da estrutura da matéria de que somos feitos ao Universo em que vivemos. No CERN exploram-se as escalas mais pequenas: escrutinando dimensões da ordem dos 10^{-19} m; produzindo em laboratório partículas de massas muito elevadas, mais do que 100 vezes maiores do que a massa do núcleo do átomo de hidrogénio, o protão; medindo tempos de vida espantosamente curtos, inferiores a 10^{-23} s. Para tanto, constroem-se aceleradores que fazem colidir, a energias microscopicamente imensas, mas macroscopicamente irrelevantes, eletrões, positrões (eletrões positivos, as antipartículas dos eletrões), protões, antiprotões ou núcleos de átomos (dos mais leves aos mais pesados).

O primeiro acelerador do CERN, um sincrociclotrão com um perímetro exterior de cerca de 100 m, entrou em funcionamento em 1957 e acelerava protões a energias de 600 MeV (600 mega eletrão-Volt, sendo 1 eV a energia cinética que um eletrão adquire quando é sujeito a uma diferença de potencial elétrico de 1 volt, tipicamente a diferença de potencial fornecida por uma pilha comum). Hoje, o mais potente acelerador do CERN é o Large

Hadron Collider (LHC) que, num túnel circular com 27 km de perímetro, acelera prótons a energias de 14 TeV (14 tera eletrão-volt ou 14 milhões de mega eletrão-volt).

No CERN, ao longo destes mais de 60 anos, descobriram-se muitas partículas hadrónicas (compostas de quarks e/ou antiquarks e ligadas pela interação forte, a mesma que garante a existência dos núcleos dos átomos); descobriram-se os bosões W^+ , W^- e Z , provando-se a unificação da interação eletromagnética (a que assegura, por exemplo, a eletricidade, o rádio, a televisão e as radiografias) com a interação fraca (que possibilita, nomeadamente, a fusão dos átomos de hidrogénio no Sol e, consequentemente, graças à equivalência entre massa e energia prevista por Einstein, pela produção da energia libertada pelo Sol); descobriu-se a violação direta da simetria de Carga e Paridade (CP), que nos dizia que um Universo de antimatéria se comportaria sempre do mesmo modo que um Universo de matéria; determinou-se o número de famílias de neutrinos leves, partículas de massa quase nula que atravessam toda a Terra sem quase interagirem; criaram-se os primeiros átomos de anti-hidrogénio; descobriu-se, em 2012, que a partícula denominada como «o bosão de Higgs» de facto existe, provando-se que a massa das partículas elementares é originada pela interação destas com um campo omnipresente que preenche todo o Universo.

Os aceleradores que possibilitaram estas descobertas, os detetores que as mediram, os sistemas eletrónicos que as registaram, os computadores que as analisaram, todos eles exigiram tecnologias não disponíveis alguns anos antes. No LHC, dois feixes com 10^{11} prótons cruzam-se 40 milhões de vezes por segundo (cada 25 ns), numa área efetiva de cerca de um milésimo de milímetro quadrado (10^{-3} mm²), originando-se cerca de mil milhões de colisões por segundo e produzindo-se cerca de 90 petabytes (90×10^{15} bytes) de dados por ano. Um bosão de Higgs é, no LHC, produzido em média todas as dezenas de segundos, o que significa que encontrá-lo é encontrar uma agulha num palheiro com 10^{10} hastes de palha.

As tecnologias desenvolvidas no CERN, ou nas indústrias e laboratórios nacionais que com o CERN trabalham e cooperam, têm, mais cedo ou mais tarde, enormes impactos sociais: em aceleradores para Física médica, na produção de radioisótopos e na radioterapia; na microeletrónica, que está presente cada vez mais na vida quotidiana, em casa, nos transportes, no trabalho, no lazer; no tratamento e na partilha de informação. A World Wide Web (WWW) foi criada no CERN em 1989 e o CERN teve um papel central no desenvolvimento da Internet, sem a qual não podemos hoje passar.

A educação, formação e divulgação científica têm um papel importante nas atividades e missões do CERN. Pelo CERN passam milhares de visitantes todos os anos (cerca de 200 mil em 2019); muitas dezenas de milhares de estudantes de todos os graus de ensino e seus professores; vários milhares de jovens cientistas e engenheiros fazem estágios de alguns meses ou mesmo de alguns anos.

