

J. PINTO PEIXOTO • F. R. DIAS AGUDO • J. TIAGO DE OLIVEIRA • J. CAMPOS FERREIRA  
MARGARITA RAMALHO • A. RIBEIRO GOMES • ARMANDO POLICARPO • F. DUARTE SANTOS  
J. GOMES FERREIRA • L. A. MENDES VICTOR • MANUEL LARANJEIRA • M. GOMES GUERREIRO  
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA • ROBALO CORDEIRO • J. CELESTINO DA COSTA • A. CASTRO CALDAS  
BARAHONA FERNANDES • ARANTES E OLIVEIRA • A. F. CARVALHO QUINTELA • A. BARBOSA  
DE ABREU • GOUVÊA PORTELA • L. BRAGA CAMPOS • J. J. DELGADO DOMINGOS • A. F.  
OLIVEIRA FALCÃO • DOMINGOS MOURA • H. CAMPOS NETO • A. LARCHER BRINCA • J. F.  
QUINTINO ROGADO • M. AMARAL FORTES • M. BAPTISTA BRAZ • M. PEREIRA COUTINHO  
FERNANDO ESTÁCIO • P. O. PEREIRA SANTOS • A. A. MONTEIRO ALVES • BRITALDO RODRI-  
GUES • L. AIRES DE BARROS • MATOS ALVES • M. PORTUGAL FERREIRA • ANTÓNIO RIBEIRO  
FRANCISCO GONÇALVES • TELLES ANTUNES • LUÍS ARCHER • J. MONTEZUMA DE CARVALHO  
J. FIRMINO MESQUITA • ABÍLIO FERNANDES • J. MALATO-BELIZ • ARSÊNIO PATO DE  
CARVALHO • A. XAVIER DA CUNHA • ALLEN DEBUS • J. SIMÕES REDINHA • SEBASTIÃO  
J. FORMOSINHO • A. M. A. ROCHA GONSALVES • L. ALMEIDA ALVES • OLIVEIRA CABRAL  
FRAÚSTO DA SILVA • JOSÉ V. PINA MARTINS • AMÉRICO COSTA RAMALHO • FERNANDO  
REBELO • C. ALBERTO MEDEIROS • ILÍDIO DO AMARAL • MANUEL GARRIDO ARAÚJO  
MANUEL VIEGAS GUERREIRO • A. SIMÕES LOPES • A. SOUSA FRANCO • ONÉSIMO T. ALMEIDA  
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA • FRANCISCO GAMA CAEIRO • RÔMULO DE CARVALHO

---

# HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

I VOLUME



---

PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA  
LISBOA • 1992



## DETECTORES DE RADIAÇÃO EM PORTUGAL NO SÉCULO XX

A. PONCE DE LEÃO POLICARPO \*  
ERMELINDA P. DE LIMA \*  
M. ALICE F. ALVES \*

### Summary

Since the beginning of our century the studies in the field of radioactivity and X-rays have been of capital importance and a major contribution to those studies was done by the simultaneous development of radiation detectors. It is our aim in this article to make a review, as complete as possible, of the evolution of radiation detector systems in Portugal in the XX century, concerning both its development and technical applications, in particular in the different areas of physics. A reference is made to detection systems being used nowadays, in the fields where the use of such systems is more relevant: research in universities and institutes, in medicine and in industry.

### 1. Introdução

Neste artigo limitar-nos-emos essencialmente a considerar detectores no contexto da radioactividade e dos raios X. Este domínio tem sido desde o início do século até à actualidade, de extrema relevância. Os primeiros prémios Nobel da Física do século foram atribuídos a descobertas que lhe dizem respeito: em 1901 a W. Roentgen, pela descoberta dos raios X, em 1903 foram contemplados os físicos A. H. Becquerel, M. Curie e P. Curie, pela descoberta da radioactividade natural e em 1905 P. Lenard pela descoberta dos raios catódicos. Por outro lado debruçar-nos-

\* Departamento de Física da Universidade de Coimbra.



-emos principalmente sobre a Física, não só porque é o nosso domínio de trabalho mas também porque talvez, e esta afirmação é na verdade discutível, tenha sido no domínio da Física que o desenvolvimento dos detectores no século XX mais representou para o progresso cultural da humanidade. Esta aproximação não ignora o contributo fundamental que a Química, a Medicina e a Geologia, entre outras, deram às técnicas de detecção, ao seu desenvolvimento e às suas aplicações, desde os primórdios da radioactividade até à situação actual, quer em termos globais quer no país.

Com raras excepções iremos permanecer nas cinco primeiras décadas do século. Os aspectos mais recentes serão abordados quase como uma simples listagem, pois dirigem-se essencialmente ao leitor com formação em física nuclear e domínios afins.

Dada a natureza do trabalho não seremos certamente exaustivos, longe disso, quer relativamente ao equipamento quer aos cientistas que o desenvolveram ou implementaram o seu uso. Não se referirão sistemas de detecção, mesmo que essencialmente sob a responsabilidade de equipas e físicos portugueses, desde que tais sistemas estejam instalados fora do país.

Não citaremos os vivos enquanto cientistas actuaes; e nalguns casos a citação nem surge, porque a personalidade merece mais do que a abordagem que aqui podemos fazer o permite.

Que nos perdoem pois alguns mortos ilustres que contribuíram para o desenvolvimento da Física em Portugal, e com alguns tivemos a honra de trabalhar directamente.

A observação é um dos aspectos da experiência, experiência que nos últimos séculos tem surgido como eminentemente activa. O papel passivo do cientista foi vigorosamente rejeitado no século XVII pelo jurista, sociólogo e filósofo Francis Bacon. Embora Bacon não fosse um cientista profissional, a sua filosofia estava tão de acordo com a experiência dos seus contemporâneos que fundaram a ciência moderna — o físico William Gilbert, o anatomista William Harvey e os astrónomos Johannes Kepler e Galileo Galilei — que as suas ideias em breve substituíram a atitude contemplativa até aí dominante. Bacon definia o fim da ciência como submeter a natureza a um interrogatório numa altura em que o significado de «interrogatório» era também o de «tortura». De acordo com Bacon o principal método científico é forçar a matéria a condições artificiais de extrema tensão e «detectar» as suas respostas;

desde que a ciência se tornou «activa» o desenvolvimento de detectores tem adquirido importância crescente.

Não está no âmbito deste trabalho considerar o problema de se em virtude da própria «tortura» o objecto é transformado em algo distinto; se, em certas circunstâncias, não é a maneira adequada de provocar as respostas da natureza.

## 2. Experiência e Investigação

Avancemos um século relativamente a Bacon. Aquando da instalação do Gabinete de Física em Coimbra em 1772, depois de, por carta régia, de 10 de Novembro de 1772, ter sido suprimido o estudo da Matemática e da Física no Colégio dos Nobres em Lisboa, dizem os velhos Estatutos Pombalinos, e passo a citar da revista *Publications du Laboratoire de Physique de l'Université de Coimbra*, 1939, comunicação apresentada pelo Professor M. Silva à Academia das Ciências de Lisboa em Junho de 1938: «Para que as Lições de Fysica que Mando dar no Curso Filosófico da Universidade, se façam com o aproveitamento necessário dos Estudantes; os quais não sòmente devem ver executar as Experiências, com que se demonstram as verdades até o presente conhecidas na mesma Fysica; mas também adquirir o hábito de as fazer com sagacidade, e destreza, que se requer nos Exploradores da Natureza; haverá também na Universidade huma Colecção das Máquinas, Aparelhos e e Instrumentos necesarios para o dito fim.»

Avancemos mais um século. Citemos do Lente Director do Gabinete de Física, Dr. Jacintho António de Souza, da sua publicação *Gabinete de Physica da Faculdade de Philosophia na Universidade de Coimbra*: «Ha, porém, trabalhos practicos incompatíveis com o tempo da aula, e é de grande utilidade que os alumnos executem medidas exactas, por si mesmos, e se habituem a manipular com os instrumentos, em processos mais ou menos complicados. Em consequencia, supprimi as antigas dissertações sobre altas questões, ás quaes muitas vezes a sciencia não respondia, e, dividindo o curso em turmas de tres alumnos, distribuo, por cada uma, durante o anno, tres trabalhos dos mais importantes, para serem executados, no Laboratório de Physica, com o auxilio do Guarda demonstrador.» E, mais adiante: «Felizmente o Gabinete de Physica, desde que fui encarregado da sua direcção, com a coadjuvação de um collega, que residia em París, o Dr. Mathias de Carvalho, por



ocasião das minhas viagens e das do meu collega, o Dr. Antonio dos Santos Viegas, tem podido enriquecer-se com excellentes collecções de instrumentos para estudo e demonstrações. D'este modo, o que antes era um museu para a historia de alguns ramos da antiga Physica, é hoje um Gabinete de Physica entre os melhores da Europa, que se mantem á altura da sciencia, com as novas aquisições feitas todos os annos.» Seria assim na verdade em 1878?

