

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA



# **Estudo do Impacto da Descoberta dos Raios-X e das suas Aplicações Médicas em Portugal**

**António Maria Reis Pereira**

Dissertação de Mestrado em Química  
Química, Saúde e Nutrição

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA



# **Estudo do Impacto da Descoberta dos Raios-X e das suas Aplicações Médicas em Portugal**

**António Maria Reis Pereira**

Mestrado em Química  
Química, Saúde e Nutrição

Dissertação de Mestrado orientada pela Professora Doutora Fernanda Madalena Costa e Professora Doutora Maria Estela Jardim

2012

*«Dans le champs de l'observation le hazard  
ne favorise que les esprits préparés.»*

Louis Pasteur

*«Genius is one percent inspiration,  
ninety-nine percent perspiration.»*

Thomas Alva Edison

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar o meu enorme agradecimento às minhas orientadoras desta tese de Mestrado, Professora Fernanda Madalena Costa e Professora Maria Estela Jardim, por me terem proporcionado a oportunidade de realizar este trabalho, bem como pela sua disponibilidade, amabilidade, dedicação e por todos os conhecimentos transmitidos.

À Marília Peres e Silva, pelas suas preciosas sugestões e apoio no decorrer deste trabalho.

Às Professoras Isabel Pereira, Estrela Jorge, Anabela Boavida e Helena Mendonça pela sua constante simpatia e motivação, assim como pelos seus conselhos.

Às queridas irmãs Barrocas, Beatriz e Daniela, por toda a paciência, incentivo, apoio e amizade.

À Vânia Silva, pela sua inesgotável fonte de motivação, apoio, incentivo e, acima de tudo, amizade.

Às minhas colegas de laboratório, Tânia Frade e Cybelle Soares, pelo excelente ambiente de trabalho, para além da motivação e ajuda que me prestaram em várias fases da elaboração deste trabalho. O meu agradecimento também à Andreia Costa, que apesar de neste ano não termos partilhado o mesmo local de trabalho, sempre me apoiou e incentivou.

Aos meus queridos Pais, Avós e Tia Uica... Por tudo... Sempre.

## RESUMO

Poucas descobertas poderão apontar-se na história da Ciência, com tão grandes repercussões na evolução dos conhecimentos científicos e de que tenha resultado uma enorme contribuição para o bem-estar da Humanidade, como a descoberta dos raios-X pelo Físico Alemão Wilhelm Röntgen, em Novembro de 1895. Particularmente, na história da Medicina representa um marco imperecível que deixa para trás períodos de hesitações no campo do diagnóstico, abrindo caminho para novos horizontes, como no campo da terapia, sendo a Radiologia, provavelmente, a especialidade médica que maior evolução registou.

Uma das primeiras aplicações dos raios-X a ser usada em Medicina foi a radiografia, que permitiu um registo permanente da imagem. Em Portugal, as primeiras radiografias foram obtidas em 3 de Fevereiro de 1896 pelo Professor Henrique Teixeira Bastos, em Coimbra, cerca de três meses após a descoberta de Röntgen. Resultados semelhantes foram obtidos, no mesmo ano, em Lisboa, pelo Médico Virgílio Machado, em colaboração com o Fotógrafo profissional Augusto Bobone, e no Porto pelo Dr. Araújo e Castro com o Fotógrafo Emílio Biel. Nos primórdios da Radiologia Portuguesa verificou-se a colaboração de um investigador, Médico ou Físico, com um Fotógrafo, paralelamente ao ocorrido noutros países.

Neste trabalho é evocada a descoberta dos raios-X, seus antecedentes e estudos posteriores sobre a sua natureza, propriedades, evolução da instrumentação utilizada e formas de registo da imagem, bem como as principais aplicações pioneiras na Medicina. Este estudo foi realizado considerando o período compreendido entre o final do século XIX e inícios do século XX (década de 30) no contexto internacional, focando a evolução da Radiologia Portuguesa no referido período, que conseguiu grande projecção internacional com a designada “*Escola de Angiografia Portuguesa*”, iniciada com a descoberta da angiografia cerebral pelo Dr. Egas Moniz em 1927, prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1949.

**Palavras-Chave:** raios-X, instrumentação, aplicações médicas, registo fotográfico.

## ABSTRACT

Few discoveries in the history of Science have had such a huge impact in the evolution of scientific knowledge and have given such a great contribution to the welfare of humanity, as the discovery of X-rays by the German physicist Wihelm Röntgen, on November, 1895. Particularly, in the history of Medicine, it still represents an imperishable landmark, which has left behind long periods of hesitation in what concern diagnosis, and paved the way for new, innumerable horizon as in the field of therapy, which, most probably, made Radiology the medical specialty that has registered the most outstanding progress.

One of the first applications of X-rays in Medicine was radiography, which allowed a permanent record of the image. In Portugal the first radiographs were taken by Professor Henrique Teixeira Bastos in Coimbra, on February 3<sup>rd</sup>, 1896, about three months after Röntgen's discovery. In the same year, similar results were achieved in Lisbon by Dr. Virgílio Machado in collaboration with the professional photographer Augusto Bobone, and also in Oporto, by Dr. Araújo e Castro with the photographer Emílio Biel. In the early times Portuguese Radiology was undertaken by a researcher, either a doctor or a physicist, together with a photographer, as it happened in other countries.

The present work evokes X-rays' discovery, its background and further studies about their nature, properties, improvements in instrumentation and image recording, as well as some of the pioneer applications in Medicine. This study was carried out considering the period between late XIX<sup>th</sup> century and early XX<sup>th</sup> (decade of 30) in the international context, focusing the above mentioned period of time and its international projection with the designated "*Escola de Angiografia Portuguesa*", which started with the discovery of cerebral angiography by Dr. Egas Moniz in 1927, later awarded with Nobel Prize in Pysiology or Medicine in 1949.

**Keywords:** X-rays, instrumentation, medical applications, photographic record.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\theta$	ângulo de incidência
$e$	carga do electrão
$\lambda$	comprimento de onda
$h$	constante de Planck
$d$	distância entre planos adjacentes
$E$	energia dos fotões
$\nu$	frequência de onda
$m$	massa
$A_r$	massa atomica relativa
$n$	ordem de difracção
$H$	unidade H
$M$	unidade M
$E$	unidade E
$R$	unidade R
$r$	unidade r

BARP Associação Inglesa para o Progresso da Radiologia e Fisioterapia (do Inglês (“**B**ritish **A**ssociation for the **A**dvancement of **R**adiology and **P**hysiotherapy”))

ICRU Comité Internacional de Medidas e Unidades de Radiação (do Inglês “*International Committee on Radiation Units and Measurements*”)

IXRPC Comité Internacional de Protecção de Raios X e Rádio (do Inglês “*International X-ray and Radium Protection Committee*”)

IXRUC Comité Internacional de Unidades de Raios-X (do Inglês “*International X-ray Unit Committee*”)

ICRP Comissão Internacional de Protecção Radiológica (do Inglês “*International Committee on Radiation Protection*”)

ICR Congresso Internacional de Radiologia (do Inglês “*International Congress of Radiology*”)

DMRE Diploma em Radiologia e Electrologia Médicas (do Inglês “*Diploma in Medical Radiology and Electrology*”)

SED Dose de Eritema de Pele (do Inglês “*Skin Erythema Dose*”)

SPRM Sociedade Portuguesa de Radiologia Médica

SPRMN Sociedade Portuguesa de Radiologia e Medicina Nuclear



## COMUNICAÇÕES

- M. E. Jardim, I. M. Peres, A. Pereira. “*A imagem fotográfica em Medicina: uma colaboração entre médicos e fotógrafos.*” Comunicação oral aceite para apresentação no “*VII Encuentro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur*”, Santiago do Chile – Chile (16-20 Outubro de 2012);
  
- A. Pereira, F. Costa, E. Jardim. “*Radiology and its Early Practice in Portuguese Medical Institutions*”. Comunicação em poster apresentada no “*43<sup>rd</sup> Congress of the International Society for the History of Medicine*”, Pádua (Abano Terme) – Itália (12-16 Setembro de 2012), premiada com o “*ISHM Loris Premuda Award*” para melhor poster;
  
- A. Pereira, I. M. Peres, M. E. Jardim. “*Fotografia e Estudos Médicos*”. Comunicação oral apresentada no Seminário I “*Fotografia Científica*” no âmbito do projecto PTDC/HIS-HCT/102497/2008 (6 Dezembro de 2011).

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	v
COMUNICAÇÕES .....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto da Descoberta dos Raios-X. Antecessores de Wilhelm Conrad Röntgen .....	1
2. A DESCOBERTA DOS RAIOS-X.....	12
2.1. Wilhelm Conrad Röntgen e “ <i>Eine Neue Art von Strahlen</i> ” .....	12
2.2. Investigações Preliminares .....	17
2.3. Divulgação da Descoberta dos Raios-X e o seu Impacto nos Contextos Científico e Social.....	20
2.4. Investigações Adicionais sobre a Natureza dos Raios-X.....	30
3. INSTRUMENTAÇÃO DE RAIOS-X .....	37
3.1. Evolução Histórica dos Equipamentos de Raios-X .....	37
3.1.1. Os Primeiros Tubos de Raios-X.....	38
3.1.2. Tubos de Raios-X com Regulação de Vácuo.....	46
3.1.3. Tubos de Raios-X Termiónicos.....	49
3.1.4. Tubos de Raios-X utilizados em Radioterapia.....	55
3.1.5. Componente Eléctrica .....	58

4. REGISTO FOTOGRÁFICO .....	70
4.1. Métodos de Registo Fotográfico .....	70
4.2. Processamento da Imagem Radiográfica .....	85
4.2.1. Revelação .....	85
4.2.2. Fixação .....	89
4.2.3. Lavagem .....	90
4.2.4. Secagem .....	90
4.3. Impressão .....	90
5. DESENVOLVIMENTOS NAS APLICAÇÕES MÉDICAS DOS RAIOS-X .....	93
5.1. As Primeira Aplicações em Medicina .....	93
5.2. Radioterapia .....	104
5.3. Quantidade e Qualidade da Radiação .....	111
5.3.1. Métodos de Determinação da Quantidade da Radiação .....	116
5.3.2. Métodos de Determinação da Qualidade da Radiação .....	121
5.4. Implementação da Radiologia nos Hospitais. Radiologia - uma Nova Especialidade Médica .....	124
5.5. Toxicidade da Radiação. Medidas de Protecção .....	132
6. OS RAIOS-X NA MEDICINA PORTUGUESA .....	140
6.1. As Primeiras Notícias sobre a Descoberta dos Raios-X na Imprensa Portuguesa... .....	140
6.2. As Primeira Radiografias Obtidas em Portugal e as Primeiras Aplicações em Medicina .....	144
6.3. Alguns Pioneiros da Radiologia Portuguesa .....	155
6.4. O Ensino Universitário da Radiologia em Portugal e a sua Implementação como Especialidade Médica .....	165
6.5. A “ <i>Escola Portuguesa de Angiografia</i> ” .....	166

7. CONCLUSÃO.....	173
BIBLIOGRAFIA.....	178
ANEXOS.....	193

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Fotografia de descargas eléctricas .....	1
Fig. 2: Ilustração da máquina eléctrica de fricção de Otto von Guericke . .....	2
Fig. 3: Bomba de êmbolo utilizada por Robert Boyle na primeira medição do vácuo em cerca de 1660 .....	3
Fig. 4: Primeiro dispositivo proposto por Robert Boyle para medição do vácuo, obtida com a bomba da Fig. 3 .....	3
Fig. 5: Bobina de Rühmkorff.....	4
Fig. 6: Bomba de Geissler. ....	5
Fig. 7: Tubo de Hittorf .....	6
Fig. 8: William Crookes . ....	7
Fig. 9: Sombra catódica verificada nas experiências de Crookes, mostrando que os raios catódicos eram provenientes do cátodo com trajectória rectilínea .....	8
Fig. 10: Fluorescência de um diamante verificada quando exposto aos raios catódicos..	8
Fig. 11: Um dos dispositivos utilizados por Crookes para verificar a acção mecânica dos raios catódicos . ....	8
Fig. 12: Heinrich Hertz.....	9
Fig. 13: Philipp Lenard . ....	9
Fig. 14: Wilhelm Conrad Röntgen . ....	12
Figs. 15 e 16: Fotografias do laboratório de Röntgen na Universidade de Würzburg, 1895 .....	13
Fig. 17: Radiografia da mão da mulher de Röntgen, obtida por este no dia 22 de Dezembro de 1895 .....	14
Figs. 18 e 19: Radiografias de Röntgen de vários objectos: uma caixa com pesos de metal no seu interior (imagem da esquerda) e uma bússola (imagem da direita) .....	15
Fig. 20: A primeira página do manuscrito de Röntgen.....	16
Fig. 21: Arthur Goodspeed . ....	18

Fig. 22: Fotografia da primeira “ <i>shadowgraph</i> ” produzida pelos raios-X, obtida por Arthur Goodspeed em 1890 .....	19
Fig. 23: Radiografia da mão de Albert von Kölliker realizada por Röntgen em Janeiro de 1896 .....	21
Fig. 24: Carta de agradecimento a Röntgen de Lord Kelvin .....	22
Fig. 25: A primeira nota de Sidney Rowland no “ <i>British Medical Journal</i> ”, no início do mês de Fevereiro de 1896.....	25
Fig. 26: A primeira notícia da descoberta dos raios-X no “ <i>Die Presse</i> ”, em 5 de Janeiro de 1896 .....	26
Fig. 27: O “ <i>The Daily Chronicle</i> ” anuncia os raios-X como uma « <i>notável descoberta científica</i> » .....	27
Fig. 28: Um “ <i>cartoon</i> ” humorístico alusivo ao poder dos raios-X, publicado na revista “ <i>Life</i> ”, em Fevereiro de 1896. ....	28
Fig. 29: Exemplos da variedade de produtos e objectos comercializados no início do séc. XX com a designação “ <i>X-ray</i> ” .....	29
Fig. 30: Publicidade a sessões de demonstração dos raios-X .....	29
Fig. 31: A primeira fotografia de difracção de raios-X .....	32
Fig. 32: Figura ilustrativa da difracção dos raios-X .....	34
Fig. 33: Estrutura cristalina proposta por L. Bragg para cristais de NaCl.....	34
Fig. 34: Equipamento de raios-X utilizado em princípios do séc. XX.....	37
Fig. 35: Dois tubos de raios-X do ano de 1895 .....	38
Fig. 36: Esquema do funcionamento de um tubo de Crookes.....	40
Fig. 37: Representação esquemática de algumas transições electrónicas ocorridas num átomo durante a emissão de raios-X.....	40
Fig. 38: O efeito da voltagem no poder de penetração dos raios-X produzidos.....	41
Fig. 39: Tipo de ampola com que Röntgen descobriu os raios-X .....	42
Fig. 40: Um modelo de tubo de foco .....	43
Fig. 41: Publicidade de uma empresa de comércio de instrumentação de raios-X, incluindo aos tubos de foco (1896) .....	44

Fig. 42: Suporte para tubo de foco .....	44
Fig. 43: Protótipo de um tubo de foco, proposto por Crookes em meados do século XIX .....	44
Fig. 44: Tubo de água utilizado na produção de raios-X.....	46
Figs. 45 e 46: Publicidade da empresa “ <i>Queen &amp; Co.</i> ” ao tubo de raios-X com regulação de vácuo e respectiva figura ilustrativa do mesmo .....	47
Fig. 47: Exemplo de um tubo regulador de osmose .....	48
Fig. 48: Tubo de foco com regulação de vácuo automático .....	49
Fig. 49: Tubo de Coolidge, tipo Universal .....	51
Fig. 50: Cátodo do Tubo de Coolidge, tipo Universal .....	51
Fig. 51: Ânodo do Tubo de Coolidge, tipo Universal .....	51
Fig. 52: Tubo de Coolidge, tipo Radiador .....	52
Fig. 53: Tubo de Coolidge, tipo Radiador dental .....	53
Fig. 54: Tubo de Coolidge, tipo Radiador encapsulado numa protecção de vidro constituído por chumbo .....	53
Fig. 55: Tubo “ <i>Metalix</i> ” .....	54
Fig. 56: Tubo de raios-X utilizado em Radioterapia .....	56
Fig. 57: Tubo de raios-X “ <i>Müller-Uri</i> ” para Radioterapia.....	56
Fig. 58: Tubo de raios-X convencional para Radioterapia profunda, constituído por um alvo de folha fina .....	57
Fig. 59: Tubo de raios-X do tipo “ <i>Metalix</i> ” utilizado em Radioterapia profunda .....	57
Fig. 60: Tubo “ <i>Siemens-Pantix</i> ” .....	58
Figs. 61 e 62: Bobinas de indução do princípio do século XX . .....	59
Fig. 63: Reóstato .....	61
Fig. 64: Interruptor de Foucault .....	62
Fig. 65: Interruptor de jacto de mercúrio .....	63
Fig. 66: Interruptor electrolítico de Wehnelt .....	64
Fig. 67: Tubo-válvula de Villard .....	64

Fig. 68: Esquema ilustrativo de uma bobina de indução com condensador .....	65
Fig. 69: Máquina de Wimshurst .....	66
Fig. 70: Um outro tipo de máquina electrostática, do tipo Holtz .....	67
Fig. 71: Exemplo de um transformador de alta voltagem .....	67
Fig. 72: Transformador de alta tensão de Snook .....	68
Fig. 73: Diferentes modelos de “kenotrons” .....	69
Fig. 74: Caixa de placas secas de gelatina do fabricante “George Eastman House” ...	71
Fig. 75: Estrutura do filme radiográfico de camada simples.....	72
Fig. 76: Estrutura do filme radiográfico de camada dupla .....	72
Figs. 77 e 78: Negativo obtido com uma placa de raios-X e negativo obtido com uma placa fotográfica convencional. Ambas as placas tiveram a mesma duração de exposição e foram reveladas com a mesma solução .....	75
Fig. 79: Esquema do efeito da grelha de um diafragma no bloqueio de raios-X secundários .....	77
Fig. 80: Estrutura de um cristal de haleto de prata .....	79
Fig. 81: Sequência de interacções que ocorrem no processo de sensibilização .....	80
Fig. 82: A primeira radiografia obtida recorrendo a um ecrã fluorescente intensificador, por Michael Pupin em 1896 .....	82
Figs. 83 e 84: A importância de um ecrã intensificador. Radiografia obtida com um ecrã intensificador (imagem da esquerda) e sem o ecrã (imagem da direita). O tempo de exposição foi dez vezes superior ao da radiografia com recurso ao ecrã .....	84
Fig. 85: Esquema ilustrativo do processo de intensificação recorrendo a ecrãs .....	84
Fig. 86: Tabuleiro para uso no processo de revelação.....	87
Figs. 87 e 88: Materiais protectores das mãos utilizados no processo de revelação dos negativos. Luvas (imagem da esquerda) e dedeiras .....	87
Figs. 89, 90 e 91: Radiografia com exposição insuficiente (imagem da esquerda) e com uma exposição excessiva (imagem da direita). A imagem central corresponde a uma radiografia exposta correctamente, com contraste adequado .....	88
Fig. 92: Dispositivo usado na secagem de radiografias.....	90



Fig. 93: Caixa de protecção para placas de raios-X .....	91
Fig. 94: Chassis para uso com placas de raios-X .....	92
Fig. 95: Fotografia realizada no dia 3 de Fevereiro de 1896 durante o momento da exposição aos raios-X. A radiografia obtida viria a ser a primeira radiografia médica obtida nos Estados Unidos da América .....	94
Fig. 96: O primeiro angiograma obtido no início de 1896 por Haschek e Lidenthal ....	94
Fig. 97: Realização de um exame de raios-X aplicado à Medicina Militar .....	96
Fig. 98: Primeira radiografia dentária, realizada por Otto Walkhoff .....	97
Fig. 99: Fotografia de Edison a realizar um exame radioscópio à mão do seu assistente, Clarence Dally, com recurso ao fluoroscópio .....	98
Fig. 100: Cinematografia de raios-X dos movimentos da perna de uma rã, realizada por John Macintyre .....	99
Figs. 101 e 102: Fotografia do paciente de Radiguet e respectiva radiografia da totalidade do seu corpo .....	100
Fig. 103: Radiografia da totalidade do corpo humano, realizada por William Morton em Julho de 1897 .....	100
Fig. 105: Radiografia do esófago de uma criança (2 anos), na qual é visível a localização de uma moeda, após a sua ingestão .....	101
Fig. 104: Radiografia do crânio de um cadáver, revelando a existência de três balas, realizada por John Macyntire em 1896 .....	101
Fig. 106: Radiografia de um bebé (3 meses) obtida por Sidney Rowland no início de 1896 .....	101
Fig. 107: Localização de cálculos no uréter pelos raios-X .....	101
Fig. 108: Radiografia de um exemplar da espécie <i>Ophiurus ciliaris</i> , publicada no primeiro suplemento de “ <i>Archives of the Röntgen Ray</i> ” (1897) .....	102
Figs. 109 e 110: Radiografias de um mamífero e de peixes realizadas em 1896 por Eder e Valenta .....	102
Fig. 111: Radiografia de um colar de diamantes, a qual revela a existência de quatro pedras falsas (marcadas a negro), e fotografia do mesmo .....	103

Fig. 112: Radiografia do esqueleto de uma múmia no interior do seu sarcófago, por Albert Londe .....	103
Fig. 113: Leopold Freund .....	106
Fig. 114: Equipamento de radioterapia utilizado por L. Freund .....	107
Figs. 115 e 116: Ilustrações da paciente de Freund antes do tratamento e após o tratamento da metade inferior do nevo .....	108
Fig. 117: Fotografia da paciente de Freund, obtida num <i>follow-up</i> realizado após 75 anos do início do tratamento de Radioterapia .....	109
Fig. 118 e 119: Fotografias da paciente de Tor Stenbeck antes (A) e após (B) o tratamento de um cancro de pele na sua face .....	110
Fig. 120: Um dos primeiros métodos de calibração dos raios-X produzidos, inferido através da imagem resultante do exame radioscópico à mão do operador (1896) .....	112
Fig. 121: Esquema que ilustra o efeito da resistência do tubo através da qualidade da imagem visualizada com um fluoroscópio .....	113
Figs. 122, 123 e 124: Coloração exibida pela fluorescência das paredes de um tubo de raios-X .....	114
Fig. 125: Cromo-radiómetro de Holz knecht . .....	117
Fig. 126: Pastilhas de Saboraud & Noiré .....	118
Fig. 127: Quantímetro de Kienböch .....	119
Figs. 128 e 129: Vista anterior e posterior do radio-cromómetro de Benoist, respectivamente .....	122
Fig. 130: Espintermetro em ligação com um tubo de foco .....	123
Fig. 131: Exame fluoroscópico realizado por F. Williams .....	126
Fig. 132: Antoine Béclère .....	127
Fig. 133: Anúncio de 1905 a palestras e demonstrações sobre Radiodiagnóstico e Radioterapia por Antoine Béclère .....	127
Fig. 134 : Exame radioscópico ao tórax realizado por Béclère no “ <i>Hôpital Tenon</i> “ ..	128
Fig. 135: Albert Londe durante a realização de um exame fluoroscópico .....	129
Fig. 136: Logotipo de “ <i>The Röntgen Society</i> ” .....	130

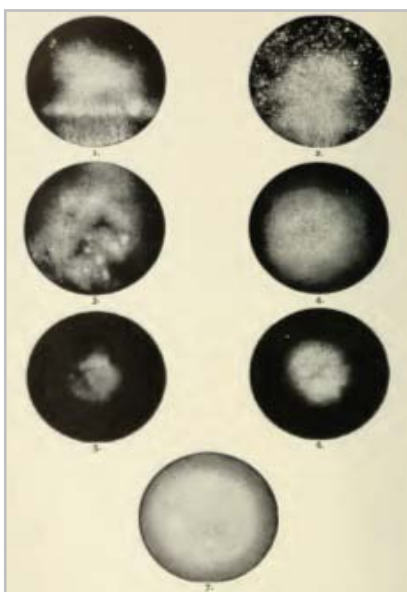
Fig. 137: As mãos de Mihran Kassabian, apresentando o resultado de exposições prolongadas e frequentes aos raios-X (radiodermatite crónica) .....	134
Fig. 138: Fato protector de raios-X do início do século XX .....	137
Fig. 139: A edição de 1 de Março de 1896 do jornal “ <i>O Século</i> ” .....	141
Fig. 140: Radiografia da mão da Rainha D. Amélia, realizada por ocasião da sua visita ao Laboratório Radiológico do Hospital de S. José em 1905 .....	142
Fig. 141: Radiografia da mão do Rei D. Manuel II, realizada por ocasião da sua visita ao Laboratório Radiológico do Hospital de S. José, em 1908 .....	143
Fig. 142: Henrique Teixeira Bastos .....	144
Figs. 143 e 144: Instrumentação existente no Gabinete de Física Experimental da Universidade de Coimbra: uma ampola de raios-X (FIS.1185) e uma bobina de Ruhmkorff (FIS.0315), respectivamente .....	145
Fig. 145: A primeira radiografia obtida em Coimbra para fins de diagnóstico por Teixeira Bastos com a colaboração do Fotógrafo Adriano da Sousa e Silva .....	146
Figs. 146 e 147: Dois exemplos de reproduções de radiografias incluídas na dissertação inaugural de Archer e Silva (1900) realizadas por Virgílio Machado .....	148
Fig. 148: O jornal “ <i>O Occidente</i> ” (notícia da edição de 25 de Março de 1896, com o título “ <i>A photographia atravez dos corpos opacos</i> ”) .....	149
Fig. 149: A primeira radiografia obtida por Augusto Bobone, em 22 de Março de 1896 .....	150
Figs. 150, 151, 152 e 153: Exemplos de radiografias obtidas por Augusto Bobone, pertencentes à colecção apresentada à Academia de Ciências em 1896 .....	151
Fig. 154: A primeira monografia sobre raios-X publicada em Portugal (1897) por Augusto Bobone .....	152
Fig. 155: Virgílio Machado .....	156
Fig. 156: Capa da publicação “ <i>L’état actuel de l’électricité médicale, de la radiologie et de l’analyse chimico-médicale en Portugal</i> ”, apresentada por Virgílio Machado em 1900 na Exposição Universal de Paris, em 1900 .....	158
Fig. 157: Exame radioscópico ao ventre realizado por Virgílio Machado, recorrendo a um fluoroscópio .....	160

Fig. 158: Exame radioscópico ao interior do tórax realizado por Virgílio Machado ..	161
Fig. 159: Instalações do laboratório de Radioscopia e Radiografia do “ <i>Instituto de Electricidade Médica</i> ” .....	163
Fig. 160: Edifício do “ <i>Instituto Médico</i> ”, em Lisboa.....	164
Fig. 161: Egas Moniz .....	167
Fig. 162: Primeira angiografia cerebral <i>in vivo</i> obtida por Egas Moniz em 28 de Junho de 1927 .....	168
Fig. 163: Apresentação do método da Angiografia Cerebral por Egas Moniz numa conferência na Faculdade de Medicina de Lisboa .....	169

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contexto da Descoberta dos Raios-X. Antecessores de Wilhelm Conrad Röntgen

No início do século XIX, as Ciências exactas e, particularmente, a Matemática, registaram um extraordinário progresso. Pierre Laplace (1749-1827), Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), Leonard P. Euler (1707-1783), William R. Hamilton (1805-1865) e Carl F. Gauss (1777-1865) fundaram as bases matemáticas para a compreensão da mecânica, hidrodinâmica, electricidade, magnetismo e outros ramos da Física. Antes de se completar a primeira metade do século, o conceito de energia estava já claramente definido por Julius R. von Mayer (1814-1878) e James P. Joule (1815-1889), enquanto Rudolf Clausius (1822-1888) tinha estabelecido as bases da Termodinâmica e Michael Faraday (1791-1867) elaborava a noção de campo electromagnético, interpretada formalmente por James C. Maxwell (1831-1879). (FILHO 1995)

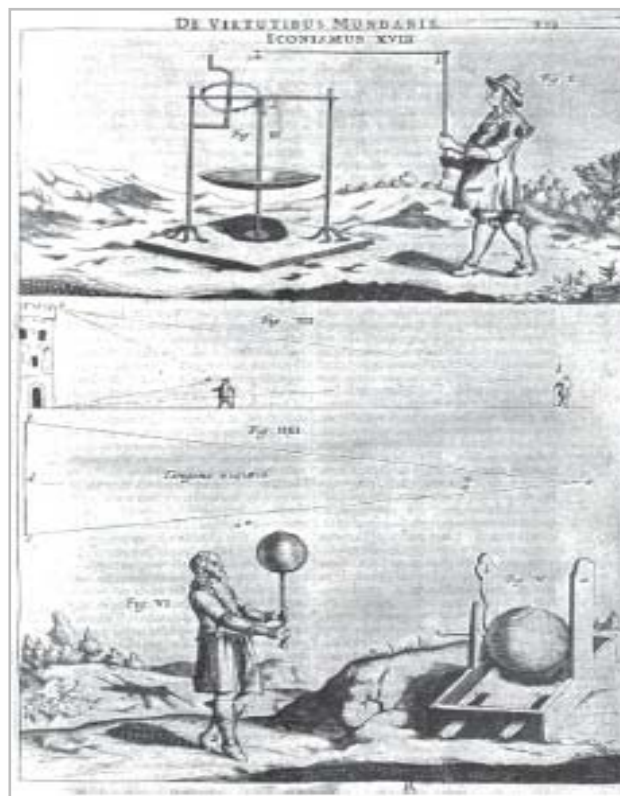


**Fig. 1: Fotografia de descargas eléctricas. (FREUND 1904)**

Na segunda metade do século XIX, vários Cientistas encontravam-se a estudar o efeito da passagem de descargas eléctricas de alta voltagem através de gases rarefeitos (Fig. 1), o que, posteriormente, conduziu à descoberta dos raios-X em 1895. No entanto, os primeiros trabalhos desenvolvidos neste âmbito datam do início do século XVII, por vários investigadores, alguns a seguir mencionados. Nenhum progresso poderia ser alcançado no sentido da descoberta dos raios-X antes de se conseguir obter a produção de um bom vácuo e de uma corrente eléctrica contínua. Estas duas condições necessárias foram descobertas por Otto von Guericke (1602-1686), quando em cerca de 1641 iniciou os seus trabalhos de investigação. (SARTON 1937, UNDERWOOD 1945)

Em 1646, von Guericke construiu a primeira bomba de ar com o intuito de produzir condições de vácuo que permitissem o estudo de “*condições celestiais*”. Mais tarde

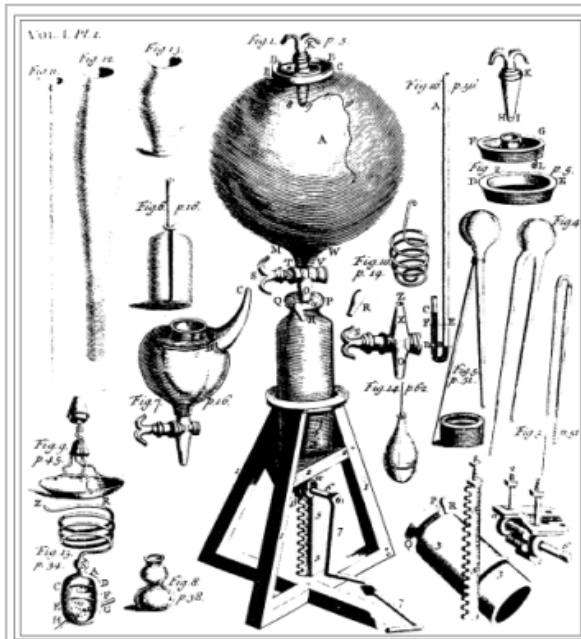
melhorou esta bomba ao utilizar um cilindro vertical com um êmbolo que podia mover-se de cima para baixo, e uma válvula de pele automática que substituiu a rolha usada no desenho original. Para além disso, von Guericke inventou também o primeiro gerador eléctrico (ou máquina eléctrica de fricção) – Fig. 2. Isaac Newton (1642-1727) e outros investigadores aperfeiçoaram o método, usando uma luva forrada com seda que permitiu a obtenção de descargas de alguns centímetros de comprimento, sendo a primeira transmissão de um impulso eléctrico num condutor. Este trabalho na área da indução e condução eléctricas foi muito importante e marcou as experiências seguintes de Robert Boyle (1627-1691). (MOULD 2006, UNDERWOOD 1945)



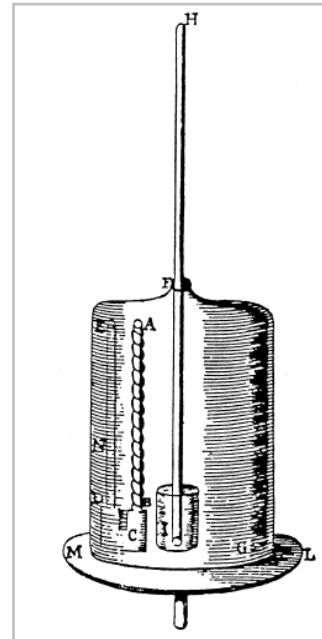
**Fig. 2: Ilustração da máquina eléctrica de fricção de Otto von Guericke. (MOULD 2006)**

A primeira medida significativa de vácuo foi comunicada por Boyle em 1660, que usou um manómetro de mercúrio para medir a pressão produzida num frasco em forma de sino pela bomba de êmbolo, construída pelo seu assistente, Robert Hook (1635-1703) –

Fig. 3. Este dispositivo de Boyle (Fig.4) permitiu medir um vácuo de 6.35 mmHg<sup>1</sup>. (REDHEAD 1999)



**Fig. 3: Bomba de êmbolo utilizada por Robert Boyle na primeira medição do vácuo em cerca de 1660. (REDHEAD 1999)**



**Fig. 4: Primeiro dispositivo proposto por Robert Boyle para medição do vácuo, obtida com a bomba da Fig. 3. (REDHEAD 1999)**

Francis Hauksbee (1666-1713), um Físico Inglês que também investigava fenómenos eléctricos, conjugou um gerador de electricidade com um tubo de vácuo, tendo sido o primeiro a produzir uma descarga eléctrica em condições de vácuo, resultando na emissão de luz. Para além disso, já havia desenvolvido melhoramentos em bombas de ar concebidas anteriormente, propondo, em 1704, uma bomba de êmbolo duplo de utilização mais simples. (REDHEAD 1999, PULLIN 1927, UNDERWOOD 1945)

Em 1753, Jean Antoine (Abbé) Nollet (1770-1770), em Paris, publicou os resultados das experiências desenvolvidas por si neste contexto, nas quais recorreu a uma bomba de vácuo e a uma máquina electrostática, ambas inventadas por von Guericke, como já referido. Construiu globos de vidro com formato de ovo, os quais evacuou e, posteriormente, provocou descargas eléctricas através dos mesmos, usando, para esse efeito, uma corrente de ferro ligada a uma máquina eléctrica. (MOULD 2006, PULLIN 1927) Posteriormente, William Morgan (1750-1833), publicou, em 1785, o artigo

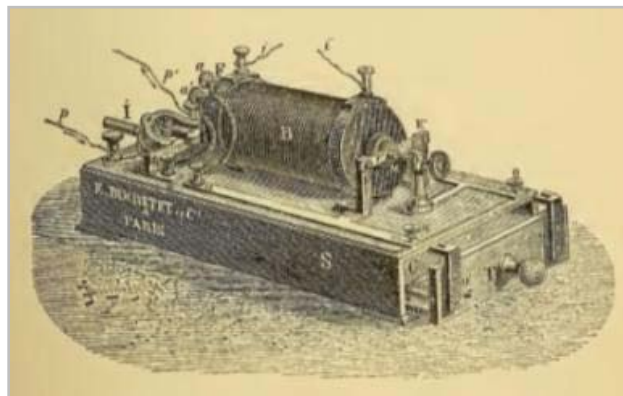
---

<sup>1</sup>  $\approx$  800 Pa.