O conhecimento gerado de uma forma aberta e acessível no CERN e na comunidade teórica e experimental de Física de Partículas, de Astropartículas, de Física Nuclear, de que o CERN é impulsor e/ou referência, tem e terá enormes impactos na compreensão no mundo em que vivemos, na construção de modelos e hábitos de cooperação pacífica entre pessoas, instituições e países. No auge da Guerra Fria, cientistas Ocidentais e de Leste participavam nas mesmas experiências; durante a guerra das Malvinas o mesmo acontecia entre ingleses e argentinos; hoje, na Jordânia, num acelerador de partículas construído com o apoio e o impulso do CERN e dos seus cientistas, o «Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East» (SESAME), participam, lado a lado, cientistas e engenheiros, de variados países e religiões (Israel, Irão, Palestina, judeus, cristãos, muçulmanos, ateus e agnósticos).

Portugal aderiu ao CERN através do Decreto do Governo n.º 30/85, de 12 de agosto, com entrada efetiva a 1 de janeiro de 1986, graças à ação de José Mariano Gago, ao apoio de dois governos portugueses (de Mário Soares, em 1985, e de Cavaco Silva, em 1986, destacando-se respetivamente o apoio do ministro dos Negócios Estrangeiros, Jaime Gama, e do Secretário de Estado da Investigação Científica, Eduardo Arantes de Oliveira), e ao apoio da direção do CERN, nomeadamente do seu então diretor-geral, Herwig Schopper.

Na altura foi um desafio imenso. A ciência em Portugal era, em todos os indicadores, incipiente e com um grau de internacionalização quase nulo; as universidades na sua esmagadora maioria não valorizavam nem promoviam as atividades de investigação. Era necessário criar massa crítica, e assim nasceu o Laboratório de Instrumentação e física experimental de Partículas (LIP), reunindo sobretudo professores e investigadores do Instituto Superior Técnico, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e da Universidade de Coimbra, num total de cerca de uma dezena de doutorados e estudantes.

No protocolo de adesão foi generosamente previsto um período de transição de dez anos, durante os quais Portugal pagaria diretamente ao CERN apenas uma fração da contribuição financeira que lhe competiria (cerca de 1% do total das contribuições dos países-membros). A fração remanescente deveria, nos termos do protocolo, ser utilizada no desenvolvimento em Portugal dos recursos humanos e das infraestruturas necessárias a uma participação plena nas atividades científicas do CERN, bem como nas colaborações da indústria portuguesa com o CERN. Findos os dez anos, Portugal e o CERN celebraram um protocolo bilateral de cooperação, que foi sucessivamente renovado, e que criou um comité conjunto Portugal-CERN, que acompanha as atividades da comunidade científica portuguesa participante nas atividades do CERN, assegurando-se a realização periódica de concursos de financiamento a projetos científicos e/ou tecnológicos. Este

financiamento foi sujeito, ao longo dos últimos 35 anos, a ciclos mais ou menos favoráveis, mas foi basicamente sempre continuado, o que permitiu que hoje tenhamos uma participação no CERN competitiva e dinâmica, como seria talvez difícil de imaginar nos anos de 1980.

Em 2021, integram o LIP cerca de duas centenas de pessoas, incluindo uma centena de doutorados, cerca de 70 estudantes de mestrado e doutoramento, cerca de 30 engenheiros e técnicos e ainda um reduzido, mas extremamente eficiente, número de quadros administrativos. Nessa centena de doutorados, cerca de um terço são professores de quadro nas universidades portuguesas e muitos outros são professores convidados ou mantêm com elas relações de grande proximidade.

Nas atividades com o CERN, há uma comunidade alargada de cerca de 250 portugueses: físicos experimentais, físicos teóricos, engenheiros, técnicos e estudantes de pós-graduação: 55 são membros do quadro de pessoal do CERN; 33 *fellows* (cientistas e engenheiros com contratos de um a três anos); 17 participam nos estágios profissionais, de um a dois anos, financiados pela FCT; oito são estudantes de doutoramento, administrativos ou aprendizes; 54 são membros associados e 86 são utilizadores académicos externos. Na maioria destas categorias, a percentagem de portugueses com contratos no CERN é claramente superior à percentagem da nossa contribuição financeira.