Referimos, a nível nacional, a experiência no seu contexto «de destreza e sagacidade», de «demonstração das verdades conhecidas» do interesse em possuir «excelentes colecções de instrumentos», mas a verdadeira investigação deve ser associada a 1911, pelo menos a nível de clara intenção, quando a Escola Politécnica de Lisboa e a Academia Politécnica do Porto foram integradas nas recém-criadas Universidades de Lisboa e do Porto, constituindo a Faculdade de Ciências e, em Coimbra, as Faculdades de Matemática e de Filosofia da Universidade deram lugar à Faculdade de Ciências. O grau de Doutor em Ciências Físico-Químicas, de acordo com o Decreto de 12 de Maio de 1911, exigia que os bacharéis fossem obrigados «a um ano de tirocínio prático, provado, num laboratório nacional ou estrangeiro, e à apresentação de uma these original, impressa, sobre assunto da sua escolha.»

### 3. As cinco primeiras décadas

Procurámos até aqui situar a experiência como ferramenta científica e a nível nacional introduzir a investigação; iremos agora debruçar-nos mais directamente sobre a evolução e o desenvolvimento dos métodos de detecção de radiações entre nós, no século XX. Corremos evidentemente um grave risco de apreciação. É talvez altura de passar a citar parte da introdução de um artigo do Prof. Egas Pinto Basto, Professor Catedrático de Química, Director Interino do Departamento de Física de Coimbra, publicado em 1931 na *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, intitulado o «Átomo de hidrogénio»: «Na *Nature* de 13 de Abril de 1929 o professor inglês T. M. Lowry exprime-se assim: 'Nos dias mais livres dos tempos passados, havia geralmente tempo para apreender uma ideia fundamental antes da nossa atenção ser distraída pelo seu próximo desenvolvimento. O progresso fazia-se, então, passando a bola regularmente dum jogador para outro até ser colocada nas rêdes, passando-se assim da especulação ou hipótese para a teoria. Hoje a bola é conduzida, no meio de grande confusão, numa

avanzada impetuosa, podendo o observador de onde a onde ver a bola, mas tendo pouca possibilidade de observar os efeitos de jogo individual; mesmo o crítico profissional corre o risco de lhe escaparem fases essenciais do jogo'. Sentimo-nos perfeitamente nesta situação, mas talvez não ao considerar ser a dissertação do Prof. Alexandre Alberto de Sousa Pinto, sócio do Instituto de Coimbra e da Sociedade de Geografia de Lisboa, apresentada em 1902 para concurso ao magistério da Academia Politécnica do Porto, intitulada «Os Raios de Becquerel», talvez a primeira no nosso país sobre radioactividade. O seu autor descreve desenvolvimentos das novas radiações, mostrando um conhecimento profundo e actual dos trabalhos e experiências em curso nesta área, apresentando um bem elaborado conjunto de tudo o que até então se conhecia sobre radioactividade. Desta dissertação citamos: «Os raios uranicos e o grupo de radiações semelhantes observadas n'esses outros corpos foram reunidos sob a designação commum de raios de Becquerel; as substancias em que a sua emissão foi observada receberam o nome de substancias radioactivas; e os phenomenos a que os raios de Becquerel dão lugar, o de phenomenos da radioactividade.» E, mais adiante: «O estudo experimental dos raios de Becquerel pôde fazer-se utilizando as suas propriedades directamente sencíveis aos meios actuaes de observação. Estas propriedades, reveladoras dos raios de Becquerel, são a de impressionar placas fotograficas, a que já nos referimos, a de excitar a luminescencia de certos corpos e a de tornar os gases condutores da electricidade.»

No ano seguinte o Prof. João Maria de Almeida Lima, último professor de Física da Escola Politécnica e, mais tarde, professor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, apresenta à Academia Real das Ciências de Lisboa uma comunicação, referida nas *Actas das Sessões*, sobre a radioactividade. Mostra um invulgar conhecimento da ciência do tempo e não resistimos a transcrever parte das *Actas* em que refere algumas propriedades essenciais da radioactividade algumas das quais se têm revelado essenciais em detectores: «espontaneidade na emissão de energia; longa ou indefinida persistência; faculdade de tornar os gases condutores da electricidade; desviabilidade de uma quarta parte da emissão pelos campos electricos e magneticos; faculdade de transmitir a radio-actividade aos outros corpos». E, mais adiante: «Para evidenciar a contradição entre o principio da entropia e o facto da emissão continua de energia, diz que um radiometro e algumas parcelas de radio hão de permittir realisar, pela mão do homem, um aparelho de moto-contínuo. Mostra a identidade entre a radio-actividade e a emissão



continua da irradiação solar e considera o sol como um gigantesco corpo radio-activo; as dificuldades creadas ás theorias actuaes pela actividade permanente do sol são da mesma ordem e devem ser resolvidas do mesmo modo que as dificuldades suscitadas pela radio-actividade».

São bem anteriores as experiências utilizando raios X. De um artigo de H. Teixeira Bastos publicado na revista *O Instituto*, em 1896, citamos: «Nas experiências realizadas no gabinete de physica da Universidade, uma bobine de Ruhmkorff era excitada por seis elementos Bunsen, e a carga era recebida num tubo de Crookes.

A uns dez centímetros do tubo, envolvida em papel preto, collocava-se a placa photographica (Schleussner), normalmente aos raios cathódicos. Sobre a placa assentava o objecto da experiência.

Obtiveram-se bons resultados, com exposições não inferiores a vinte minutos, nas photographias de uma chave e de um dedo cortado do cadaver (o primeiro ensaio feito), de uma mão viva, de uma caixa de pesos, de uma sardinha». E, mais adiante: «Não é fácil prever desde já todas as applicações scientificas e industriaes, a que poderá prestar-se o novo processo.

Tem-se sobretudo procurado applica-lo ao diagnostico cirúrgico. O hospital da Universidade, acompanhando o movimento iniciado no estrangeiro, tem já feito ensaios animadores neste sentido».

Em 1914, o bacharel em ciências fisico-químicas pela Universidade do Porto e professor do Liceu, M. Marques Teixeira de Oliveira, apresenta uma dissertação para o concurso de assistente de física na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, intitulada *Manipulação da radioactividade*. Todo o trabalho experimental foi realizado em França nos Laboratórios de Madame Curie e no Laboratório de Química e Física de Jean Perrin. É de uma publicação sua, já como Professor Catedrático da Faculdade de Ciências do Porto, que passamos a citar, a propósito de um curso de Madame Curie na Sorbonne: «Da enumeração dos corpos radioactivos mais importantes, passou Madame Curie ao enunciado das suas propriedades, acompanhando as suas afirmações de experiências executadas pelo seu assistente ... Era fácil naquele anfiteatro passar do dia para a noite, e, assim, o público que o enchia, pôde ver a descarga do electroscópio, a fosforescência do platinocianeto de bário, as cintilações do sufureto de zinco, a marcha dos iões na

câmara de condensação de Wilson». Estão em causa princípios e métodos que ainda hoje se utilizam em sistemas de detecção de radiações.