“*Electrical Experiments Made to Ascertain the Non-Conducting Power of a Perfect Vacuum*”, o qual veio consolidar as observações de Hauksbee, contribuindo com a demonstração de que a cor dos raios luminosos resultantes da descarga eléctrica dependia do grau de vácuo do tubo atingido nas condições experimentais. Provavelmente, Morgan terá sido o primeiro investigador a produzir raios-X. (KASSABIAN 1907, MOULD 2006, PEH 1995b, UNDERWOOD 1945)

O desenvolvimento de pesquisas nesta área, e que, em última análise, conduziu à descoberta dos raios-X, dependeu fortemente da evolução das técnicas de produção de tubos de vidro com condições de vácuo eficientes, bem como de dispositivos capazes de fornecerem correntes eléctricas contínuas de tensão elevada. Neste sentido, é importante referir que já no século XVII, von Guericke publicou no seu livro “*Experimenta nova (ut vocantur) Madgeburgica de Vacuo Spatio*”, em 1672, os seus estudos que levaram a que se considerasse necessário satisfazer os referidos pré-requisitos. (UNDERWOOD 1945)

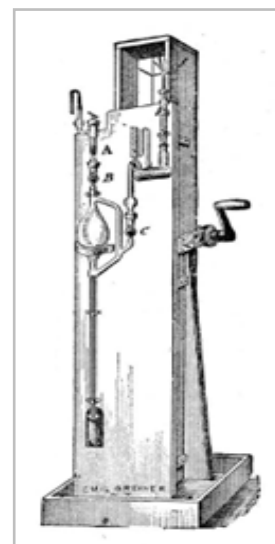
Em 1836, Nicholas Joseph Callan (1799-1864) contribuiu com o desenvolvimento de vários modelos de bobines de indução e, em 1851, Heinrich Daniel Rhümkorff (1803-1877), um fabricante Alemão de instrumentos científicos, desenvolveu, em Paris, uma versão aperfeiçoada da anterior proposta por Callan (ver capítulo 3.1.5). Desta forma, tornou-se possível a produção de tensões tão elevadas que permitiam a obtenção de descargas eléctricas muito fortes através de um gás, e, conseqüentemente, a observação da resultante emissão de luz no interior de um tubo de vácuo. Este instrumento ficou conhecido como a bobina de Rhümkorff (Fig.5). (CASEY 1985, GUEDES 2002)



**Fig. 5: Bobina de Rhümkorff. (COURMELLES 1897)**



Para além disso, a construção de bombas de vácuo cada vez mais eficientes, que permitissem que o espaço no interior do tubo ficasse ainda mais rarefeito, tornou possível a existência de um avanço considerável nos trabalhos subsequentes relativos ao estudo das descargas eléctricas em gases rarefeitos, realizados por diversos autores. Em 1855, o Físico e produtor de instrumentos científicos Alemão, Johann Heinrich Geissler (1814-1879) da Universidade de Bonn, desenvolveu a primeira bomba de vácuo de mercúrio funcional, designada por bomba de Geissler, a qual possuía uma coluna de mercúrio que funcionava como êmbolo (Fig. 6). Ao içar e descer repetidamente o reservatório de mercúrio, o ar contido no tubo era removido progressivamente. Tratava-se de um processo longo, uma vez que teria de decorrer algum tempo para que se atingisse o grau necessário de rarefacção gasosa, pela repetição de várias vezes do processo, mas que, no entanto, permitia obter condições de vácuo mais eficientes relativamente às conseguidas anteriormente. (SARTON 1937, RAMOS 1996)



**Fig. 6: Bomba de Geissler. (KRAISSL 1935)**

Para além das bombas de vácuo, Geissler construiu também um tipo de tubos, conhecidos por tubos de Geissler, os quais possuíam dois eléctrodos selados no tubo e condições de vácuo permanentes, permitindo a observação de fenómenos de luminescência produzidos pelas descargas eléctricas de uma bobina de indução. (SARTON 1937, MOULD 2007a)

Julius Plücker (1801-1868), um Matemático e Físico pertencente também à Universidade de Bonn, iniciou, três anos mais tarde, os seus estudos sobre a luminescência observada no funcionamento dos tubos de Geissler, e propôs uma modificação que permitia a concentração da descarga luminosa num capilar localizado no centro do tubo<sup>2</sup>. Durante a ocorrência da descarga eléctrica entre os dois eléctrodos, Plücker verificou a existência de uma luz que se estendia a uma região das paredes do vidro próxima do eléctrodo negativo. Para além disto, observou que esta fluorescência<sup>3</sup> sofria deflexão quando submetida à acção de campos magnéticos sobre o tubo e que

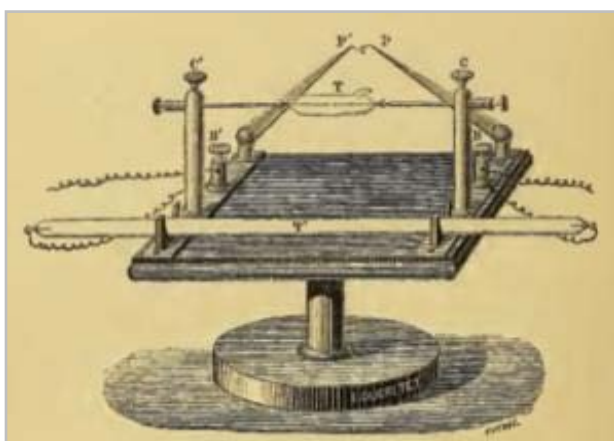
<sup>2</sup> Estes tubos modificados eram designados, frequentemente, por tubos de Plücker.

<sup>3</sup> As paredes de vidro do tubo de descarga apresentavam uma fluorescência de cor verde-amarelada.

quando estes campos sofriam alteração, a posição da região fosforescente acompanhava essa alteração. Por outras palavras, Plücker foi o primeiro a observar raios catódicos (porém, sem os identificar), bem como a sua deflexão sobre a acção de um campo magnético. (JAUNCEY 1945, SARTON 1937, WHITTAKER 1910)

Os estudos neste campo foram evoluindo lentamente, em parte devido à atenção dos Físicos para a análise espectral<sup>4</sup>, bem como ao facto de o grau de vácuo existente nos tubos de Geissler não ser, ainda, suficiente. Foi necessário que decorressem dez anos para que ocorresse um avanço na metodologia utilizada. (SARTON 1937)

Em 1869, Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914), aluno de Plücker, repetiu as experiências deste último e confirmou os seus resultados. Nesse ano, publicou um artigo sobre a condução de electricidade através de gases; no entanto, Hittorf utilizou nas suas investigações tubos que possuíam um vácuo superior (Fig. 7). Desta forma, verificou que a remoção gradual de ar do tubo originava a formação de, como descreveu, “*luz*” no cátodo e que esta causava fluorescência nas paredes de vidro do tubo, cuja intensidade de cor variava com o grau de rarefacção. (JAUNCEY 1945, WHITTAKER 1910)



**Fig. 7: Tubo de Hittorf. (CORMELLES 1897)**

destas observações, verificou também que o fluxo do feixe de descarga podia ser deflectido por um ímã. (COURMELLES 1897, SATTERLEE 1913, WHITTAKER 1910)

Ao colocar um objecto entre o cátodo e o vidro observou a formação de uma sombra com a forma do objecto, dependendo exclusivamente da forma deste. A partir desta observação, concluiu que esta sombra se devia à existência de raios provenientes do cátodo, que se propagavam segundo uma trajectória rectilínea. Para além

<sup>4</sup> Logo que Plücker iniciou as suas experiências, prestou mais atenção aos espectros que poderia observar nos tubos de Geissler com que trabalhava, podendo considerar-se um dos fundadores da análise espectral.

Um ano após as investigações de Hittorf, experiências semelhantes foram realizadas por Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883), através das quais este levantou a hipótese de que os raios eram compostos de partículas de matéria projectadas do pólo negativo, cuja trajectória era influenciada por um íman, facto este devido às cargas negativas que as constituíam. (WHITTAKER 1910)

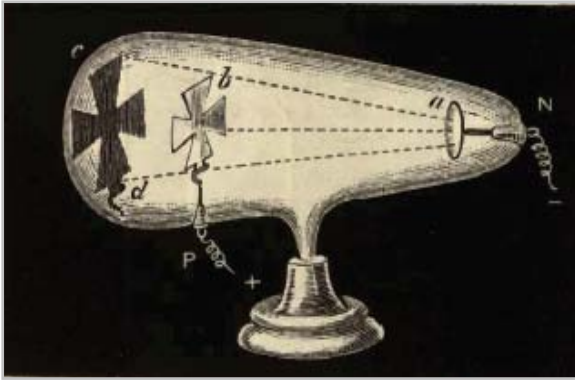
Em 1876, Eugen Goldstein (1850-1930), após realizar estudos semelhantes aos de Hittorf introduziu, pela primeira vez, o termo “*raios catódicos*” (“*Kathodstrahlen*”). Verificou que estes raios desviavam a sua trajectória sob a acção de campos magnéticos e que não eram emitidos em todas as direcções, mas sim confinados a uma direcção perpendicular à superfície do cátodo. Desta forma, Goldstein estabeleceu uma importante distinção entre o modo pelo qual os raios catódicos eram emitidos por um eléctrodo e o modo como a luz era emitida a partir de uma superfície incandescente. (WHITTAKER 1910)



**Fig. 8: William Crookes. (PEH 1995a)**

Uma nova interpretação da natureza dos raios catódicos surgiu na Inglaterra, contrapondo-se ao conceito de Goldstein. Para William Crookes (1832-1919) (Fig. 8) os raios catódicos eram um fluxo de moléculas carregadas electricamente, de natureza corpuscular, as quais constituíam o quarto estado da matéria (“*matéria radiante*”), proposto por Faraday, seguindo a mesma linha de pensamento de Varley. Em 1878, Crookes desenhou vários tubos de vácuo, muito utilizados na época para o estudo dos raios catódicos, designados, de um modo geral, por tubos de Crookes. Estes consistiam num tubo de vidro de paredes relativamente espessas, em forma de pêra,

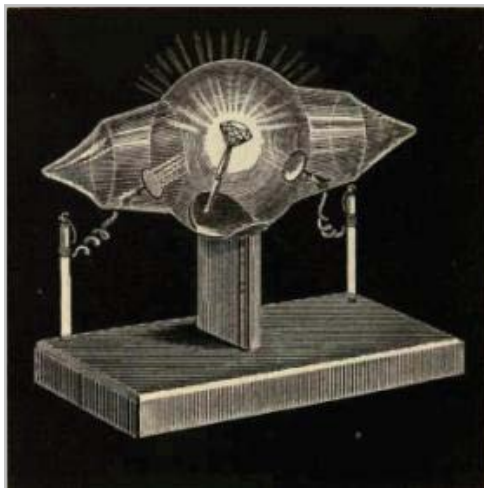
com dois eléctrodos perpendiculares um ao outro, cuja pressão interna era muito inferior à dos tubos de Geissler e de Hittorf, obtendo-se, portanto, um vácuo muito superior no interior do tubo, o que, segundo Crookes, contribuía para uma melhor observação e demonstração definitiva da natureza corpuscular dos raios catódicos. (PULLIN 1927, SARTON 1937, SATTERLEE 1913)



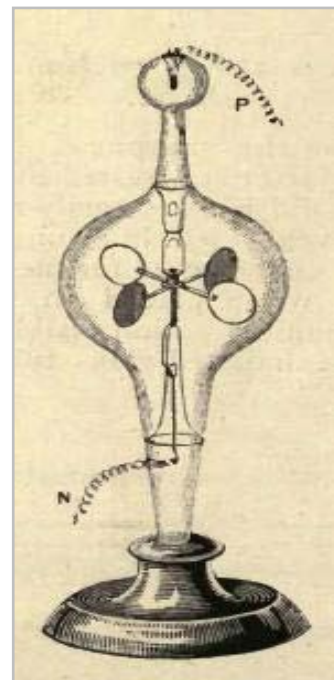
**Fig. 9: Sombra catódica verificada nas experiências de Crookes, mostrando que os raios catódicos eram provenientes do cátodo com trajetória rectilínea. (CROOKES 1879)**

Através dos seus estudos, demonstrou que os raios catódicos 1) eram constituídos por partículas de carga negativa repelidas pelo cátodo em linhas rectas; 2) causavam a formação de uma sombra de um objecto quando interceptava a sua trajetória (Fig. 9); 3) provocavam fluorescência nas paredes de vidro do tubo quando chocavam contra elas, bem como noutras

substâncias colocadas no tubo na sua trajetória (Fig. 10); 4) possuíam acção mecânica (Fig. 11); 5) eram formados perpendicularmente à superfície do cátodo; 6) possuíam acção calorífica e 7) podiam ser deflectidos por um íman. (CROOKES 1879)



**Fig. 10: Fluorescência de um diamante verificada quando exposto aos raios catódicos. (CROOKES 1879)**



**Fig. 11: Um dos dispositivos utilizados por Crookes para verificar a acção mecânica dos raios catódicos. (CROOKES 1879)**



**Fig. 12: Heinrich Hertz.**  
(ASSMUS 1995)

Heinrich Rudolf Hertz<sup>5</sup> (1857-1894) (Fig. 12), tal como Hittorf e Goldstein, e contrariamente a Crookes e Varley, opunha-se à interpretação de natureza corpuscular dos raios catódicos defendida por estes últimos. Esta era, de facto, a escola de pensamento vigente em Inglaterra, que se opunha à generalidade dos investigadores Alemães<sup>6</sup>. Hertz observou que os raios catódicos podiam atravessar finas folhas de metal

dispostas no interior de um tubo Crookes, verificando, em 1892, que os raios catódicos eram não só desviados em todas as direcções, mas também reflectidos. Adicionalmente, demonstrou que estes não produziam nenhum efeito eléctrico ou força magnética observável, bem como não eram desviados sob acção de um campo electrostático<sup>7</sup>. Desta forma, para Hertz e outros investigadores, em 1895, estes factores eram incompatíveis com o conceito de partículas carregadas atribuído aos raios catódicos, mas sim concordantes com o conceito de “*luz magnética*”, que à semelhança das ondas Hertzianas, eram um tipo de luz capaz de penetrar substâncias sólidas, opacas à radiação luminosa. (JAUNCEY 1945, PEH 1995b, WHITTAKER 1910)

Estas observações levaram a que Philipp Lenard (1862-1947) (Fig. 13), aluno de Hertz, estudasse a possibilidade dos raios catódicos produzidos no interior de um tubo de Crookes poderem ser observados e analisados no seu exterior. Uma vez que os vidros dos tubos utilizados até então eram capazes de barrar os raios catódicos, Lenard desenvolve, em 1894, uma variante do tubo de Crookes – tubo de Lenard – o qual possuía na extremidade oposta ao cátodo, uma abertura no vidro vedada por folhas de alumínio finas, que permitia a passagem dos raios para



**Fig. 13: Philipp Lenard.**  
(ASSMUS 1995)

<sup>5</sup> Em 1888, Hertz descobriu as ondas de rádio ou Hertzianas.

<sup>6</sup> Diversos investigadores Alemães, defendiam que os raios catódicos eram um tipo de luz magnética que, à semelhança da luz normal e das ondas Hertzianas, podiam penetrar corpos sólidos, opacos à luz, como folhas de metal. Investigadores Ingleses, por sua vez, ao defenderem que os raios catódicos eram constituídos por moléculas carregadas, rejeitavam a ideia de que estas podiam atravessar sólidos, quer fossem ou não transparentes à luz. No entanto, a divergência de pensamento não se devia inteiramente a questões de nacionalidade, pelo que existiam investigadores Alemães que apoiavam as ideias de Crookes e outros, e vice-versa.

<sup>7</sup> Actualmente, sabe-se que não foram observados os efeitos dos campos electrostáticos sobre os raios catódicos devido à presença de gás residual no interior dos tubos de vácuo, cuja ionização interagia com os electrões, cancelando-os.

o exterior do tubo de descarga<sup>8</sup>. Pela primeira vez, foi observada a passagem destes raios para o exterior do tubo, ficando conhecidos como raios Lenard. Lenard descreveu que estes raios 1) tornavam o ar exterior ao tubo electricamente condutor; 2) conseguiam atingir alguns centímetros de distância no ar, cuja trajectória podia ser seguida pela fosforescência de cor azul; 3) induziam luminescência em determinados sais fluorescentes<sup>9</sup>; 4) sensibilizavam placas fotográficas; 5) descarregavam um electroscópio localizado na proximidade do tubo, podendo verificar-se até uma distância de trinta centímetros e 6) penetravam metais e outras substâncias opacas, mas eram bloqueados pelo vidro e outras substâncias transparentes. Adicionalmente, Lenard ao comparar o seu elevado estado de difusão com o comportamento da luz, mesmo do mais baixo comprimento de onda, concluiu que os raios observados por si representavam, como designou, “*movimentos no éter*”, na ordem de dimensões moleculares. Mas, talvez a observação mais importante de todas tivesse sido o facto destes raios observados no exterior do tubo serem deflectidos com menor facilidade por um íman, relativamente aos que se encontravam no interior do tubo. (WARD 1896, CHRISTIE 1913, JAUNCEY 1945, SARTON 1937, SELIGER 1995)

Foi apenas no final da década de 1890 que a questão sobre a natureza dos raios catódicos foi inequivocamente esclarecida por Joseph John Thomson (1856-1940) e Jean Perrin (1870-1942). Thomson, em 1894, demonstrou que os raios catódicos se moviam a uma velocidade de  $1,9 \times 10^7$  cm/s<sup>10</sup>, verificando, assim, que os raios catódicos não podiam ser simplesmente um tipo de radiação electromagnética uma vez que, segundo Maxwell, todas as radiações electromagnéticas se moviam à mesma velocidade que a velocidade da luz. Desta forma, através da determinação da velocidade dos raios catódicos e da comparação do valor obtido com o valor da velocidade da luz<sup>11</sup>, tornava-se mais evidente a impossibilidade de concebê-los segundo Lenard. (PULLIN 1927, SARTON 1937, WHITTAKER 1910)

---

<sup>8</sup> Hertz já tinha verificado anteriormente que uma fina folha de alumínio era atravessada pelos raios.

<sup>9</sup> Lenard utilizou, inicialmente, ecrãs com cristais fluorescentes de sulfeto de cálcio (CaS<sub>2</sub>), cedidos pelo Químico Friedrich Krafft (1852-1923), tendo, posteriormente, utilizados cristais de pentadecil-paratolil-cetona, a partir dos quais era observada uma fosforescência mais intensa.

<sup>10</sup>  $1,99 \times 10^5$  m/s (SI).

<sup>11</sup> O valor da velocidade da luz é, aproximadamente,  $3 \times 10^8$  m/s, um valor muito superior à velocidade dos raios catódicos determinada por Thomson.

Em 1895, Perrin demonstrou que a trajetória dos raios catódicos era desviada sob o efeito de um campo magnético, à semelhança do que faria um feixe de partículas dotadas de carga eléctrica. Para além disso, verificou que um pequeno cilindro de metal ao ser atingido por estes raios, adquiria carga negativa, e que quando eram desviados por um íman, impedindo que atingissem o cilindro, este não voltava a adquirir carga, demonstrando que os raios catódicos eram constituídos por partículas carregadas negativamente. Ainda nesse ano, Thomson confirmou a natureza corpuscular dos raios catódicos e apresentou, dois anos mais tarde, em 1897, a medida da razão  $m/e$  (razão entre a massa,  $m$ , e a carga eléctrica,  $e$ , destas partículas), e deduziu que esses “*corpúsculos*” (assim designava as partículas constituintes dos raios catódicos) tinham uma massa muito menor que a do átomo de hidrogénio, ou, inversamente, uma carga muito maior. Mais tarde, em 1899, Thomson conseguiu medir a carga dessas partículas, cuja designação foi mais tarde substituída pelo termo “*electrões*”<sup>12</sup>. (PULLIN 1927, SARTON 1937)

---

<sup>12</sup> Este termo já tinha sido anteriormente proposto por George Johnstone Stoney (1826-1911) em 1891.

## 2. A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

### 2.1. Wilhelm Conrad Röntgen e “*Eine Neue Art von Strahlen*”



**Fig. 14: Wilhelm Conrad Röntgen. (MORGAN 1945)**

No ano de 1895, ano da descoberta dos raios-X, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) (Fig. 14) era Professor de Física na Universidade de Würzburg (Figs. 15 e 16), na Alemanha<sup>13</sup>. Nesta instituição, no final desse ano, seguindo o percurso de outros ilustres Cientistas, dedicou-se também ao estudo dos raios catódicos e das suas propriedades. Não obstante as suas valiosas contribuições para a compreensão do comportamento destes raios, através dos resultados de investigações relacionadas com a condução eléctrica através de gases em tubos de vácuo, Röntgen decidiu

esclarecer algumas questões em aberto relativas a este assunto. Foi este o contexto que impulsionou Röntgen a iniciar as suas próprias experiências em Outubro de 1895 e que culminaram com a descoberta dos raios-X, uma das mais importantes na história da Física, a qual lhe valeu, em 1901, o primeiro prémio Nobel da Física. (BOWERS 1970, JAUNCEY 1945, MEGGITT 2008, RIESZ 1995, UNDERWOOD 1945, WARD 1896)

A sua descoberta, no dia 8 de Novembro de 1895, de “*eine neue Art von Strahlen*” – “um novo tipo de raios”, constituiu o passo final de toda uma correlação lógica e brilhante entre as observações e factos divulgados anteriormente por outros investigadores e os resultados da sua investigação. Estes raios invisíveis que Röntgen designou por “*X-strahlen*” – “raios-X” (“X” por serem de natureza desconhecida), vieram não só revolucionar a era da Física Atómica no século XX, mas também constituíram um avanço na evolução de outras Ciências, tendo sido a mais beneficiada,

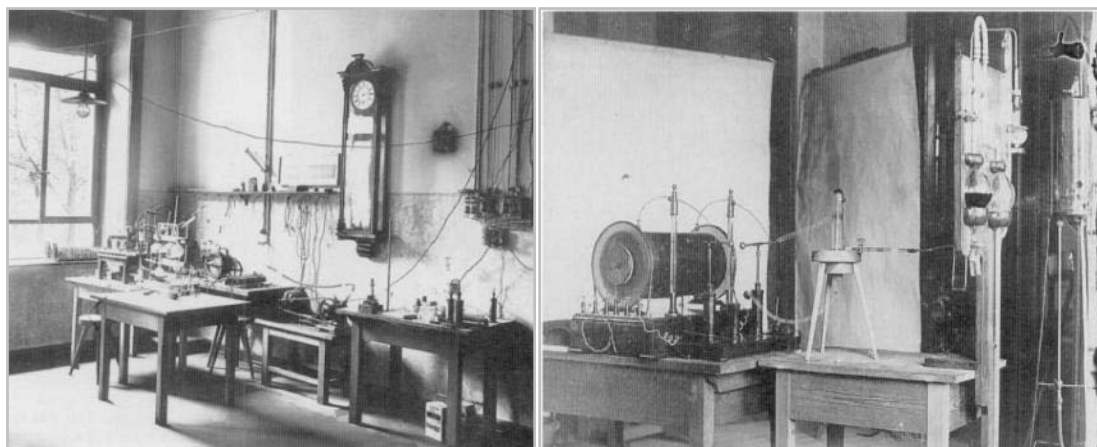
---

<sup>13</sup> Para além de ter sido assistente do Físico August Kundt (1839-1894) em Würzburg, Röntgen assegurou as mesmas funções no Politécnico de Zurique, Suíça, onde se licenciou em Engenharia Mecânica e obteve o seu grau de Doutoramento, e na Universidade de Estrasburgo, França, tendo leccionado nas mesmas instituições. Foi, posteriormente, em 1900, Professor de Física Experimental no Instituto de Física de Munique, Alemanha, tendo reformado-se em 1920.



certamente, a Medicina, onde se desenvolveram diferentes aplicações nas suas mais variadas especialidades. (MORGAN 1945, SELIGER 1995)

Numa sala obscurecida, Röntgen colocou um tubo, cujo vácuo era adequadamente eficiente<sup>14</sup> (um tubo de Hittorf, Lenard ou Crookes), numa caixa de cartão preta (de modo a eliminar qualquer vestígio de luz proveniente do tubo) e, ao ser fornecida energia eléctrica em regime de alta tensão ao tubo (através de uma bobina de indução de Rhümkorff), verificou a existência de fluorescência num ecrã que continha cristais de platinocianeto de bário<sup>15</sup>, Ba[Pt(CN)<sub>4</sub>], colocados a alguma distância do equipamento. É importante referir que a distância a que estava colocado o ecrã e o equipamento era muito superior àquela que os raios catódicos percorriam o ar, sendo que essa fluorescência era visível até uma distância de dois metros, e ocorria em qualquer lado do ecrã exposto ao tubo. Seguidamente interpôs entre o tubo e o ecrã vários objectos, que deveriam ser opacos aos raios catódicos, manifestando-se, sempre, fluorescência. (RÖNTGEN 1895, SELIGER 1995, UNDERWOOD 1945, WARD 1896)



**Figs. 15 e 16: Fotografias do laboratório de Röntgen na Universidade de Würzburg, 1895. (MORGAN 1945)**

Ao expor diversos materiais de diferentes densidades e espessuras à radiação, a fim de observar a variação do poder de penetração dos raios, quando testava a capacidade do chumbo para bloquear a nova radiação, Röntgen, ao interpor a sua mão neste percurso, verificou a projecção dos ossos da sua mão no ecrã fluorescente. Nesta projecção, os

---

<sup>14</sup> A experiência de Röntgen só poderia ter sucesso se a pressão no interior fosse muito baixa, de modo a que as paredes do tubo ficavam fosforescentes quando ocorria a descarga eléctrica.

<sup>15</sup> O platinocianeto de bário era um material muito fluorescente que tinha sido estudado por George G. Stokes (1819-1903).

ossos apareciam como sombras mais escuras do que os tecidos envolventes, permitindo que Röntgen fosse o primeiro a ter uma visão radioscópica dos seus próprios ossos. (RÖNTGEN 1895, KASSABIAN 1907)

Com o intuito de documentar em definitivo as imagens que visualizava no ecrã fluorescente, Röntgen, sabendo que os raios catódicos impressionavam placas fotográficas, tentou aplicar o mesmo processo de registo aos raios-X. Para tal, substituiu o ecrã por uma placa fotográfica e, após a sua revelação por processos convencionais de fotografia, obteve o registo da imagem de objectos que colocou entre o tubo de descarga e a placa fotográfica. A revelação da placa produziu um registo permanente, capaz de comprovar os seus estudos.



Foi desta forma que Röntgen realizou a primeira fotografia obtida por raios-X, isto é, uma radiografia da mão da sua mulher, Anna Bertha Ludwig (1839-1919) – Fig. 17. Esta foi a primeira radiografia anatómica de um ser humano, na qual eram visíveis, com grande detalhe, os ossos da sua mão, bem como o anel que possuía no momento da exposição ao raios-X<sup>16</sup>.

**Fig. 17: Radiografia da mão da mulher de Röntgen, obtida por este no dia 22 de Dezembro de 1895. (MOULD 1995)**

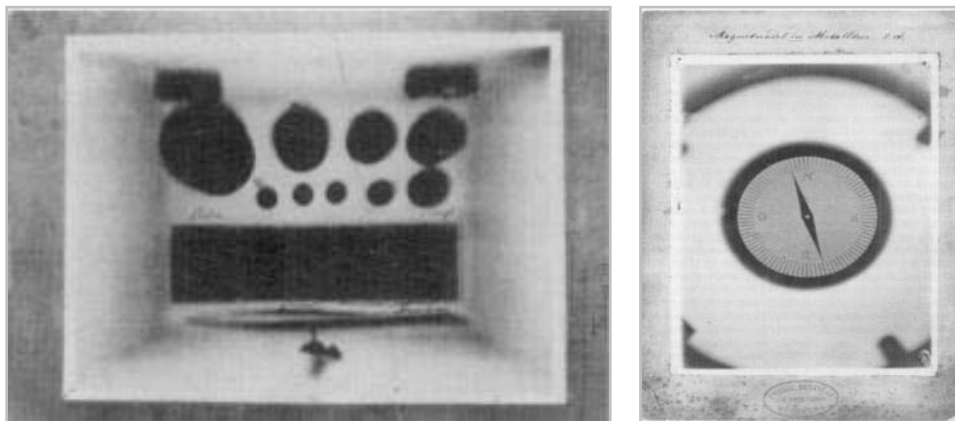
Outros objectos foram também radiografados, como uma bússola cuja agulha estava inteiramente delimitada por metal, uma caixa de madeira contendo um conjunto de pesos de metal e uma amostra de metal cuja falta de homogeneidade foi verificada através dos raios-X (Fig. 18 e 19). (BASTOS 1896, FERREIRA 1945, RÖNTGEN 1895, UNDERWOOD 1945)

Deduzindo que estava a lidar com algo nunca antes observado, algo de diferente, algo não imputável aos raios catódicos nem à luz, Röntgen tentou esclarecer as questões em

---

<sup>16</sup> A radiografia obtida teve um tempo de exposição de trinta minutos.

aberto relativas ao novo tipo de radiação que observou. Segundo RAMOS (1996) «é neste momento que a simples curiosidade cede o passo à investigação científica séria e que o acaso providencial se transforma numa verdadeira descoberta científica». (RAMOS 1996)



**Figs. 18 e 19: Radiografias de Röntgen de vários objectos: uma caixa com pesos de metal no seu interior (imagem da esquerda) e uma bússola (imagem da direita). (MOULD 1995)**

Röntgen quase imediata e intuitivamente reconheceu que estava perante um novo tipo de energia radiante e, após um período intenso de sete semanas de investigação, durante o qual executou e planeou experiências para revelar a natureza e propriedades da nova radiação, verificou que os novos raios que observou eram diferentes dos raios catódicos e dos raios Lenard. Entre outras, as seguintes propriedades foram verificadas: 1) os novos raios eram consideravelmente mais penetrantes que os raios Lenard; 2) a maior parte das substâncias era transparente à sua passagem, variando a “*transparência*” de acordo com a densidade e espessura<sup>17</sup>; 3) propagavam-se linearmente a partir da sua fonte; 4) não sofriam fenómenos de reflexão, refacção, polarização ou difracção e 5) não eram deflectidos sob a acção de um campo magnético. (ISENTHAL 1901, WARD 1896)

Apesar de terem pontos em comum com a luz (a formação de sombras, a propagação em linhas rectas, a fluorescência e a acção química), bem como com os raios catódicos e de Lenard (fenómenos de fluorescência e sensibilização de placas fotográficas), Röntgen levantou a hipótese dos raios que observou serem um tipo de raios ultra-violeta ou

---

<sup>17</sup> Tal propriedade não se verificava nos raios catódicos.

existirem devido a vibrações longitudinais do éter<sup>18</sup>. É desta forma que termina a sua primeira comunicação intitulada “*Ueber eine neue Art von Strahlen*” (“Sobre uma nova espécie de raios”) (Fig. 20) - o que parece justificar a designação que atribuiu aos raios de natureza desconhecida que observou, raios-X - que foi submetida à Sociedade Médico-Física de Würzburg no dia 28 de Dezembro de 1895 e aceite para publicação nos Anais da Sociedade no mesmo ano. (ISENTHAL 1901, RÖNTGEN 1895, SARTON 1937)

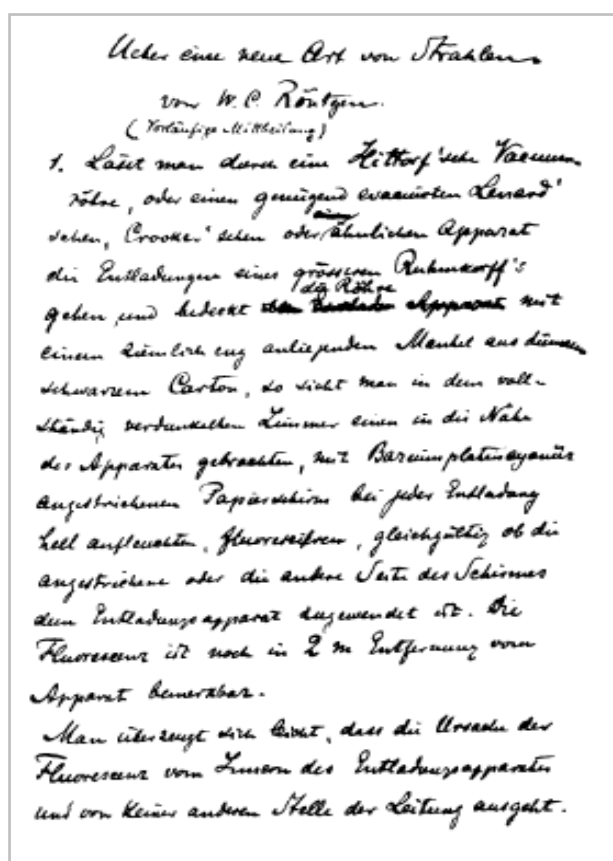


Fig. 20: A primeira página do manuscrito de Röntgen. (MOULD 1995)

A continuação do trabalho exposto na sua primeira comunicação, surge em “*Eine neue Art von Strahlen (II Mittheilung)*”, no dia 9 de Março de 1896, onde o autor descreve as experiências através das quais demonstrou que o ar (ou qualquer outro gás), ao ser exposto aos raios-X, poderia ser condutor de electricidade e que também seria capaz de descarregar um corpo carregado electricamente, mesmo após algum tempo de ter sido

<sup>18</sup> Esta hipótese era muito plausível na época da descoberta de Röntgen; no entanto, à luz do conhecimento actual, opõe-se ao conceito de vibração transversal da luz, bem como dos raios ultra-violeta e infra-vermelhos.

sujeito à acção dos referidos raios. No entanto, não conseguiu apresentar uma explicação para o seu resultado<sup>19</sup>. (MOULD 2007b, RÖNTGEN 1896)

Na sua última comunicação, “*Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen*”, datada de 20 de Março de 1897, Röntgen relata que verificou que qualquer substância (o ar, inclusivé) que tivesse sido submetida à acção dos raios-X poderia emitir, por si própria, a mesma radiação. (RÖNTGEN 1896, UNDERWOOD 1945)

Importa referir que Röntgen, antes e depois da sua memorável descoberta, investigou diversos temas da Física. Algumas destas investigações foram bastante importantes, tais como estudo do calor específico de gases, condutividade térmica em cristais, rotação electromagnética do plano de polarização em gases, entre outros. (SARTON 1937)

## 2.2. Investigações Preliminares

Seria de esperar que outros investigadores anteriores a Röntgen tivessem produzido raios-X, uma vez que este recorreu ao mesmo equipamento que era usado naquela altura por vários outros Físicos, como uma bobina de indução de Rhümkorff e tubos de Hittorf, Lenard e Crookes. Até mesmo, o ecrã de platinocianeto de bário, que desempenhou um papel importante na detecção dos novos raios, já tinha sido usado várias vezes para observar “*raios invisíveis*”. E tal foi o caso. No entanto, os antecessores de Röntgen ou não identificaram o novo tipo de raios que produziram, ou não se consciencializaram da importância das observações que, eventualmente, fizeram sobre os seus efeitos até terem conhecimento da publicação dos resultados obtidos por Röntgen. Foi a pertinência, o rigor e a honestidade da capacidade crítica de Röntgen, juntamente com a sua capacidade experimental para formular e testar hipóteses, que tornaram possível a descoberta dos raios-X e, conseqüentemente, o reconhecimento da sua enorme importância. Quando Henry J. W. Dam, jornalista da revista canadense “*McClure’s Magazine*”, perguntou a Röntgen o que é que pensou quando observou os raios-X, este respondeu de uma forma imperativa: «*Eu não pensei, investiguei.*».

---

<sup>19</sup> Tal foi possível após a divulgação dos resultados obtidos por Thomson sobre o estudo do electrão, devendo-se o fenómeno observado à ionização do ar pela radiação, tornando o ar condutor.

Através da sua resposta, é-nos revelado o seu perfil de cientista, que terá sido decisivo na descoberta. (JAUNCEY 1945, MORGAN 1945)

Röntgen não foi, de facto, o primeiro a produzir raios-X, mas foi o primeiro a ter consciência desse acontecimento e dos seus efeitos, tendo sido pioneiro a documentar a sua existência. Entre os que não conseguiram esse mérito, cite-se, Arthur Willis Goodspeed (1860-1943) (Fig. 21), William Crookes e Philipp Lenard.