Portugal participa nas duas experiências do LHC que contribuíram para a descoberta do bóson de Higgs (ATLAS e CMS); nos programas de alvo fixo e de física de neutrinos (este último desenvolvido numa parceria entre o CERN e o laboratório Fermilab nos Estados Unidos da América); em colaborações no quadro de ISOLDE (que utilizam feixes intensos de isótopos radioativos com baixas energias, em estudos de caracterização de materiais e de Física Nuclear, bem como na produção de novos isótopos radioativos com aplicações médicas).

A contribuição portuguesa é abrangente, com responsabilidades no desenho e na construção dos detetores e dos sistemas de seleção e aquisição dos dados, bem como na sua análise e na produção de resultados científicos. Portugal, à sua escala, tem dado uma contribuição relevante para assegurar as capacidades de computação do LHC, tendo criado uma Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída, o INCD, que apoia igualmente muitas outras atividades num conjunto muito diversificado de domínios científicos. As colaborações portuguesas em experiências do CERN são, na sua maioria, coordenadas pelo LIP, com exceção da participação em ISOLDE, que é coordenada pelo Centro de Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico (CTN/IST). Na Física teórica, existe hoje também em Portugal uma comunidade muito ativa em diversos centros do país, nomeadamente no IST e no LIP, que tem tido contribuições significativas: na Física do campo e bóson de Higgs; nas pesquisas de novos fenómenos

não explicados pelo paradigma atual da Física de partículas; na Física de Neutrinos; na fenomenologia das interações fortes em regimes de alta densidade de energia e matéria; em estudos de Física Nuclear.

Portugal participa ainda em diversas grandes colaborações internacionais reconhecidas pelo CERN, nomeadamente no Observatório Pierre Auger, na Argentina, que estuda a origem e composição dos raios cósmicos com energia extrema, muitas ordens de grandeza superiores às energias acessíveis nos aceleradores fabricados na Terra; na colaboração SNO+ no Canadá, que procura conhecer aspectos fundamentais da natureza dos neutrinos; na experiência AMS-02 instalada na Estação Espacial Internacional, que estuda o espectro em energia das partículas carregadas que chegam à Terra. Beneficiam das atividades e recursos humanos desenvolvidos no CERN, muitas outras colaborações internacionais de Portugal, por exemplo, com a Agência Espacial Europeia, o Centro Helmholtz para a pesquisas com iões pesados (GSI), na Alemanha, e o centro de pesquisas subterrâneas de Sanford (SURF), nos Estados Unidos da América.

O CERN é um mercado tecnológico extremamente competitivo e exigente. As indústrias portuguesas, apoiadas por um elemento de ligação da administração portuguesa, o ILO («Industrial Liaison Officer»), têm a ele acedido. Os fornecimentos de bens e serviços têm abrangido áreas diversas como, nomeadamente, a metalomecânica e mecânica de precisão; a consultoria técnica e controlo de qualidade; a eletrónica industrial; a energia e engenharia de sistemas de energia; as tecnologias de informação e comunicação; a produção de *software* de produção e controlo. Na média dos últimos quatro anos (2017–2020), Portugal forneceu bens ao CERN no total de cerca de 2.2 MCHF/ano, o que significa cerca de 0,5 % da totalidade de bens adquiridos pelo CERN em igual período. O fornecimento de serviços por parte da indústria portuguesa tem sido, esse, muito irregular, e nos últimos quatro anos praticamente residual. No entanto, tal como o próprio CERN tem passado por ciclos de construção/consolidação/operação de infraestrutura científica, o envolvimento da indústria nacional também tem sido cíclico, com um pico de atividade comercial em 2000–2008, durante a construção do LHC. Nessa fase, as empresas portuguesas garantiram o segundo maior retorno em serviços industriais, atrás apenas da Suíça. Realce-se ainda que os benefícios obtidos pela indústria portuguesa na colaboração com o CERN vão muito para além dos aspectos financeiros envolvidos e abrangem fatores de obtenção de conhecimento, de qualificação e de reconhecimento, que são decisivos na disputa dos mercados internacionais.