A dissertação do Prof. M. M. Teixeira de Oliveira é um extenso trabalho que utiliza bibliografia actualizada: *Conduction of electricity through gases* de J. J. Thomson, Cambridge, 1906; *Traité de Radioactivité* de Madame Curie, Paris, 1910; e *Radioactive Substances and their Radiations* de E. Rutherford, Cambridge, 1913. No prefácio diz Marques Teixeira: «Condensar num folheto de algumas dezenas de páginas o ramo dos conhecimentos humanos, já hoje vastíssimo — a sciência da radio-actividade — é uma empresa, a que não pode atrever-se quem nesta especialidade trabalhou apenas quatro meses no laboratório de M.<sup>me</sup> Curie em Paris. A tese dêste concurso são as manipulações ali realizadas; o relatório dessas manipulações, a dissertação». A parte experimental do trabalho foi pois realizada em Paris mas, no último ponto da dissertação, «Radiografias de minérios portugueses», há trabalho experimental, se bem que rudimentar, que provavelmente foi feito no país. Citamos: «Envolvendo chapas ortocromáticas em papel negro, e colocando em cima delas os minérios radioactivos, obtive as fotografias A, B, C, D e E». Estuda assim quatro amostras, duas provenientes de Belmonte e duas de Aguiar da Beira.

Tanto quanto é do nosso conhecimento, um dos primeiros trabalhos realizados inteiramente em Portugal, de natureza experimental, envolvendo a detecção de radioactividade, com princípio, meio e fim, é a dissertação apresentada ao concurso ao lugar de segundo assistente do 1.<sup>o</sup> grupo da 2.<sup>a</sup> secção, da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, em 1915, por Francisco Martins de Sousa Nazareth, bacharel em Filosofia, intitulada *Ionização dos gases em vaso fechado*. Refere-se no prólogo: «No presente trabalho são expostos os resultados de algumas experiências que fizemos, no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, com o fim de pôr em evidência uma possível radiação das paredes dos recipientes metálicos». Todos os instrumentos de que o Professor Francisco Nazareth se serviu — excepto um electrómetro de Dolezaleck que aliás foi posteriormente substituído por um electrómetro inclinado de Wilson — foram construídos, testados e calibrados no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra. Mesmo o electrómetro inclinado de Wilson foi construído em Coimbra e sujeito a desenvolvimentos vários. Citamos, dum trabalho posterior do mesmo autor, publicado em 1916 na revista *O Instituto*, intitulado «Sobre um electrómetro



de fôlha de ouro»: «...tivemos necessidade de medir correntes muito pequenas. Como, porém, não convinha que a duração das medidas fôsse superior a alguns minutos, montámos um aparelho que se presta à medida das correntes pelo método electoscópico e combina uma pequena capacidade, comparável à do electoscópio de fôlha, com uma grande sensibilidade ao potencial, cerca de 100 vezes superior à dos electoscópios mais sensíveis».

A descoberta realizada em 1900, simultaneamente por C. T. R. Wilson e Elster e Geitel, de que a condutibilidade dos gases encerrados em vasos fechados era devida ao facto de eles se encontrarem fracamente ionizados, foi ponto de partida para investigações neste campo, pondo em evidência um certo número de causas da ionização observada. As causas apontadas eram, citando Francisco Nazareth: «1) A presença de uma pequena quantidade de emanação misturada com o gás; 2) Uma actividade superficial do vaso devido à radioactividade induzida produzida pelas substâncias radioactivas presentes na atmosfera; 3) Uma radiação penetrante, tipo gama, proveniente do exterior do vaso».

Um estudo minucioso destas questões, de que F. Nazareth fez uma discussão pormenorizada, mostrou que todas estas causas eram insuficientes para explicar a ionização observada. Pretende F. Nazareth estudar a influência da natureza das paredes do vaso na ionização em vaso fechado e utiliza o zinco, o ferro, o estanho e o chumbo em atmosferas de ar e anidrido carbónico. Conclui:

«1) Todos os metais que experimentámos, excepto o zinco, emitem uma radiação pouco penetrante, que é absorvida em alguns centímetros de ar, radiação que, segundo todas as probabilidades, é do tipo alfa; 2) Na hipótese desta emissão de raios alfa, interpretam-se muito bem as oscilações rápidas da corrente em torno de um valor médio admitindo que elas são oscilações de Shweidler». Levanta naturalmente o problema de eventuais impurezas radioactivas e refere comportamentos menos claros associados ao chumbo.

Em 1924, já Prof. Ordinário desde 1919, F. Nazareth é considerado na situação de licença ilimitada, na sequência talvez de ausência bem anterior. Regressa depois em 1952, como Prof. Catedrático. A possível escassez da sua obra científica na sequência da elaboração da dissertação que referimos deve-se em parte, provavelmente, ao período relativamente curto da sua actividade em Coimbra.

Em 1915 está pois o Laboratório de Física de Coimbra razoavelmente apetrechado em meios humanos e materiais para a detecção de radioactividade; simultaneamente, desde 1914 o Prof. Marques Teixeira de Oliveira, do Porto, é um especialista em «manipulações de radioactividade». Surpreende assim o pouco desenvolvimento deste domínio, pelo menos sob o ponto de vista da Física, na década seguinte.

Em 1929, o assistente Mário A. da Silva, bolseiro da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra e depois também bolseiro da Faculdade de Ciências da Universidade de Paris, apresentou a esta Faculdade uma tese de doutoramento intitulada *Recherches Expérimentales sur l'Electroaffinité des gaz*, que foi classificada com a menção «très honorable».

Situemo-nos cientificamente, citando algumas frases da tese em causa: «sabe-se que os electrões foram estudados em tubos de descarga em vazio e que as medidas efectuadas da sua velocidade e da relação  $e/m$  levaram à conclusão que todos os electrões são idênticos, qualquer que seja o gás em que são produzidos; e que a sua massa é muito pequena relativamente à massa do átomo mais leve, o átomo de hidrogénio... Se os electrões produzidos num gás em condições de pressão mais elevada se mantivessem livres, deveríamos observar duas espécies com características de mobilidade muito distintas, devido à massa muito elevada dos iões positivos. Na verdade, em geral, não é essa a situação devido à formação de iões negativos, questão estudada teoricamente, por exemplo por Langevin (1905); é a electroafinidade. Foram as experiências de Townsend e dos seus estudantes que verificaram que, em certos gases secos e para valores elevados da relação campo eléctrico/pressão, os iões negativos tinham velocidades anormalmente elevadas independentes da natureza dos gases; eram os electrões livres; a interpretação teórica dos processos de mobilidade electrónica permitiu a determinação de  $e/m$  em bom acordo com os resultados de tubos de descarga em vazio».

Utilizando a ionização produzida por uma fonte de polónio e uma câmara de ionização sujeita a tensões contínuas e alternadas, Mário Silva estudou o problema da electroafinidade do argon, azoto, oxigénio, hidrogénio e vapor de água, confirmando resultados experimentais de outros autores e as hipóteses de J. J. Thomson sobre o mecanismo da formação de iões negativos em gases. Citemos de novo o autor: «Entre as aplicações das propriedades do argon postas em evidência no decorrer dos meus trabalhos refiro a determinação do período do polónio». Esta foi



feita, em 1927, medindo ao longo de um período de oito meses a corrente de saturação numa câmara de ionização de argon perfeitamente purificado e o resultado obtido, 140,2 dias, compara-se bem com o valor actual, 138,4 dias (trata-se do RaF, isto é, do  $^{210}_{84}\text{Po}$ ).

Sobressaem nesta tese as condições excepcionais de purificação dos gases e o rigor das medidas nas câmaras de ionização.

Os estudos experimentais da electroafinidade dos gases eram assim um tópico da física e da maior relevância para os estudos da radioactividade, fornecendo os conhecimentos necessários aos desenvolvimentos de detectores, particularmente às câmaras de ionização. Em parte talvez por isso a condutividade eléctrica dos gases, a teoria de ionização e a teoria cinética dos gases foram tópicos da maior importância no Instituto do Rádio de Madame Curie.