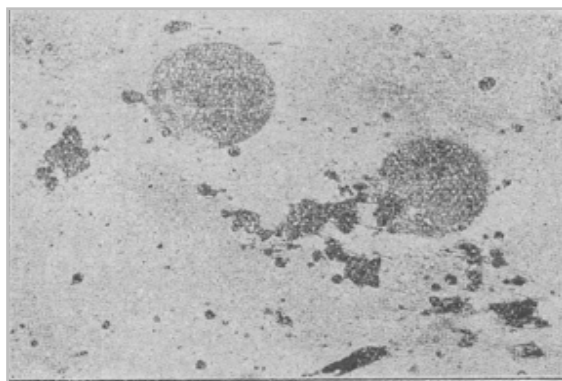


**Fig. 21: Arthur Goodspeed. (RICHARDS 1943)**

Arthur Goodspeed interessava-se pelos aspectos científicos da fotografia, com os quais contactou quando acompanhou as investigações de Eadward Muybridge (1830-1904) sobre a locomoção animal na Universidade da Pensilvânia. Alguns anos mais tarde, em Fevereiro de 1890, Goodspeed contava com a colaboração do Fotógrafo William N. Jennings (1860-?) para a realização de fotografias de descargas eléctricas em gases rarefeitos. Numa destas experiências registaram o resultado da descarga eléctrica em moedas colocadas sob a superfície de placas fotográficas. Posteriormente, quando as placas fotográficas (que se encontravam colocadas na mesa, na proximidade dos tubos de descarga) foram reveladas, verificaram que algumas não eram nítidas e que numa outra, que não tinha sido utilizada, surgiu o aparecimento de duas manchas negras e redondas, como que sombras de duas moedas (Fig. 22). Não encontrando explicação para este facto, Goodspeed guardou a fotografia, que, na realidade, foi a primeira radiografia (“*shadowgraph*”) produzida. Só seis anos mais tarde, quando Röntgen descobriu os raios-X é que Goodspeed se apercebeu do significado e da importância daquele fenómeno<sup>20</sup>. (RICHARDS 1943, SARTON 1937)

---

<sup>20</sup> Numa palestra realizada em Fevereiro de 1896, Goodspeed referiu: «*We can claim no merit for the discovery, for no discovery was made. All we ask is that you remember, gentleman, that six years ago, day for day, the first picture in the world by cathodic rays was taken in the Physical Laboratory of the University of Pennsylvania.*». Certamente, a sua afirmação era incorrecta, dado que a imagem que obteve não foi através de raios catódicos, mas sim, através de raios-X. No entanto, estava certo no que respeita à prioridade da descoberta científica.



**Fig. 22: Fotografia da primeira “shadowgraph” produzida pelos raios-X, obtida por Arthur Goodspeed em 1890. (RICHARDS 1943)**

William Crookes verificou em determinado momento que as placas fotográficas do seu laboratório se apresentavam veladas. Queixou-se ao seu fornecedor fabricante desse material, a empresa “*Ilford Company*”, em Londres, pelo envio desse material em más condições. No entanto, não foi estabelecida nenhuma relação entre o escurecimento das placas fotográficas, mesmo guardadas em caixas ainda por abrir e, deste modo, protegidas da luz, e a sua proximidade do tubo de Crookes, o que contribuiu, definitivamente, para a não identificação dos raios-X responsáveis por se verificar tal acontecimento. (JAUNCEY 1943)

Também Lenard não foi capaz de reconhecer os efeitos da produção de raios-X durante as suas pesquisas. Ao trabalhar com tubos de Crookes a pressões não muito reduzidas, e, conseqüentemente com voltagens não muito elevadas, obteve apenas raios-X “moles”, que acabavam por ser absorvidos pelo tubo, não sendo capazes de provocar fluorescência nos cristais do ecrã localizado na proximidade do tubo. Para além disso, trabalhou, principalmente, com um ecrã cujo material fluorescente era composto por cristais de pentadecil-paratolil-cetona. No entanto, Röntgen, a fim de verificar a fluorescência, escolheu utilizar um ecrã cujo composto, o platinocianeto de bário, fornecia uma maior emissão de fluorescência, comparativamente à obtida através do ecrã previamente usado por Lenard. Ora, acontece que o material utilizado por Lenard fluorescia com os raios catódicos, mas não com os raios-X, como, posteriormente, se verificou. Pelo contrário, o ecrã de Röntgen emitia luz quando ocorria a incidência da nova radiação sobre o mesmo. (PEH 1995b, SELIGER 1995)

Convém mencionar que, como referido anteriormente, possivelmente, o primeiro investigador a produzir raios-X terá sido William Morgan, em 1785, quando estudava a passagem de electricidade em condições de vácuo “perfeitas”. Não há dúvida que Morgan conseguiu produzir um vácuo equivalente ao obtido num tubo de Coolidge, que seria, praticamente, não condutor. Ao permitir que uma pequena quantidade de ar entrasse no tubo, observou os fenómenos que ocorrem num tubo de raios-X. Os iões provenientes da ionização do gás embatiam contra as paredes do tubo, produzindo fluorescência no vidro, bem como raios-X, ainda que fracos. (KASSABIAN 1907)

Para finalizar, vale a pena recordar o discurso, premonitório, de Röntgen quando foi nomeado reitor da Universidade de Würzburg, em 1894, um ano antes da sua descoberta: «*A natureza frequentemente revela os mais formidáveis fenómenos pelos meios mais simples, mas estes fenómenos só podem ser reconhecidos por pessoas de firme discernimento e espírito de investigação, e que tenham aprendido a obter informação através da experiência, a professora de todas as coisas.*».<sup>21</sup> Longe estava Röntgen de saber que este seria o contexto no qual ocorreria a sua descoberta e que esta iria ter um impacto tão profundo não só na comunidade científica, como no contexto sócio-cultural. (FERREIRA 1945, GLASSER 1995)

### **2.3. Divulgação da Descoberta dos Raios-X e o seu Impacto nos Contextos Científico e Social**

A primeira e única comunicação oral, pública e formal, da descoberta de Röntgen foi apresentada no dia 23 de Janeiro de 1896 numa reunião da Sociedade Médico-Física de Würzburg, na qual foram divulgados os resultados das suas investigações, tendo demonstrado, *in loco*, a acção dos seus raios ao produzir uma radiografia de uma das mãos do célebre anatomista Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905)<sup>22</sup> – Fig. 23. A reprodução desta fotografia obtida pelos raios-X foi publicada em 1896 na segunda

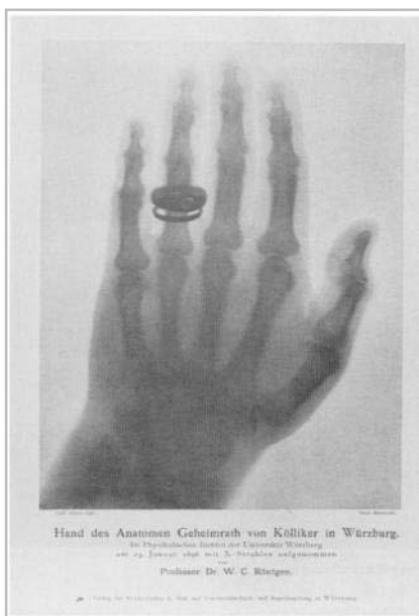
---

<sup>21</sup> No seu discurso, Röntgen citou o Matemático e Físico Alemão Athanasius Kircher (1601-1680), a quem é atribuída a invenção da lanterna mágica.

<sup>22</sup> No dia 12 de Janeiro de 1896, Röntgen foi convidado a fazer uma demonstração sobre a sua descoberta em Berlim, na presença do Imperador Guilherme II, através da qual a assistência rapidamente percebeu o alcance e a utilidade, não só médica, mas também militar dos raios-X. Foi nessa ocasião condecorado com a Ordem da Cruz Real Prussiana, IIª Classe.



comunicação de Röntgen, já, anteriormente, referida. No fim da palestra, von Kölliker propôs que os novos raios fossem designados “*raios Röntgen*”. (ARRUDA 1996, PEH 1995a, WATSON 1945)



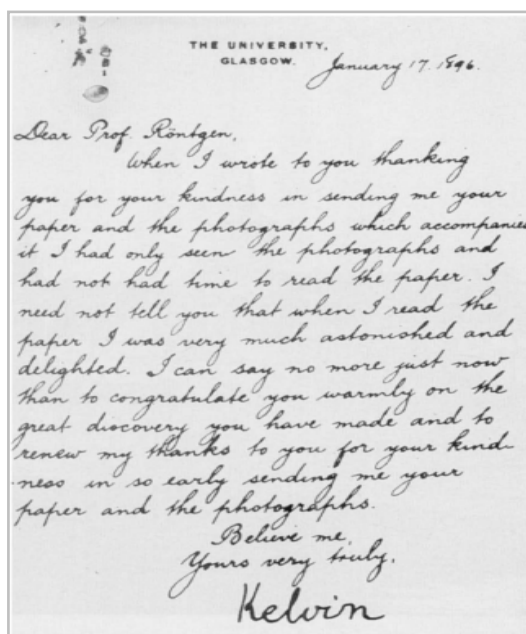
**Fig. 23: Radiografia da mão de Albert von Kölliker realizada por Röntgen em Janeiro de 1896. (MOULD 1995)**

Poucas foram as descobertas científicas que tiveram um impacto de tão grande dimensão no público em geral e na comunidade científica, e que foram divulgadas por todo o mundo de modo tão rápido como a descoberta dos raios-X. Se a nível “autodidacta” ocorreu a reprodução das experiências de Röntgen para os mais variados fins, na comunidade científica, particularmente, o impacto foi grande, dado o contexto em que a descoberta ocorreu, e as aplicações que dela poderiam advir. Para além disso, praticamente, em todos os laboratórios de Física existia o equipamento essencial para a produção de raios-X, permitindo a confirmação da veracidade dos resultados de Röntgen e a investigação de propriedades adicionais da nova radiação, bem como a realização de radiografias a nível médico, como se verá adiante. (SARTON 1937)

Os primeiros artigos que surgiram na literatura científica revelam o impacto que a descoberta dos raios-X teve na comunidade científica, particularmente na comunidade médica. Apesar de, inicialmente, a maioria dos artigos escritos sobre raios-X se basearem na sua descoberta e na investigação das suas propriedades, a evolução do pensamento científico conduziu, não só ao reconhecimento e aceitação desta nova descoberta, mas também no desenvolvimento das suas aplicações em várias áreas

científicas. De salientar, a exploração das múltiplas aplicações médicas e das vantagens que lhe são inerentes para fins de diagnóstico e, posteriormente, também para fins terapêuticos, ao mesmo tempo que se antecipavam vastas possibilidades de melhoramento do diagnóstico, através do aperfeiçoamento técnico<sup>23</sup>. (GLASSER 1995)

Logo após a submissão da sua primeira comunicação, Röntgen, no dia 1 de Janeiro de 1896, enviou dezenas de cópias de separatas da mesma, acompanhadas de algumas reproduções das primeiras radiografias que realizou, aos mais importantes e influentes Físicos e Médicos Europeus e Americanos da época<sup>24</sup>. Lord Kelvin, no dia 17 de Janeiro de 1896, enviou uma carta a Röntgen, na qual agradeceu a atenção pelo seu envio e o felicitou pela sua descoberta (Fig. 24). (MOULD 1995, MARTINS 1998, MEGGITT 2008)



**Fig. 24:** Carta de agradecimento a Röntgen de Lord Kelvin. (MOULD 1995)

Segundo JAUNCEY (1945) e FILHO (1945), no fim de 1895 e princípios de 1896, a percepção dos membros da comunidade científica relativamente aos raios-X passou por quatro fases distintas:

<sup>23</sup> Somente no ano de 1896, cerca de 1000 artigos e 50 livros foram publicados sobre o assunto em revistas científicas, demonstrando a rápida repercussão da descoberta de Röntgen.

<sup>24</sup> Ludwig Boltzmann (1844-1906), Lord Kelvin (1824-1907), George Stokes, Henri Poincaré (1854-1912), entre outros.

1. manifestação de espanto e de incredulidade por parte de alguns;
2. aqueles que dispunham da instrumentação necessária à produção de raios-X, logo tentaram reproduzir os trabalhos de Röntgen, a fim de testar a veracidade dos resultados que apresentou<sup>25</sup>;
3. após confirmação desses resultados, sentiram que Röntgen tinha feito um trabalho de tal forma completo, que pouco mais havia a fazer, excepto a realização de medições mais precisas;
4. gradualmente, consciencializaram-se de que Röntgen não tinha descoberto tudo o que era possível saber sobre raios-X, o que levou ao início de um período de rápido desenvolvimento da Física, bem como de uma forte competição entre os Físicos, tentando obter resultados nunca antes obtidos.<sup>26</sup>

No dia 11 de Janeiro de 1896, no “*Lancet*”, surge a primeira notícia sobre a descoberta dos raios-X, que a descreveu quase como uma sátira “*Dickensiana*”. Uma semana mais tarde, após a confirmação dada por Campbell Swinton da reprodutibilidade da obtenção de uma radiografia de uma mão humana, o jornal referiu «*a possibilidade da aplicação desta descoberta como um auxílio na prática médica e cirúrgica*». Já no número de 25 de Janeiro, notificou que a descoberta já tinha sido confirmada, «*a aplicação deste fenómeno formidável na identificação de balas e fracturas na estrutura óssea já foi realizada, com resultados muito promissores.*». (POSNER 1970, UNDERWOOD 1945)

A revista “*Nature*” publicou, no dia 16 de Janeiro, uma curta notícia, de apenas dezassete linhas, sobre o assunto, o que denotava algum cepticismo e incredulidade perante a descoberta da nova radiação. (POSNER 1970)

O primeiro artigo do “*British Medical Journal*” foi escrito por Arthur Schuster (1851-1934) e publicado no dia 18 de Janeiro. Schuster, como referido anteriormente, foi um dos correspondentes de Röntgen que tomou conhecimento das primeiras radiografias quando este lhas enviou, e não hesitou em afirmar «*que tinha sido feita uma grande*

---

<sup>25</sup> Entre os vários que o fizeram, cite-se Paul Oudin (1851-1923) e Toussaint Barthélémy (1852-1906), Alan A. Campbell Swinton (1863-1930), Joseph Thomson e Jean Perrin.

<sup>26</sup> Como o fenómeno da polarização e difracção dos raios-X, descobertos em 1905 e 1912, respectivamente. Este assunto será abordado no capítulo 2.4 deste trabalho.

descoberta... com muitas aplicações médicas possíveis.» (POSNER 1970, UNDERWOOD 1945)

No dia 25 de Janeiro de 1896 surgiram as primeiras reproduções de radiografias quer no “*British Medical Journal*”, quer no “*Lancet*”. (POSNER 1970) Num longo artigo publicado no dia 1 de Fevereiro de 1896 no “*British Medical Journal*” surge a notícia de que Odilon M. Lannelongue (1840-1911), Médico do Hospital Trousseau, em Paris, acompanhado por Oudin e Barthélémy<sup>27</sup>, havia recorrido à fotografia através dos raios-X com o intuito de documentar casos clínicos de pacientes seus, tendo submetido à Academia de Ciências de Paris vários negativos de membros humanos, nalguns dos quais eram visíveis determinadas condições patológicas. (PALLARDY 1999, UNDERWOOD 1945)

A primeira publicação de Röntgen sobre “*a nova espécie de raios*” foi traduzida rapidamente para outras línguas nas mais variadas revistas científicas. No dia 23 de Janeiro de 1896 surgiu na “*Nature*”<sup>28</sup>, em Inglaterra, numa versão traduzida por Arthur Stanton com comentários de Campbell Swinton, juntamente com uma radiografia de uma mão, obtida por este último no dia 7 de Janeiro de 1896, realizada com uma exposição de vinte minutos. No dia 8 de Fevereiro surge uma tradução na “*L’Éclairage Électrique*”, em França e, no dia 14 de Fevereiro, na “*Science*”, nos Estados Unidos da América. Ainda nesse ano, surgiram também traduções em Italiano, Russo, Polaco e Japonês, tornando o trabalho de Röntgen, mundial e amplamente, (re)conhecido. (JAUNCEY 1945, MORGAN 1945, POSNER 1970, UNDERWOOD 1945)

Em Maio de 1896, o conhecimento, já amplo, das possibilidades de aplicação dos raios-X na Medicina levou à criação da primeira revista científica dedicada, exclusivamente, à Radiologia, o “*Archives of Clinical Skiagraphy*”<sup>29</sup>, o predecessor de “*Archives of the Röntgen Ray*” (1897-1915), que mais tarde continuou como “*Archives of Radiology and Electrotherapy*” (1915-1923). Este periódico foi fundado por Sidney Rowland

---

<sup>27</sup> Foram os primeiros Médicos Franceses a realizarem radiografias de mãos, as quais foram apresentadas à Academia de Paris no dia 20 Janeiro de 1896, por Henri Poincaré. Nesse mesma ocasião, este divulgou o trabalho de investigação de Röntgen.

<sup>28</sup> Foi também nesta revista científica que surgiu a primeira menção, em Inglês, no dia 16 de Janeiro de 1896. Esta foi reservada e reveladora de algum cepticismo.

<sup>29</sup> Actualmente, designado por “*British Journal of Radiology*”.

(1872-1917), em Londres, ainda, nessa altura, estudante de Medicina. (MOULD 2011, POSNER 1970)

No início de Fevereiro de 1896, Rowland tinha sido escolhido pelo “*British Medical Journal*” para investigar a utilização clínica dos raios-X e comunicar novos desenvolvimentos da técnica naquele periódico (Fig. 25). No fim desse mês, Rowland conseguiu realizar radiografias de mãos com exposições de vinte segundos, um tempo muito inferior ao anteriormente conseguido por Campbell Swinton quando radiografou a sua mão, como já referido, no início de Janeiro (vinte minutos) e, mais tarde, no dia 18 de Janeiro de 1896, com outra redução da exposição (quatro minutos). Rowland manteve a sua função no “*British Medical Journal*” de Fevereiro a Dezembro de 1896. (KAYE 1914, MOULD 2011, ROWLAND 1896a, UNDERWOOD 1945)



Fig. 25: A primeira nota de Sidney Rowland no “*British Medical Journal*”, no início do mês de Fevereiro de 1896. (ROWLAND 1896a)

Em 1897, foi fundado por Herber Robarts (1852-1922), nos Estados Unidos da América, o “*American X-Ray Journal*”. Três anos depois, surge o “*American Journal of Roentgenology*”. Em 1897, surge ainda a publicação, na Alemanha, do “*Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*”. (MOULD 2011)

A publicação de reproduções de várias radiografias era cada vez mais frequente na literatura científica e as aplicações dos raios-X nos mais variados campos da Medicina era uma realidade cada vez mais, firmemente, estabelecida. (MOULD 2011)

Outro factor que também muito contribuiu para a popularidade da descoberta de Röntgen foi a sua rápida e imediata disseminação na imprensa de vários países. Não deixa de ser curioso o modo através do qual ocorreu a sucessão de acontecimentos que levaram a tal repercussão e à sua vulgarização.



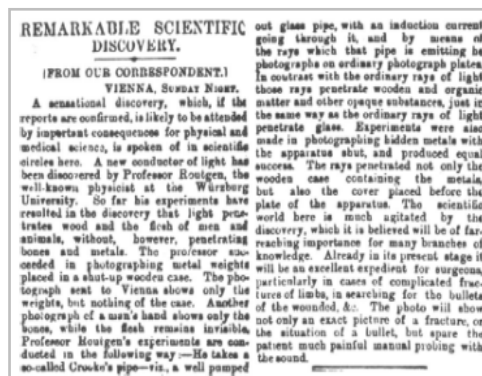
**Fig. 26: A primeira notícia da descoberta dos raios-X no “Die Presse”, em 5 de Janeiro de 1896. (POSNER 1970)**

A primeira notícia surgiu na capa do jornal vienense “*Die Presse*”, no dia 5 de Janeiro de 1896<sup>30</sup> (Fig. 26). Para tal, contribuiu Franz Exner (1849-1926), da Universidade de Viena, um dos Físicos e amigos com quem Röntgen mantinha correspondência, e Ernst Lecher (1856-1926).

Num encontro em casa de Exner, no qual reuniu vários amigos e colegas Físicos, Exner emprestou a sua cópia do manuscrito da primeira comunicação de Röntgen (com cópias de algumas radiografias) a pedido de Lecher, que, posteriormente, mostrou ao seu pai, correspondente do referido jornal. Ao aperceber-se da potencial importância da descoberta, transmitiu telegraficamente a notícia para Londres, de forma a ser publicada no dia 6 de Janeiro no “*The Daily Chronicle*” (Fig. 27). Desde esse dia, a imprensa mundial cobriu o assunto que suplantou tudo o que na altura constituía uma preocupação mundial: «o alarme da guerra não pode desviar a atenção de um triunfo maravilhoso da ciência que neste momento é comunicado de Viena.». (GLASSER 1995, PEH 1995a, POSNER 1970, SOUSAa 1945)

<sup>30</sup> Antes, portanto, da comunicação de Röntgen à Sociedade Médico-Física de Würzburg, no dia 23 de Janeiro de 1896.

Dois dias mais tarde, os jornais “*Zeitung*” e “*The Standard*”, respectivamente em Frankfurt e, novamente, em Londres, noticiaram as potenciais aplicações destes raios no diagnóstico de doenças e lesões ósseas, bem como a forma através da qual poderiam constituir um auxiliar os cirurgiões perante casos de pacientes com graves fracturas ósseas ou com balas no interior do corpo. A tradução da notícia do “*Die Presse*” surgiu no “*New York Times*” no dia 8 de Janeiro de 1896. É curioso notar que o jornal “*Wurzbourger Generalanzeiger*”, editado na própria cidade onde Röntgen fez a sua descoberta, só a tenha noticiado alguns dias após a primeira notícia no “*Die Presse*”, surgindo no dia 9 de Janeiro desse ano. Em França, a notícia surgiu em Paris no “*Le Matin*”, no dia 13 de Janeiro. (ARRUDA 1996, PEH 1995a, POSNER 1970, SOUSAa 1945)



**Fig. 27: O “*The Daily Chronicle*” anuncia os raios-X como uma «notável descoberta científica». (POSNER 1970)**

As notícias sobre a descoberta dos raios-X que surgiram na imprensa popular, rapidamente se difundiram e fascinaram o público em geral, gerando uma enorme manifestação cultural como que se da mais recente moda se tratasse, bem como as mais diferentes especulações<sup>31</sup>. A ideia de que através dos raios-X se poderia obter uma radiografia dos ossos de uma mão impressionou e fascinou não só a comunidade científica, como também o público em geral. As pessoas reagiram à descoberta de maneiras diferentes e através dos mais variados meios. Se alguns receavam a perda da sua intimidade física, a invasão da privacidade doméstica, causando desconforto e desconfiança, outros demonstravam grande entusiasmo na aceitação da descoberta e das suas possibilidades. (GERSON 2004, JAUNCEY 1945)

<sup>31</sup> Surgiram notícias de que os raios-X poderiam ressuscitar vidas e que os raios catódicos (havia alguma confusão na distinção entre dois tipos de radiação na comunidade leiga, bem como alguns Físicos) poderiam ser usados para a reanimação de pessoas electrocutadas.



**Fig. 28: Um “cartoon” humorístico alusivo ao poder dos raios-X, publicado na revista “Life”, em Fevereiro de 1896. (HESSENBRUCH 2002)**

Para além das notícias publicadas em jornais e revistas populares (Fig. 28), surgiram também peças de comédia alusivas à temática produzidas por companhias de teatro, bem como desenhos, músicas, poemas, obras de literatura<sup>32</sup> e anúncios de publicidade a peças de roupa interior à prova de raios-X, a binóculos de teatro equipados com raios-X, entre outros produtos. De facto, era muito comum a existência de bens comuns entre a população, como comprimidos para a dor de cabeça, sabonetes, graxas de sapatos, baterias, azeite, cigarros, bolas de golfe, bebidas alcoólicas, por exemplo, surgirem com a designação “X-Ray” no seu rótulo (Fig. 29).

O público estava fascinado pela fantasia que os raios-X vieram proporcionar às suas vidas, e os publicitários aproveitaram-se desse facto como uma óptima fonte de rendimento. O facto de os raios-X serem constantemente matéria de notícia, tornava este *marketing* ainda mais convincente, como que um veículo de transmissão de uma nova evidência de eficácia “científica” demonstrada se tratasse, mesmo em produtos que não

<sup>32</sup> Como o livro de H. George Wells (1866-1946), “*O Homem Invisível*”, publicado em 1897.



estivessem relacionados com a Ciência ou Medicina, como no caso dos exemplos referidos. Daqui resulta que a curiosidade e o fascínio pela nova radiação se deveu a um imenso apelo resultante do *marketing*. (GOODMAN 1995a, GERSON 2004, LIMA 2009)



Fig. 29: Exemplos da variedade de produtos e objectos comercializados no início do séc. XX com a designação “X-ray”. (GERSON 2004)



Fig. 30: Publicidade a sessões de demonstração dos raios-X. (ASSMUS 1995)

Exibições de raios-X (Fig. 30) intercalavam-se com a exibição de curtas-metragens, surgindo ao lado de uma outra grande invenção do fim do século XIX, o cinema. Era também frequente ocorrerem demonstrações em lojas e armazéns e nas ruas das cidades, nas quais também era possível que um indivíduo pudesse comprovar em si mesmo a acção dos raios-X. Nalguns salões de beleza, existiam aparelhos de raios-X destinados a eliminar alguns cabelos indesejáveis na face e no couro cabeludo de mulheres, através de um processo indolor. Nesta altura já era conhecido que uma exposição prolongada aos raios-X causava queda de cabelo. Para além disso, eram também usados para clarear a pele, uma prática comum

na época. De tal forma que surgiram notícias acerca da possibilidade de tornar um homem de raça negra num caucasiano. Notícias sobre óptimos resultados da aplicação

da radiação sobre rugas, verrugas, acne, etc também vieram a lume. (LIMA 2009, SOUSA 1945b)

A interpretação dos raios-X como uma prova da existência de um outro mundo, inacessível a qualquer indivíduo, mas apenas a alguns mais sensíveis, era praticada em algumas comunidades de espíritas naquela época. O conceito de morbidade estava subjacente às imagens obtidas através dos raios-X, que não só tinham o poder de revelar os ossos e o esqueleto humanos, como também se constituíam como uma ponte, uma ligação com o que não podia ser observado, permitindo a possibilidade de estabelecer contacto com os espíritos. Apesar de tais ideias terem sido ignoradas por muitos Cientistas, alguns, como William Crookes, J. K. Friedrich Zöllner (1834-1882) e Cromwell Varley<sup>33</sup> estudaram fenómenos associados ao Espiritismo recorrendo a várias experiências pseudo-científicas. (COURMELLES 1897, HESSENBRUCH 2002, SARTON 1937)

## **2.4. Investigações Adicionais sobre a Natureza dos Raios-X**

Apesar de, logo após a descoberta dos raios-X, diversos investigadores terem levado a cabo inúmeras experiências no sentido de compreender melhor esta radiação, foram necessários, aproximadamente, vinte anos para que ocorressem avanços significativos no que respeita ao conhecimento e compreensão de propriedades adicionais dos raios-X, contribuindo para o estabelecimento da sua verdadeira natureza. (JAUNCEY 1945, POSNER 1970)

Charles Glover Barkla (1877-1944) provou que os raios-X se comportam como a luz ao demonstrar, em 1905, através de ensaios realizados com a emissão de raios-X secundários decorrentes da sua interacção com a matéria, que ream polarizáveis. Para além disso, e posteriormente, mostrou que existia uma relação entre a massa atómica e a emissão de raios-X secundários pelos elementos químicos. (FILHO 1995)

---

<sup>33</sup> Foi Varley quem incutiu a curiosidade de Crookes para o estudo de fenómenos no campo do Espiritismo.

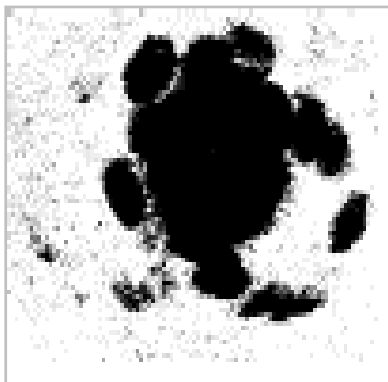
William Henry Bragg (1862-1942) oponha-se às ideias defendidas por Barkla, ao sugerir que os raios-X eram constituídos por partículas. Para Bragg, os raios-X eram constituídos por pares neutros formados por partículas positivas e negativas que giravam sobre o plano que contém a direcção de propagação. Observou que quando os raios-X ionizavam um gás, a energia dos electrões emitidos dependia apenas da natureza do agente ionizante, sendo maior para raios-X com maior poder de penetração. Barkla, por sua vez, sustentava as suas ideias baseando-se no facto da radiação que se espalhava pela interacção com a matéria, não exibia homogeneidade na sua intensidade em todas as direcções, em virtude de estar polarizada, o que sugeria o seu comportamento ondulatório. (ASSMUS 1995, FILHO 1995)

A divergência entre Barkla e Bragg terminou quando Max von Laue (1879-1960), em 1912, elaborou estudos sobre a difracção dos raios-X em cristais, isto é, sobre a dispersão dos raios-X pelas unidades (células unitárias) de um sólido cristalino<sup>34</sup>, valendo-lhe o prémio Nobel da Física em 1914. Os fenómenos de interferência, verificados quando duas ondas ocupam a mesma região no espaço, é exclusivo de ondas, pelo que von Laue decidiu verificar se um feixe de raios-X poderia apresentar interferência. Segundo este investigador, para observar a interferência em ondas de luz visível era necessário passar dois ou mais feixes através de fendas muito próximas umas das outras, cuja distância entre as mesmas não podia ser muito maior que o comprimento de onda da luz. No entanto, verificou que essa distância não era suficiente para que se pudesse observar a difracção de raios-X, pelo que o comprimento de onda dos raios-X seria de baixo valor, tornando impossível produzir fendas muito próximas entre si. Desta forma, e sabendo que os cristais têm planos regulares e próximos uns dos outros, von Laue deduziu que se os raios-X tivessem um comprimento de onda da mesma ordem de grandeza das distâncias entre os átomos de uma célula unitária, seria possível difractar um feixe de raios-X passando-os através da rede cristalina, uma vez que os planos de átomos dispostos regularmente no cristal funcionariam como um difractor. Por outras palavras, verificar-se-ia a ocorrência de raios-X difractados, dispostos simetricamente à volta de um raio central. (CHANG 2005, PULLIN 1939, SARTON 1937, SOUZA 2008)

---

<sup>34</sup> O uso de padrões cristalinos foi fundamental para o estudo da refracção e interferência dos raios-X, ou seja, o uso de redes de difracção naturais com dimensão de estrutura cristalina.

A base do pensamento de von Laue foi o trabalho de 1907 de Wilhelm Wien (1864-1928) que, baseado na teoria das vibrações transversais dos raios catódicos, juntamente com uma nova teoria de energia enunciada por Planck e do conhecimento do valor da massa e da velocidade dos electrões, determinado por Thomson, determinou o provável valor do comprimento de onda dos raios-X, como sendo, aproximadamente, de  $1 \times 10^{-9}$  cm<sup>35</sup> (cerca de oito mil vezes inferior ao da luz). (FILHO 1995, PULLIN 1939)



**Fig. 31: A primeira fotografia de difracção de raios-X.**  
(FILHO 1995)

Walter Friedrich (1883-1968) e Paul Knipping (1883-1935) comprovaram, experimentalmente, as ideias de von Laue, desenvolvidas de forma puramente matemática<sup>36</sup>. Ao fazerem passar um feixe heterogéneo de raios-X através de um cristal de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), e ao impressionar uma placa fotográfica através da sua exposição à radiação, obtiveram o padrão de difracção de raios-X, surgindo na forma de uma série de manchas dispostas simetricamente, resultantes da curvatura dos planos de átomos dentro do cristal (Fig. 31). A mancha central verificada devia-se à passagem do feixe principal dos raios-X através do cristal.

Posteriormente, os mesmos investigadores substituíram o cristal de sulfato de cobre por outro de melhor qualidade, um cristal de sulfureto de zinco ( $\text{ZnS}$ ), e orientaram-no de modo a que a radiação incidisse perpendicularmente a uma das suas faces, obtendo um resultado de difracção de qualidade superior em comparação ao obtido anteriormente. Assim, von Laue aplicou os seus conhecimentos da teoria de difracção da luz por redes cristalinas, explicando que o cristal deveria actuar como uma rede de difracção óptica tridimensional, na qual os átomos se comportavam como fonte secundária de radiação, bem como estabeleceu o carácter ondulatório dos raios-X<sup>37</sup>. (FILHO 1995, PULLIN 1939, SARTON 1937, VON LAUE 1915)

---

<sup>35</sup>  $\approx 1 \times 10^{-11}$  m (SI).

<sup>36</sup> Com as experiências de Friederich e Knipping, não só foi elucidada a verdadeira natureza dos raios-X, bem como, simultaneamente, o conhecimento da estrutura cristalina.

<sup>37</sup> Uma estimativa da distância interatómica na rede indicava, aproximadamente,  $10^{-8}$  cm, enquanto os cálculos teóricos anteriormente obtidos por William Wien sugeriam comprimentos de onda da ordem de  $10^{-9}$  cm para os raios-X, como já referido.

William H. Bragg e o seu filho, William Lawrence Bragg (1890-1971), interessaram-se pelos trabalhos de von Laue sobre a difracção dos raios-X, bem como pela aplicação à Cristalografia, tendo ambos recebido o prémio Nobel da Física em 1915 pelas suas contribuições nesta área. William H. Bragg estava particularmente interessado nas propriedades espectroscópicas dos raios-X, e o seu filho dedicava-se à interpretação dos resultados obtidos por Friedrich e Knipping, considerando que, uma vez que as distâncias inter-atómicas existentes nos compostos cristalinos eram da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda dos raios-X, o feixe de radiação, ao penetrar no cristal, reflectir-se-ia nos planos dos átomos do cristal, de modo semelhante a um espelho, isto é, os raios-X eram reflectidos pelas camadas de átomos do cristal localizadas mais à superfície. (CHANG 2005, FILHO 1995)

A difracção de raios-X deve-se à existência de certas relações de fase entre várias ondas emergentes. Estas podem combinar-se, interferindo construtiva e destrutivamente, originando os conhecidos padrões caracterizados por regiões de elevada amplitude de onda (interferência construtiva) e por regiões de intensidade nula (interferência destrutiva). Um feixe de raios-X difractado apenas é produzido quando a dispersão ocorre sob certas condições geométricas, obedecendo à lei de Bragg, formulada por Lawrence Bragg em 1912, e dada por:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

A fim de compreender a base da sua formulação, considere-se a figura abaixo (Fig. 39) na qual se encontra representado o cristal por um conjunto de planos ( $p$ ) paralelos que correspondem aos planos atómicos. O feixe reflectido pelo plano inferior percorre uma distância maior que o feixe reflectido pelo plano superior. A diferença de percurso efectivo entre os dois feixes é  $2d\sin\theta$ , onde  $d$  é a distância entre planos adjacentes e  $\theta$  é o ângulo entre a direcção dos raios-X incidentes e o plano de átomos do cristal (ângulo de incidência). A interferência será construtiva e os dois feixes estarão em fase, quando esta diferença for igual a um número múltiplo inteiro ( $n$ ) do comprimento de onda ( $\lambda$ ), correspondendo o primeiro à ordem de difracção, isto é, ao número de comprimentos de onda contidos no percurso entre duas reflexões especulares (Fig. 32). Desta forma, a lei de Bragg estabelece a relação entre a distância inter-planar e o ângulo definido por esses

planos com a direcção de incidência de um feixe de raios-X de determinado comprimento de onda, para os quais ocorre reflexão especular. (BRAGG 1915, CHANG 2005, FILHO 1995, SANTOS 2000)

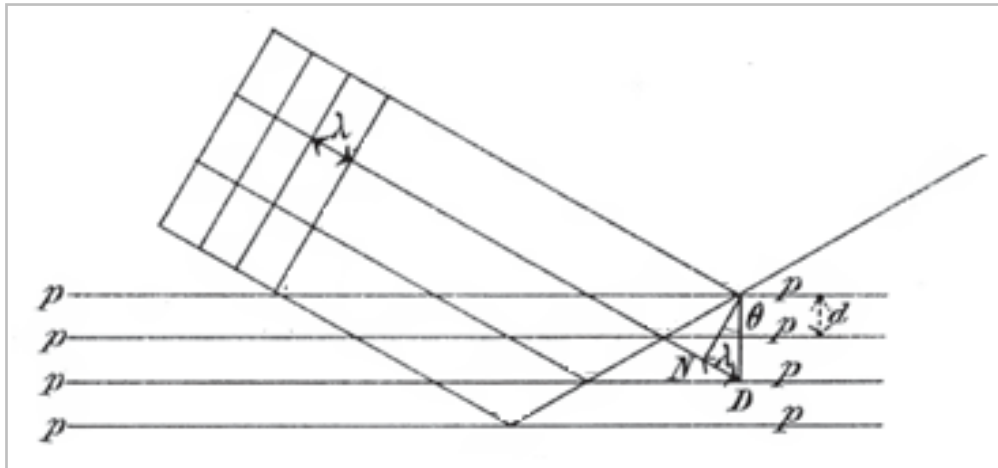


Fig. 32: Figura ilustrativa da difracção dos raios-X. (Adaptada de BRAGG 1915)

Os raios-X que satisfazem a lei de Bragg são difractados segundo o ângulo  $\theta$ , que é igual ao ângulo incidente. Desta forma, ao serem conhecidos os parâmetros de rede de um determinado cristal, seria possível determinar o comprimento de onda da radiação incidente.