A formação avançada de engenheiros, bem como o apoio à formação de professores de ensino secundário, têm constituído uma importante mais-valia da participação portuguesa no CERN: desde 1996, mais de 200 jovens engenheiros frequentaram, com o apoio de bolsas da FCT, estágios de dois

anos em áreas tecnológicas; desde 2015, cerca de 60 recém-formados do IST tornam-se, por períodos até três anos, membros associados em projetos em curso no CERN, envolvendo as mais diferentes áreas de engenharia. O Politécnico de Leiria e a Universidade de Évora também participaram neste programa, embora numa escala mais reduzida. Todos os anos, desde 2007, o LIP e o CERN, com o apoio parcial do Ciência Viva, organizam uma escola de verão no CERN, em Língua Portuguesa, com a duração de uma semana, para cerca de 20 a 30 professores portugueses da área disciplinar de Ciências Físico-Químicas. Desde 2011, esta escola passou a incluir professores de todos os países de língua oficial portuguesa, registando-se uma forte participação de professores brasileiros. Os custos da participação (viagem, alojamento e alimentação) dos professores portugueses e de alguns professores de países africanos e de Timor são suportados pela organização portuguesa. À data de hoje, já passaram por estas escolas de verão um total de 723 professores, dos quais 428 oriundos de todos os distritos de Portugal, que são depois embaixadores do CERN e da Física de Partículas nas suas escolas e comunidades.

Todos os anos, desde 2005, o LIP organiza em Portugal as *masterclasses* internacionais em Física de Partículas promovidas pelo International Particle Physics Outreach Group (IPPOG), uma colaboração internacional baseada no CERN, que se destinam sobretudo a alunos dos 10.º, 11.º e 12.º anos de escolaridade, com idade entre os 15 e os 18 anos, especialmente motivados para a disciplina de Física. Em 2019, 1700 estudantes portugueses estiveram envolvidos em 15 sessões de um dia, sábados na sua maioria, organizadas em centros de investigação, universidades e institutos politécnicos em todo o país: Aveiro, Beja, Braga, Bragança, Coimbra, Covilhã, Évora, Funchal, Lisboa, Ponta Delgada, Porto, Vila Real, e em apoio remoto em São Tomé e Príncipe; todos os anos, muitas turmas de escolas secundárias portuguesas visitam o CERN: em 2019, por exemplo, foram realizadas 47 visitas abrangendo 1607 estudantes e professores.

Estas iniciativas contribuíram seguramente para a mudança dramática verificada na última dezena de anos nas preferências dos estudantes no momento do seu ingresso no ensino universitário. Nos últimos anos, o curso de Engenharia Física Tecnológica do IST esteve no topo das preferências, superando os cursos de Medicina.

O número de doutorados e de doutoramentos em Portugal era, no momento da adesão de Portugal ao CERN, residual. Este panorama mudou radicalmente com a internacionalização da Ciência Portuguesa, de que a adesão de Portugal ao CERN foi paradigmática. No campo da Física de Altas Energias temos, todos os anos, cerca de uma dezena de jovens que iniciam o doutoramento em instituições universitárias portuguesas, estando simultaneamente enquadrados em diversos centros e institutos de investigação. O LIP coordena, desde 2010, uma rede internacional de doutoramento,

o International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC), que integra atualmente 32 instituições, incluindo: todas as universidades portuguesas com intervenção nestas áreas; diversas universidades de Espanha, França, Itália, Eslovénia, Croácia, e organizações científicas internacionais como o CERN, o EGO, o CBPF, o SPRACE (Brasil), o Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences e o Gran Sasso Science Institute. No âmbito desta rede e com o apoio da FCT, têm sido lançados em Portugal sucessivos programas de bolsas de doutoramento oferecendo entre cinco e 15 bolsas por ano, e realizadas muitas escolas de verão e seminários. A escola de verão anual da rede, com a duração de duas semanas, tem sido organizada todos os anos, com a exceção de 2020, devido à crise pandémica, variando a sua localização pelos diferentes países da rede (três vezes em Itália, duas vezes em Portugal, duas em Espanha, uma em França, uma na Eslovénia).