Os trabalhos do Prof. Mário Silva prosseguem em Coimbra, sem aparente interrupção temporal, designadamente os trabalhos relativos ao estudo do mecanismo de formação dos iões negativos em gases. Assim, em 1931, apresenta uma «Tese para Concurso ao Magistério da Faculdade de Ciências», cujo título é *Sobre dois métodos de determinação da probabilidade -h- de Thomson (contribuição para o estudo da afinidade electrónica)*, onde é proposto também um método para medir a vida média de um ião negativo. No que diz respeito à realização experimental do método, aí pormenorizadamente descrito, é utilizada uma câmara de ionização perfeitamente estanque, de placas paralelas. Esta instalação foi totalmente construída no Laboratório de Física desta Faculdade. Do apêndice II desta tese pode citar-se: «Obtivemos ultimamente alguns resultados interessantes no que respeita à ionização do hidrogénio puro. Estes resultados mostraram a existência de um grande número de iões positivos, de elevada mobilidade, e particularmente sensíveis a pequenos traços de impurezas. Pensamos que estes iões são protões». O trabalho a que se refere este apêndice foi publicado em 1933 na *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, com o título «L'ionization dans l'hydrogène très pur». Neste trabalho é ainda utilizada uma câmara de ionização, estanque, de placas paralelas. também em 1931, na *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, publica o trabalho «Radioactivité des gaz spontanés de la source thermale de Luso» de que citamos: «Os métodos utilizados no nosso trabalho são essencialmente os utilizados no Laboratório de Madame Curie no Instituto do Rádio de Paris... As medidas foram feitas no Laboratório em Coimbra, com a excelente aparelhagem da

Maison Beaudouin de Paris. Em todas as determinações servimo-nos duma montagem comportando um electrómetro Curie-Debierne e um quartzo piézo-eléctrico calibrado. Efectuámos assim sempre medidas absolutas de correntes de ionização». Dois anos depois, em 1933, nas *Publications du Laboratoire de Physique de l'Université de Coimbra*, dirigidas por Mário Silva e ainda na *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, surgem de novo publicados trabalhos de interesse, realizados em Coimbra, por exemplo «Sur la charge électrique du recul radioactif» em que, na chamada técnica de produção de fontes por activação se procura investigar a carga do ião de recuo do núcleo emissor alfa ou beta, procurando otimizar, aliás sem resultados positivos, o grau de activação, utilizando atmosfera de argon purificado.

O Prof. Mário Silva em estreita colaboração com o Prof. de Medicina Alvaro de Matos criou, em 1931, o Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra, o qual, apesar de convenientemente instalado e apetrechado e de ter entrado em funcionamento, não chegou a ter nunca existência legal. Associava-se assim o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências ao Hospital da Universidade e à Faculdade de Medicina. É de realçar que o equipamento dos gabinetes de diagnóstico radiológico e radioterapia foi projectado pelo radiologista de Lisboa, Prof. Carlos Santos e talvez seja altura de fazer notar que, já em 1923, o Instituto Português de Oncologia tinha 1,8 gramas de rádio e dispunha de aparelhagem de detecção e diagnóstico. E, citando o Instituto Português de Oncologia, tem de se referir o nome do Prof. Francisco Gentil.

Entretanto outros investigadores da Universidade de Coimbra dedicaram-se ao estudo da radioactividade em águas minerais, nomeadamente, Egas F. Pinto Basto e A. Viana de Lemos, ambos do Laboratório de Química, os quais em 1936 realizam um trabalho sobre *Determinações de Radioactividade em Águas Minerais*, que se estende a grande parte das águas minerais conhecidas, utilizando um emanómetro de Becker do qual consta, entre outras partes, uma câmara de ionização. J. Custódio de Moraes, do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, associa-se posteriormente a esta actividade.

Sob a direcção do Prof. Cyrillo Soares, físico e eminente gestor científico, o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa conheceu um período áureo, bastante bem documentado em inúmeros trabalhos, alguns bem recentes. Em 1933 Manuel Valadares regressou de Paris, onde apresentou a tese de doutoramento *Contribution à la*



*Spectrographie, par Diffraction Crystalline, du rayonnement gamma*, feita sob orientação de Madame Curie. Em 1938 regressou, também de Paris, Aurélio Marques da Silva que, sob orientação de Madame Curie e depois de Frederic Joliot apresentou a tese *Contribution à l'Étude de la Matérialization de l'Énergie*.

Ao nível da Química a Faculdade de Ciências de Lisboa desenvolvia-se também: em 1935, como bolseira da Junta de Educação Nacional e sob a orientação de Madame Curie e depois de A. Debierne, aquela que viria a ser a primeira Professora Catedrática de Ciências em Portugal, Branca Edmée Marques, apresentava à Faculdade de Ciências de Paris uma tese em rádio-química.

Em parte em consequência das áreas de especialização de M. Valadares e A. Marques da Silva, os dois ramos da investigação para os quais o Laboratório de Física de Lisboa se propôs dirigir a sua actividade foram os da espectrografia da radiação X e gama e o da radioactividade, nomeadamente o estudo das radiações emitidas por substâncias radioactivas. Diga-se aliás que é nestes domínios, que em verdade podem ser considerados como técnicas auxiliares no campo mais vasto da Física Atómica e Nuclear, que, desde então, este Laboratório se encontra melhor apetrechado.

Recorde-se que a primeira instalação destinada à espectrografia de raios X foi montada em meados de 1934 por Manuel Valadares e Francisco Mendes em condições bastante precárias, com recursos técnicos diminutos, tendo inclusivé sido emprestado parte do material utilizado. No entanto foram obtidos resultados apreciáveis, no campo da espectrometria da radiação X, designadamente no estudo dos espectros de raios X do chumbo e do bismuto. Esta instalação sofre posteriormente diversas modificações e melhoramentos, nomeadamente com a aquisição de um espectrómetro de Cauchois, tendo-se realizado trabalho original; dos principais trabalhos experimentais cite-se o estudo das riscas satélites L(alfa) do espectro do chumbo que permitiu, pela primeira vez, observar a existência de uma banda satélite situada entre L(alfa1) e L(alfa2) naquele espectro, a qual tinha sido já prevista teoricamente mas não tinha ainda sido observada. Registe-se que foi no Laboratório de Física da Universidade de Lisboa que pela primeira vez em Portugal se aplicou a radiação X ao exame de uma pintura (1938). Serviu para este fim a instalação primitiva e com base na qual foi projectada e montada no

Museu Nacional de Arte Antiga uma instalação de raios X destinada ao exame de quadros (1939).

Em 1943, o assistente da Faculdade de Ciências do Porto José Sarmiento de Vasconcelos e Castro, como bolseiro do Instituto de Alta Cultura em Lisboa, inicia os seus estudos nesta mesma linha de investigação, tomando como tema o estudo das bandas satélites das ricas L(alfa) do ouro, usando o espectrógrafo de cristal curvo, tipo Cauchois. José Sarmiento, mais tarde Reitor da Universidade de Lisboa e Director do Centro de Estudos de Física, apresentou a sua tese de doutoramento no Porto em 1945.

É de citar que as instalações de raios X e de radioactividade existentes no Laboratório de Física de Lisboa, para além da sua utilização em estudos e investigação no campo da ciência pura, serviram ainda a um grande número de investigações no campo da ciência aplicada, nomeadamente: no exame radiográfico de pinturas, já referido, na identificação e conhecimento dos minerais de urânio portugueses, na observação de diamantes inclusos em massas de cera, na determinação da radioactividade de numerosos minérios de Moçambique e foram ainda usados para investigação em outros laboratórios, designadamente de ciências biológicas.

Quanto aos estudos de radioactividade, logo nos primeiros anos da sua actividade experimental, ao que julgamos nos fins da década de 1930, o Laboratório de Física de Lisboa comprou uma montagem simples de contadores Geiger-Mueller funcionando a baixa tensão. Com esta instalação, convenientemente melhorada, Armando Gibert, assistente de Física desde 1938 e discípulo de Manuel Valadares, realizou investigação relativa à distribuição no tempo da radiação cósmica. Armando Gibert foi bolseiro do IAC no período de 1942 a 1946 na Escola Politécnica Federal de Zurique, onde realizou o seu doutoramento em 1946, com a tese intitulada *Effet de la Temperature sur la Diffusion Neutron-Proton*. No mesmo ano fundou a revista *Gazeta de Física*. Demitido em 1947, trabalhou no Instituto Português de Oncologia e no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em domínios de física aplicada, tendo realizado trabalho notável.

Com o regresso de Aurélio Marques da Silva a área de contadores de partículas conheceu apreciável desenvolvimento com a construção de aparelhagem apropriada ao seu funcionamento, nomeadamente no domínio da electrónica. Os próprios contadores passaram também a ser construídos no laboratório, para o que foi instalado um sistema de vazio



e de enchimento, o qual permitia a obtenção de misturas a pressões diversas, por exemplo, uma mistura de ar e vapor de álcool, em partes iguais, a uma pressão de 5 cm de mercúrio. Com esta instalação de contadores Geiger-Mueller foi realizado um importante trabalho sobre a absorção da radiação emitida pelo urânio X1. É interessante notar que, no decurso deste estudo foi descoberta a existência de uma emissão de neutrões tentativamente atribuída a um isótopo do urânio de massa 233, na altura ainda desconhecido.