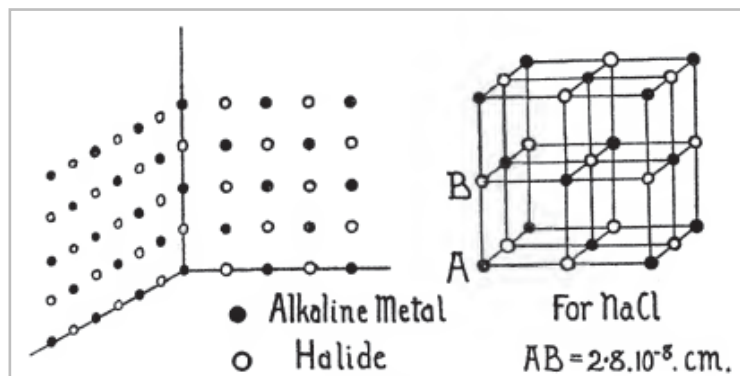


Fig. 33: Estrutura cristalina proposta por L. Bragg para cristais de NaCl. (BRAGG 1913)

Por outro lado, sabendo o comprimento de onda da radiação incidente e os valores dos ângulos de difracção, poder-se-ia estabelecer as distâncias inter-planares no cristal. Bragg determinou o valor da distância inter-planar do cristal de cloreto de sódio (NaCl),  $2,8 \times 10^{-8}$  cm (Fig.33), estabelecendo a primeira escala de medidas para dimensões atômicas em cristais, o que, também, viria a ser muito útil nas determinações de comprimentos de onda dos raios-X. (BRAGG 1913, FILHO 1995, SANTOS 2000)

Com o intuito de investigar de um outro modo as propriedades de radiação reflectidas em cristais, Henry Bragg, desenvolveu um espectrómetro de raios-X, constituído por um tubo emissor, um cristal reflector e uma câmara de ionização. Era disposto de modo que um fino feixe de raios-X de comprimento de onda conhecido caísse sobre um cristal que, ao ser rodado, todos os planos possíveis do cristal pudessem difractar os raios. Estes eram registados pela câmara de ionização, disposta de modo a que pudesse ser movida segundo um círculo e captar os raios em qualquer ângulo. Os raios-X, ao passarem pela câmara de ionização, ionizavam o gás nela contido e a corrente que passava pelo gás ionizado fornecia uma medição da intensidade do feixe de raios-X difractados, qualquer que fosse o ângulo de difracção. (FILHO 1995)

O espectrómetro de raios-X, para além de proporcionar melhores condições para o estudo de estruturas cristalinas, permitiu também que Barkla descobrisse o espectro de raios-X emitidos por metais. Em 1913, verificou que quando estimulados por raios-X incidentes, os metais emitiam dois tipos de radiação característica, denominando-a por radiação *K* e radiação *L*. O critério utilizado para diferenciar ambos os tipos foi a medida da intensidade de absorção, pelo que, a radiação mais penetrante foi classificada como radiação *K*, enquanto que a menos penetrante foi classificada como radiação *L*, tendo concluído que a capacidade de penetração de ambos os tipos de radiação aumentava com o número atómico do absorvedor, como Röntgen verificou, mas que, no entanto, se registava uma descontinuidade nessa absorção. Posteriormente, definiu-se que o poder de penetração estava relacionado com o comprimento de onda, como será referido posteriormente neste trabalho. (FILHO 1995, PULLIN 1939)

Albert Einstein (1879-1955) explicou o efeito fotoeléctrico assumindo que os electrões seriam emitidos de uma superfície metálica se fosse considerado que a energia da radiação incidente, isto é dos fotões, sobre esta era dada por:

$$E = h\nu, \quad (2)$$

onde  $\nu$  seria a frequência de onda da luz e  $h$  a constante de Planck<sup>38</sup>. Esta proposição abriu caminho para R. Whiddington que, em 1911, mediu a energia requerida pelos electrões emitidos pelo filamento do tubo de raios-X para produzir as radiações características (*K* e *L*) da platina, tendo determinado que o seu valor era  $2,3 \times 10^{-8}$  erg

---

<sup>38</sup>  $h \approx 6,63 \times 10^{-34}$  J/s.

( $2,3 \times 10^{-15}$  J), um valor muito próximo do valor de energia calculado de acordo com a expressão acima referida. Dezasseis anos após a descoberta dos raios-X, a sua natureza estava elucidada. (FILHO 1995, PULLIN 1939)

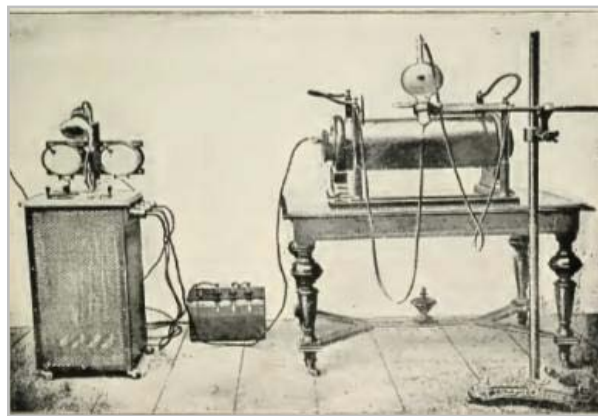


### 3. INSTRUMENTAÇÃO DE RAIOS-X

Poucos foram poucos os acontecimentos na história da Ciência, e, em particular, na história da Medicina, que tiveram um impacto e influência tão profundos na prática desta Ciência, como a descoberta dos raios-X. Quase imediatamente após a sua divulgação, Médicos e Físicos desenvolveram estudos no sentido de desenvolverem o equipamento de raios-X e seus componentes, que permitissem uma vasta aplicação nos campos do diagnóstico e da terapia. (MORGAN 1945)

#### 3.1. Evolução Histórica dos Equipamentos de Raios-X

Os primeiros equipamentos de produção de raios-X consistiam em dois aparelhos: uma fonte de alta voltagem e um tubo de vácuo cujo grau de exaustão fosse elevado (Fig. 34). (PULLIN 1927)

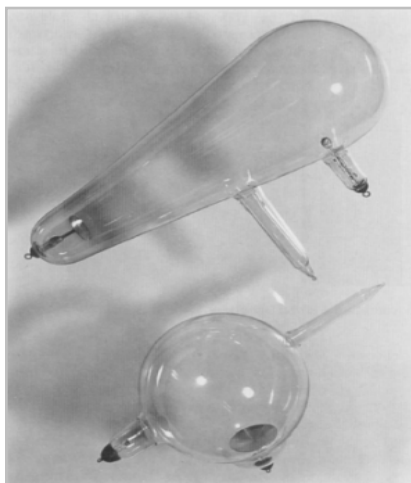


**Fig. 34: Equipamento de raios-X utilizado em princípios do séc. XX. (FREUND 1904)**

Ao longo do século XX, algumas alterações foram sendo introduzidas no equipamento de raios-X, no sentido de não só proporcionar protecção adequada contra a radiação e choques eléctricos, bem como permitir um melhor controlo da quantidade e qualidade da radiação produzida. Tal permitia não só a produção de um feixe de raios-X mais intenso, mas também, quando necessário, a obtenção de radiação de maior poder de penetração. Este progresso foi conseguido ao serem introduzidas duas alterações

fundamentais na instrumentação: um transformador de alta tensão (em substituição da bobina de indução) e um tubo de cátodo quente, que substituiu o tubo de gás. (PULLIN 1927)

### 3.1.1. Os Primeiros Tubos de Raios-X



Um tubo de raios-X é composto, essencialmente, por um tubo de elevado vácuo, de vidro, e por dois eléctrodos (cátodo e ânodo) selados nesse suporte. Nos tubos mais antigos, o tubo era evacuado a baixas pressões, continuando, no entanto, a existir algumas moléculas de gás no seu interior, que eram ionizadas pela passagem de uma corrente eléctrica.<sup>39</sup> (BOWERS 1970, PULLIN 1939)

Fig. 35: Dois tubos de raios-X do ano de 1895. (MOULD 1995)

Durante os primeiros anos, as condições de vácuo existentes nos tubos de raios-X eram asseguradas por vários tipos de bombas de vácuo, como as de Sprengel, Toepler e Geissler, que sofreram várias modificações ao longo do tempo<sup>40</sup>. (KRAISSL 1935)

O contínuo desenvolvimento das técnicas de vácuo foi, em grande parte, resultado das necessidades quer da indústria de produção de lâmpadas, quer da indústria de fabrico de tubos de vácuo, que se iniciou por volta do ano de 1900. A descoberta do electrão por J. J. Thomson em 1897, referida anteriormente no capítulo 1.1, foi possível devido à existência de melhores técnicas de vácuo, obtidas por Crookes, que tentou alcançar um vácuo muito «*próximo da perfeição*», pela utilização de um sistema constituído por uma bomba de Sprengel<sup>41</sup>. As condições de baixas pressões na experiência de Thomson permitiram-lhe verificar a deflexão electrostática do feixe de electrões, ao contrário de investigadores anteriores que, devido à dificuldade em obter condições de vácuo

<sup>39</sup> Estes tubos eram, por esta razão, designados por “*gas tubes*”.

<sup>40</sup> As bombas de Geissler, por exemplo, foram melhoradas pela adição de um dispositivo mecânico para elevar o nível de mercúrio.

<sup>41</sup> Cerca de  $2,7 \times 10^{-3}$  Pa.

adequadas, não verificaram essa deflexão, uma vez que os electrões deflectidos estavam como que protegidos por uma bainha de iões positivos produzidos a partir do gás residual<sup>42</sup>. (REDHEAD 1993)

No entanto, a exigência da obtenção de um vácuo adequado e de modo mais eficiente fez, com que surgissem as primeiras bombas rotativas de mercúrio. Relativamente às anteriormente referidas, apresentavam as vantagens de trabalharem mais rapidamente, serem menos frágeis, necessitarem de menos supervisão por parte do operador, bem como, permitiam obter pressões de cerca de  $10^{-8}$  Torr ( $1,3 \times 10^{-6}$  Pa). Os primeiros modelos foram introduzidos em 1905 por Wolfgang Gaede (1878-1945), na Alemanha. Estas possuíam uma câmara de porcelana e palhetas de deslocamento também de porcelana. À cabeça da bomba eram ligados tubos de aço de entrada e saída de modo a produzir uma junção de evacuação com o correspondente cone, ao qual estavam selados os tubos de evacuação. Estas bombas trabalhavam com mercúrio e podiam ser manuais ou eléctricas. Eram produzidas pressões da ordem de  $10^{-6}$  Torr ( $1,3 \times 10^{-4}$  Pa).

Outros modelos de bombas foram propostos por Gaede, como a bomba de difusão molecular em 1912, e a bomba de difusão a vapor de mercúrio, proposta em 1915 pelo mesmo autor e, em 1916, por Irving Langmuir (1881-1957), nos Estados Unidos da América. A utilização destas bombas de fornecimento de alto vácuo permaneceu até meados do século XX. Porém, é de referir que em 1928, Cecil Burch (1901-1983) propôs um novo modelo de bomba, a bomba difusora de vapor de óleo. (KRAISSL 1935, REDHEAD 1993)

Para a produção de raios-X é necessária uma corrente de electrões que se movam a grande velocidade e de um alvo que interrompa o seu movimento. Consequentemente à passagem de corrente eléctrica entre os dois eléctrodos, são produzidos iões positivos que, ao serem atraídos pelo eléctrodo negativo (cátodo), devido à diferença de potencial estabelecida ao longo do tubo, bombardeavam a sua superfície. Este bombardeamento de iões positivos no cátodo provoca a emissão de electrões que, ao atingirem o alvo, produzem raios-X (Fig. 36). O alvo, frequentemente designado por anti-cátodo, pode ser

---

<sup>42</sup> Esta foi a primeira contribuição fundamental para o avanço da Ciência recorrendo à tecnologia de vácuo.

o eléctrodo positivo (o ânodo), a parede do tubo, ou uma folha metálica ligada ao ânodo. (BOWERS 1970, KAYE 1914, PULLIN 1939)

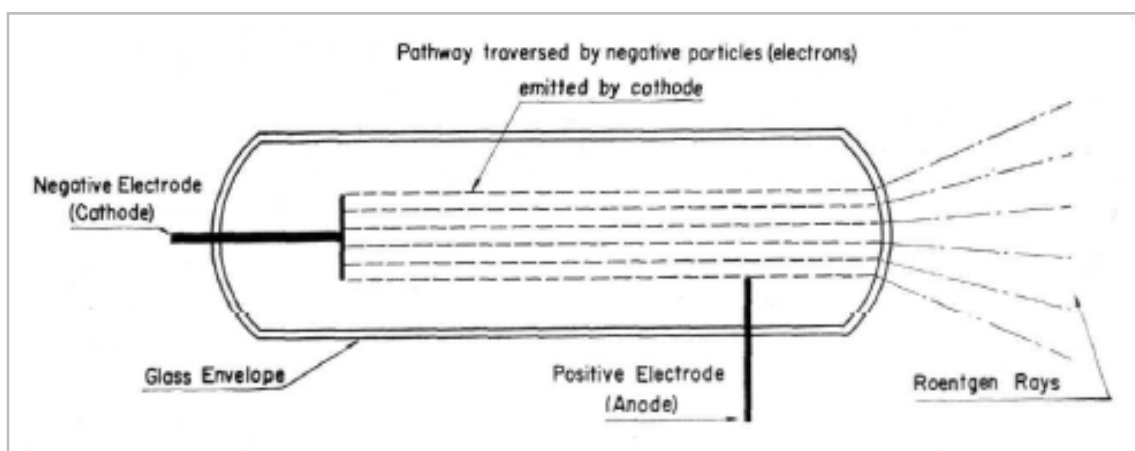


Fig. 36: Esquema do funcionamento de um tubo de Crookes. (MORGAN 1945)

O choque de electrões com o ânodo produz dois tipos de raios-X. Um deles constitui o espectro contínuo (*bremsstrahlung*) e resulta da desaceleração do electrão durante a penetração no ânodo. A forte interacção columbiana provoca a deflexão do electrão incidente, que perde velocidade, provocando, assim, perda total ou parcial da sua energia cinética, sendo esta convertida em fotões de raios-X. Parte da energia cinética do electrão convertida em radiação é tanto maior quanto mais próximo ele estiver do núcleo no momento da emissão. A desaceleração desses electrões ao atingirem o ânodo faz com que a radiação emitida seja constituída por raios-X de diferentes comprimentos de onda, que são emitidos em todas as direcções. É de acrescentar que o material constituinte do ânodo afecta a intensidade, mas não a distribuição do comprimento de onda do espectro contínuo. (CULLITY 1956)

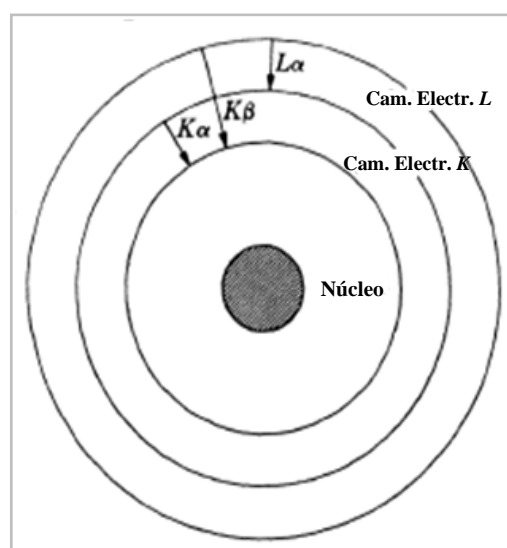
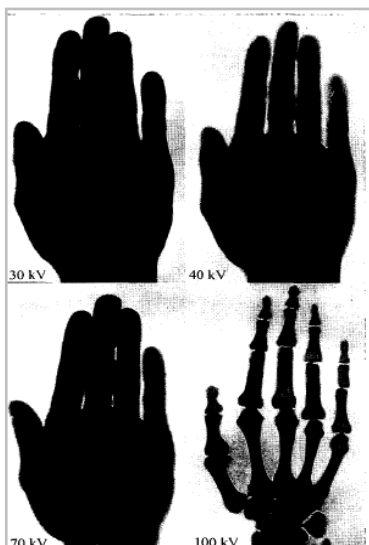


Fig. 37: Representação esquemática de algumas transições electrónicas ocorridas num átomo durante a emissão de raios-X. (Adaptado de CULLITY 1956)

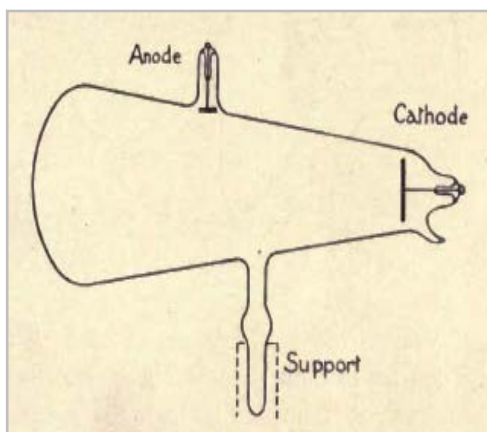
O segundo tipo de raios-X designa-se raios-X característicos do material do ânodo. Durante a interacção dos electrões incidentes, parte da sua energia também pode ser transferida para os átomos com os quais estão a interagir, provocando a ionização de das camadas internas do elemento que constitui o ânodo, deixando o átomo num estado excitado (de alta energia). As lacunas deixadas pelos electrões ejectados são preenchidas por electrões de camadas superiores. Como consequência, são emitidos picos característicos de raios-X, com energia igual à diferença de energia entre as respectivas orbitais superior e inferior, e o átomo volta, novamente, ao seu estado fundamental. A energia emitida é característica do metal constituinte do ânodo. Cada pico característico é designado de acordo com a transição que lhe deu origem. Assim, a transição de electrões da camada  $L$  para a  $K$  dá origem a picos característicos  $K_{\alpha}$  e a transição de electrões da camada  $M$  para a  $K$ , originam radiação  $K_{\beta}$ . (Fig. 37) Devido à multiplicidade de *spin* do electrão da orbital  $p$ , as radiações referidas apresentam os dupletos  $K_{\alpha 1}/K_{\alpha 2}$  e  $K_{\beta 1}/K_{\beta 2}$ . (CULLITY 1956)



**Fig. 38: O efeito da voltagem no poder de penetração dos raios-X produzidos. (VERMEULEN 2002)**

O comprimento de onda dos raios-X depende da rapidez de desaceleração relativamente à natureza do alvo. Quanto mais rápida é a paragem, tanto mais curtos e penetrantes são os raios-X produzidos. Por sua vez, o poder de penetração dos raios-X depende do seu comprimento de onda, pelo que quanto mais curto for o comprimento de onda, mais penetrante é o raio-X. Vulgarmente, designam-se raios-X “duros” aos muito penetrantes e “moles” aos que são fracos em poder de penetração. (PULLIN 1939)

É claro que, quanto mais rapidamente se moverem os electrões, tanto mais violento será o choque ao atingirem o alvo. De forma a produzirem-se raios-X “duros”, é essencial dispor de um fluxo de electrões que se movam a grande velocidade no tubo de raios-X, que é determinada pela voltagem aplicada. É a diferença de potencial entre os eléctrodos positivo e negativo do tubo que os envia a partir do eléctrodo negativo para o positivo, sobre um alvo colocado em posição favorável. A “dureza” de um feixe de raios-X depende, assim, acima de tudo, da voltagem. (Fig. 38) (PULLIN 1939)



**Fig. 39: Tipo de ampola com que Röntgen descobriu os raios-X. (KAYE 1914)**

O potencial eléctrico com que Röntgen trabalhou era relativamente baixo (alguns milhares de volts), pelo que os raios-X produzidos possuíam baixo poder de penetração. Se a voltagem aplicada tivesse sido na ordem de centenas de milhares de volts, como nas condições experimentais das primeiras décadas do séc. XX, o choque dos electrões no vidro teria sido tão violento que o teria rebentado. Assim, nos primeiros tubos de raios-X, o próprio vidro formava o alvo. No entanto, rapidamente se verificou que era necessária a introdução de uma modificação para a produção de raios-X, como se verá posteriormente. (KAYE 1914, PULLIN 1939)

O tipo de ampola com a qual Röntgen descobriu os raios-X em 1895 era um tubo de forma cónica, no qual se encontravam selados dois eléctrodos metálicos, encontrando-se o cátodo, com a forma de um disco plano montado na extremidade mais estreita, e o ânodo, disposto num pequeno tubo lateral (Fig. 39). Os raios-X eram produzidos na área onde os raios catódicos atingiam o vidro, na extremidade mais larga do tubo, produzindo fluorescência. De modo a obter-se uma imagem nítida, a fonte de raios-x deveria ter um feixe do menor diâmetro possível, pelo que, para a obtenção das primeiras radiografias, a extremidade do tubo era coberta com uma folha de chumbo com um pequeno orifício. Apenas os raios que atravessavam através do orifício poderiam ser utilizados, pelo que se tratava de uma produção de raios-X ineficiente, sendo necessários longos tempos de exposição, acabando estes tubos por não possuírem muito tempo de duração. (BOWERS 1970, CHRISTIE 1913, KAYE 1914)

Vários investigadores tentaram de várias formas prolongar o tempo de duração dos tubos, de diminuir o tempo de exposição e de melhorar a definição das radiografias. Baseados na hipótese (que depois se provou ser um facto) de que uma fluorescência activa era essencial na produção de raios-X, construíram tubos de vidro fluorescente (como vidro de urânio e didímio)<sup>43</sup>, com o intuito de aumentar a produção da radiação.

<sup>43</sup>Henri Becquerel (1852-1908), sugerido por H. Poincaré, investigou a ocorrência de fosforescência de diversas substâncias com a produção de raios-X. Entre as várias substâncias testadas, os sais de urânio

No entanto, verificou-se, posteriormente, que tal fluorescência não era significativa. (KAYE 1923)



**Fig. 40: Um modelo de tubo de foco. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

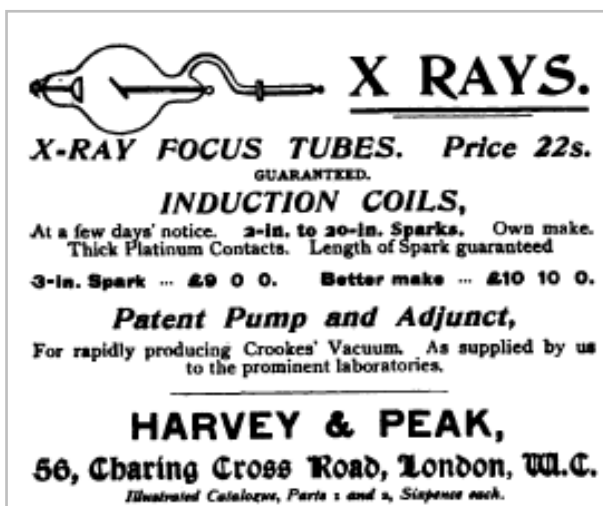
Um grande desenvolvimento na concepção dos tubos de raios-X foi proposto, no mesmo ano, por Herbert Jackson (1863-1936), em Inglaterra, que desenhou um novo tubo, o tubo de foco (Figs. 40, 41 e 42), que permitia focar o feixe de electrões sobre um

terceiro eléctrodo introduzido, um alvo de metal de pequena área colocado no centro do tubo. (KAYE 1914)

Comparativamente aos tubos anteriores aos tubos de foco, verificou-se que com estes últimos os tempos de exposição reduziram consideravelmente e que o feixe de raios-X produzido era o mais estreito possível, permitindo a obtenção de radiografias com uma maior definição e detalhe, mesmo a distâncias curtas entre o tubo e a placa fotográfica. Tal foi conseguido utilizando um cátodo côncavo de alumínio. Dado que os electrões eram emitidos perpendicularmente à superfície do cátodo, e seguiam, posteriormente, o seu trajecto em linhas, virtualmente, rectas (independentemente da posição do ânodo), convergiam para o centro da curvatura do cátodo (constituído por alumínio), sendo neste ponto que era colocado o alvo (ou anti-cátodo), constituído por platina, e com uma inclinação de quarenta e cinco graus relativamente ao eixo do tubo. A escolha do metal dos eléctrodos deve-se ao facto do alumínio não sofrer desintegração com consequente descoloração das paredes do tubo e da platina ser uma das substâncias mais opacas aos raios-X, sendo a maior parte da radiação absorvida pelo metal, produzindo raios-X por um processo de reflexão difusa. (BOWERS 1970, KAYE 1914, PULLIN 1939)

---

contribuíram para a descoberta da radioactividade em 1896, cerca de dois meses após a descoberta dos raios-X.



**X RAYS.**  
**X-RAY FOCUS TUBES. Price 22s.**  
 GUARANTEED.  
**INDUCTION COILS,**  
 At a few days' notice. 3-in. to 20-in. Sparks. Own make.  
 Thick Platinum Contacts. Length of Spark guaranteed  
 3-in. Spark ... £9 0 0. Better make ... £10 10 0.  
**Patent Pump and Adjunct,**  
 For rapidly producing Crookes' Vacuum. As supplied by us  
 to the prominent laboratories.  
**HARVEY & PEAK,**  
**56, Charing Cross Road, London, W.C.**  
*Illustrated Catalogue, Parts 1 and 2, Sixpence each.*

Fig. 41: Publicidade de uma empresa de comércio de instrumentação de raios-X, incluindo aos tubos de foco (1896). (MOULD 1995)

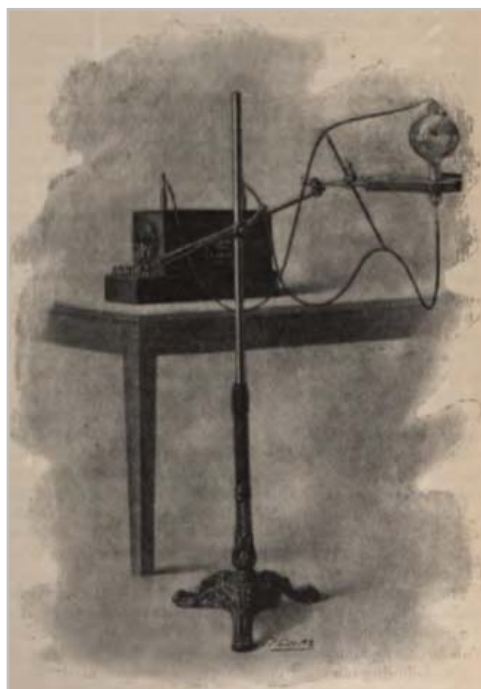


Fig. 42: Suporte para tubo de foco. (BELOT 1905)

Crookes mostrou em 1874 que a existência de um orifício no cátodo focava os raios catódicos, e, cinco anos mais tarde, construiu uma ampola com um disco de platina na zona de focagem, a fim de testar o efeito calorífico dos raios. No entanto, terá sido Jackson o primeiro a sugerir a sua utilização em Março de 1896, ainda que Crookes tenha desenvolvido um protótipo de um tubo de foco (Fig. 43). (CHRISTIE 1913, CROOKES 1879, ISENTHAL 1901, ROWLAND 1896d)



Fig. 43: Protótipo de um tubo de foco, proposto por Crookes em meados do século XIX. (CROOKES 1879)

A utilização do tubo de foco rapidamente se espalhou por todo o Mundo e suplantou todos os outros tubos propostos até então. O resultado era uma diminuição do tempo de exposição, acompanhada por uma melhoria da qualidade das radiografias e a possibilidade de melhor visualização de estruturas ou órgãos mais profundos do corpo.



Para além disso, o aumento da produção de radiação e da definição resultantes da focagem do feixe de raios-X, tornou possível uma melhor definição das sombras de um ecrã fluorescente<sup>44</sup>. (PULLIN 1927, ROWLAND 1896c, ROWLAND 1896d)

Durante o ano de 1896, Cientistas de diferentes países testaram vários tubos de diferentes formas e alvos de diferentes metais nas suas investigações sobre os raios-X. No fim desse ano, sabia-se que não era a forma do tubo que importava e que os melhores alvos eram os de massa atómica relativa ( $A_r$ ) mais elevada, como o urânio ( $A_r$  (U) = 238), tungsténio ( $A_r$  (W) = 184) e a platina ( $A_r$  (Pt) = 195), sendo esta preferencial, uma vez que era mais fácil de trabalhar. Por vezes, o alumínio ( $A_r$  (Al) = 27), apesar da sua massa atómica relativa ser baixa, também era usado, uma vez que permanecia estável num tubo de descarga, contrariamente ao alvo de platina, em que se verificava uma tendência para ficar coberto por uma fina camada de platina de cor escura, produzida pelo efeito destrutivo da descarga no metal. (BOWERS 1970)

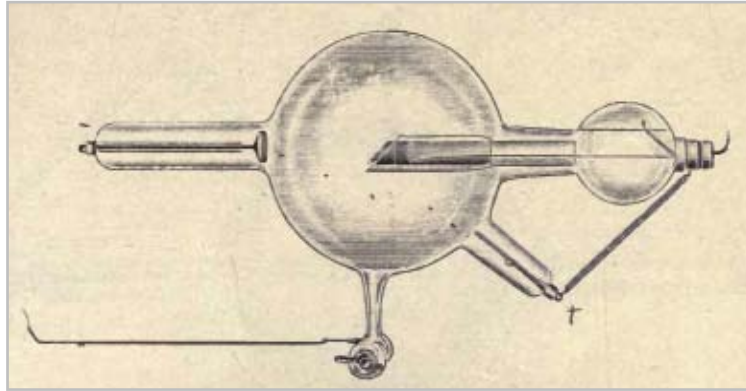
As primeiras ampolas de raios-X desenvolvidas possuíam um baixo poder de produção de radiação, relativamente aos padrões actuais, sendo necessários, na maioria dos casos, tempos de exposição de longa duração. Como já referido, verificou-se que o poder de penetração dos raios-X e a velocidade com que se podia obter uma radiografia adequada aumentava com o aumento da voltagem aplicada. No entanto, a maioria da energia do feixe de electrões era convertida em calor na região do tubo onde o feixe atingia o alvo, e à medida que aumentava a potência da corrente aplicada ao tubo, tornando-se, assim, necessário aumentar a massa atómica relativa do metal do alvo, de modo a prevenir o sobreaquecimento<sup>45</sup>. A utilização de um alvo de platina sólido e de maior dimensão seria dispendiosa, pelo que foram adoptados alvos de platina banhados a níquel, até à introdução do tungsténio, sendo este a escolha preferencial. No entanto, apesar da capacidade do tungsténio para resistir ao efeito do bombardeamento dos electrões ser maior, também se verificavam limitações, como o aparecimento de finas fissuras na superfície do alvo, levando a que parte do feixe de electrões gerasse raios-X nos lados ou na base das fissuras. (BOWERS 1970)

---

<sup>44</sup> Algumas das primeiras aplicações com sucesso foram: localização de corpos estranhos na faringe, diagnóstico de sarcoma na tibia, bem como de lesões no cotovelo, entre outras.

<sup>45</sup> Nos primeiros tubos de raios-X, os finos alvos de platina poderiam ser facilmente vaporizados pelo feixe de electrões.

Logo no início do século XX surgiu na Alemanha um outro tipo de tubos de raios-X, os tubos de água (Fig. 44). Estes possuíam um acessório para arrefecimento com água, em contacto directo com o anti-cátodo, de modo a evitar o seu aquecimento. (KAYE 1914, KNY-SCHEERER 1905)



**Fig. 44: Tubo de água utilizado na produção de raios-X. (KAYE 1914)**

A necessidade de um pequeno ponto focal no alvo significa que era desenvolvido calor intenso numa pequena área, tendo que ser dissipado pelo alvo de metal. Verificou-se que a capacidade do alvo de metal para conduzir calor constituía o factor que limitava a energia que podia ser aplicada de forma segura, sem danificar o alvo e, deste modo, limitar a intensidade dos raios-X que poderiam ser produzidos. Foi com o intuito de contornar esta limitação que surgiu o tubo de focagem linear, desenhado por Carl Müller (1845-1912). A área de trabalho do alvo deste tubo era formada por uma tira estreita e o seu cátodo emitia um feixe de electrões tipo cordão. O ângulo da inclinação do alvo era tal, que visto na direcção de saída dos raios-X, a tira é reduzida a um quadrado de lado igual à largura da tira. Os raios-X surgiam a partir de uma fonte quadrada, apesar da maior parte da área do alvo em forma de tira se destinasse à condução do calor gerado. (BOWERS 1970, HOFMAN 2010)

### **3.1.2. Tubos de Raios-X com Regulação de Vácuo**

Até 1920 a maioria dos tubos de raios-X dependia da presença de algum gás residual no seu interior para que ocorresse a descarga eléctrica. Neste processo, algumas moléculas de gás eram adsorvidas no vidro das paredes do tubo, pelo que o vácuo tendia a

umentar e o tubo tornava-se “duro”, necessitando, geralmente, de um fornecimento de voltagem superior para se manter a corrente de descarga. Como resultado, obtinha-se uma radiação mais penetrante, embora de menor intensidade, que levaria a uma redução de contraste nas radiografias obtidas. Alternativamente, se o tubo fosse “mole”, decorrente de um vácuo muito baixo, os raios-X produzidos possuíam baixo poder de penetração, devido à diminuição da energia dos electrões que atingiam o ânodo, sendo insuficiente para a obtenção de radiografias com um contraste adequado. A fim de se obterem condições satisfatórias e uniformes de desempenho destes tubos, verificou-se que o grau de vácuo tinha de ser mantido, aproximadamente, constante. Assim, vários tubos de raios-X com reguladores de vácuo foram desenhados, de modo a que houvesse um controlo do vácuo, através da libertação de pequenas quantidades de gás no interior do tubo. (BOWERS 1970)

Em 1896, H. Henry Lyman Sayen (1875-1918), nos Estados Unidos da América, desenhou o primeiro tubo de raios-X com regulação de vácuo, e, dentro de poucos anos, outros modelos deste tipo foram comercializados nesse país, pela empresa “Queen & Co.”, assim como noutros países da Europa (Fig. 45). (FELDMAN 1989, KASSABIAN 1907, MOULD 1995)

**The Queen Self Regulating X-Ray Tube**

*Has advantages possessed by no other Tube. Ask for special circular.*

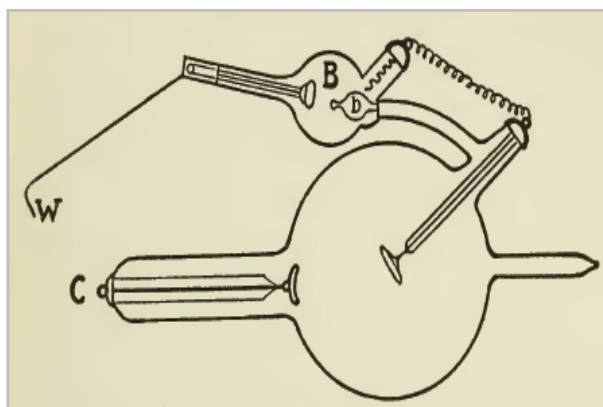
- “Especially Ingenious.”—Prof. Dr. W. C. Roentgen.
- “Most Satisfactory.”—Lord Kelvin.
- “The best I have yet seen.”—Dr. A. W. Goodspeed, Univ. Pa.
- “Operator can make it do exactly as he desires.”—Dr. C. L. Leonard, Univ. Pa.
- “Perfectly satisfied in every respect.”—Elliot Woods, Washington, D. C.
- “It can take care of itself.”—Dr. H. P. Howditch, Harvard College.
- “Self regulating feature a success.”—Prof. D. C. Miller, Case School.