As atividades do CERN têm impacto nas mais diversas áreas do conhecimento e em aplicações concretas na vida de todos nós. Em particular, na área da medicina, muitos detetores e tecnologias desenvolvidas no CERN têm aplicação em meios de diagnóstico (imagiologia) e de tratamento (radioterapia). A radioterapia usando feixes de prótons foi desenvolvida na Europa, ao longo dos últimos 30 anos, com o apoio forte do CERN e dos seus cientistas. Hoje, a instalação em Portugal de um centro de tratamento oncológico utilizando feixes de prótons está na ordem do dia. O Grupo Hospitalar IPO, o CTN (IST), o LIP e o ICNAS (Universidade de Coimbra) criaram, em dezembro de 2019, a Infraestrutura Nacional de Terapia Oncológica com Prótons (ProtoTera). A Infraestrutura pretende instalar inicialmente um centro de tratamento e investigação em Loures e outro em Coimbra. Prevê-se a instalação em Loures de um ciclotrão de 250 MeV; duas a três salas de tratamento, dimensionadas para tratar na sua fase de pleno funcionamento até 700 pacientes por ano; uma sala dedicada a desenvolvimento tecnológico, industrial e científico com acesso aberto a toda a comunidade nacional e internacional. Em Coimbra serão instalados um ciclotrão de algumas dezenas de MeV, interligado eventualmente a um acelerador linear; uma sala de tratamento para tumores oculares; linhas para produção de radioisótopos e radiofármacos para diagnóstico e terapia. A solução de um ciclotrão acoplado a um acelerador linear está neste momento em estudo numa colaboração com o CERN.

Em junho de 2020, o Conselho do CERN aprovou, em sessão pública e por unanimidade dos Estados-membros, a Estratégia Europeia para a Física de Partículas que vai vigorar nos próximos cinco anos (2021–2025). Esta estratégia define como prioridade no curto e médio prazo a conclusão do projeto que aumentará de um modo significativo o número de colisões por unidade de tempo no LHC e a sua posterior exploração nos próximos 15 a 20 anos. Mas definiu igualmente, com um alto nível de prioridade,

a preparação do futuro pós-LHC, que deve abordar sucessivamente a fronteira da precisão (estudo detalhado das propriedades do campo e bóson de Higgs) e a fronteira da energia (aumento significativo da energia disponível nas colisões, para aceder à produção eventual de novas partículas que possam nomeadamente ajudar a compreender o conteúdo da designada «matéria escura», que contribui com 25% do balanço energético do Universo). Nesta linha, os estudos de viabilidade da construção de um novo acelerador na região do CERN com cerca de 100 km de perímetro (o «Future Circular Collider — FCC») são uma das grandes tarefas dos próximos anos. Vai ser um trabalho que, necessariamente, vai envolver uma forte componente técnica, científica e industrial, mas em que a componente política e societal vai ser também determinante. O que se vai discutir, em última análise, é a vontade de a Europa manter nos próximos 50 anos a sua liderança mundial na Física de Partículas, na Ciência, na Engenharia, na Tecnologia e na Inovação, mantendo e reforçando o seu papel ativo na divulgação e promoção dos ideais do conhecimento, da paz e da livre circulação de pessoas e ideias, ajudando ao estabelecimento de novas infraestruturas científicas que na prática as concretizem.

Mário João Martins Pimenta

Universidade de Lisboa e

Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

Referências

CERN, «Accession of Portugal», disponível em <https://cds.cern.ch/record/29875/files/CM-P00081398-e.pdf>.

CERN, *Estratégia Europeia para a Física de Partículas*, Genebra, CERN, 2020.

LIP, *Annual report 2020/2021*, LIP, Lisboa, 2021.

FCT, *Highlights of the Portuguese traineeship programme at CERN, ESA and ESO*, Lisboa, FCT, 2015.

Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear, «Convenção para o Estabelecimento de uma Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear», datada de 1 de julho de 1953.