Em 1937 a Faculdade de Ciências compra 50 mg de rádio, que foi instalado num sistema designado por radonator, especialmente concebido para captar a radiação do sal de rádio e que serviu, entre outros trabalhos, para estudar, pela primeira vez, o espectro de raios X do RaD. Este estudo mostrou ser possível, nas condições de trabalho existentes, detectar, por espectrografia de raios X, quantidades da ordem das décimas do micrograma, que constituía excelente resultado para a época.

A secção de contadores enriqueceu-se ainda, em 1947, com a construção (por uma firma de Lisboa), sob a responsabilidade de Armando Gibert e com a ajuda de algumas peças delicadas por este trazidas da Suíça, de um sistema destinado, designadamente, ao estudo de feixes neutrónicos. Recorde-se que, em 1946, o Centro de Estudos de Física havia comprado uma fonte de neutrões de RaBe, contendo 100 mg de rádio.

Deve também referir-se a existência de uma outra instalação importante, esta da responsabilidade de Aurélio Marques da Silva, que projectou e montou uma câmara de Wilson, do tipo de membrana elástica, com a aparelhagem necessária à fotografia das trajectórias das radiações ionizantes.

Faziam ainda parte dos projectos de 1934, de Cyrillo Soares, o estudo da radiação beta por espectrografia magnética, projecto a que se deu apenas início em 1940. A conselho de M. Valadares, este projecto foi essencialmente desenvolvido pelo assistente da Faculdade de Ciências do Porto, em estágio em Lisboa, Carlos A. C. Braga, sob a orientação de A. Marques da Silva, o qual mandou construir novas peças polares para um electro-iman já existente, projectou e construiu dois novos espectrógrafos e uma caixa para vácuo, tendo procedido à montagem desta aparelhagem e da necessária instalação de vázio. As fontes de RaD, preparadas pelo próprio, eram medidas utilizando contadores de Geiger-Mueller. Este trabalho serviu-lhe como tese de doutoramento apresentada na Universidade do Porto em 1944.

Projectado desde 1934 estava também o estudo da radiação gama por difracção cristalina. No entanto estes estudos iniciam-se apenas em 1941, para o que decisivamente contribuiu a oferta feita pelo Laboratório de Física do Instituto de Saúde Física de Roma, de uma amostra de RaD. Foi realizada a montagem de um espectrógrafo de cristal girante, que pertencia ao Laboratório de Química, e feita a sua adaptação ao estudo da radiação gama. Posteriormente este espectrógrafo foi munido de um electro-iman e colocado dentro de um grande recipiente onde era feito o vácuo; esta instalação foi a primeira no mundo onde se fez espectrografia cristalina da radiação gama, no vázio.

Em 1947 e apesar da perturbação causada pela guerra, inicia o seu funcionamento o Laboratório do Grande Iman permanente de Bellevue, França, um instrumento de cerca de  $3 \times 4$  metros, pesando 70 toneladas, destinado ao estudo da «estrutura fina do espectro magnético dos raios alfa», o primeiro grande detector servindo a física pura, precursor dos grandes detectores utilizados actualmente, em particular em Física das Altas Energias, por exemplo no CERN de que Portugal é membro. Era dirigido por Salomon Rosenblum, o mesmo cientista que chegou a ser considerado para primeiro Director do Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra.

Em 1947 celebrava-se também cerca de meio século da descoberta da radioactividade que revolucionou o mundo da ciência, da cultura e do dia a dia.

Em 1947 foram compulsivamente afastados das suas funções Manuel Valadares, Marques da Silva, Armando Gibert, Mário Silva, entre outros.

Neste contexto, é interessante relembrar o nome de Bento de Moura Portugal (séc. XVIII), regente de cursos na Faculdade de Filosofia Natural da Universidade de Coimbra, sócio da Real Sociedade de Londres, de quem se escreveu: «depois de Newton em Inglaterra, só Bento de Moura em Portugal». Faleceu nas prisões da Junqueira onde esteve encarcerado por se supor conspirar contra o governo.

#### 4. Actualidade

Existem actualmente montados em várias partes do país, sistemas para a detecção de radiações, quer ligados ao ensino e à investigação



em Universidades e Institutos, quer incluídos na aparelhagem de utilização corrente em hospitais e afins, quer ainda na indústria, na agricultura, em instituições dedicadas ao controlo do ambiente, etc. Há ainda laboratórios onde, para além da utilização, decorrem actividades de desenvolvimento e construção de detectores e de investigação em física de detectores.

#### A. Universidades

Das Universidades portuguesas, aquelas com maiores tradições de investigação na área dos detectores de radiação são sem dúvida a de Coimbra e a de Lisboa. Tanto quanto resultou do nosso breve inquérito, não existem, nas Universidades do Porto, Minho, Aveiro, Algarve, Évora, Trás-os-Montes e Alto Douro, Covilhã e Açores, quaisquer grupos cuja investigação desenvolva ou utilize detectores de radiação, pelo menos na área da Física. No entanto, várias Universidades possuem equipamento de detecção de radiações destinado a demonstrações e aulas práticas.

No Departamento de Física da Universidade de Coimbra, cuja investigação decorre essencialmente no âmbito das linhas de investigação integradas no Centro de Física da Radiação e dos Materiais (INIC), existe em funcionamento, envolvendo detectores de radiação, equipamento variado. No domínio do estudo da física do estado sólido por técnicas nucleares, existem: a) dois sistemas de espectrometria gama; um deles, destinado ao estudo do alargamento Doppler da radiação devida à aniquilação do positrão, usa um detector de Ge intrínseco; o outro sistema usa um detector de Ge(Li) e destina-se à identificação de isótopos; b) um sistema para medição de tempos de vida do positrão em materiais que faz uso de dois detectores plásticos associados a electrónica rápida; c) dois sistemas para espectrometria de Mössbauer constituídos, cada um, por dois detectores gasosos de cintilação proporcional, um selado e o outro em regime de fluxo contínuo, associados a electrónica adequada; d) dois sistemas para correlações angulares perturbadas um deles usando 4 detectores de  $\text{BaF}_2$ , e outro 4 detectores de  $\text{NaI(Tl)}$ ; ambos usam electrónica NIM e destinam-se ao estudo da dinâmica e estrutura do hidrogénio em metais. Foram ainda recentemente montados detectores de neutrões usando cintiladores líquidos NE213, para experiências no campo da fusão fria.

Parte da actividade do Centro de Física da Radiação e dos Materiais tem sido dedicada ao estudo da física de detectores gasosos e ao desenvolvimento de detectores baseados essencialmente em processos de cintilação, contribuindo para o desenvolvimento do contador de cintilação proporcional, em particular como detector de raios X. Mais recentemente tem-se também trabalhado no estudo e desenvolvimento de detectores gasosos em regime de fluxo e funcionando em modo de descarga autolimitada. Existem actualmente montados dois destes detectores: um detector cilíndrico unifilar acoplado a um sistema destinado ao estudo da emissão luminosa associada àquele ramo de descarga; este sistema incorpora, para além da electrónica convencional, um monocromador VUV e câmaras de cintilação proporcional. O outro detector é também cilíndrico, multicatódico, está associado a electrónica CAMAC e tem sido usado para o estudo do desenvolvimento das descargas autolimitadas utilizando o método das cargas induzidas. O domínio dos «líquidos quentes» como detectores de radiação tem sido objecto de investigação, existindo um sistema de purificação e células de teste, assim como a electrónica complementar. Estão em causa, como na generalidade deste tipo de projectos, princípios físicos e desenvolvimento de detectores.