**We make the LARGEST and BEST INJECTIONS CHILDS, Localization Apparatus, Sweet's Indicator, Radiographic Table.**

*All described in our new Catalogue of X-Ray Apparatus.*

**QUEEN & CO., Inc.,**  
J. G. GRAY, Pres.

49 Fifth Avenue, New York, 10011  
1898  
1010 Chestnut St., Philadelphia, Pa.

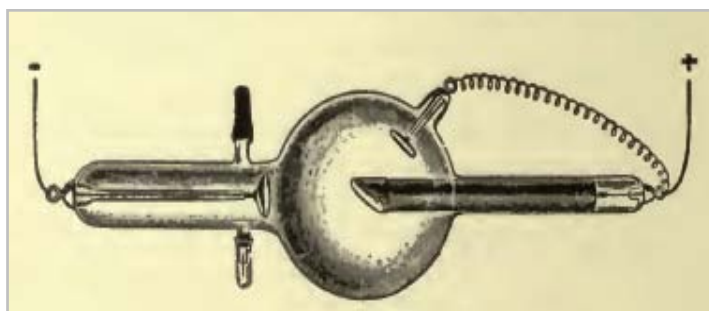


**Figs. 45 e 46: Publicidade da empresa “Queen & Co.” ao tubo de raios-X com regulação de vácuo (FELDMAN 1989) e respectiva figura ilustrativa do mesmo. (KASSABIAN 1907)**

Este tubo (Fig. 46) possuía uma ampola acessória (B), na qual estava selada uma pequena ampola (b) contendo clorato de potássio (KClO<sub>3</sub>), ligada directamente à ampola principal; nesta, quando o vácuo era muito elevado, a corrente não passava, verificando-se a ocorrência de uma descarga entre o cátodo e o fio ajustável (W), que

provocava o aquecimento da ampola, o que conduzia à vaporização do clorato de potássio. Daqui resultava uma diminuição do vácuo na ampola principal e o restabelecimento da descarga. (CHRISTIE 1913) Outros modelos de tubos semelhantes ao descrito anteriormente foram propostos, diferindo apenas nalgumas características<sup>46</sup>. (KASSABIAN 1907)

O paládio, quando aquecido até à incandescência, tem a propriedade de permitir que o hidrogénio o atravesse. Um dos sistemas de regulação de vácuo em tubos de raios-X, desenvolvido por Paul Villard (1860-1934), em Paris, em 1898, designando-se estes tubos por tubos reguladores de osmose (Fig. 47), utilizava esta característica do referido metal. Uma cavilha de paládio era selada no lado da ampola de vidro, com uma extremidade projectada para o exterior desta. Ao aquecer a referida extremidade com uma chama de gás, a platina tornava-se porosa e absorvente do hidrogénio da chama que atravessa o metal em direcção à ampola, reduzindo, desta forma o vácuo do tubo<sup>47</sup>. (CHRISTIE 1913, KASSABIAN 1907, PULLIN 1927)



**Fig. 47: Exemplo de um tubo regulador de osmose.**  
(KASSABIAN 1907)

Desde o início do estudo das descargas eléctricas num tubo de vácuo, era conhecido o facto de que, à medida que o gás residual ia sendo gradualmente usado, mais difícil seria a passagem da descarga. Em 1879, já tinha sido sugerido por William Crookes, de modo a evitar que os tubos se tornassem “duros” com a diminuição da quantidade de

---

<sup>46</sup> Nalguns destes modelos, a descarga passava directamente para a ampola acessória que continha hidróxido de potássio (KOH), outros permitiam uma regulação do vácuo mais simples, sem que fosse necessária a interrupção dos raios-X produzidos (tubo “*Monopol*”) e noutros o rápido aumento do vácuo devido à vaporização do anti-cátodo de platina, era contornado pelo facto de provocar a passagem da maior parte da corrente para o ânodo.

<sup>47</sup> Noutros tubos reguladores de osmose eram utilizadas substâncias absorventes de gases, como carvão ou mica. Uma pequena quantidade destas era colocada numa ampola acessória de baixo vácuo, e, através do seu aquecimento, ocorria a libertação gases e a sua reabsorção após arrefecimento.

gás contida no interior do tubo, que dificultava a passagem de corrente, a introdução de uma ampola auxiliar contendo uma pequena quantidade de potassa, ligada a um tubo de raios-X. Ao aquecer a potassa, poderia regenerar-se o gás no interior do tubo. Este foi um dos primeiros reguladores de vácuo introduzidos. (PULLIN 1927)

Por volta de 1900, surge um dispositivo de regulação de vácuo automático (Fig. 48). Num tubo lateral era colocada mica com gás absorvido, que poderia ser aquecida através de uma descarga entre eléctrodos auxiliares ligados em série a um gerador de faísca externo. Com o endurecimento do tubo, o fornecimento de voltagem aumentava. Quando este se tornava suficiente para produzir uma faísca através do gerador externo, ocorria uma descarga entre os eléctrodos auxiliares. Este processo aquecia a mica e o gás era dissipado, reduzindo, assim, o vácuo no tubo. (BOWERS 1970, PULLIN 1927)

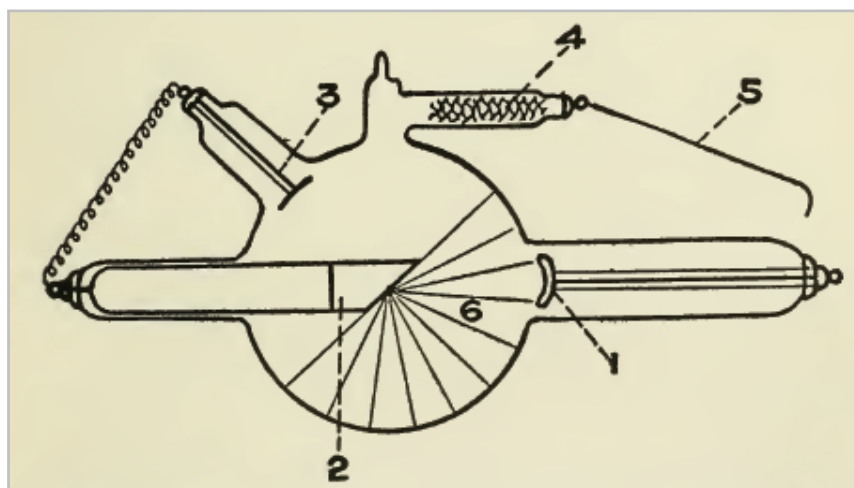


Fig. 48: Tubo de foco com regulação de vácuo automático. 1. Cátodo; 2. Alvo; 3. Ânodo auxiliar; 4. Regulador de vácuo; 5. Fio ajustável; 6. Raios-X. (CHRISTIE 1913)

### 3.1.3. Tubos de Raios-X Termiônicos

Os tubos de raios-X anteriormente referidos, para além da desvantagem relativamente à variação do grau de vácuo após um determinado período de uso, apresentavam, também, uma inter-dependência entre a voltagem ao longo do tubo e a intensidade da corrente estabelecida. Tal verificava-se, uma vez que a capacidade de penetração dos

raios-X depende da voltagem, bem como a intensidade depende da corrente<sup>48</sup>. Num “*gas tube*”, uma redução da pressão do gás levava a um fornecimento de uma voltagem superior e, conseqüentemente, à produção de raios-X mais penetrantes. No entanto, devido à existência de pouco gás no tubo, a corrente diminuía e a intensidade do feixe dos raios decrescia. (BOWERS 1970)

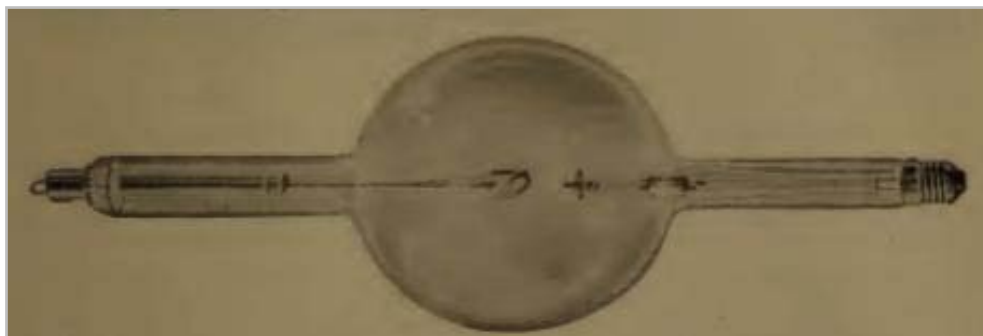
Até 1913, a principal alteração nos modelos de tubos de raios-X foi a introdução de uma focagem electrostática do feixe de electrões emitidos do cátodo em direcção a um alvo de tungsténio, em vez de atingirem as paredes do tubo. No entanto, a intensidade deste feixe de electrões era pouco controlada, pelo que o comportamento do tubo era bastante instável. No entanto, nesse ano, surgiram os tubos de raios-X termiónicos, desenvolvidos no laboratório de investigação da empresa “*General Electric Company*”, por William D. Coolidge (1873-1975) em 1913, nos Estados Unidos da América. Estes tubos, designados por tubos de Coolidge (Fig. 49), constituíram um dos maiores avanços no desenvolvimento de tubos de raios-X. (KNOX 1921, PULLIN 1939)

A característica principal destes tubos é que não dependiam da ionização de qualquer gás residual para permitir a passagem de corrente, o que tornou possível controlar a voltagem e a corrente de modo independente, através da variação da corrente que atravessava o cátodo. O vácuo existente era tão perfeito quanto possível (de tal ordem que quando se aplicava uma corrente de alto potencial aos eléctrodos do tubo, quando o filamento catódico estava frio, a corrente não passava), e os electrões eram produzidos por emissão termiónica, isto é, levando um metal a uma temperatura muito alta, verificava-se uma abundante emissão de electrões a partir da sua superfície.<sup>49</sup> (KNOX 1921, HOFMAN 2010, PULLIN 1939)

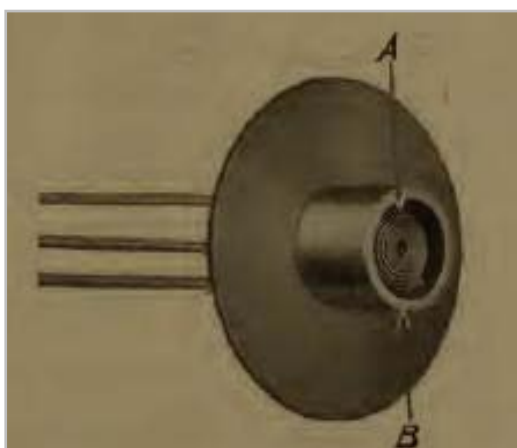
---

<sup>48</sup> A penetração é a medida da distância que os raios-X conseguem atravessar um corpo a ser radiografado; a intensidade é a medida do grau de escurecimento obtido numa placa fotográfica ao fim de determinado tempo.

<sup>49</sup> Tal tinha sido verificado por John A. Fleming (1849-1945) e Owen W. Richardson (1879-1959) no início do século XX.



**Fig. 49: Tubo de Coolidge, tipo Universal. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**



**Fig. 50: Cátodo do Tubo de Coolidge, tipo Universal. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**

O cátodo (Fig. 50) (em modelos de tubos anteriores era um bloco de metal) era constituído por um filamento em espiral de tungsténio (A) aquecido até à incandescência através da passagem de uma corrente que o atravessava. Este filamento era, normalmente, montado no interior, e encontrava-se electricamente ligado a um fino bloco de molibdénio (B) que focava o feixe de electrões em direcção ao centro da superfície

do alvo. O anti-cátodo ou alvo, que servia também de ânodo (Fig. 51), era constituído por uma peça maciça de tungsténio (C), metal que reúne duas características necessárias para este fim: ser muito denso e apresentar um ponto de fusão muito elevado. Este filamento de tungsténio era ligado a um cilindro de molibdénio (D) e suportado por um tubo de ferro (E). (BOWERS 1970, GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)



**Fig. 51: Ânodo do Tubo de Coolidge, tipo Universal. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**

A intensidade dos raios-X produzidos depende somente da corrente do feixe de electrões, que é função da temperatura do filamento, e, por conseguinte, a regulação desse feixe pode ser obtida pelo controlo do aquecimento do filamento. A capacidade de penetração dos raios produzidos depende, tal como nos “*gas tubes*”, apenas da diferença

de potencial entre os eléctrodos. Foram construídos tubos de Coolidge que trabalhavam com 300 000 V, produzindo raios de tal penetração que atravessavam doze centímetros de aço compacto. Assim, a intensidade e a penetração dos raios-X produzidos são controladas de modo independente, através da regulação da corrente que atravessava o filamento e da voltagem estabelecida no tubo, respectivamente. (KAYE 1914, MORGAN 1945, PULLIN 1939)

Devido à sua eficácia, rapidamente foi estabelecido o seu uso, particularmente nos Estados Unidos da América, mas, no entanto, na Europa, só foram adoptados com o início da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), pelo que durante mais de uma década após o aparecimento dos tubos de Coolidge eram ainda usados os designados “*gas tubes*”. (MEGGIT 2008, VERMEULEN 2002)

Os tubos de Coolidge permitiram trabalhar a energias mais altas e com pequenas áreas no alvo, pelo que era possível obter uma produção de radiação dez vezes superior à verificada nos primeiros “*gas tubes*”. A introdução do tubo de Coolidge na prática da Radiologia tornou possível o controlo das exposições à radiação, de modo preciso e consistente, bem como tornou possível obter e manter pressões muito mais baixas (inferiores a  $10^{-3}$  Pa) comparativamente às obtidas no final do século XIX. (FELDMAN 1989, HOFMAN 2010, MORGAN 1945, VERMEULEN 2002)

Até 1920, a “*General Electric Company*” desenvolveu e fabricou outros tipos de tubos de Coolidge, os quais possuíam algumas características inovadoras relativamente ao primeiro modelo proposto, do tipo Universal, e que importam, sumariamente, referir:

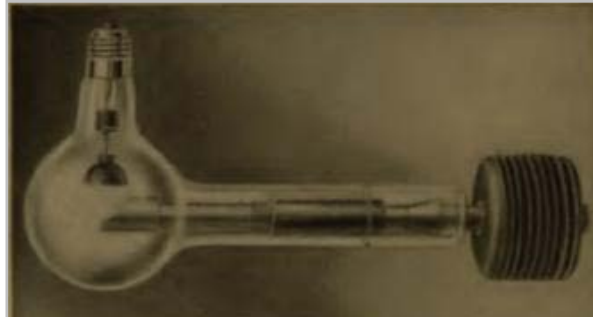
a) Tubo de Coolidge, tipo Radiador (Fig. 52): as características gerais eram semelhantes às do tipo Universal, mas, no entanto, este tipo de tubo de Coolidge permitia a rectificação da sua própria corrente. A sua utilização aplicava-se apenas para efeitos de diagnóstico, sendo recomendado para radiografia e radioscopia. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)



**Fig. 52: Tubo de Coolidge, tipo Radiador. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**

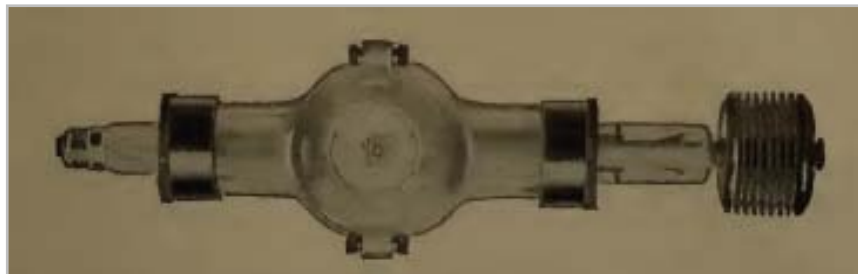


b) Tubo de Coolidge, tipo Radiador dental (Fig. 53): apenas aplicável a trabalho em Medicina Dentária, na realização de radiografias de dentes e maxilares. Este tubo era semelhante ao tubo de Coolidge tipo radiador, excepto na sua forma e construção, que foram especialmente adaptadas à respectiva aplicação. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)



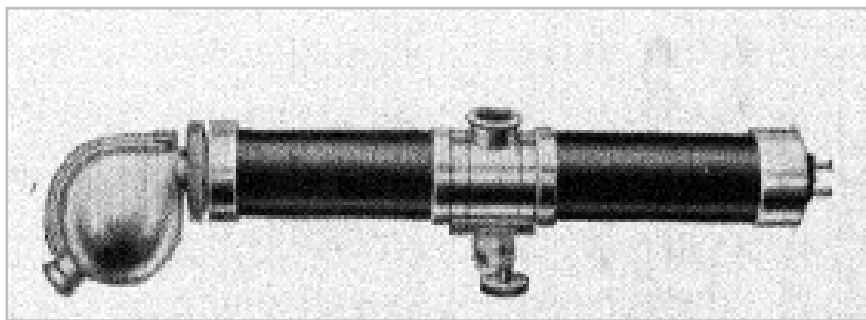
**Fig. 53: Tubo de Coolidge, tipo Radiador dental. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**

Foram também introduzidos modelos dos dois tipos de tubos de Coolidge acima referidos, encapsulados em protecções de vidro com chumbo (Fig. 54). (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)



**Fig. 54: Tubo de Coolidge, tipo Radiador encapsulado numa protecção de vidro constituído por chumbo. (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1920)**

Pela mesma época em que Coolidge apresentou a sua proposta de um novo modelo de tubos, surgiram outros tubos de raios-X baseados no mesmo princípio do cátodo quente, ainda que com outras características, como o tubo “*Metalix*” (Fig. 55), que era feito quase totalmente de metal, oferecendo, assim, um elevado grau de protecção para o operador. É de referir que, anteriormente, para se atingir tal finalidade, era comum alojar-se o tubo de raios-X numa caixa de alumínio, mas, no entanto, este procedimento aumentava o custo de aparelhagem, e dificultava o emprego da técnica, pelo seu peso e volume. (BOWERS 1970, HOFMAN 2010, PULLIN 1939)



**Fig. 55: Tubo “Metalix”. (PULLIN 1927)**

O tubo “Metalix”<sup>50</sup> foi proposto por Albert Bouwers (1893-1972) da empresa “Philips”, em meados de 1920, e permitia a produção de raios-X no interior de uma câmara metálica que constituía a parte principal do tubo. Toda a radiação proveniente do tubo era blindada, excepto o feixe principal de raios-X, que atravessava uma janela de vidro. O metal era um filamento constituído por crómio e ferro, que podia ser selado directamente nas extremidades do tubo para se obter um bom vácuo. Em vez de um alvo maciço de tungsténio empregue no tubo de Coolidge, era usado um botão de tungsténio montado num suporte de cobre. É importante referir que ocorreu um outro desenvolvimento nos tubos “Metalix”, a protecção dos cabos de alta tensão. Tal foi também aplicado num pequeno equipamento de raios-X portátil, designado “Metalix Junior”. Este foi apresentado no Segundo Congresso Internacional de Raios-X, em Estocolmo, em Junho de 1928, demonstrando-se que este recente modelo de equipamento de raios-X proporcionava protecção contra radiação desnecessária, bem como o fornecimento de alta voltagem, pelo que a sua introdução impulsionou grandemente o desenvolvimento de equipamentos de raios-X que permitissem práticas mais seguras e uma utilização mais prática, nomeadamente, no que respeita, também, à facilidade de transporte. (HOFMAN 2010, MOULD 2011, PULLIN 1939)

Um outro desenvolvimento posterior foi o tubo com um ânodo rotatório, designado por tubo “Rotalix”, introduzido em 1929 pela “Philips”. A área de trabalho deste tubo era continuamente alterada, pelo que a maioria da área do metal estaria, ainda, efectivamente, disponível para dissipar o calor. (BOWERS 1970, HOFMAN 2010, MOULD 2011)

---

<sup>50</sup> Este modelo de tubos de raios-X, teve um outro precedente, o primeiro tubo de raios-X de metal, desenvolvido por E. A. Woodward em Fevereiro de 1896.

A eficácia dos tubos de raios-X era extremamente baixa. Da energia fornecida, apenas 1% era utilizada; toda a restante fracção se perde, sendo, sobretudo, convertida em calor, que aumenta a temperatura do alvo (daí ter sido importante a introdução de alvos constituídos por metais de ponto de fusão muito elevado) e das paredes do tubo. Esta limitação foi, contornada, de certa forma, pelos já referidos modelos de tubos de raios-X<sup>51</sup>. (PULLIN 1937)

Embora fosse, geralmente, muito elevada a voltagem com que opera um tubo de raios-X, a quantidade de energia total consumida pela ampola era sempre muito baixa, uma vez que a intensidade da corrente era baixa, pelo que a mesma, no campo da Radiologia, não se mede em amperes (A), mas em miliamperes (mA). Nos primeiros tempos da Radiologia, nos tubos utilizados para obter radiografias eram aplicadas correntes de 5 a 300 mA, com uma voltagem relativamente baixa e por períodos curtos. Por outro lado, em casos em que o tempo de exposição não era tão importante como a alta penetração, o tubo era construído de modo a suportar altas voltagens e, conseqüentemente, restringido a correntes relativamente pouco intensas. (PULLIN 1937)

Em meados de 1930 construíram-se tubos de raios-X com sistemas aperfeiçoados de resfriamento pela água, para 20 ou 30 mA contínuos, a 220 000 V. (PULLIN 1937)

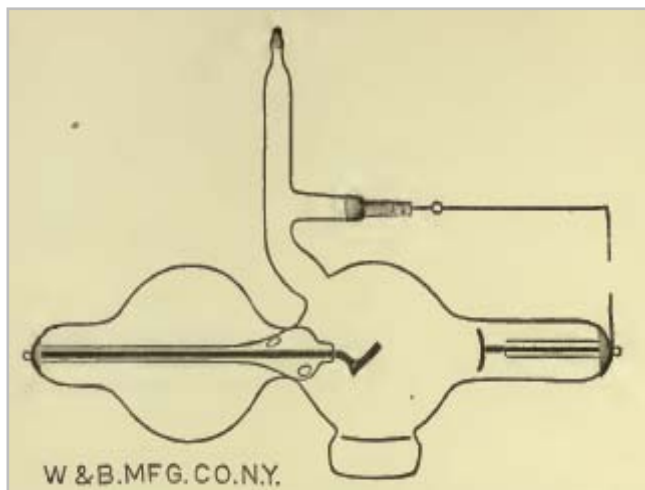
### **3.1.4. Tubos de Raios-X utilizados em Radioterapia**

Os tubos de raios-X utilizados para fins terapêuticos eram praticamente semelhantes, no grau de vácuo, aos empregues no diagnóstico. Eram auto-regulados, ou seja, o grau de vácuo podia ser alterado automaticamente. Os raios provenientes de um tubo cujo grau de vácuo fosse baixo, produziam uma alteração precoce e rápida nos tecidos. Quando era empregue um tubo menos “duro”, observavam-se mais alterações tecidulares, uma vez que nessas condições, os raios-X são, consideravelmente, menos penetrantes e mais rapidamente absorvidos pelos tecidos. Nos casos de lesões mais profundas nas várias cavidades do corpo (como carcinomas do útero ou estômago, entre outros) eram empregues, de um modo geral, tubos de foco contendo uma prolongação, a qual era

---

<sup>51</sup> Por exemplo, no tubo de Coolidge a própria radiação do alvo dissipa o calor. Outros modelos possuíam planos de metal em ligação térmica com o alvo, de modo a aumentar a superfície de irradiação.

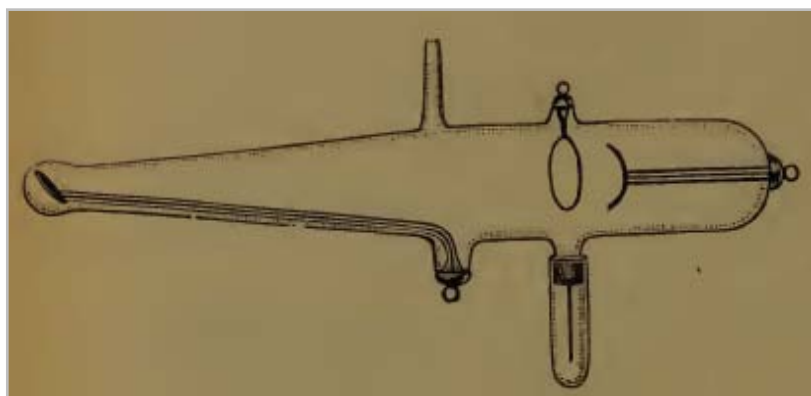
introduzida na cavidade em questão. O tubo deveria ser de “dureza” média, verificando-se que a projecção dos raios-X produzidos na direcção da referida prolongação. (KASSABIAN 1910, KNY-SCHEERER 1905)



**Fig. 56: Tubo de raios-X utilizado em Radioterapia.**  
(KASSABIAN 1907)

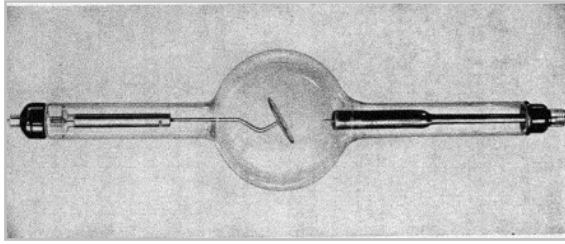
Foram introduzidas algumas características na concepção destes tubos, a fim de conferir um maior grau de protecção, tanto para o operador, tanto para o paciente, como por exemplo: os tubos eram constituídos por vidro contendo chumbo, excepto na abertura mais inferior por onde passava a radiação, protegendo o operador e limitando a área irradiada (Fig. 56);

a introdução de um ânodo secundário (reflector), cujos raios reflectidos actuavam apenas numa área de superfície muito limitada (Fig. 57) e o aumento de corrente, conseguido por alterações na constituição do metal do ânodo, que permitia exposições mais curtas. (FREUND 1904, KASSABIAN 1907, KNY-SCHEERER 1905)



**Fig. 57: Tubo de raios-X “Müller-Uri” para Radioterapia.** (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)

Após a introdução no mercado dos tubos de Coolidge, durante a segunda década do século XX, a maioria dos tubos empregues em Radioterapia, nomeadamente em tratamentos terapêuticos mais profundos, foram concebidos para operarem até 220 kV.



**Fig. 58: Tubo de raios-X convencional para Radioterapia profunda, constituído por um alvo de folha fina. (CLARK 1932)**

Em Radioterapia, as características originais dos já referidos tubos de Coolidge eram mantidas, tais como, ampola de vidro, filamento de espiral e alvo de tungsténio maciço. A introdução de alvos de folha fina (Fig. 58) que permitiam uma disseminação mais rápida de calor, foi um desenvolvimento mais recente. (CLARK 1932)

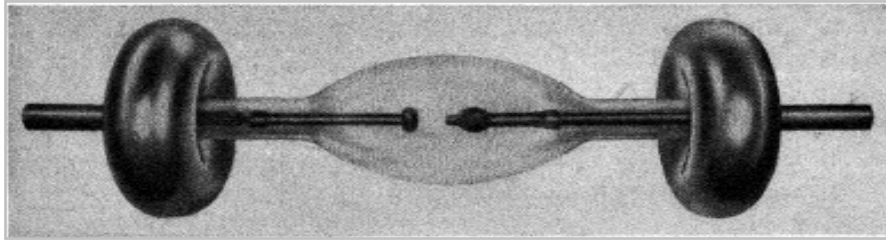
Para os mesmos fins, surgiram, também, tubos do tipo “*Metalix*” de vários tamanhos e com sistemas de resfriamento a água, permitiam trabalhar até 240 kV. Eram constituídos por um cilindro central de crómio e ferro, ao qual estavam soldados o ânodo e os suportes do cátodo (Fig. 59). (CLARK 1932)



**Fig. 59: Tubo de raios-X do tipo “*Metalix*” utilizado em Radioterapia profunda. (CLARK 1932)**

Um outro modelo de tubo de raios-X utilizado em Radioterapia profunda pertencia ao tipo “*Müller Metwa*”. Este modelo era semelhante aos tubos de Coolidge, excepto no que respeita à ampola, que foi substituída por um cilindro de crómio e aço. Estes tubos produziam radiação somente na direcção desejada e não necessitavam de montagem especial nem de protecção. (CLARK 1932)

No início de 1930, foram desenvolvidos tubos que permitiam operar a voltagens muito elevadas, situação muito conveniente em tratamentos de Radioterapia profunda. Estes tubos permitiam reduções no tempo de irradiação e uma dose de radiação elevada. No entanto, era necessário contornar algumas dificuldades que se colocavam ao tentar operar-se com tubos convencionais e a voltagens muito superiores a 220 000 V, devido a fenómenos eléctricos que ocorriam no interior dos tubos. A fim de evitar estes fenómenos, de modo a que o tubo operasse com segurança, o vidro teve de ser protegido dos electrões secundários, o que foi conseguido com modificações adequadas no tubo de Radioterapia profunda “*Siemens-Pantix*” – Fig. 60. (CLARK 1932, KAYE 1923)



**Fig. 60: Tubo “Siemens-Pantix”. (CLARK 1932)**

Posteriormente, foram propostos por vários autores, tubos que permitam operar a voltagens cada vez mais altas do que as conseguidas anteriormente, chegando até aos 2 600 000 V (1931). (CLARK 1932)

Os tubos destinados a Radioterapia superficial, e uma vez que se verificou que o desenvolvimento de danos prejudiciais para a pele (como eritema) era mais rápido com raios-X “moles” do que com raios-X “duros”, foram construídos de modo a que operassem apenas a 8-10 kV. Este tipo de tubos só foi conseguido em 1911 com o desenvolvimento de ampolas ou tubos de foco com janelas de vidro constituído por boro, lítio e berílio (janela tipo Lindemann) e, também de celofane, para além de possuírem dimensões mais reduzidas. (CLARK 1932, KAYE 1923)

Para finalizar, importa referir um outro aspecto importante na produção de tubos de raios-X, que se prende com a substituição do vidro de borosilicato, como os da marca “Pyrex”, por vidro constituído por soda cálcica. Esta alteração foi uma consequência do desenvolvimento de aparelhos de voltagem superior, desenvolvidos mais recentemente, que necessitavam de funcionar sob condições térmicas muito severas. As características da constituição do vidro produzido pela referida marca, especialmente a sua alta resistência ao choque térmico (devido ao baixo coeficiente de expansão deste tipo de vidro), tornaram também possível o desenvolvimento de melhorias na técnica de evacuação dos tubos através do uso de bombas de difusão de mercúrio, que eram feitas deste tipo de vidro. (KRAISSL 1935)

### **3.1.5. Componente Eléctrica**

As primeiras experiências desenvolvidas no âmbito do estudo e aplicações dos raios-X, eram realizadas com bobinas de indução que funcionavam como geradores de

electricidade de alta tensão e tubos de Crookes. O fenómeno da indução electromagnética descoberto em 1831 por Faraday<sup>52</sup> deu origem à concepção de um instrumento capaz de obter uma força electromotriz de indução a partir da interrupção frequente de uma corrente eléctrica indutora, promovida por um interruptor rotativo – a bobina de indução<sup>53</sup> (Figs. 61 e 62). Essencialmente, consistia em duas bobinas isoladas uma da outra: uma de arame grosso, quase sempre com poucas voltas, designado primário, e uma outra bobina, que rodeia a anterior, com um grande número de voltas de arame muito fino, o secundário. Se a corrente do primário se modificasse, aumentando-a e, posteriormente, diminuindo-a, o campo magnético resultante modificava-se também. (GUEDES 2002)

Faraday verificou que neste caso se gerava, em cada uma das voltas do secundário, uma força electro-motriz. Dado o grande número de voltas nesta bobina, a soma das correntes de cada uma delas produz uma voltagem elevada. A energia total é a mesma que no primário, mas a distribuição é diferente; por sua vez, a intensidade da corrente no secundário é muito menor, mas a voltagem é muito maior. Ao fazer o enrolamento do primário sobre ferro maciço, é possível aumentar a indução magnética. Ligando uma ampola de raios-X ao secundário da bobina, obtém-se a voltagem necessária ao processo de produção de raios-X. (MOULD 2007a, PULLIN 1937)



**Figs. 61 e 62: Bobinas de indução do princípio do século XX. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

Como referido, a corrente do secundário é apenas induzida quando a corrente secundária é alterada. Quanto mais rapidamente se cortava e lança de novo a corrente no primário, tanto maior seria a voltagem produzida no secundário. Nas primeiras bobinas

---

<sup>52</sup> Por volta de 1830, Faraday estudou a interacção dos campos eléctricos e magnéticos e demonstrou que se um fio condutor era sujeito à acção de um campo magnético variável, surgia uma corrente eléctrica nesse fio – princípio da indução electromagnética.

<sup>53</sup> Para além da bobina de indução, a indução electromagnética serviu também de base ao desenvolvimento do gerador electro-magnético (ou dínamo), no qual a produção de uma corrente alternada é promovida por um íman em movimento.

de indução, para obter a interrupção e a ligação do circuito era usada uma mola que, ao ser atraída para o ferro maciço pela passagem da corrente, cortava o circuito. Voltando a mola à sua posição inicial, a corrente passava e a mola cortava novamente a corrente, repetindo-se estes movimentos rápida e continuamente. (PULLIN 1937)

Este sistema apresentado por Faraday, em 1835, assim como as ideias e experiências realizadas por outros investigadores, serviu de modelo a Rhümkorff para construir uma bobina de indução realmente funcional, que no meio científico viria a ser designada por bobina de Rhümkorff<sup>54</sup>. Esta era formada por um núcleo magnético aberto composto por um feixe de fios de ferro macio, envolvido por um cilindro de cartão, em torno do qual estavam enroladas duas bobinas de fio de cobre isolado. Um primeiro fio de cobre (50 m), que formava o circuito indutor, estava ligado a uma pilha. Sobreposta à primeira bobina, estava uma outra, formada por um longo fio de cobre (10 Km), mais fino, formando o circuito induzido; as extremidades desta, estavam ligadas a terminais colocados em pequenas colunas de vidro. Um dos condutores de entrada do circuito indutor passava num interruptor rotativo e a outra extremidade desse condutor fechava-se por um interruptor destinado a provocar a abertura e o fecho bruscos deste circuito, devido à força de atracção exercida sobre a lâmina do interruptor pelo núcleo magnético nos momentos em que estava magnetizado. (GUEDES 2002)

Com a bobina de Rhümkorff foi possível obter nos terminais do circuito induzido uma tensão elevada produzindo os mesmos efeitos que os produzidos com as máquinas electrostáticas. A interrupção periódica e brusca do circuito indutor provocava uma variação brusca do fluxo magnético indutor comum à bobina do induzido; devido ao número elevado de espiras desta bobina, induzia-se uma força electromotriz de elevado valor. Quando o circuito estava aberto surgia nos seus terminais uma tensão elevada, que poderia provocar uma descarga entre eléctrodos afastados de 1 a 1,5 cm. (GUEDES 2002)

No início do século XX, existiam várias razões pelas quais as bobinas de Rhümkorff foram tão amplamente escolhidas como fonte de alimentação do equipamento de raios-X. O fornecimento de energia por redes eléctricas ainda não estava totalmente

---

<sup>54</sup> As bobinas de indução eram comercializadas, genericamente, com esta designação em homenagem ao seu inventor, Daniel Rhümkorff.



disponível e, até mesmo nas cidades, as pilhas eram, frequentemente, a única fonte conveniente/adequada de energia eléctrica. (ABRANCHES 1897, VERMEULEN 2002)

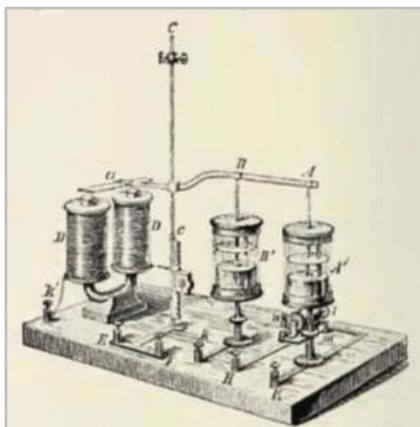


**Fig. 63: Reóstato. (COURMELLES 1897)** Para além das referidas vantagens, existiam, também algumas desvantagens associadas às bobinas de Rhümkorff, nomeadamente a quase impossibilidade de regulação da voltagem. Tal facto verificava-se, uma vez que a energia armazenada era independente da carga no circuito secundário. A corrente só circulava no circuito secundário, após o aumento da voltagem resultante da abertura do circuito primário. Deste modo, qualquer tentativa de aumentar a quantidade de raios-X produzidos através do aumento da intensidade da corrente do tubo, levava a uma queda no fornecimento de voltagem e, conseqüentemente, a uma diminuição da qualidade da radiação produzida. Nalguns casos, eram introduzidos reóstatos (Fig. 63) no circuito primário a fim de regular a voltagem. Eram constituídos por corpos pouco condutores, que ao serem intercalados no trajecto da corrente, ofereciam dificuldade à passagem da corrente. Deste modo, era possível controlar o comprimento da faísca produzida, evitando-se a rápida deterioração dos tubos de raios-X. (ABRANCHES 1897, COURMELLES 1897, VERMEULEN 2002)

De modo a assegurar a qualidade das bobinas de indução, foi necessário proceder a um cuidadoso tratamento dos problemas de isolamento eléctrico dos fios de cobre das duas bobinas e a utilização de um núcleo dividido de material ferromagnético. Os fios condutores de cobre estavam recobertos por uma bainha de seda, e cada espira era isolada com uma camada de goma de laca fundida. O núcleo magnético aberto era formado por um feixe de arames de ferro maciço. Apesar disso, as bobinas construídas tinham uma capacidade limitada. (GUEDES 2002)

As bobinas de indução, transformadores eléctricos, não produziam electricidade, transformavam-na, havia necessidade de a fornecer. O fornecimento de electricidade a partir de uma fonte eléctrica devia ser capaz de gerar uma corrente o mais constante possível, podendo a escolha recair em pilhas ou acumuladores. No caso das pilhas, as mais usadas eram as de Bunsen e as de bicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Relativamente

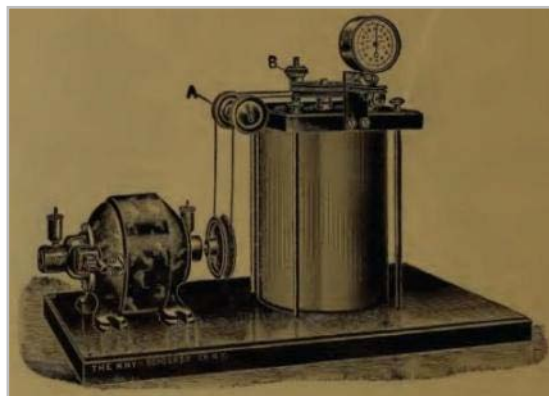
aos acumuladores, estes forneciam uma corrente mais regular e constante, em comparação com as pilhas. A sua maior desvantagem prendia-se como o facto de se alterarem com facilidade e de descarregarem rapidamente, ao fim de poucas horas de utilização, necessitando de um longo processo de recarga. É de referir que nas cidades onde existia corrente eléctrica nas ruas, podia utilizar-se uma derivação para a bobine de indução. (ABRANCHES 1897, SILVA 1900)



**Fig. 64: Interruptor de Foucault.**  
(FREUND 1904)

Após a descoberta dos raios-X, deu-se um grande impulso ao desenvolvimento de bobinas de indução, surgindo, rapidamente, importantes aperfeiçoamentos no seu funcionamento. O interruptor de corrente, referido anteriormente, tinha a desvantagem de, ao ser aplicada uma corrente muito forte, produzirem-se muitas faíscas nos contactos, pelo que se tentou alterar o modo de interromper e ligar novamente a corrente do primário. (GUEDES 2002, PULLIN 1939)

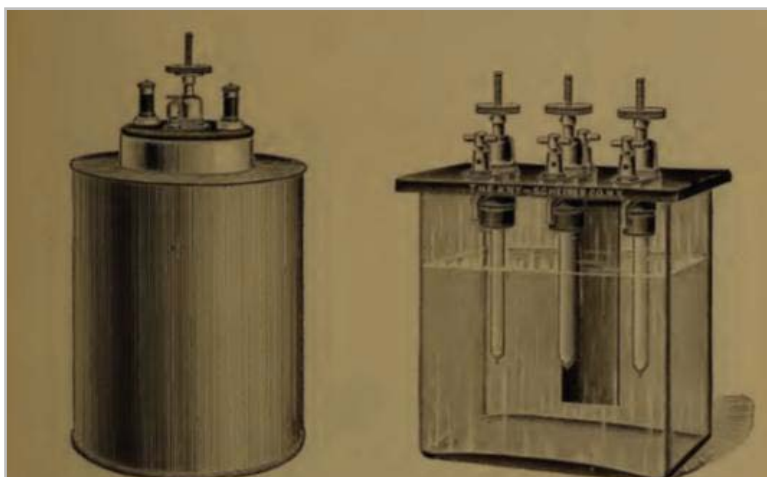
Neste sentido, James Mackenzie Davidson (1856-1919) sugeriu a utilização de um interruptor que funcionava pela rápida imersão de um pedaço de metal em mercúrio, que girava por acção de um motor. Inicialmente, utilizou-se o álcool como dieléctrico para evitar a rápida oxidação do mercúrio, tendo sido, posteriormente, substituído por gás de carvão, que ainda se continuou a usar em todos os tipos de interruptores de mercúrio nas primeiras décadas do século XX. É de referir que um interruptor semelhante ao anteriormente descrito tinha sido desenvolvido em 1896 por Léon Foucault (1819-1868) (Fig. 64). Posteriormente, e uma vez que a procura de maior potência no tubo de raios-X era constante, modelos de interruptores foram substituídos por outros mais modernos que trabalhavam com jactos rotativos de mercúrio projectados contra lâminas de metal, tornando possível interromper a corrente e deixá-la passar rapidamente (Fig. 65). (GUEDES 2002, PULLIN 1927, PULLIN 1939)



**Fig. 65: Interruptor de jacto de mercúrio. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

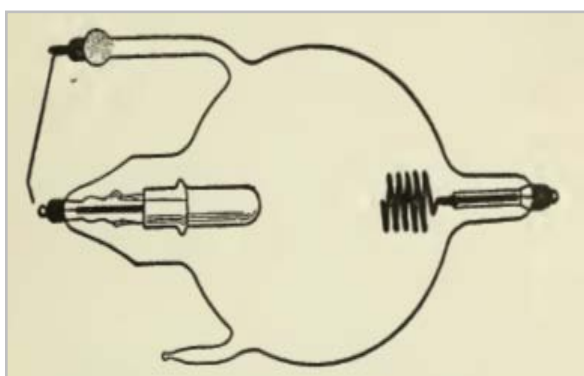
Existiu um outro tipo de interruptor, o interruptor de Wehnelt (Fig. 66), proposto por Arthur R. Wehnelt (1871-1944) em 1899. Este dispositivo funcionava como um interruptor electrolítico, cujo circuito era feito entre uma placa de chumbo e uma pequena ponta de platina, por intermédio de uma solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) em água, na qual se encontrava imerso. A passagem da corrente levava à electrólise da água, formando-se uma bolha de gás à volta da ponta de platina, interrompendo a passagem de corrente. A bolha de gás dissipava-se e o líquido restabelecia o contacto com a platina. O circuito era, assim, restabelecido e o ciclo repetia-se centenas de vezes por segundo. Durante as primeiras décadas do século XX, este interruptor foi muito utilizado nos Estados Unidos da América. (PULLIN 1927)

O gerador eléctrico exigido para um tubo de raios-X tinha de produzir uma corrente de uma só direcção, isto é, do pólo negativo para o positivo, pois se tal não se verificasse, os electrões seriam projectados não só a partir do cátodo, mas também do ânodo. É neste ponto que falhava a bobina de indução, uma vez que as pequenas elevações de voltagens produzidas aumentavam numa direcção quando se fazia passar uma corrente primária, e diminuía na direcção oposta quando se interrompia a mesma corrente. Embora o interruptor conseguisse obviar esta limitação, não conseguia eliminá-la completamente, pelo que o problema da voltagem inversa, isto é, a existência de uma voltagem verificada na direcção oposta à normal, constituía uma dificuldade na utilização da bobina de indução. (PULLIN 1927)



**Fig. 66: Interruptor electrolítico de Wehnelt. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

A voltagem inversa era responsável por provocar a descarga de electrões a partir do ânodo, que, ao atingir o cátodo ou as paredes do tubo, originava a produção de radiação desnecessária, diminuindo a nitidez da sombra do ponto focal. Para além disso, provocava o aquecimento e a formação de um depósito nas paredes do tubo, prejudicando o seu funcionamento e, podendo, até, provocar a sua rotura<sup>55</sup>. (PULLIN 1927)



**Fig. 67: Tubo-válvula de Villard. (CHRISTIE 1913)**

Estas limitações levaram a que fossem tomadas medidas que suprimissem a voltagem inversa, pelo que, rapidamente, foram introduzidos os tubos-válvulas, nos quais se tinham feito o vácuo e cujos eléctrodos estavam de tal modo dispostos que deixavam que a corrente passasse sem dificuldade numa só direcção, oferecendo uma resistência

considerável à passagem de corrente na direcção inversa. Nos tubos-válvula de Villard (Fig. 67), um polo destes era uma espiral de alumínio, que originava uma grande

<sup>55</sup> A produção de corrente inversa também podia ser demonstrada através de um instrumento, o osciloscópio. Quando ligado em série a uma bobina de indução, se a corrente fosse unidireccional, verificava-se a existência de um banda de cor violeta na extremidade negativa, enquanto que se existisse corrente inversa, verificar-se-iam bandas (de tamanho igual ou diferente) em ambas as extremidades.

superfície, podendo funcionar como cátodo e permitir a passagem rápida de corrente quando funciona como pólo negativo. (CHRISTIE 1913, PULLIN 1927, PULLIN 1939)

Um outro método de evitar a existência de voltagem inversa nas bobinas de indução, consistia na introdução de um espaçamento entre os eléctrodos com uma extensão tal que diminuía a intensidade da corrente. (CHRISTIE 1913, MATIJACA 1917)

Alguns anos mais tarde, com o mesmo fim, foi proposta a utilização de um comutador que se colocava no circuito entre a bobina e o tubo de raios-X e que cortava o contacto quando a voltagem estava na direcção da passagem, e o restabelecia quando estava na direcção do corte. (MATIJACA 1917, PULLIN 1939)

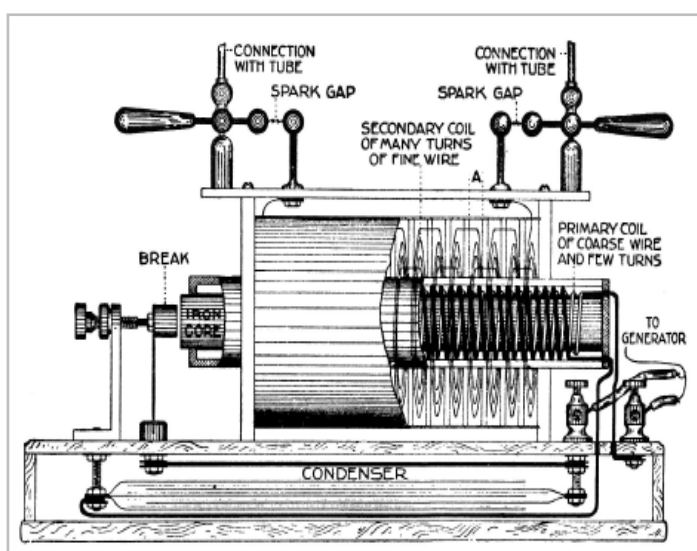
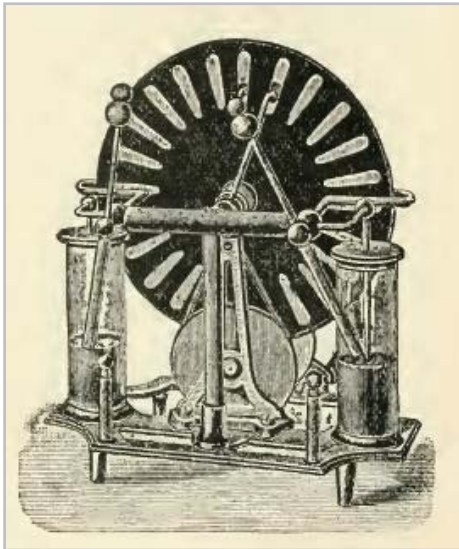


Fig. 68: Esquema ilustrativo de uma bobina de indução com condensador. (WILLIAMS 1901)

Para além do interruptor, um outro acessório que devia ser utilizado com a bobine de indução era o condensador (Fig. 68), colocado na base da bobina. Era constituído por uma série de folhas de estanho, isoladas entre si por, por exemplo, folhas de mica, papel parafinado ou seda. Todas as folhas de estanho de números pares eram reunidas entre si e

com uma das extremidades do circuito indutor; do mesmo modo, as folhas ímpares comunicavam entre si e com a outra extremidade do fio indutor. O uso do condensador foi proposto por Hippolyte Fizeau (1819-1896), cuja função era atenuar a faísca de ruptura de corrente, que gradualmente consumia as superfícies de contacto do interruptor e que, por vezes, poderia conduzir à sua soldadura, inutilizando o aparelho. O condensador conseguia esta finalidade, aproveitando uma parte da corrente para ser carregado. (ABRANCHES 1897, GUEDES 2002)



**Fig. 69: Máquina de Wimshurst.  
(FREUND 1904)**

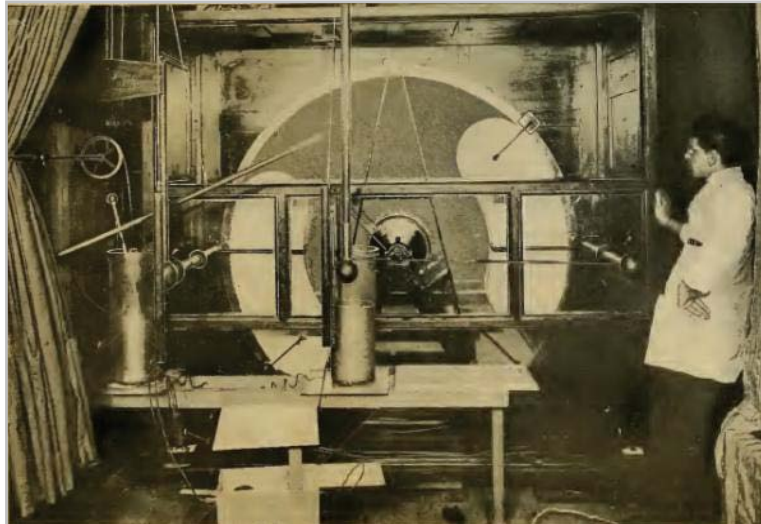
Alguns autores recorriam também a máquinas electrostáticas para a produção de raios-X, pelo que durante o século XIX, foram produzidos e aperfeiçoados vários modelos<sup>56</sup> deste instrumento (Fig. 70), que, não obstante a sua variedade, tinham um único propósito, o de serem uma fonte de uma corrente de alta voltagem constante, para além de ser contornada a, já referida, questão da voltagem inversa. Como exemplo, cite-se a máquina de Wimshurst, proposta por James Wimshurst (1832-1903), em 1883 (Fig. 69). Era composta por dois discos, feitos de material

isolante, com uma série de sectores metálicos colados na sua superfície e separados por uma pequena distância, que giravam em sentidos opostos. (MOULD 2007a, PULLIN 1927) Em frente a cada um destes discos, localizavam-se duas barras condutoras cruzadas, que funcionavam como neutralizadores. Para além disso, existiam, ainda, peças em forma de “U”, com as pontas viradas para os discos, as quais eram colocadas no sentido horizontal destes últimos. As cargas geradas eram, usualmente, aplicadas em garrafas de Leyden, que se carregavam com potenciais elevados. Apesar de algumas vantagens oferecidas por este instrumento, como grande rendimento, fraco débito, aquecimento insignificante dos tubos de raios-X durante a sua utilização, apresentavam alguns inconvenientes: a necessidade da existência de um motor, a influência do estado higrométrico do ar no seu funcionamento, a fraca saída de 1mA, pelo que a escolha tendeu a recair, novamente, na bobina de indução<sup>57</sup>. O emprego das máquinas electrostáticas estava confinado, principalmente, à Radioterapia. (ABRANCHES 1897, CHRISTIE 1913, PULLIN 1927, SHANKS 1950, SILVA 1900, WARD 1896)

---

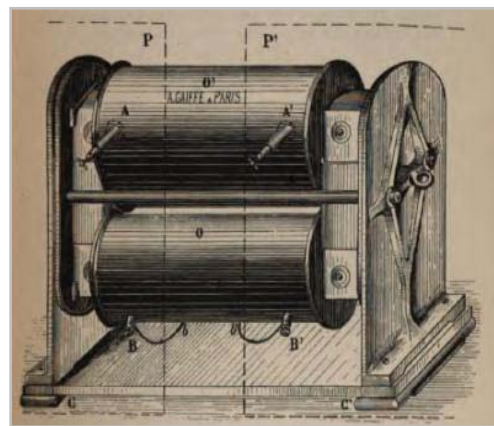
<sup>56</sup> Por exemplo, um outro tipo foi desenhado por Wilhelm Holtz (1836-1913) em 1865. Ao contrário da máquina de Wimshurst, a de Holtz não era auto-recarregável e necessitava de uma fonte separada para a carga inicial nos seus terminais de borracha.

<sup>57</sup> De modo geral, no equipamento mais moderno de raios-X deixou de fazer parte a bobine de indução. No entanto, ainda nas primeiras décadas do século XX, foram propostos novos modelos aperfeiçoados destes instrumentos.



**Fig. 70: Um outro tipo de máquina electrostática, do tipo Holtz.  
(WILLIAMS 1901)**

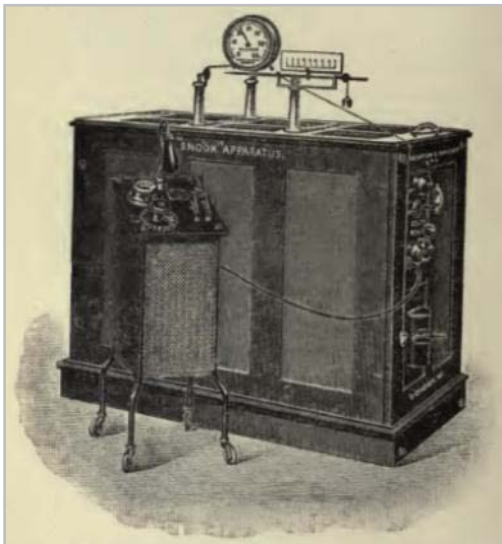
No entanto, no início do século XX, surgiu, um gerador que suplantou a bobina de indução - o transformador de alta voltagem (Fig. 71). Os princípios em que o seu funcionamento assenta eram semelhantes aos da bobina de indução, mas, no entanto, apresentava uma inovação notável: o ferro maciço no qual se fazia o enrolamento, não ficava com as extremidades livres, como na bobina de indução, sendo dobrado em forma de anel ou círculo, aumentando-se, assim, de modo considerável, o efeito de magnetização da corrente do primário. Outra vantagem prendia-se com o facto de não ser necessário utilizar o interruptor. (PULLIN 1927, PULLIN 1939)



**Fig. 71: Exemplo de um transformador de alta voltagem. (BELOT 1905)**

Os transformadores de raios-X construídos segundo este princípio produziam voltagens secundárias muito elevadas (como, por exemplo, 4000 000 V). Apesar das vantagens da sua utilização, a questão relativa à existência de voltagem inversa ainda se verifica. No entanto, apesar da bobina de indução apresentar tal inconveniente, a sua eliminação nos transformadores era, relativamente, mais fácil. Sabendo que a voltagem aumenta, diminui e aumenta novamente, de modo regular, através de uma aparelhagem conveniente seria possível recorrer a esta regularidade, invertendo a meia onda de

direcção diferente e fazê-la passar pelo tubo de raios-X na mesma direcção da outra metade, por um processo de rectificação. Este processo, através do qual se podia converter uma corrente alternada numa corrente contínua, podia ser feito por um sistema de comutadores de pólo que girava em ligação com a fonte de energia (rectificação mecânica) ou por um sistema de válvulas termiónicas de alta voltagem (como os *kenotrons*), que surgiram em meados de 1920 e que serão referidos posteriormente. Deste modo, qualquer que fosse o tipo de rectificação utilizado, era possível evitar a existência de voltagem inversa num transformador de raios-X bem construído. (HOFMAN 2010, PULLIN 1927, PULLIN 1939)



**Fig. 72: Transformador de alta tensão de Snook. (KNOX 1921)**

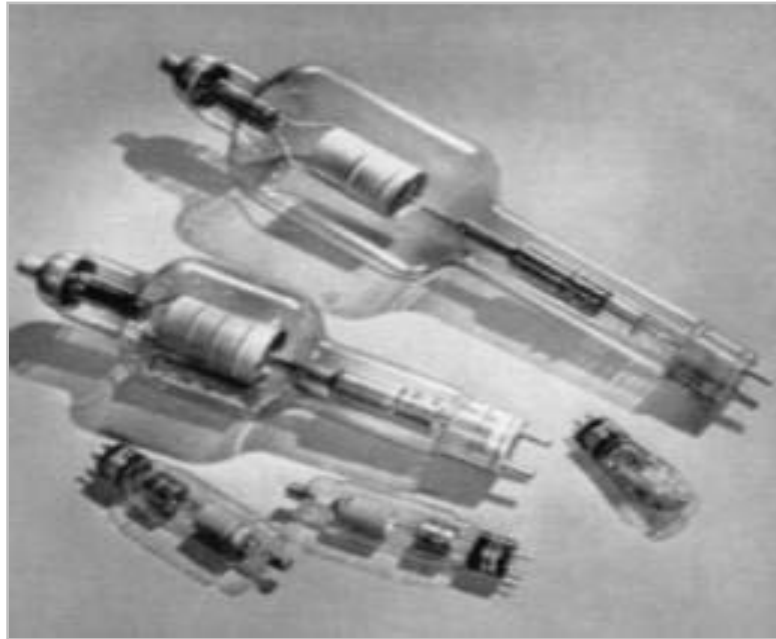
Um dos transformadores mais populares, entre os vários que foram propostos por vários autores, foi o transformador de Snook (Fig. 72), introduzido em 1908, por Homer C. Snook (1878-1942), nos Estados Unidos da América, constituindo-se como a primeira aplicação prática de um transformador de alta tensão. Este tornou possível a obtenção de correntes de alta voltagem (50 mA), podendo ser utilizado apenas com corrente alterna, o que era pouco usual até à introdução, em 1913, do tubo de Coolidge. (FELDMAN 1989,

SHANKS 1950) A utilização deste aparelho era, preferencialmente, escolhida em comparação com a bobina de indução, devido à possibilidade de permitir o uso de correntes mais fortes. (KNOX 1921, MATIJACA 1917, SHANKS 1950)

Os “*kenotrons*” (Fig. 73) eram tubos de vácuo que permitiam a passagem de corrente entre dois eléctrodos numa só direcção. Tal verificava-se, uma vez que a passagem de corrente só se verificava pela transferência de electrões de um eléctrodo para o outro. Para uma corrente passar no sentido errado, teriam que existir electrões que passassem do ânodo para o cátodo, mas, no entanto, se se verificasse que o ânodo estava razoavelmente frio, não havia produção de electrões, para além de não ser possível que fossem obtidos por ionização como se verifica num “*gas tube*”, uma vez que as condições de vácuo existentes eram de um grau tal, que qualquer ionização era



negligenciável. Este constituía o princípio dos “*kenotrons*”: os electrões provenientes de um cátodo quente eram direccionados para um ânodo de grande superfície, e o cátodo estava disposto de modo a fornecer um excesso de electrões, pelo que a resistência efectiva do tubo era pequena. (PULLIN 1927)



**Fig. 73: Diferentes modelos de “*kenotrons*”. (GENERAL ELECTRICS s.d.)**

## 4. REGISTO FOTOGRÁFICO

A acção dos raios-X sobre uma placa fotográfica é semelhante à verificada pela luz nesse mesmo suporte<sup>58</sup>, pelo que a metodologia de revelação e fixação da imagem é semelhante à utilizada em Fotografia. (ISENTHAL 1901, LONDE 1898) No entanto, enquanto uma fotografia é produzida pela acção da luz que é emitida a partir do objecto a ser fotografado, uma radiografia é como que um registo da penetrabilidade de diferentes partes do objecto relativamente aos raios-X. (CHRISTIE 1913, LONDE 1896, LONDE 1898, NIEWENGLOWSKI 1898)

Nos primeiros tempos da Radiologia, a maior parte das radiografias era realizada por Fotógrafos ou Médicos que praticavam a fotografia. Nesta altura, a radiografia era considerada um ramo especializado da fotografia. De facto, frequentemente era referida como “a nova fotografia” (“*the new photography*”)<sup>59</sup>. A realização de radiografias era, geralmente, feita nos estúdios pertencentes a Fotógrafos. Para além disso, alguns Médicos recorriam aos Fotógrafos para a sua obtenção, por desconhecerem a técnica e o funcionamento do equipamento. (HAUS 1989)

### 4.1. Métodos de Registo Fotográfico

Em 1895, o ano da descoberta de Röntgen, estavam disponíveis três métodos de registo da imagem radiográfica: placas fotográficas de vidro, filmes flexíveis e papéis sensíveis. Nas décadas seguintes, assistiu-se ao desenvolvimento de novas técnicas mais adequadas para uso exclusivo em Radiologia que permitissem contornar algumas das limitações verificadas nos métodos utilizados anteriormente.

---

<sup>58</sup> Estudo realizado por Albert Londe (1858-1917) em Fevereiro de 1896. Nesse mês, Auguste Lumière (1862 - 1954) e Louis Lumière (1864 -1948) confirmaram este resultado e, adicionalmente, verificaram que os raios-X actuam da mesma forma sobre placas de gelatino-brometo de prata sensibilizadas (LUMIÈRE 1896).

<sup>59</sup> Nesta altura, era frequente a realização de radiografias nos estúdios pertencentes a Fotógrafos. Para além disso, alguns médicos recorriam aos Fotógrafos para a sua obtenção, por desconhecerem a técnica e o funcionamento do equipamento.

As placas fotográficas secas comuns<sup>60</sup> possuíam uma emulsão sensível de gelatina e sais de prata sobre um suporte de vidro (Fig. 74). (ISENTHAL 1901, KASSABIAN 1907) O sal utilizado podia ser brometo, cloreto ou iodeto de prata (AgBr, AgCl e AgI, respectivamente), sendo a emulsão de gelatina e brometo de prata, com adição ou não de iodeto, a mais frequentemente utilizada<sup>61</sup>. (CHRISTIE 1913, NIEWENGLOWSKI 1898)



**Fig. 74: Caixa de placas secas de gelatina do fabricante “George Eastman House”. (HAUS 1989)**

Em 1889, George Eastman (1854-1932) introduziu os filmes de nitrato de celulose, que possuíam uma emulsão sensitiva semelhante à usada nas placas secas, mas que, no entanto, assentava sobre uma base de suporte de nitrato de celulose, em vez de vidro, oferecendo a vantagem de serem flexíveis<sup>62</sup> e mais leves. As desvantagens destes filmes prendiam-se com o seu custo, a sua sensibilidade ser variável e inferior à das placas secas e seu manuseamento tinha de ser cuidadoso de modo que a emulsão não rachasse. (ISENTHAL 1901, KASABIAN 1907)

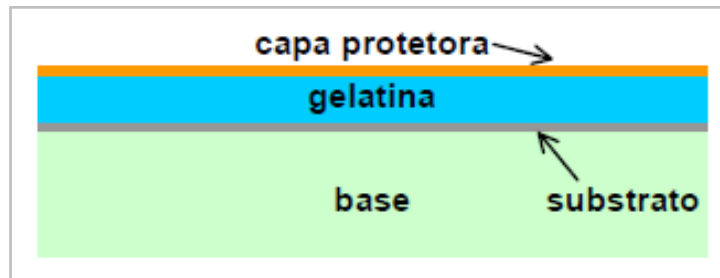
---

<sup>60</sup> Segundo Josef Eder (1855-1944) e Eduard Valenta (1857-1937), as placas de colódio húmido não eram, ou eram fracamente, impressionáveis pelos raios-X. O colódio húmido, equivalente à gelatina das placas secas, era usado com ligante dos sais de prata no vidro.

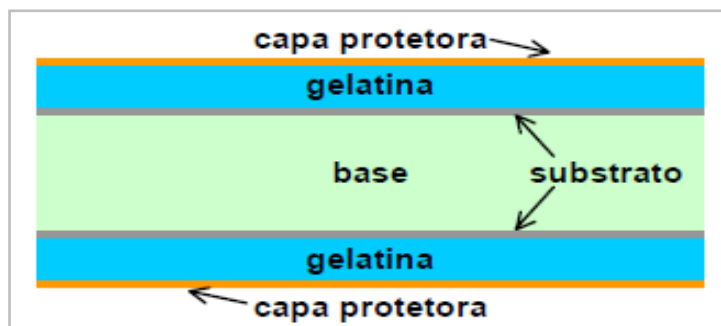
<sup>61</sup> O iodeto de prata não era muito usado isoladamente, excepto ocasionalmente como sal adicionada ao brometo de prata.

<sup>62</sup> O facto de serem flexíveis permitia que fossem colocados em contacto próximo com partes do corpo humano que fossem curvas ou desiguais.

Um dos maiores problemas na revelação das placas ou filmes expostos era conseguir uma densidade óptica adequada. Para superar esta dificuldade, bem como diminuir o tempo de exposição e aumentar o valor prático das radiografias produzidas, as placas e filmes foram cobertos com a emulsão sensível em cada lado do suporte, permitindo, assim, aumentar o detalhe e contraste da imagem em relação aos conseguidos com o filme ou placa de emulsão simples (Figs. 75 e 76). Neste tipo de suporte, os raios-X afectavam a emulsão em ambos os lados com a mesma intensidade, de forma que a imagem de um lado era “reforçada” pela imagem do outro lado. Deste modo, este tipo de filmes foi usado durante algum tempo, apresentando a vantagem de, praticamente, possuírem a capacidade de duplicar a sensibilidade do filme (ou permitirem a redução do tempo de exposição para metade). No entanto, necessitavam de maior cuidado na sua manipulação e de instrumentação mais complexa para a sua revelação do que necessário para placas ou filmes comuns. No que respeita às placas, a absorção dos raios-X pelo vidro produzia uma densidade menor no lado oposto ao tubo de raios-X, quando comparada com a maior densidade do lado que recebia primeiro a radiação. (ISENTHAL 1901, KASSABIAN 1907)



**Fig. 75: Estrutura do filme radiográfico de camada simples. (SOARES 2001)**



**Fig. 76: Estrutura do filme radiográfico de camada dupla. (SOARES 2001)**

Os filmes à base de papel, os quais possuíam a emulsão colocada sobre uma base de papel translúcido, apresentavam vantagens consideráveis: eram mais baratos que os filmes de nitrato de celulose, o papel constituía um suporte quimicamente inerte, pelo que a qualidade e a sensibilidade eram, provavelmente, semelhantes ao verificado nas placas de vidro. No entanto, o suporte de papel, geralmente, não era tão transparente como o vidro, verificando-se uma ligeira perda de definição na impressão dos negativos, a não ser que o filme fosse retirado do seu suporte. (ISENTHAL 1901)

Em Dezembro de 1896, a empresa “*Kodak*” introduziu o primeiro papel sensível para a realização de radiografias, mas verificou-se que a velocidade de revelação e a máxima densidade do papel eram demasiado baixas, tornando as imagens obtidas de difícil interpretação. Posteriormente, diversos fabricantes começaram a desenvolver placas destinadas exclusivamente para a obtenção de radiografias, como se verá posteriormente.

Uma vantagem comum aos filmes de nitrato de celulose e de papel era que, uma vez que eram praticamente transparentes aos raios-X, podiam ser usados, de uma só vez durante o processo de revelação, com vários colocados sobrepostos uns aos outros, permitindo obter um número de negativos praticamente idênticos. Concretamente, era comum o uso de papel de brometo. Apesar dos custos associados ao seu uso serem baixos, tinham o inconveniente de necessitarem de tempos de exposição mais longos do que os das placas de vidro e a imagem obtida não era de grande qualidade, não sendo o seu uso recomendado para fins radiográficos. (ISENTHAL 1901, KASSABIAN 1907, WILLIAMS 1901)

Também eram usadas “placas ferrotipo” constituídas por uma emulsão colocada em folhas de ferro preto, que eram muito sensíveis aos raios-X, permitindo a obtenção de imagens muito definidas com curtas exposições. Para além disso, eram muito flexíveis e mais leves do que as placas de vidro. A imagem assim produzida era um positivo, em vez de um negativo. No entanto, como o suporte de ferro é praticamente impenetrável pelos raios-X, estas placas não podiam ser usadas adequadamente quando se pretendia obter mais do que uma radiografia. Quanto aos processos de revelação e fixação das “placas ferrotipo”, ambos eram semelhantes ao das placas ou filmes comuns, mas, no

entanto, como a imagem resultante é prata num suporte escuro, era necessária uma revelação extra, de modo a obter uma imagem visível. (ISENTHAL 1901)

Independentemente de a escolha recair nas placas ou filmes, existia uma enorme oferta por parte de diversos fabricantes, devendo optar-se pela que permitia ao operador a obtenção de melhores resultados. As placas, bem como os filmes, variavam de modo considerável relativamente à sua sensibilidade e, dentro de um certo intervalo, a sensibilidade aos raios-X era equivalente à sensibilidade à luz<sup>63</sup>. Em radiografia, a sensibilidade de uma placa significa, em termos práticos, a redução de uma determinada densidade de prata num determinado tempo de exposição. A placa na qual a maior quantidade de sal de prata é reduzida ao estado metálico a uma determinada exposição e revelação, é a mais rápida. Por outro lado, se um determinado filme sensível tem uma espessura dupla, a quantidade de prata reduzida sob essas condições é duplicada, bem como a sensibilidade. Comparando duas placas de igual sensibilidade fotográfica, a que tiver o filme mais espesso (ou com maior quantidade de prata) será mais sensível aos raios-X. (ISENTHAL 1901)

Foi reconhecido por diversos “radiografos” que o recurso a materiais fotográficos para a realização de radiografias oferecia algumas limitações quando eram expostos aos raios-X, pelo que nas décadas após a descoberta de Röntgen foram surgindo materiais mais adequados e específicos destinados à obtenção de radiografias de melhor valor diagnóstico. (HAUS 1989)

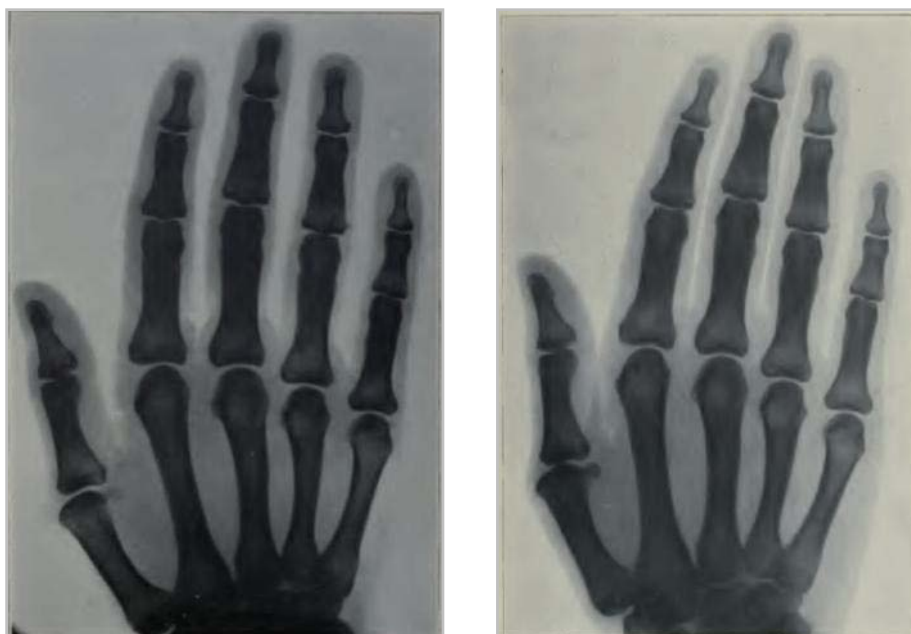
A grande procura de placas fotográficas para uso em Radiografia, juntamente com a necessidade de obtenção de radiografias de melhor qualidade e com um menor tempo de exposição, levou à introdução por vários fabricantes, a partir de 1902, de placas especialmente preparadas para este fim e que permitissem a obtenção de radiografias com melhor definição. Estas eram genericamente designadas por placas de raios-X.<sup>64</sup>

---

<sup>63</sup> A escala de Hurter e Driffield consistia num método adoptado por alguns fabricantes de placas, que fornecia uma noção da sensibilidade das diferentes emulsões. Frequentemente as caixas das placas continham a indicação “*H. and D. speed numbers*”, pelo que forneciam um método fiável de comparação das emulsões entre placas do mesmo fabricante.

<sup>64</sup> No entanto, no fim do século XIX já existia este tipo de placas, mas cujo resultado final não era o esperado. Provavelmente a primeira placa de vidro fabricada exclusivamente para fins radiográficos foi desenvolvida por Carl Schuessler, um fabricante Alemão de placas fotográficas, que a pedido de Röntgen incorporou nestas uma emulsão mais espessa de brometo de prata, o que lhe conferia maior densidade fotográfica.