Têm-se feito estudos destinados ao desenvolvimento de detectores de cintilação proporcional para aplicações à análise de materiais por fluorescência de raios X, tendo-se desenvolvido vários detectores e estudado a optimização das geometrias. Por outro lado, utilizando técnicas de espectrometria de massa, procede-se ao estudo quantitativo do papel das impurezas na intensidade de electroluminescência do xenon. Estão também a ser desenvolvidos detectores do mesmo tipo para neutrões rápidos. O mesmo Centro possui também vários detectores de raios X, um deles usando um contador de cintilação de  $\text{NaI(Tl)}$  e o outro um detector proporcional selado, associados a sistemas comerciais; são destinados ao estudo de estruturas de materiais e à determinação muito precisa de distribuições electrónicas, por difracção de raios X. Uma destas unidades é móvel e especialmente concebida para estudos de fadiga de materiais.

O uso de cintiladores líquidos como detectores de radiação beta está muito generalizado em laboratórios de investigação em biologia, microbiologia, farmacologia, etc., sendo na maioria dos casos o cintilador preparado no próprio laboratório que adquire as matérias primas.



Detectors deste tipo são usados no Museu e Laboratório Zoológico da Universidade de Coimbra, Centro de Biologia Celular, para fazer estudos de coeficientes de partilha de pesticidas marcados, em membranas biológicas nativas ou em modelos artificiais, ou para o estudo do transporte de iões através de membranas biológicas. No domínio da investigação deste Centro pode ainda citar-se o uso de cintiladores de NaI(Tl), tipo poço, no estudo de receptividade de proteínas marcadas com  $^{125}\text{I}$  em membranas biológicas.

No Centro de Física Nuclear na Universidade de Lisboa (INIC), existe equipamento dedicado a estudos de interações hiperfinas que integram detectores de fluoreto de bário e de iodeto de sódio, associados a electrónica rápida e lenta e a computadores. Este grupo trabalha em colaboração com investigadores do grupo de Física do Estado Sólido Nuclear do Instituto de Ciências e Engenharia Nucleares, LNETI, utilizando o acelerador Van de Graaf daquele instituto.

Existe, além disso, um sistema de coincidências múltiplas de detectores de NaI(Tl) dedicado a estudos de fibras ópticas e um espectrómetro de XRF para estudos de Arquimetria baseado num detector de Si(Li). Para estudos de coincidências envolvendo electrões existe um espectrómetro magnético do tipo Gerohlm constituído por duas lentes cilíndricas e detectores de cintilação.

No Centro de Física Atómica, detectores comerciais de semicondutor, de cintilação, contadores proporcionais e Geiger-Mueller têm sido utilizados para diferentes trabalhos de espectrometria de radiação X. Em particular os detectores de Si(Li) e Ge(hiperpuro) têm permitido fazer medições de rendimentos do subnível alfa e probabilidades relativas de transições radiativas para o nível K, utilizando isótopos radioactivos. Presentemente o detector de Si(Li) está a ser utilizado também num espectrómetro de fluorescência por dispersão em energia para análise de amostras.

Mais recentemente, faz-se também uso de detectores de localização, gasosos, cilíndricos, selados, com enchimento de gás nobre (Xe ou outro) a baixa pressão, e que permitem determinar a localização da interacção. Estes detectores, acoplados a um espectrómetro de dispersão em comprimentos de onda (de cristal curvo ou plano), têm sido utilizados em espectrometria de radiação X, excitada por bombardeamento com electrões, prótons e deutérios, para a determinação de secções eficazes de ionização e em medições da anisotropia da radiação emitida em

transições para o subnível  $L_3$ . Na área da radiação X mole utilizam-se detectores sem janela, os denominados «channel electron multipliers».

Este grupo tem colaboração com o Departamento de Física do Instituto de Ciências e Engenharia Nucleares (LNETI).

Quase todos os Laboratórios de Farmacologia das Faculdades de Medicina e Farmácia do país, possuem detectores de cintilação líquidos que são usados no estudo de amostras biológicas tendo por finalidade a determinação dos mecanismos de contractibilidade dos vasos sanguíneos, o estudo do comportamento das plaquetas sanguíneas, etc.

#### B. Outros Centros de Investigação e Desenvolvimento

Nos vários departamentos do Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (LNETI), nomeadamente no Instituto de Ciências e Engenharia Nucleares (ICEN) e no Departamento de Protecção e Segurança Radiológica (DSPR), há equipamento de detecção de radiações de relevância que passamos a referir.

A instalação do equipamento de medida do Serviço de Radioactividade Ambiente do DSPR, obedece aos requisitos habituais. Nos sistemas de medida de baixo fundo são utilizados fundamentalmente detectores gasosos, tipo Geiger-Mueller e detectores proporcionais que medem a actividade beta e alfa total em amostras de ambiente, e câmaras de ionização com grelhas usadas para espectrometria alfa. Existem também outros sistemas dos quais alguns usam detectores de cintilação, nomeadamente um deles para controlo de águas que mede a actividade alfa total, onde é usado um detector de ZnS. Têm ainda, para a determinação de actividades gama, 5 sistemas em que o detector é NaI(Tl), um dos quais instalado numa estação móvel; estes sistemas estão equipados com *software* de análise específico para o controlo de alimentos. Neste Serviço há equipamento para experimentação em radiobiologia onde é usado um detector de NaI(Tl), tipo poço, e três sistemas para a medição da actividade de aerossóis e para controlo, com cristais de antraceno. Estes três sistemas encontram-se instalados na estação móvel já citada.

No domínio do uso de detectores de semicondutor estão instalados vários sistemas de espectrometria gama para medição de amostras de ambiente, dois dos quais utilizam detectores de Ge(Li) e 6 utilizam detectores de Ge(hiperpuro); para espectrometria alfa, em medições de



amostras de ambiente, designadamente do meio marinho, existem 18 sistemas que utilizam detectores de Si.

No Departamento de Energia e Engenharia Nucleares, integrado no ICEN, e do qual faz parte o Reactor Português de Investigação, RPI, os vários sistemas de detecção de radiações estão, na sua grande maioria, associados ao RPI, nomeadamente: quatro câmaras de ionização e uma câmara de cisão integradas no sistema de comando e controlo do reactor; um coletrão («self-powered neutron detector»), para monitorização em contínuo do fluxo de neutrões; sistemas com cristais de NaI(Tl) e Ge(hiperpuro), para análise por activação com neutrões, utilizados, por exemplo, no estudo do campo de neutrões; três calorímetros e uma câmara de ionização, utilizados para dosimetria de radiação gama; para além dos dosímetros do tipo termoluminescente (fluoreto e tetraborato de lítio, sulfato e fluoreto de cálcio) ou plásticos (perspex, mylar, celofane) e correspondentes sistemas de medição utilizados, respectivamente, na dosimetria da radiação gama e de campos mixtos (neutrões + gama) e apenas na dosimetria da radiação gama.

No Departamento de Química do ICEN, o equipamento para detecção de radiações é utilizado, em geral, em aplicações da técnica de análise por activação com neutrões, e consta essencialmente de três espectrómetros: um espectrómetro de radiação gama que integra um detector de Ge(Li) coaxial e dois detectores de Ge intrínseco; um espectrómetro de radiação gama que usa um detector de NaI(Tl) e um espectrómetro de raios X que integra um detector de Si(Li).

No grupo da Física do Estado Sólido Nuclear, integrado no Departamento de Física do ICEN, o qual possui um acelerador Van der Graaf, devem referir-se, fundamentalmente, três sistemas: um destinado à utilização da técnica de dispersão de Rutherford associada à canalização iónica, e que integra detectores semicondutores de silício (barreira de superfície); um sistema de detecção de radiação gama, destinado também a estudos de física do estado sólido, usando reacções nucleares de ressonância do tipo  $(p, \gamma)$ , e que usa detectores de Ge(Li) e detectores de NaI(Tl); um sistema de detecção de raios X, destinado a estudos ambientais, análise de amostras biológicas, etc., onde é utilizada a técnica «PIXE, proton induced XR emission». Este grupo trabalha em colaboração com o Centro de Física Nuclear e o Centro de Física Atómica do Departamento de Física da Universidade de Lisboa.