Kenneth Mees (1882-1960), em 1912, desenvolveu uma placa de raios-X, comercializada pela empresa “*Wratten and Wainwright, Ltd.*”, em Inglaterra – “*Wratten and Wainwright x-ray plate*” – que, muito embora fosse semelhante às placas fotográficas, apresentava novas características<sup>65</sup>. A placa, cujo suporte era de vidro, estava coberta com uma emulsão mais espessa, contendo uma mistura de sal de bismuto e chumbo juntamente com o brometo de prata, este último maior quantidade. A emulsão ficaria, assim, mais densa, registando a maioria dos raios incidentes, resultando num ganho de definição e detalhe da imagem. De facto, relativamente ao contraste, este era maior nestas placas de raios-X (comparativamente às placas fotográficas), o que era conveniente para a adequada diferenciação do objecto a radiografar (Figs. 77 e 78). (HAUS 1989, LONDE 1898, KAYE 1913, KAYE 1924, WENDELL 1919)



**Figs. 77 e 78: Negativo obtido com uma placa de raios-X e negativo obtido com uma placa fotográfica convencional. Ambas as placas tiveram a mesma duração de exposição e foram reveladas com a mesma solução. (WENDELL 1919)**

Embora fossem de qualidade superior às anteriormente disponíveis antes da viragem do século XX, estas placas não satisfaziam as condições óptimas de contraste e densidade da imagem<sup>66</sup>. No entanto, uma vez que se considerava que permitiam a obtenção de

---

<sup>65</sup> No mesmo ano, foram também propostas placas semelhantes pela empresa “*M. A. Seed Dry Plate Co.*”, nos Estados Unidos da América.

<sup>66</sup> Muitos dos problemas e limitações do uso do vidro como suporte para a emulsão sensível foram reconhecidos antes da descoberta dos raios-X e já em 1889 foram comercializados rolos de filmes fotográficos.

melhores resultados, as placas de vidro, de modo geral, eram escolhidas preferencialmente para o trabalho radiográfico, apesar de outras desvantagens que importa referir, como: eram muito caras, pelo que quando era necessária a realização de um volume grande de radiografias, era usada uma placa fotográfica mais económica e, por outro lado, eram pesadas e frágeis. Para além disso, devido ao fenómeno de paralaxe resultante da espessura do vidro, estas placas só podiam ser cobertas em apenas um dos lados. (HAUS 1989, KNOX 1916)

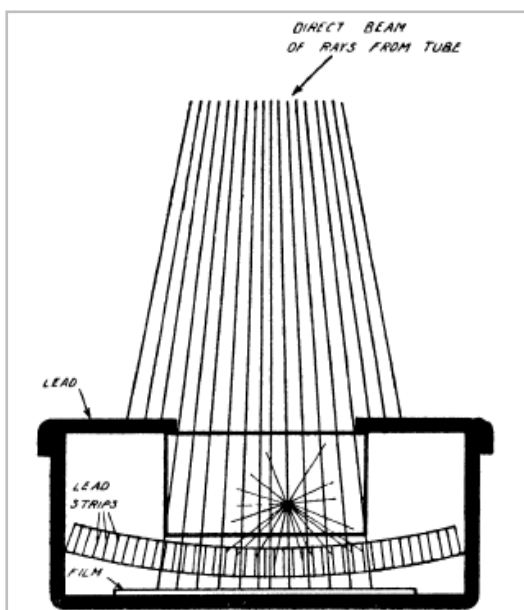
Um ponto de viragem na utilização das placas de vidro deu-se em 1913-1914, quando ocorreu a Primeira Guerra Mundial. Uma vez que o vidro necessário para o fabrico de placas era importado da Bélgica, nesta altura o seu fornecimento ficou suspenso. Para além disso, simultaneamente, a necessidade de radiografias médicas aumentou, pelo que foi necessária e urgente a introdução de um filme de raios-X adequado. Deste modo, em 1913, foi introduzido um filme de raios-X com uma base de nitrato de celulose coberto num lado, cuja emulsão era mais sensível aos raios-X do que alguma outra anteriormente disponível. As radiografias eram obtidas com tempos de exposição mais curtos. (HAUS 1989, MORGAN 1945)

O ano de 1918 foi marcado por um avanço significativo no registo radiográfico, quando foi introduzido o primeiro filme para uso exclusivo em fins radiográficos que possuía uma camada de emulsão rápida em ambos os lados de um suporte de nitrato de celulose – o filme “*Dupli-Tized*” da “*Kodak*”, permitindo uma considerável redução nos tempos de exposição, como resultado de uma maior absorção da radiação pela emulsão dupla. Este filme ofereceu uma outra vantagem nas práticas radiográficas: tornou possível, na prática, o uso do diafragma de Potter-Bucky para o controlo da radiação dispersa. (HAUS 1989, KAYE 1924)

De facto, cerca de vinte anos atrás, em 1901, Théodore Guilloz (1868-1916), demonstrou em 1901, que era indispensável utilizar diafragmas que limitassem o feixe de raios-X e indicou que eram os raios-X secundários que constituíam o agente que causava o fenómeno de velamento das placas fotográficas. A difusão ou produção desta radiação aumentava com o aumento do tempo de exposição, assim como com o aumento de espessura da região do corpo a ser examinada. Deste modo, a sua



eliminação conduziria à obtenção de melhores resultados, nomeadamente a nível do contraste, essencial na radiografia obtida. (KASSABIAN 1907, PULLIN 1937)



**Fig. 79: Esquema do efeito da grelha de um diafragma no bloqueio de raios-X secundários. (PULLIN 1927)**

No entanto, verificava-se que este diafragma deixava marcas da sua sombra na placa fotográfica, com o aspecto de riscas. Em 1920, Holis E. Potter (1880-1964), nos Estados Unidos da América, propôs um novo método de bloqueio dos raios-X secundários, recorrendo a uma grelha móvel, que se movia sobre a placa durante o tempo de exposição, de forma a contornar a referida limitação. Comercialmente, este tipo de diafragma foi designado por diafragma de Potter-Bucky e o seu uso generalizou-se desde então<sup>67</sup>. (FELDMAN 1989, PULLIN 1937)

Apesar do filme “Dupli-Tized” ser consideravelmente mais vantajoso relativamente às placas de vidro e aos filmes cobertos com emulsão de camada simples, alguns Médicos Radiologistas ofereceram alguma resistência à sua utilização, devido, em parte ao facto de necessitar de processamento através de técnicas e acessórios que não lhes eram tão familiares. Por exemplo, estes últimos podiam ser processados satisfatoriamente em tabuleiros, ao contrário do primeiro. No entanto, por volta de 1920 já estavam disponíveis suportes para secagem dos filmes, tinas verticais de maiores dimensões, que permitiam o seu processamento. Gradualmente, a relutância na utilização de filmes de

<sup>67</sup> Importa referir que outros modelos de difragmas tinham sido anteriormente propostos, como o diafragma de compressão, desenvolvido em 1902 por Heinrich Albers-Schöenberg (1865-1921).

raios-X diminuiu paralelamente ao decréscimo da popularidade das placas de vidro. (GUTTERY 2006, HAUS 1989)

Adicionalmente à evolução dos meios de registo fotográfico referidos anteriormente, foram surgindo também aperfeiçoamentos no que respeita, por exemplo, ao aumento de contraste e uniformidade da emulsão do filme de raios-X, pelo que a obtenção de radiografias de melhor contraste e nitidez que permitissem uma maior qualidade no diagnóstico médico, foi um dos factores que contribuiu para a evolução da Radiologia neste período.

Em 1924, foi introduzido, pela “Kodak”, o primeiro filme de raios-X com uma base de acetato de celulose, que oferecia melhores condições de segurança relativamente aos filmes à base de nitrato, altamente inflamáveis, potencialmente explosivos e com tendência a enrolar. (GUTTERY 2006, HAUS 1989, MORGAN 1945)

Apesar de alguns tipos de filmes fotográficos à base de acetato de celulose estarem disponíveis antes da Primeira Guerra Mundial, até 1924 não foi possível semelhante utilização em filmes de raios-X. Não obstante, a sua utilização demorou algum tempo a implementar-se, pelo que só após 1933 é que se substituiu, definitivamente, a base de nitrato, tornando-se o material padrão da base para todos os filmes profissionais utilizados para raios-X, bem como para fins fotográficos e cinematográficos. (GUTTERY 2006, HAUS 1989, MORGAN 1945)

Um filme de raios-X é composto por vários componentes que importam agora ser analisados com algum detalhe:

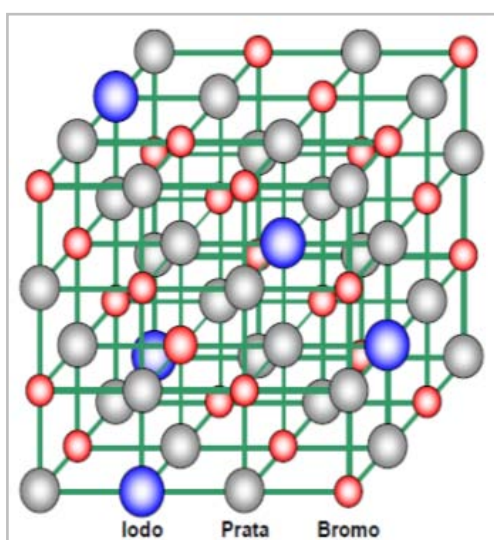
- base (ou suporte): é a componente que dá sustentação ao material que será sensibilizado, a emulsão, e que originará a imagem radiográfica. Deve reunir algumas características físicas que confirmem resistência mecânica para não só actuar como base para a emulsão, mas também para permitir um correcto manuseamento. Possui, igualmente, as funções de conferir estabilidade dimensional (baixa dilatação) e uma adequada absorção de água, que facilita o processo de revelação;

- substrato: é o elemento de ligação entre a base e a gelatina, uma vez que a constituição dos elementos da base possuem uma superfície muito lisa e pouco aderente à gelatina. Deste modo, o substrato funciona como um componente aderente da base à gelatina;

- emulsão: encontra-se em suspensão na gelatina, que possui a função principal de manter os grãos de haletos de prata nas suas posições fixas e uniformemente distribuídos, bem como aumentar a sua sensibilidade. A passagem de água e dos agentes químicos reveladores por entre os micro-cristais é promovida pela gelatina;

- camada protectora: é constituída por uma película que cobre a emulsão, de modo a protegê-la contra eventuais abrasões e outros desgastes mecânicos, como o atrito, verificados quando o filme é manipulado ou armazenado. (SOARES 2001)

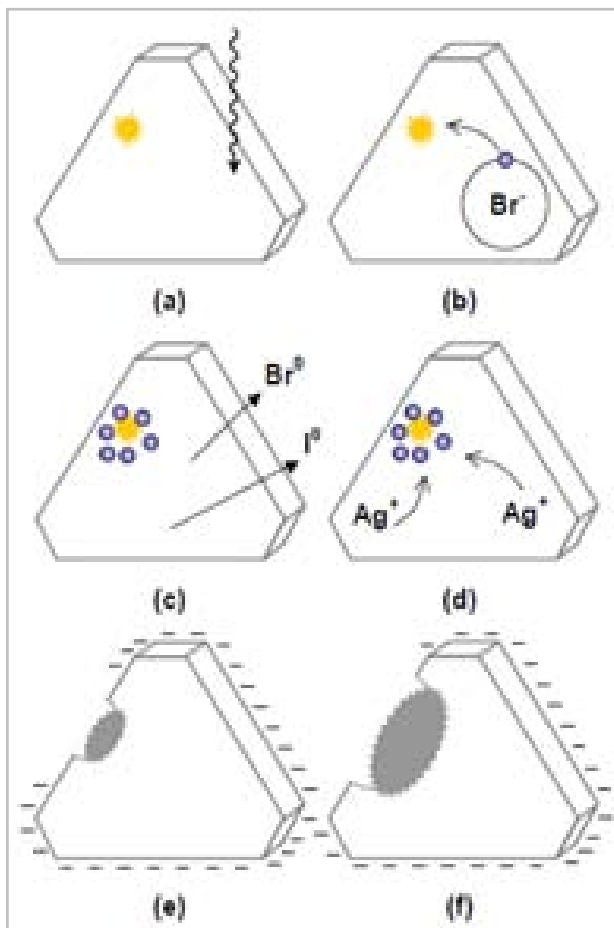
Os elementos sensíveis à radiação e que absorvem a radiação e a convertem na imagem radiográfica são os haletos de prata, sendo o brometo de prata o mais utilizado. São depositados em forma de micro-cristais sobre a base e misturados na gelatina que os mantém nas suas posições relativas. De modo a aumentar a sensibilidade, é, geralmente, adicionada uma pequena quantidade de iodeto de prata. (SOARES 2001)



**Fig. 80: Estrutura de um cristal de haleto de prata. (SOARES 2001)**

Os átomos de prata e bromo, juntamente com alguns de iodo formam uma rede cristalina a partir das ligações entre si (Fig. 80). A prata possui um electrão na sua última camada, e o bromo e o iodo possuem sete. No entanto, os átomos são mais estáveis se possuírem oito electrões na sua última camada, pelo que, assim, a prata cede o seu electrão para o bromo ou iodo, surgindo na molécula do haleto íões positivos ( $\text{Ag}^+$ ) e negativos ( $\text{Br}^-$  e  $\text{I}^-$ ). Como a estrutura cristalina dos haletos não é rígida, estes íões negativos tem uma tendência a

localizarem-se na periferia da molécula, obrigando os iões de prata a se deslocarem para o centro, sendo, por esta razão, a superfície dos micro-cristais ligeiramente negativa. (SOARES 2001)



**Fig. 81: Sequência de interações que ocorrem no processo de sensibilização. (Adaptado de SOARES 2001)**

A teoria de Gurney-Mott fornece uma explicação para a interacção dos fótons com os haletos de prata, isto é, o processo de sensibilização que ocorre no filme radiográfico. Este processo (Fig. 81) inicia-se quando um fóton de luz proveniente de um ecrã intensificador<sup>68</sup> interage com a gelatina e com os micro-cristais (a). Se o fóton de luz perder totalmente a sua energia, ocorre uma interacção fotoeléctrica; se apenas parte da energia do fóton for transferida para os átomos do filme, ocorre uma interacção por efeito de Compton. Em qualquer dos casos, ocorre a libertação de um electrão com muita energia. Geralmente, os átomos de bromo ou iodo, por possuírem um

eléctron extra, são os que mais facilmente libertam electrões. Este electrão, agora livre (b), pode circular pelas moléculas dos haletos e ligar-se a qualquer outro átomo<sup>69</sup>. Porém, a inclusão de uma impureza durante a confecção dos micro-cristais tem por função atrair este electrão livre (c). Na sua trajectória, este electrão livre pode colidir com outros átomos e criar outros electrões livres, criando uma região negativa dentro do microcristal (d). O bromo (ou iodo), que cedeu o seu electrão extra, volta a ser um átomo neutro. Como a ligação iónica que existia entre a prata e o bromo (ou iodo) deixou de existir, este átomo, Br ou I, está livre para deixar a estrutura do haleto de

<sup>68</sup> As placas e filmes radiográficos são sensíveis à luz visível, porém pouco sensíveis aos raios X. Deste modo, os ecrãs intensificadores eram utilizados para os impressionar de forma mais eficaz, pois os compostos fluorescentes que possuem emitem luz visível quando irradiados por um feixe de raios X.

<sup>69</sup>

prata e se misturar com gelatina. Com a formação de uma região electricamente negativa, os iões de  $\text{Ag}^+$  (que estão livres devido à quebra da ligação iónica com os iões de Br e I), são atraídos para esta região, na qual se combinam com os electrões livres e voltam a ser prata neutra ( $\text{Ag}^0$ ), ou prata metálica (e). Deste modo, ocorre uma degradação do microcristal através da dissociação dos haletos de prata. Esta degradação é tão maior, quanto maior o numero de electrões livres libertados (f). A intensidade da degradação é responsável pelos diferentes níveis de cinzento observados a nível da radiografia obtida, para além de facilitar também o processo de revelação. (SOARES 2001)

Quando o feixe de radiação interage com os elementos sensíveis presentes no filme, a estrutura física dos micro-cristais dos haletos de prata é alterada, formando a imagem latente. A visualização da imagem apenas é possível pelo processo de processamento da imagem, que fará com que os micro-cristais sensibilizados sofram uma redução a prata metálica enegrecida, contida em suspensão na gelatina, e é nesta fase que a imagem radiográfica se torna visível (ver capítulo 4.2.1). (SOARES 2001)

Como foi referido anteriormente, para obter uma radiografia de qualidade era necessário que as placas e filmes possuíssem uma sensibilidade aos raios-X adequada, dependente da absorção destes através da emulsão utilizada, bem como da sua espessura. Neste sentido, foram tentados vários métodos para aumentar a sensibilidade das placas e filmes, como a sua sensibilização antes da exposição, intensificação química após a revelação, bem como impregnação de sais fluorescentes na emulsão. No que respeita esta última ideia, em Maio de 1896, foi introduzida em Inglaterra pelo fabricante “*B. J. Edwards & Company*” uma placa, designada “*Cathodal Plate*”, que possuía incorporados sais fluorescentes<sup>70</sup>. Outro método frequentemente usado consistia em colocar a placa em contacto próximo com um ecrã fluorescente com cristais de platinocianeto de bário durante a exposição, cuja fluorescência intensificava a acção directa dos raios na placa. (GUTTERY 2006, HAUS 1989, ISENTHAL 1901, LONDE 1898)

Em Fevereiro de 1896, Michael Pupin (1858-1935), Médico e um dos pioneiros da Radiologia nos Estados Unidos da América, foi o primeiro a recorrer à combinação de

---

<sup>70</sup> Propostos por Oliver Lodge (1851-1940).

um ecrã fluorescente com uma placa fotografica, como meio de intensificar a imagem de uma radiografia médica. O ecrã fluorescente foi colocado em contacto com a placa fotografica e a mão do paciente foi colocada em cima do ecrã. A radiografia foi obtida após alguns segundos e exibia óptima qualidade, mostrando em detalhe a estrutura óssea da mão, bem como a localização das balas no seu interior (Fig. 82). (DISANTIS 1986, HAUS 1989, KASSABIAN 1907)



**Fig. 82: A primeira radiografia obtida recorrendo a um ecrã fluorescente intensificador, por Michael Pupin em 1896. (HAUS 1989)**

Embora introduzidos no início da Radiologia, os ecrãs fluorescentes, não tiveram uma aceitação imediata por parte dos Médicos Radiologistas. Tal facto foi à quantidade de luminescência residual, à granulometria causada pela grande dimensão dos cristais que reduzia a definição da radiografia resultante, e à heterogeneidade da emulsão. Para além disso, particularmente no que respeita ao uso de platinocianeto de bário, era necessário recorrer-se a placas ortocromáticas<sup>71</sup>, uma vez que este composto fluorecia com uma luz de cor amarela-esverdeada, a qual pouco afectava as placas secas comuns em grande dimensão. No entanto, surgiram outras formas de preparação de ecrãs fluorescentes contendo tungstato de cálcio<sup>72</sup>, sem granularidade apreciável, pelo que os resultados obtidos eram de grande qualidade. Para além disso, o uso destes ecrãs permitia que qualquer placa seca comum fosse utilizada sem uma prévia sensibilização com corantes,

---

<sup>71</sup> As placas ortocromáticas, desenvolvidas em 1873, eram sensíveis a todas as radiações, excepto ao vermelho, e muito sensíveis à radiação azul.

<sup>72</sup> Como já referido anteriormente, a utilização de tungstato de cálcio tinha sido sugerida por Edison, em Março de 1896, dado a sua maior capacidade de fluorescência aquando a exposição aos raios-X. Segundo o próprio, a realização de exames fluoroscópios recorrendo a esta substância eram mais úteis no diagnóstico médico do que as imagens produzidas com placas ou filmes.

sendo o seu preço mais baixo que o dos ecrã de platinocianeto de bário. (HAUS 1989, ISENTHAL 1901)

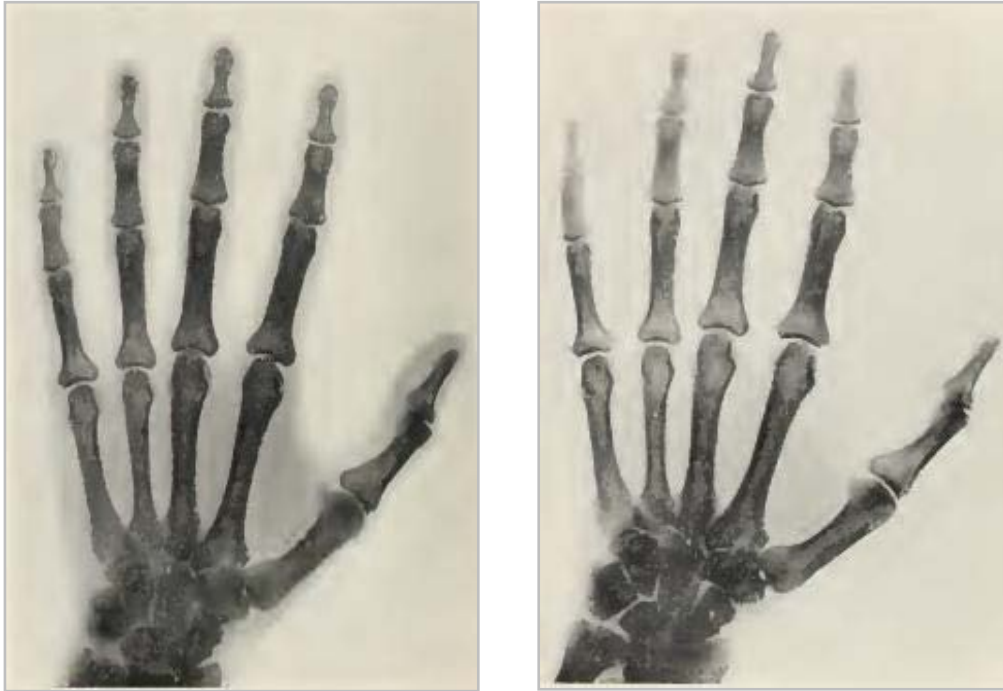
A introdução, em 1913, do filme de raios-X à base de nitrato de celulose de camada simples, permitiu um uso mais extensivo dos ecrãs intensificadores, com consequente redução do tempo de exposição. (HAUS 1989)

Carl V. S. Petterson proporcionou novos desenvolvimentos no fabrico de ecrãs fluorescentes intensificadores. Em 1916 fabricou ecrãs de tungstato de cálcio sintético, que fluoreciam intensamente, eram cobertos de modo mais uniforme, tinham uma luminescência residual mínima e permitiam ultrapassar as dificuldades associadas às impurezas no mineral natural. (HAUS 1989)

Em 1918, o filme com camada dupla permitiu o uso de ecrãs intensificadores duplos, que reduziram ainda mais o tempo de exposição, ao permitirem um reforço de luz para a sensibilização do filme, assim como aumentaram o contraste radiográfico. No entanto, em 1897, Max Levy, na Alemanha, foi o primeiro a recomendar o uso de um filme com emulsão dupla entre dois ecrãs intensificadores. (ISENTHAL 1901, PULLIN 1927)

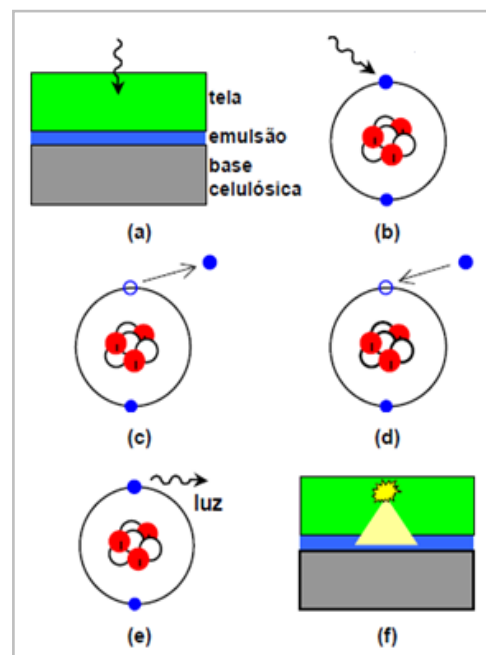
Em 1920, já estavam disponíveis ecrãs fluorescentes de excelente qualidade. Um ano mais tarde, foi desenvolvido um outro ecrã fluorescente intensificador, através da aplicação de uma fina camada protectora sob a substância fluorescente. Tal inovação permitiu um maior tempo de duração do ecrã, diminuindo o elevado custo da sua substituição. (HAUS 1989)

Em 1930, a maioria das radiografias era feita recorrendo a um par de ecrãs intensificadores de tungstato de cálcio com um filme de raios-X de dupla emulsão, de uso exclusivo em Radiologia, proporcionando um grande aumento da sensibilidade do filme e, consequentemente, a obtenção de radiografias de melhor qualidade do que as anteriormente obtidas sem o recurso a um ecrã intensificador (Figs. 83 e 84). (HAUS 1989, KNOX 1916)



**Figs. 83 e 84: A importância de um ecrã intensificador. Radiografia obtida com um ecrã intensificador (imagem da esquerda) e sem o ecrã (imagem da direita). O tempo de exposição foi dez vezes superior ao da radiografia com recurso ao ecrã. (KNOX 1916)**

De acordo com o ilustrado na Fig. 85, o processo de intensificação, isto é, a conversão dos raios-X em luz visível, ocorre quando um electrão dos átomos de maior número atómico da substância fluorescente, como o tungstato de cálcio, ao absorver um fóton de radiação X - (a) e (b) - passe do estado fundamental para o estado excitado (c). Ao retornar ao estado de menor energia, ocorre a libertação de energia em excesso sob a forma de emissão de luz visível (e), que interage com o filme de raios-X (f)<sup>73</sup>.



**Fig. 85: Esquema ilustrativo do processo de intensificação recorrendo a ecrãs. (SOARES 2001)**

<sup>73</sup> A conversão de um número relativamente pequeno de fótons de raios-X de alta energia num grande número de fótons de luz de baixa energia é devida, predominantemente, à absorção de raios-X pelos átomos de maior número atómico da substância fluorescente, via efeito fotoeléctrico.



O brilho emitido pelo cristal é proporcional à energia do fóton incidente. Quando um feixe de radiação interage com a substância fluorescente do ecrã, a superfície do mesmo revela intensidades luminosas diferenciadas de acordo com a energia dos fótons que irão sensibilizar o filme radiográfico. Tal verifica-se, uma vez que os fótons gerados pela radiação visível são mais facilmente absorvidos pelo filme do que os fótons de alta energia dos raios-X.<sup>74</sup> (SOARES 2001)

## **4.2. Processamento da Imagem Radiográfica**

O processamento de um filme radiográfico<sup>75</sup> é composto por quatro etapas distintas de um processo físico-químico complexo. Em cada etapa é utilizado um conjunto de químicos que actuam sobre o filme sensibilizado, de modo a que se tornem visíveis e permanentes as alterações produzidas nos cristais dos haletos de prata presentes na emulsão. (SOARES 2001) É necessário que quem efectue este processo conheça os princípios básicos que o governam, bem como os agentes químicos utilizados para esse fim, uma vez que se tal não se verificar, será difícil localizar e corrigir erros ocorridos na sua execução. Por exemplo, no início da Radiologia, eram utilizados diferentes tipos de reveladores e as quantidades utilizadas não estavam padronizadas, pelo que a execução da revelação baseava-se na experiência e preferência do operador. (WENDELL 1919)

As quatro etapas do processamento da imagem radiográfica são: revelação, fixação, lavagem e secagem.

### **4.2.1. Revelação**

Um revelador é um agente químico que vai actuar como redutor dos iões prata a prata metálica. Quando se coloca a placa ou filme de raios-X anteriormente exposto à radiação em contacto com o revelador, a imagem surge gradualmente. A imagem

---

<sup>74</sup> Quando são considerados os aspectos referentes à maior capacidade de absorção de luz visível, verificou-se que para produzir o mesmo grau de enegrecimento do filme em dispositivos com ou sem ecrã, seria necessário um aumento substancial na dose de radiação aplicada no paciente quando não se utiliza um ecrã, situação que deve ser sempre evitada.

<sup>75</sup> Vulgarmente designado apenas por revelação.

revelada surge com uma coloração negra, devido aos grãos da prata metálica serem pequenos e de forma irregular. Dos vários agentes redutores químicos, apenas alguns podem ser usados para fins radiográficos, pois a sua função é reduzir o brometo de prata que foi exposto, mas se forem muito fortes poderiam atacar também o brometo de prata que não foi sensibilizado pelos raios-X. Além dos redutores, diversas substâncias eram usadas nesta etapa, possuindo uma função bem definida no processo: redutores, aceleradores, conservantes e moderadores. (WENDELL 1919)

Os agentes redutores mais frequentemente usados na revelação de placas de raios-X eram soluções alcalinas, como o metol ( $C_{14}H_{20}N_2O_6$ )<sup>76</sup> e a hidroquinona ( $C_6H_4(OH)_2$ ), normalmente usados em conjunto. No entanto, uma vez que a combinação destes dois reagentes não é suficientemente energética para penetrar na emulsão, era necessário adicionar um outro composto que permitisse a penetração dos agentes redutores através dos poros da gelatina, para que pudessem ter acesso aos grãos de prata que absorveram radiação. Geralmente, usava-se uma base, como o carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ )<sup>77</sup>, conhecido como acelerador, cuja função era acelerar a acção do agente redutor. (CHRISTIE 1913, KASSABIAN 1907, WENDELL 1919)

Dado que o revelador sofre rápida oxidação, era necessária a adição de um conservante, normalmente, sulfito de sódio ( $Na_2SO_3$ ), um composto químico com grande afinidade para o ar sem influenciar a função dos outros químicos. Um revelador contendo os dois agentes redutores, o acelerador e o conservante, podia ser tão forte que produzia uma nuvem de vapor envolvendo o filme, restringindo, assim, a acção do revelador; de modo a diminuir este efeito, juntavam-se alguns grãos de brometo de potássio (KBr), que funcionava como moderador<sup>78</sup>. (KASSABIAN 1907, WENDELL 1919)

---

<sup>76</sup> O metol (sulfato de N-metil-p-aminofenol) foi durante anos o revelador padrão utilizado. No entanto, existiam disponíveis outros químicos de acção semelhante, como rodinal, ácido pirogálico, ortol, amidol, entre outros.

<sup>77</sup> Também era usado carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ).

<sup>78</sup> A água era um elemento sempre presente neste processo de revelação como solvente, diluindo a concentração dos produtos químicos e como auxiliar do transporte dos compostos químicos para próximo dos micro-cristais.



**Fig. 86: Tabuleiro para uso no processo de revelação. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

Durante o processo de revelação, o operador deveria utilizar materiais de protecção das suas mãos, não só para as proteger dos químicos, mas também para evitar a inutilização dos negativos (Figs. 87 e 88). Na camera escura, quando a placa é colocada no tabuleiro (Fig. 86) contendo o revelador, a solução penetra

na gelatina e ataca os grãos de brometo de prata que foram expostos e converte-os em grãos de prata metálica de cor negra, formando, deste modo, a imagem sobre a placa. Com o decorrer desta acção, ocorre a oxidação do revelador e, ao perder o seu poder de redução, é necessário um fornecimento constante de solução do revelador. (CHRISTIE 1913, ISENTHAL 1901)



**Figs. 87 e 88: Materiais protectores das mãos utilizados no processo de revelação dos negativos. Luvas (imagem da esquerda) e dedeiras. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

Deste modo, o processo de revelação leva algum tempo, aumentando a densidade da imagem ao longo desse período. Era necessário dar algum tempo para o revelador actuar, mas se a placa se mantivesse muito tempo em contacto com o mesmo, estaria demasiado revelada – a maior parte do brometo de prata seria reduzido a prata metálica, pelo que não só a imagem resultante apareceria muito densa, mas também pouco nítida. Por outro lado, se a placa não fosse revelada durante o tempo suficiente, estaria insuficientemente revelada, isto é, apenas a parte superficial dos grânulos de brometo de prata seriam convertidos em prata metálica, enquanto a porção inferior não seria revelada e dissolver-se-ia no banho de fixação. (WENDELL 1919)

De modo análogo, quanto à exposição, as placas definem-se como placas com excesso de exposição e com exposição insuficiente, determinando a velocidade com que a imagem surge na radiografia obtida no processo de revelação, bem como a sua qualidade: exposições insuficientes resultam numa revelação da imagem mais lenta, surgindo apenas como a definição de uma silhueta do objecto radiografado (Fig. 89), enquanto que o excesso de exposição resulta no aparecimento imediato da imagem quando revelada, exibindo contraste reduzido (Fig. 91). (BOTTONE 1898)



**Figs. 89, 90 e 91: Radiografia com exposição insuficiente (imagem da esquerda) e com uma exposição excessiva (imagem da direita). A imagem central corresponde a uma radiografia exposta correctamente, com contraste adequado. (BOTTONE 1898)**

Antes de ter sido submetida ao processo de revelação, a imagem latente é constituída por cristais que contêm agregados de prata de várias dimensões, consoante correspondam a zonas de maior ou menor iluminação. Assim, as zonas de maior iluminação correspondem a agregados maiores e as zonas escuras correspondem a cristais de brometo de prata que não foram transformados em prata. (CALADO 1989)

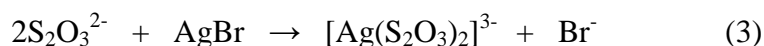
Verificou-se que determinadas propriedades dos átomos isolados são diferentes das dos pequenos agregados de átomos, e diferentes ainda da substância microscópica. Este facto está na base da razão pela qual o revelador não actua sobre todos os iões  $\text{Ag}^+$  de todos os cristais, não gerando, desta forma, um negativo completamente enegrecido. Entre as propriedades que variam está, por exemplo, a energia necessária para remover um electrão ao átomo de prata para o transformar em  $\text{Ag}^+$  (ou a energia libertada quando se fornece um electrão ao ião para o transformar num átomo electricamente neutro,  $\text{Ag}^0$ ). Para que o revelador possa actuar como dador de electrões é necessário

que o seu potencial electroquímico seja superior ao da  $\text{Ag}^+/\text{Ag}^0$  no agregado, o que acontece a partir de um determinado número de átomos no agregado. Pelo contrário, os iões  $\text{Ag}^+$  em agregados inferiores ao anterior número de átomos, são estáveis em relação ao revelador. Tal explica a razão pela qual o revelador actua sobre os iões  $\text{Ag}^+$  em agregados de maior dimensão, acabando por transformar todo o cristal em prata, enquanto deixa inalteráveis os agregados mais pequenos. (CALADO 1989)

#### 4.2.2. Fixação

Após a revelação da placa ou filme de raios-X, é necessário proceder-se a um outro processo químico antes se obter o negativo (a radiografia); isto é, a placa deve ser “fixada” a fim de se remover o brometo de prata que não foi sensibilizado pela exposição e tornar a imagem permanente. Para tal, antes da fixação, deve-se proceder a uma lavagem com água corrente.

O principal químico da solução do banho de fixação é o tiosulfato de sódio<sup>79</sup> ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), que tem a capacidade de fixar a imagem metálica, ao mesmo tempo que solubiliza o brometo de prata não sensibilizado. O átomo terminal do enxofre em  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  liga-se a metais com alta afinidade. Os haletos são, assim, dissolvidos, de acordo com a equação:



O processo de fixação está completo quando nenhuma parte branca existe à superfície da placa ou filme de raios-X, o que se vê melhor por transparência na parte sem gelatina. (ABRANCHES 1897, KASSABIAN 1907, KNOX 1916, WENDELL 1919)

---

<sup>79</sup> Vulgarmente designado hipossulfito de sódio.