Em finais de 1978, no Departamento de Física do ICEN, inicia-se um projecto de desenvolvimento de detectores para radiação gama, tipo

Geiger-Mueller, com enchimento gás raro-halogénio, para aplicações industriais. Presentemente, melhorada a reprodutibilidade das características dos detectores, preparam-se protótipos comerciais destes contadores selados, incluindo contadores de janela de mica para radiação beta e alfa. Deve ainda mencionar-se a instrumentação nuclear produzida no referido Departamento utilizando como detectores, fundamentalmente, tubos de Geiger-Mueller, cristais de NaI(Tl), câmaras de faísca e contadores proporcionais de  $^3\text{He}$ ; e, como fontes radioactivas, fontes de radiação gama e fontes de neutrões de Am-Be. O equipamento produzido destina-se a instituições várias, universidades e escolas superiores, institutos de investigação e empresas industriais das mais variadas. Tem sido produzido, para além de dosímetros pessoais para medição de doses de radiação gama e X (Rad X50), equipamento indicador de nível de enchimento e do teor de água em matérias primas (humicoque), espectrómetros gama para controlo do desgaste de revestimentos refractários (gamacontrol) e para medição do teor em água em provetes (humigama), etc.

Ainda no ICEN, o Departamento de Radioisótopos, que se dedica fundamentalmente à produção de radiofármacos e conjuntos para radioimunoensaio, possui alguns sistemas de detecção destinados a medições de actividade de amostras, onde são usadas câmaras de ionização, monitores de radiação tipo Geiger-Mueller e outros, e dois contadores de  $^{125}\text{I}$ , um que permite a contagem de 16 amostras simultaneamente e outro automático que permite a contagem de 300 amostras.

Em Institutos Agronómicos e afins, é corrente o uso de sondas de neutrões e outro equipamento destinado à medição de perfis de teor em água e de densidade de solos (humiterro), alguns com elevada resolução espacial (densolos), os quais usam detectores de Geiger-Mueller e fontes de radiação gama. Parte deste equipamento é desenvolvido pelo Departamento de Física do LNETI e existe, por exemplo, na Estação Agronómica Nacional e Instituto Superior de Agronomia, bem como nas Escolas Superiores Agrárias de Beja e Coimbra e nas Universidades de Évora e Algarve.

O LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas), cuja actividade se iniciou em 1986, tem também desenvolvido projectos sobre sistemas de detecção de radiações, tanto em Lisboa, como na delegação de Coimbra. Em Lisboa, é de referir o trabalho reali-



zados com fibras cintilantes, de interesse para a calorimetria rápida de altas energias. Em Coimbra existem detectores de vários tipos, sendo de referir: uma câmara multifios destinada ao estudo da detecção de luz de cintilação produzida em cristais como o  $\text{BaF}_2$  e da radiação de Cherenkov; um sistema constituído por um telescópio de raios cósmicos (cintiladores plásticos e câmaras de deriva) destinado a testes; uma câmara de deriva com possibilidade de resolver a ambiguidade esquerda-direita por recurso à técnica das cargas induzidas. Por outro lado foram fabricadas nas oficinas do LIP, em Coimbra, componentes para um sistema de detectores Cherenkov de limiar.

No Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, são usados há mais de 35 anos contadores Geiger-Mueller em estudos de actividade beta em amostras de ambiente ou do solo. No entanto devido aos problemas de envelhecimento destes detectores, estão actualmente a ser substituídos por detectores proporcionais em regime de fluxo contínuo. Têm além disso instalado há cerca de 20 anos, um sistema de observação contínua de radioactividade beta total onde são usados detectores de cintilação

No Departamento de Microbiologia do Instituto Gulbenkian de Ciências utilizam-se cintiladores líquidos, designadamente para medir velocidades de incorporação nas células, de compostos marcados com  $^{14}\text{C}$  e trítio, açúcares principalmente. Utilizam também, no Departamento de Fisiologia do mesmo Instituto, detectores gama, tipo cristal poço, para fazer estudos de transponte através de membranas biológicas ou para determinações de espaços extracelulares.

### C. Medicina

Fazem quase parte da rotina hospitalar, numa boa parte dos Hospitais do país, as técnicas de medicina nuclear e radiologia, usadas quer no tratamento quer no diagnóstico, existindo mesmo em muitos desses hospitais laboratórios especializados.

Uma das técnicas mais avançadas naqueles domínios é a tomografia axial computadorizada, T.A.C., ou tomografia computadorizada de transmissão cujos sistemas usam tubos de raios X especiais e, fundamentalmente, detectores de cintilação sólidos (germanato de bismuto, iodeto de cério e tungstato de cálcio) e detectores de ionização em gás, sendo

o xenon o gás de enchimento mais utilizado. Existem dezenas destes sistemas espalhados pelo país, quer em laboratórios oficiais quer privados, nomeadamente em Coimbra, Lisboa, Porto, Aveiro, Viana do Castelo, Leiria, Tomar, Marinha Grande, Ponta Delgada, etc.

Ainda, usando os mesmos métodos, é comum a utilização de câmaras para a detecção de radiação gama, gama-câmaras, em que os detectores utilizados são vulgarmente os cristais cintiladores de  $\text{NaI(Tl)}$  fazendo uso quer de electrónica convencional quer de electrónica digital, com ou sem a participação de computadores. Tais sistemas são aplicados em estudos da tiroide, fígado, rins, ossos, cérebro, etc. Existem, entre outros, três destes sistemas instalados na Faculdade de Medicina do Porto (Hospital de S. João), acoplado cada um a um computador PDP 11/34; dois no Instituto Português de Oncologia do Porto, ambos também ligados a computadores PDP 11/34; dois no Instituto Português de Oncologia de Lisboa; um no Laboratório de Medicina Nuclear dos Hospitais da Universidade de Coimbra, também ligado a um computador; três no Laboratório de Radioisótopos da Faculdade de Medicina em Coimbra, dois deles com computador e um com sistema de processamento de dados e, ainda em Coimbra, um numa instituição privada.

Prática corrente são também as análises radiométricas (em amostras líquidas) que se fazem em muitos laboratórios ligados a hospitais ou Faculdades de Medicina (Laboratórios de Hormonologia e de Imunologia, por exemplo) e mesmo em laboratórios privados. É comum a utilização para este fim de cristais de  $\text{NaI(Tl)}$ , tipo poço, ligados, em geral, a electrónica convencional. Sistemas deste tipo existem, por exemplo no Porto no Instituto Português de Oncologia e no Hospital de S. João, em Coimbra no Laboratório de Medicina Nuclear do Hospital da Universidade e no Laboratório de Radioisótopos da Faculdade de Medicina (este laboratório possui um sistema com 16 cristais poço e com computador incorporado).

Sistemas de calibração de doses são usadas em medicina nuclear e nos departamentos de radioterapia e usam em geral detectores gasosos tipo câmara de ionização ou Geiger-Mueller. São usados em geral nos Laboratórios de Radioisótopos e nos Institutos de Oncologia.

De um modo geral, em qualquer laboratório onde sejam usadas fontes radioactivas existem monitores de radiação para controlo (gama, beta ou alfa) os quais são, na sua generalidade, constituídos por detectores de Geiger-Mueller, além do uso de dosímetros pessoais.



#### D. Indústria

Passando agora ao domínio da indústria pode referir-se, por exemplo, que os laboratórios da Empresa Nacional de Urânio, Minas da Urgeirica, estão equipados com três sistemas de detecção: um sistema para espectrometria gama, dedicado à análise do  $^{226}\text{Ra}$  em água, que utiliza um detector de Ge(puro) e electrónica convencional com computador; um sistema de detecção alfa, constituído por um detector de silício de barreira de superfície e que é usado na análise da radioactividade de solos e sedimentos de rio e plantas com a finalidade de estudar o impacto radiológico ambiental; um sistema de detecção alfa que faz uso de um detector de ZnS destinado à análise da radioactividade de filtros em amostras de ar colhidas no interior das minas.

Existem talvez algumas dezenas de indústrias, algumas possuindo os seus próprios laboratórios de investigação, e que fazem uso de fontes radioactivas. Enumeraremos algumas, a título de exemplo: Mague, Cometna, Firestone, Explosivos da Trafaria, Instituto de Soldadura, Lisnave, Setenave, Siderurgia Nacional, Cimpor, Portucel, Petrogal, Sorefame, Rinave, Sepsa, etc. Grande parte destas empresas têm necessidade de analisar soldaduras e pesquisar defeitos em peças possuindo, em geral, sistemas para gamagrafia e radiologia industrial e encontram-se normalmente apetrechadas com detectores de radiação para controle de doses, designadamente para protecção pessoal, em que o detector é do tipo Geiger-Mueller. Nos laboratórios de ensaios não destrutivos da TAP existem também sistemas para gamagrafia e radiografia dos motores dos aviões, onde usam fontes radioactivas de elevada actividade (40Ci); para protecção pessoal e para limitadores de áreas de segurança são usados detectores do tipo câmaras de ionização.

#### Agradecimento

Foram muitos os colegas que nos auxiliaram na elaboração deste artigo, muito em especial para a redacção da última parte, em que recorremos em geral ao contacto directo com membros das várias instituições mencionadas. Queremos aqui expressar-lhes os nossos agradecimentos e, simultaneamente, assumir a responsabilidade pelo trabalho de selecção que fomos forçados a fazer.

Relativamente à parte inicial do artigo, em termos gerais referente à evolução até 1947, recorreremos não só a publicações e livros da época mas ainda a artigos recentes que se debruçaram sobre alguns dos aspectos considerados. Existe felizmente alguma literatura neste domínio. A relação dos tópicos em causa e a relevância relativa dada a certos trabalhos e certos autores é da nossa inteira responsabilidade e provavelmente reflecte não só a nossa formação profissional mas também a da maioria dos autores que nos últimos anos publicaram nestes domínios.

Decidimo-nos por apresentar a bibliografia utilizada sem a referir directamente no corpo do artigo. Por um lado torna-se evidente a publicação relevante a determinado tópico; por outro lado os trabalhos mais recentes, que foram abundantemente utilizados, devem ser lidos em paralelo e não consultados para o esclarecimento de qualquer observação particular.

#### Bibliografia

- BASTO, Egas F. Pinto, «O Átomo do Hidrogénio», *Rev. Fac. Ciências da Univ. de Coimbra*, I (1931), 12.
- BASTO, Egas F. Pinto e LEMOS, Américo Viana de, «Determinação de Radioactividade em Águas Minerais», *Rev. Fac. Ciências da Univ. de Coimbra*, VI (1936), 20.
- BASTO, Egas F. Pinto; LEMOS, Américo Viana de e MORAIS, José Custódio de, «Determinação de Radioactividade em Águas Minerais», *Rev. Fac. Ciências da Univ. de Coimbra*, VI (1936), 237.
- BASTOS, H. Teixeira, «Raios X de Roentgen», *O Instituto*, vol. XLIII (1896), 38, 274.
- , «A Física e a Química na Universidade de Coimbra. Percursos e Iniciadores», *Revista da Universidade de Coimbra*, XI (1933) 173.
- BAYER, Hans Christian von, «A Commanding View», *Physica* (1988) 6.
- BRAGA, Carlos A. C., *Estudo de Transformações RaD-RaE por Espectrografia Magnética da Radiação Beta Secundária*. Tese de Doutoramento, Porto, 1944.
- CASTRO, José Sarmiento de Vasconcelos e, *Estudo das Riscas Satélites L do Ouro*. Tese de Doutoramento, Porto, 1945.
- COUTO, J. e VALADARES, M., «A Salomé de L. Cranach, o Velho», *Bol. Acad. Nac. Belas Artes*, 4 (1938), 39.



- FERREIRA, J. Gomes, «O Centro de Estudos de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa e a Investigação Científica», *Ciência*, n.º 1 (1963) 41.
- GIBERT, A., *Effet de la Temperature sur la Diffusion Neutron-Proton*. Tese de Doutoramento, Zurich (1946).
- , «Professor Doutor A. Cyrillo Soares», *Gazeta de Física*, vol. II, fasc. 4 (1950) 85.
- GIL, F. Bragança e CANÊLHAS, M. da Graça, «Ensino e Cultura no Monte Olivete até à Faculdade de Ciências», em *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Passado/Presente, Perspectivas Futuras* (150.º Aniversário da Escola Politécnica, 75.º Aniversário da Faculdade de Ciências), 1987, p. 3.
- GIL, F. Bragança; CROCA, J. Ramalho e PINTO, Ana Seruya C., «A Física na Escola Politécnica e na Faculdade de Ciências», em *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Passado/Presente, Perspectivas Futuras* (150.º Aniversário da Escola Politécnica, 75.º Aniversário da Faculdade de Ciências), 1987, p. 51.
- LIMA, J. M. de Almeida, Comunicação apresentada à Academia Real das Ciências (1903), *Actas das Sessões da Primeira Classe*, vol. I (1899-1904), p. 138.
- , «Ideas Recentes Sobre Estrutura Descontínua da Matéria e da Energia», *Revista de Artilharia*, 10.º ano (1914), n.º 117, p. 492; n.º 118, p. 553; n.º 119, p. 634; n.º 120, p. 689.
- KABZINSKA, Krystyna, «Os Estudantes do Lab. Curie no Instituto do Rádio, em Paris, e os Pioneiros do Estudo do Cancro em Portugal», *Gazeta de Física*, 12 (1989) 102.
- NAZARETH, Francisco Martins de Souza, *Ionização dos Gases em Vaso Fechado*. Dissertação para o concurso ao lugar de Segundo Assistente do 1.º Grupo da 2.ª Secção, da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Imprensa da Universidade, Coimbra, 1915.
- , «Sobre um Electrómetro de Folha de Ouro», *O Instituto*, 63, n.º 1 (1916) 4.
- OLIVEIRA, M. M. Teixeira de, *Manipulações da Radioactividade*. Dissertação para o concurso de Assistente de Física na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 1914\*.
- PINTO, Alexandre Alberto de Sousa, «Os Raios de Bequerel e o Polónio, o Rádio e o Actínio», Imprensa Portuguesa, Porto, 1902.

\* M. M. Teixeira de Oliveira e M. Marques Teixeira, na pág. seguinte, são a mesma pessoa, mais conhecida pelo apelido MARQUES TEIXEIRA.

- SILVA, Mário A da, *Recherches Expérimentales sur l'Electroaffinité des Gaz*. Tese de Doutoramento, Paris, 1929.
- , «Sobre dois methodos de determinação da probabilidade  $h$  de Thomson (contribuição para o estudo da afinidade electrónica)» (Dissertação para concurso ao magistério da Faculdade de Ciências) e «Radioactivité des Gaz Spontanés de la Source Thermal de Luso», *Revista da Fac. Ciências Univ. Coimbra*, I (1931), 85 e 39; «L'ionization dans l'Hydrogène Très Pur» e «Sur la Charge Electrique du Recul Radioactif», *Rev. Fac. Ciências Univ. Coimbra*, III (1933) 50 e 39.
- , «Um Novo Museu em Coimbra: o Museu Pombalino da Física da Faculdade de Ciências da Universidade», comunicação apresentada à Academia das Ciências de Lisboa, Junho de 1938, *Publications du Laboratoire de Physique de l'Université de Coimbra*, I, n.º 3 (1939) 12.
- , *Elogio da Ciência*, Coimbra Editora, Coimbra, 1971.
- SILVA, Aurélio Marques da, «Contribution à l'Étude de Materialization de l'Énergie». Tese de Doutoramento, Paris, 1938.
- SOARES, A. Cyrillo, «Os Raios de Roentgen e a Física Atómica», *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa (Classe de Ciências)*, tomo VII (1954), 133.
- SOUSA, Jacintho António de, *Gabinete de Physica da Faculdade de Philosophia na Universidade de Coimbra*, Coimbra, Imprensa da Universidade, 1878.
- TEIXEIRA, M. Marques, «Um Semestre no Laboratório de Madame Curie», *Gazeta de Física*, vol. I (Out. 1948) 279.
- VALADARES, M., *Contribution à la Spectrographie, par Diffraction Crystalline, du Rayonnement Gamma*. Tese de Doutoramento, Paris, 1933.
- , «Laboratório para o Exame de Obras de Arte», *Bol. Museu Nac. Arte Antiga*, 1 (1939) 32.
- , «O Laboratório de Física da Fac. Ciências de Lisboa sob a orientação do Prof. Dr. A. Cyrillo Soares (1930-1947) e a Investigação Científica», *Gazeta de Física*, vol. II, fasc. 4 (1950) 93.
- VALADARES, M. e MENDES, F., «Étude de Satellites  $L\alpha$  pour l'Élement 82 (Pb)», *C. R. Acad. Sc. Paris*, 206 (1938) 744.