### 4.2.3. Lavagem

Após fixação, a placa ou filme de raios-X deve ser lavado com água corrente, a fim de se remover a solução fixadora do mesmo. (KNOX 1916)

### 4.2.4. Secagem

A etapa final do processo de revelação é a de secagem, a qual deve ser feita num local bem ventilado e com uma temperatura adequada, livre de poeiras, até a placa estar completamente seca (Fig. 92). (KASSABIAN 1907, KNOX 1916)



Fig. 92: Dispositivo usado na secagem de radiografias. (THE KNY-SCHEERS COMPANY 1905)

## 4.3. Impressão

Quando desejado, era comum fazer-se uma impressão do negativo recorrendo a qualquer papel fotográfico, sendo este processo, frequentemente, realizado por Fotógrafos. O papel de impressão mais vulgarmente utilizado era o papel de albumina, cuja impressão teria de ser feita à luz solar. (KASSABIAN 1907) A impressão podia ser feita também recorrendo a papéis de brometo, mas, no entanto, teria que ser realizada no escuro com luz artificial<sup>80</sup>. O negativo era coberto com uma folha de papel sensível,

---

<sup>80</sup> A impressão dos negativos em papel de prata também era comum.

tendo a face sensível voltada para a face da placa que tem a emulsão. Após exposição à luz num chassiz-prensa, a folha de papel era mergulhada num banho de viragem<sup>81</sup> até atingir o tom desejado, sendo, posteriormente, fixada num banho de tiosulfato de sódio. Depois de fixada, a prova era mergulhada em água durante um dia e deixava-se secar, podendo, depois, proceder-se à colagem. A vantagem destes papéis prendia-se com a rapidez com que a impressão era feita sem a necessidade da luz solar. (ABRANCHES 1897, KASSABIAN 1907, KNOX 1916, WILLIAMS 1901)

Quer fossem utilizadas placas ou filmes de raios-X, era necessário protegê-los com mais cuidado do que nas práticas comuns de fotografia, uma vez que as caixas de cartão que protegem da luz, são atravessadas pelos raios-X, mesmo quando localizadas a alguma distância do equipamento. Idealmente, as caixas de cartão contendo as placas deveriam ser colocadas numa caixa de zinco ou de madeira com um revestimento de folha de chumbo, e mantidas num local fresco e seco (Fig. 93). (ISENTHAL 1901, KASSABIAN 1907, KNOX 1916)



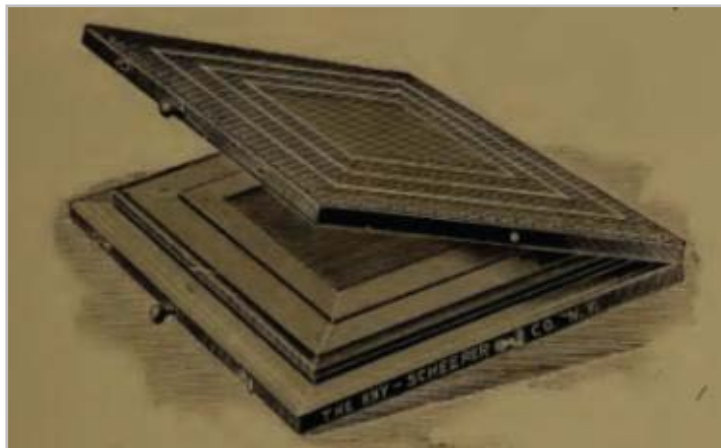
**Fig. 93: Caixa de protecção para placas de raios-X. (THE KNY-SCHEERS COMPANY 1905)**

Geralmente, as superfícies sensíveis das placas ou filmes de raios-X não necessitavam, de uma preparação especial antes de serem expostas à radiação. Assim, eram retirados da caixa de protecção e transferidos para envelopes, geralmente de papel preto. Como alternativa aos envelopes, poderia utilizar-se chassiz, que não só protegiam as placas de vidros de se partirem, mas também facilitavam o uso de ecrãs intensificadores. As placas ou filmes de raios-X deveriam ser colocadas nos envelopes ou chassiz (Fig. 94) apenas imediatamente antes da exposição, após a qual devem ser colocados novamente

---

<sup>81</sup> Geralmente, era composto por uma solução aquosa de cloreto de ouro.

na caixa na qual estavam colocadas quando armazenadas. (CHRISTIE 1913, ISENTHAL 1901)



**Fig. 94: Chassis para uso com placas de raios-X. (THE KNY-SCHEERS COMPANY 1905)**



## 5. DESENVOLVIMENTOS NAS APLICAÇÕES MÉDICAS DOS RAIOS-X

Ainda durante o ano de 1896 e nos anos seguintes, alguns avanços das técnicas e instrumentação no campo da Radiologia contribuíram para contornar algumas limitações da técnica, como por exemplo, melhorar a qualidade das radiografias e diminuir o tempo de exposição. A introdução da Fluoroscopia<sup>82</sup> (através do desenvolvimento de Fluoroscópios)<sup>83</sup>, do desenvolvimento de novos tubos de raios-X, de aparelhos destinados à otimização do processo da sua produção, assim como da utilização de ecrãs intensificadores, entre outros, permitiram, também, a introdução de um vasto campo de aplicações dos raios-X na Medicina, como também noutras áreas. (KASSABIAN 1907, WARD 1896)

### 5.1. As Primeira Aplicações em Medicina

Nas semanas e meses seguintes à descoberta dos raios-X, assistiu-se a um período de intensa investigação sobre o valor prático da nova radiação. Este foi rapidamente reconhecido, particularmente no domínio da Medicina, primeiro a nível de diagnóstico e cirurgia, e, posteriormente, a nível terapêutico. De entre as aplicações médicas e cirúrgicas iniciais, alguns casos de particular interesse devem ser citados. (GOODMAN 1995a, MORGAN 1945, PULLIN 1927)

Possivelmente, no dia 12 de Janeiro de 1896, foi realizada a primeira intervenção cirúrgica com o auxílio dos resultados do diagnóstico proveniente de uma radiografia. Esta foi feita por J. R. Ratcliffe e John Hall-Edwards (1858-1926) de Birmingham, em Inglaterra, que, posteriormente, a cederam ao cirurgião do “*Queen’s Hospital*” responsável pela remoção de uma agulha que se encontrava no interior da mão de uma paciente. Ainda nesse mês, em Viena uma bala foi rapidamente localizada e removida de uma mão. Em Paris, a utilização de uma radiografia auxiliou no diagnóstico de uma

---

<sup>82</sup> Também designada por Radioscopia.

<sup>83</sup> Designados também por Criptoscópios, Radioscópios ou Iridoscópios.

doença óssea e em Berlim permitiu observar a formação de nova estrutura óssea após uma fractura. (FRANKEL 1995, PULLIN 1927, ROWLAND 1896b)

Nos Estados Unidos da América, no dia 3 de Fevereiro de 1896, foi realizada a primeira radiografia médica utilizada em diagnóstico clínico. Edwin Frost (1866-1935), um Astrónomo da Universidade de Dartmouth, radiografou o pulso de um paciente do seu irmão, Gilman Dubois Frost (1864-1942), que possuía uma fractura de Colles<sup>84</sup>. O momento da exposição foi documentado fotograficamente (Fig. 95). (GOODMAN 1995)



**Fig. 95: Fotografia realizada no dia 3 de Fevereiro de 1896 durante o momento da exposição aos raios-X. A radiografia obtida viria a ser a primeira radiografia médica obtida nos Estados Unidos da América. (GOODMAN 1995)**



**Fig. 96: O primeiro angiograma obtido no início de 1896 por Haschek e Lidenthal. (GOODMAN 1995)**

Em Fevereiro de 1896, foi possível a visualização de órgãos recorrendo a substâncias rádio-opacas. Eduard Haschek (1875-1947) e Otto Lindenthal (1872-1947), em Viena, Áustria, injectaram uma mistura de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), mercúrio e petróleo (mistura de Teichmann) no sistema vascular da mão amputada de um cadáver, realizando o primeiro estudo angiográfico. O angiograma obtido (Fig. 96) revela um óptimo detalhe do sistema

<sup>84</sup> Fractura da extremidade distal do rádio.

vascular. O recurso a outras substâncias com a mesma propriedade foi aplicado, posteriormente, para a visualização dos movimentos de alguns órgãos<sup>85</sup>. (CANNON 1902, DEL REGATO 2003, GOODMAN 1995, ROWLAND1896a, WAKE 2011)

A técnica radiográfica desenvolveu-se muito rapidamente, pelo que no final do mês de Fevereiro de 1896, o valor da utilização de radiografias no diagnóstico de fracturas ósseas e na exacta localização de corpos estranhos, como agulhas, pedaços de vidro e balas, foi gradualmente reconhecido, ao permitir, não só o conhecimento da localização, tamanho e forma dos mesmos, mas também a extensão dos danos sofridos. No entanto, continuava a ser um desafio obter uma adequada e melhor visualização de regiões do corpo mais espessas e densas, bem como a redução do tempo de exposição<sup>86</sup>. O termo radiografia foi introduzido por Hill Norris<sup>87</sup>. (ISENTHAL 1901, WARD 1896)

As primeiras aplicações dos raios-X na Medicina Militar (Fig. 97) ocorreram em Março de 1896 na batalha de Adwa, quando os Italianos foram derrotados pelos Etíopes. O recurso às radiografias, nomeadamente para localização de balas ou estilhaços de granadas, em militares feridos através de radiografias, foi adoptado pelo Tenente-Coronel Giuseppe Alvaro, no Hospital Militar de Nápoles, em Itália. (LOPES 1946, MOULD 2011, VERMEULEN 2002)

Os Ingleses contribuíram fortemente para que a Medicina Militar adoptasse os raios-X como uma técnica médica de rotina, que beneficiava o diagnóstico de feridos de guerra em campo, assim como permitia o tratamento de fracturas ósseas. Em 1897<sup>88</sup>, durante a guerra Greco-Turca, a “*British Red Cross*” foi responsável pelo envio de unidades hospitalares a fim de prestarem auxílio aos Gregos. Estas unidades, entre outros

---

<sup>85</sup> Walter B. Cannon (1873-1945), em 1898, observou o estômago e do intestino de animais, utilizando uma mistura de nitrato de bismuto, um composto pesado e denso, com alimentos, de modo a obter um melhor contraste nas suas observações fluoroscópicas. As dificuldades que se prendem com o facto de não existirem ossos naquelas regiões, que fornecem a sombra necessária para a produção de uma radiografia viável, para além de todos os tecidos serem de semelhante densidade, foi contornada. Assim, a passagem da referida mistura pelos vários órgãos, durante a digestão, oferece elevada resistência à passagem dos raios e projecta uma sombra, pelo que, por todo o percurso, o estômago e os intestinos foram visualizados nitidamente no ecrã fluorescente.

<sup>86</sup> Veja-se, por exemplo, que a exposição típica da radiografia de uma mão poderia demorar entre dez e trinta minutos, mas tal não acontecia com outras partes do corpo, como o crânio ou a pélvis, cujos tempos de exposição poderiam ser bastante demorados, podendo atingir duas horas durante os primeiros anos.

<sup>87</sup> Anteriormente a introdução deste termo, diversas designações eram utilizadas, como “*skiagraphs*”, “*shadowgraphs*”, “*cathodographs*”, “*fluorographs*”, “*actinographs*”, “*skotographs*” e “*pyknographs*”.

<sup>88</sup> Mais tarde nesse ano, os raios-X foram também utilizados pelo exército Inglês durante a campanha de Tirah, onde cerca de 200 casos foram examinados.

equipamentos e utilidades, estavam munidas de um aparelho de raios-X. Apesar das dificuldades no transporte do equipamento em segurança, a maior prendia-se com a obtenção de corrente eléctrica, dependendo do navio de guerra “*HMS Rodney*” para que os acumuladores fossem recarregados<sup>89</sup>. No entanto, e apesar das dificuldades, foram realizadas entre cinquenta e sessenta radiografias apenas em seis semanas. A rival “*Red Cross Society*” Alemã, que prestou apoio aos Turcos, obteve semelhante sucesso. Rapidamente foi reconhecida a importância e a necessidade de possuir equipamento de raios-X quer nos hospitais de campanha, quer na linha da frente de combate<sup>90</sup>. (LOPES 1946, MEGGITT 2008, PULLIN 1927, ROWLAND 1896e)



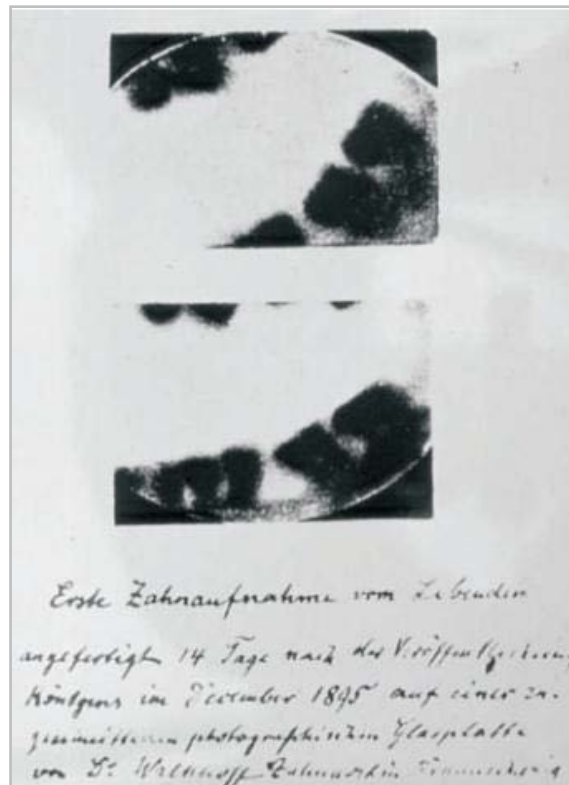
**Fig. 97: Realização de um exame de raios-X aplicado à Medicina Militar. (VERMEULEN 2002)**

A primeira radiografia dentária foi obtida cerca de duas semanas após a publicação da primeira comunicação de Röntgen, por Otto Walkhoff (1860-1934), na Alemanha, após uma exposição de vinte e cinco minutos (Fig. 98). C. Edmund Kells (1856-1928) terá sido o primeiro a conseguir os mesmos resultados nos Estados Unidos da América, em Abril de 1896 e, cerca de três meses mais tarde, tornou-se o primeiro Médico Dentista a dispor de um aparelho de raios-X no seu consultório. (FORRAI 2007)

---

<sup>89</sup> Era frequente recorrer-se a uma bicicleta acoplada a um gerador a fim de recarregar os acumuladores, como ocorreu na campanha do Sudão, em 1898.

<sup>90</sup> Foi Madame Curie (1867-1934) que no início da Grande Guerra de 1914-1918 criou em França a primeira viatura radiológica, quando verificou a enorme afluência às ambulâncias, completamente desprovidas de aparelhos de raios-X. Num automóvel vulgar instalou um aparelho e um dínamo que posto em movimento pelo próprio motor do carro, fornecia a corrente necessária ao seu funcionamento. Na sua patriótica e humanitária missão a favor da Radiologia em campanha, Curie usa toda a sua influência junto de particulares para que lhe emprestassem as suas viaturas, conhecidas por “*Les Petites Curie*”.



**Fig. 98: Primeira radiografia dentária, realizada por Otto Walkhoff. (FORRAI 2007)**

Thomas Alva Edison (1847-1931)<sup>91</sup>, que no início de 1896 iniciou os seus estudos sobre raios-X<sup>92</sup>, pretendia desenvolver um instrumento a partir do qual o corpo pudesse ser, imediata e directamente observado, a partir das sombras obtidas pela radiação, sem que, no entanto, não fosse necessário recorrer a placas fotográficas, mas sim, a ecrãs fluorescentes, não havendo, deste modo, necessidade de aguardar pela revelação do suporte fotográfico. (FRANKEL 1996, GOODMAN 1995a)

Assim, deu início ao estudo da fluorescência exibida por determinadas substâncias sob a acção dos raios-X e, de entre as mil e oitocentas estudadas, verificou que o tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ ) era oito vezes mais fluorescente que o platinocianeto de bário utilizado por Röntgen, constituindo a melhor escolha para uma intensificação do ecrã e permitindo, deste modo, a obtenção de uma imagem mais detalhada. Posteriormente, cobriu um cartão com este sal e colocou-o no fundo de uma caixa de cartão, com o lado

<sup>91</sup> Em 1880 inventou a lâmpada eléctrica.

<sup>92</sup> Edison foi o fundador da mais antiga fábrica de produção de aparelhos de raios-X, “The Edison Decorative and Miniature Lamp Department” da “General Electric Company”.

preparado para o seu interior. A parte oposta da caixa adaptava-se ao contorno da face quando se olhava através dela. Este instrumento designou-se fluoroscópio de Edison (*Vitascope*)<sup>93</sup> (Fig. 99). Um tubo de Crookes encontrava-se no interior de uma caixa de madeira, sobre cuja tampa se colocava a parte do corpo que se pretendia observar. Segundo o autor, as sombras produzidas pelos raios-X viam-se tão nitidamente como nas melhores placas fotográficas. Como era comum naquela época, a utilização do fluoroscópio de Edison foi demonstrada ao público na “*New York Electrical Exposition*”, em Junho de 1896. (AUBERT 1898, BASTOS 1896, BOTTONE 1898, KASSABIAN 1907, MOULD 2011, ROWLAND 1896h)



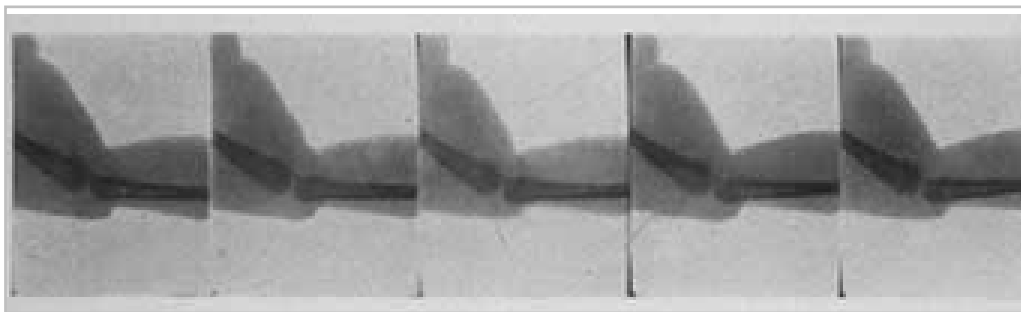
**Fig. 99: Fotografia de Edison a realizar um exame radioscópio à mão do seu assistente, Clarence Dally, com recurso ao fluoroscópio. (FELDMAN 1989)**

Em Maio de 1896, no primeiro número do jornal que se dedicava exclusivamente a assuntos relacionados com raios-X, “*Archives of Clinical Skiagraphy*”, foi noticiado que John Macintyre (1857-1928), na Escócia, tinha exibido na “*Glasgow Philosophical Society*” um filme obtido pelos raios-X – Cineradiografia ou cinematografia de raios-X – mostrando os movimentos da perna de uma rã (Fig. 100). Para tal, colocou um filme sensibilizado que passava por baixo da abertura numa caixa densa de chumbo que cobria o cinematógrafo. Esta abertura correspondia ao tamanho da imagem, e foi coberta com uma folha de papel preto, sobre a qual o membro do animal, poderia ser

---

<sup>93</sup> Porém, anteriormente ao aparecimento do fluoroscópio proposto por Edison, já tinha sido proposto um crioscópio por Enrico Salvioni (1857-1928) em Fevereiro de 1896, em Itália, ficando conhecido por crioscópio de Salvioni. Era muito semelhante ao de Edison, com a diferença de inicialmente, ter sido proposto o uso de platinocianeto de bário<sup>93</sup> como substância fluorescente. No entanto, após a divulgação dos trabalhos de Edison, Salvioni, em Abril de 1896, adoptou o tungstato de cálcio, devido à sua maior capacidade de fluorescência sob a acção da radiação.

fotografado. Era necessário que os movimentos fossem lentos, sendo administrada uma anestesia. Os movimentos da perna da rã foram claramente observados quando o filme foi projectado num ecrã através de uma lanterna mágica. (MOULD 2011, PULLIN 1927) Alguns meses mais tarde, em Julho 1896, Macintyre foi o primeiro a publicar o primeiro exame radiodiagnóstico de cálculos renais. Foi também um dos pioneiros da Fluoroscopia, utilizando o criptoscópio nos seus exames clínicos. (UNDERWOOD 1945) Para além de ter obtido radiografias dos membros, obteve outras de elevada qualidade da coluna vertebral, costelas e, pela primeira vez, de cálculos renais. (MOULD 2011, PULLIN 1927)



**Fig. 100: Cinematografia de raios-X dos movimentos da perna de uma rã, realizada por John Macintyre. (MOULD 2011)**

Em meados de 1897, o uso dos raios-X na Medicina, nomeadamente na cirurgia, generalizou-se, tendo demonstrado ser, de facto, uma ferramenta de grande valor no diagnóstico e nalguns casos também foi aplicada com sucesso em terapia (ver capítulo 5.2).

Arthur-Honoré Radiguet (1850-1905), em Abril de 1897 realizou uma radiografia de corpo inteiro de um indivíduo com uma grave doença óssea (conhecido como “*l’homme momie*”, o homem múmia), através da qual foi possível fazer um diagnóstico mais preciso das deformações do esqueleto do seu paciente (Figs. 101 e 102). Foram feitas duas exposições, de quarenta minutos cada. (COURMELLES 1897)



**Figs. 101 e 102: Fotografia do paciente de Radiguet e respectiva radiografia da totalidade do seu corpo. (COURMELLES 1897)**



William J. Morton (1845-1920), em Nova Iorque, no mês de Julho de 1897 produziu a primeira radiografia do esqueleto inteiro (Fig. 103) com o tubo de raios-X a uma distância de cerca de 1,5 metros. A exposição foi apenas uma, com uma duração total de trinta minutos. (MOULD 2011, PULLIN 1927)

**Fig. 103: Radiografia da totalidade do corpo humano, realizada por William Morton em Julho de 1897. (MOULD 2011)**

Importa referir outros exemplos de aplicações clínicas que foram realizadas através dos raios-X, até cerca de um ano após a sua descoberta, como localização de balas no cérebro (Fig. 104) e de uma agulha nas amígdalas, visualização de cavidades nos pulmões anteriormente desconhecidas, diagnóstico (e sua confirmação) de um aneurisma da aorta, entre muitas outras (Figs. 105, 106 e 107). Também no campo da Radioterapia, foram relatadas tentativas de tratamento de cancro e tuberculose, e



nalguns casos, verificam-se melhoras em pacientes oncológicos, como será referido no próximo capítulo. (PULLIN 1927, WARD 1896, ROWLAND 1896f)



**Fig. 104:** Radiografia do crânio de um cadáver, revelando a existência de três balas, realizada por John Macyntire em 1896. (WARD 1896)



**Fig. 105:** Radiografia do esôfago de uma criança (2 anos), na qual é visível a localização de uma moeda, após a sua ingestão. (ROWLAND 1896g)



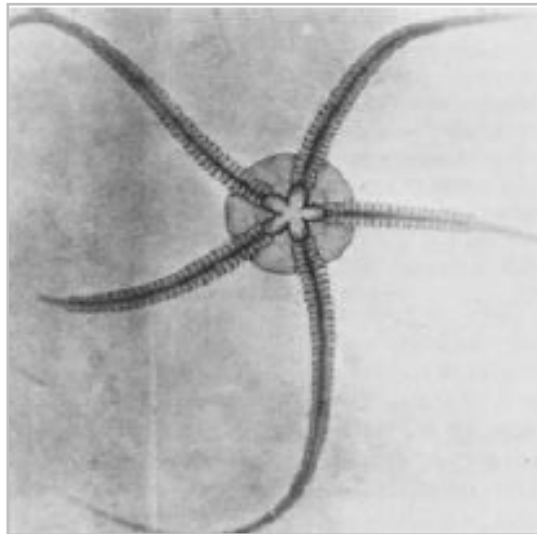
**Fig. 106:** Radiografia de um bebê (3 meses) obtida por Sidney Rowland no início de 1896. (ROWLAND 1896f)



**Fig. 107:** Localização de cálculos no uréter pelos raios-X. (CHRISTIE 1913)

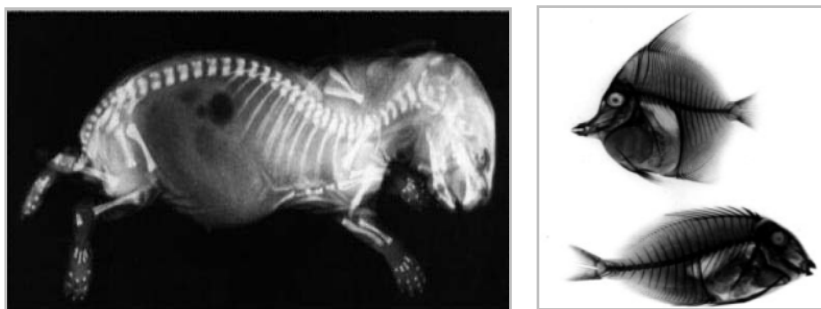
Outras Ciências da vida, como a Botânica e a Zoologia, também aplicaram os raios-X nos seus estudos. Por exemplo, o “*Archives of the Röntgen Ray*”, em 1897, teve o seu primeiro suplemento dedicado exclusivamente à Biologia Marinha, com trinta e seis

reproduções de radiografias de diversos animais pertencentes ao filo *Echinodermata*, existentes na costa Inglesa (Fig. 108). (COMROE 1976)



**Fig. 108: Radiografia de um exemplar da espécie *Ophiurus ciliaris*, publicada no primeiro suplemento de “Archives of the Röntgen Ray” (1897). (COMROE 1976)**

Josef Eder, director do “*Imperial & Royal Graphical School & Research Institute*”<sup>94</sup>, em Viena, juntamente com Eduard Valenta, compilaram num atlas, intitulado “*Versuche über Photographie mittelst der Röntgen’schen Strahlen*”, várias radiografias obtidas no ano de 1896 de várias espécies animais (Figs. 109 e 110) e objectos, para além de fornecerem estudos sobre aspectos da técnica radiológica. (MOULD 2011)

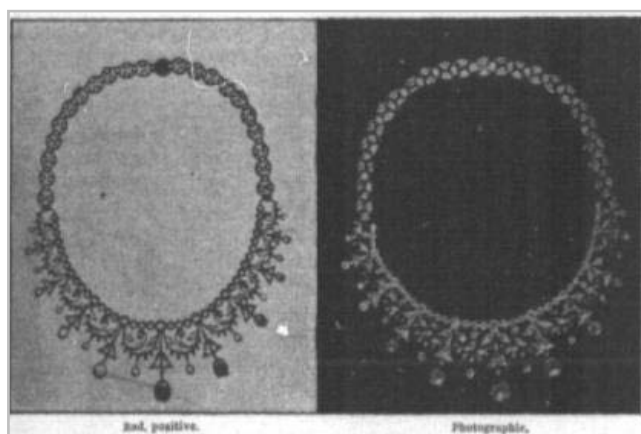


**Figs. 109 e 110: Radiografias de um mamífero e de peixes realizadas em 1896 por Eder e Valenta. (ASSMUS 1995)**

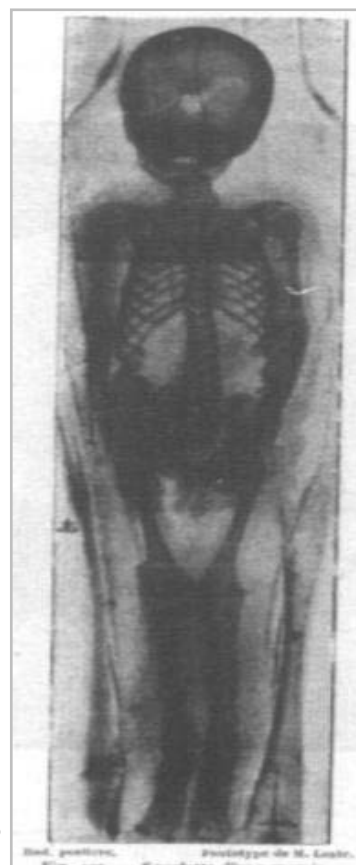
<sup>94</sup> Uma escola de treino direccionada para Fotógrafos.

Se as aplicações dos raios-X no campo das Ciências da vida foram numerosas, e embora fosse reconhecido que o emprego mais evidente dos raios-X era na Medicina, quase imediatamente após a sua descoberta, fizeram-se aplicações destes na Indústria, tendo as primeiras surgido em Fevereiro de 1896.

Os exemplos que se seguem ilustram o vasto leque de aplicações nesta área: controlo de qualidade na produção de produtos metálicos<sup>95</sup>, detecção de documentos e pinturas fraudulentos, inspecção do conteúdo de encomendas postais, exame da integridade de canhões do exército durante a Primeira Guerra Mundial, análise de pedras preciosas (Fig. 111), estudos das múmias do Egipto (Fig. 112), entre muitas outras<sup>96</sup>. (LONDE 1898, PULLIN 1927, WARD 1896)



**Fig. 111: Radiografia de um colar de diamantes, a qual revela a existência de quatro pedras falsas (marcadas a negro), e fotografia do mesmo. (LONDE 1898)**



**Fig. 112: Radiografia do esqueleto de uma múmia no interior do seu sarcófago, por Albert Londe. (LONDE 1898)**

<sup>95</sup> Röntgen radiografou a sua arma de caça e observou uma pequena falha interna.

<sup>96</sup> Em 1897 foi, definitivamente, estabelecida a utilização de radiografias em assuntos e casos médico-legais.

## 5.2. Radioterapia

Logo após o anúncio da descoberta dos raios-X foi sugerido o seu potencial uso para fins terapêuticos, para além da sua contribuição no campo do diagnóstico clínico e na cirurgia. A acção nociva dos raios-X verificada sobre os tecidos (a referir posteriormente) levou a pensar na sua possível aplicação curativa, nomeadamente no tratamento de doenças transmitidas por microrganismos patogénicos. Foram, então, realizadas as primeiras experiências em animais. Louis Lortet (1836-1909) e Philibert Genoud submeteram uma comunicação à Academia de Ciências de Paris, em Junho de 1896, sobre a acção dos raios-X na terapêutica da tuberculose, intitulada “*Tuberculose expérimentale atténuée par la radiation Roentgen*“. As experiências foram realizadas em cobaias, nas quais tinha sido inoculada a bactéria e, ao fim de várias semanas de aplicação da radiação, verificou-se que já não exibiam sinais aparentes da doença<sup>97</sup>. (AUBERT 1898, COURMELES 1897, ROWLAND 1896b, ROWLAND 1897)

Existiram também várias tentativas e sugestões de tratamento de outros tipos de doenças, como cancro, que, no entanto, não forneciam qualquer evidência científica comprovada sobre a eficácia (biológica) da aplicação terapêutica dos raios-X. Neste sentido, importa referir o trabalho de alguns autores, como Emil H. Grubbé (1875-1960), Victor Despeignes (1866-1937), Hermann Gocht (1869-1938) e Leonhard Voigt (1835-c.1926). (AUBERT 1898, CORMELLES 1897)

Emil H. Grubbé, um Alemão que residia em Chicago, nos Estados Unidos da América, alegadamente iniciou, alegadamente, o primeiro tratamento através dos raios-X no dia 29 de Janeiro de 1896, ainda como estudante de Medicina. A paciente era uma mulher com cancro de mama. Para além deste tratamento, refere que iniciou um outro, num paciente com *lupus vulgaris* ulcerado na face. No entanto, ambos os pacientes faleceram decorrido um mês após os tratamentos, existindo várias razões pelas quais não há certezas da veracidade do seu trabalho. De facto, os resultados obtidos com estes dois

---

<sup>97</sup> Lyon publicou no “*Lancet*” a 1 de Fevereiro de 1896 que a tuberculose poderia ser tratada através da aplicação dos raios-X, mas três semanas mais tarde verificou que não possuíam nenhum efeito germicida. No fim desse mês, Auguste Delépine (1835-1921), juntamente com Schuster, testaram o mesmo efeito noutras espécies de bactérias, do género *Vibrio* e *Bacillus*. Dado que obtiveram resultados negativos, defendiam que possivelmente os raios-X não possuíam um efeito germicida forte, mas que, no entanto, poderiam obter resultados diferentes, caso a duração da exposição fosse prolongada.

pacientes, surgirem apenas passados trinta e sete anos num artigo a ser apresentado no Congresso de Radiologia, em Chicago e, por outro lado, não existem registos originais nem relatórios clínicos. No entanto, Grubbé foi um dos vários pioneiros na utilização dos raios-X, acabando por desenvolver um cancro de pele, precedido de uma grave dermatite na palma da sua mão esquerda, fruto da manipulação da radiação, pelo que a primeira tentativa da aplicação terapêutica dos raios-X terá sido um mérito seu. (KOGELNIK 1997, LESZCZYNSKI 1997)

Possivelmente, o autor do primeiro artigo sobre Radioterapia terá sido Victor Despeignes, em França, intitulado “*Observation concernant un cas de cancer de l’estomac traité par les rayons Röntgen*”, publicado em 16 de Julho de 1896. Para além da descrição do tratamento aplicado, Despeignes faz importantes considerações acerca da necessidade da introdução da Radioterapia na Medicina. Inspirado pelos trabalhos de Lortet e Genoud, que demonstraram o poder bactericida dos raios-X<sup>98</sup>, Despeignes decidiu aplicar os raios-X no tratamento de um paciente com cancro no estômago em estado avançado, durante oito dias, com duas exposições diárias de trinta minutos. Apesar de se terem verificado melhoras na condição do paciente, como diminuição da dor e do volume do tumor<sup>99</sup>, Despeignes referiu que aquelas duraram apenas quatro ou cinco dias, tendo o paciente desenvolvido, posteriormente, algumas complicações, acabando por falecer doze dias após o fim do tratamento. (AUBERT 1898, KOLGENIK 1997)

Segundo Leopold Freund (1868-1943) (Fig. 113), Despeignes não forneceu nenhuma prova acerca dos efeitos terapêuticos dos raios-X, uma vez que o seu paciente morreu doze dias após o tratamento, e que a metodologia da técnica empregue não foi a mais adequada, nomeadamente, a nível da voltagem utilizada. Possivelmente, a produção de raios-X obtida com o equipamento utilizado por Despeignes apenas permitia uma penetração muito superficial nos tecidos, estando limitada a apenas alguns milímetros, pelo que, e dado o tamanho da massa tumoral, não foi exercido nenhum efeito biológico por parte da radiação no cancro do seu paciente. (KOGELNIK 1997).

---

<sup>98</sup> Nesta época o cancro era considerado uma doença parasitária causada por bactérias.

<sup>99</sup> É interessante que Despeignes tenha tido em consideração a evolução do crescimento do tumor através da palpação, antes e após a acção da radiação, inferindo acerca da sua diminuição.

Hermann Gocht, de Hamburgo, na Alemanha, também verificou os efeitos terapêuticos da acção dos raios-X em duas pacientes com cancro de mama, em 5 de Outubro de 1896 e 20 de Novembro de 1896, respectivamente. Em ambos os casos, registou melhorias na dor associada à condição oncológica, mas rapidamente surgiram complicações associadas, como Linfangite Estreptocócica, uma infecção bacteriana cutânea, febre, eritemas, entre outras. Ambas as pacientes faleceram após o tratamento (dezassete dias e três meses, respectivamente). Gocht referiu a possível utilização dos raios-X no alívio da dor. (KOLGENIK 1997)

De acordo com publicações de Gocht, Leonhard Voigt, no dia 3 de Novembro de 1896, apresentou um caso de tratamento de cancro na faringe, numa reunião da Associação Médica em Hamburgo, referindo que se verificou um considerável alívio das dores associadas após o tratamento com Radioterapia, que consistia em duas exposições diárias de vinte minutos, totalizando oitenta tratamentos. No fim desse período, e de acordo com o publicado por Freund no seu livro sobre Radioterapia, “*Elements of General Radio-therapy for Practicioners*”, verificou-se uma reacção da pele ao tratamento empregue por Voigt, tendo o paciente acabado por falecer, não sendo possível a observação da ocorrência da esperada, e, subsequente, dermatite. Devido ao facto de Voigt nunca ter publicado sobre o assunto, sendo escassos os detalhes técnicos da terapia aplicada, algumas dúvidas se colocam relativamente à sua técnica e resultados obtidos. (COURMELLES 1898, KOLGENIK 1997, LESZCZYNSKI 1997)



**Fig. 113: Leopold Freund.**  
(KOGELNIK 1997)

O primeiro tratamento com sucesso e que se encontra documentado, de forma científica, à luz do conhecimento existente em 1896, sobre o efeito terapêutico dos raios-X, foi realizado pelo Médico Dermatologista Leopold Freund, Viena, Áustria, em Novembro desse ano. Em Janeiro de 1897 publicou o seu relatório no jornal “*Wiener Medizinische Wochenschrift*” e, alguns anos mais tarde, em 1903, incluiu-o no seu livro de Radioterapia, anteriormente referido. É interessante referir que Freund foi impedido de utilizar os aparelhos de raios-X em qualquer um dos hospitais de Viena, pelo que

realizou a sua técnica recorrendo à instrumentação da, já referida, “*Imperial & Royal Graphical School & Research Institute*”, dirigida por Joseph Eder. (MOULD 2011)

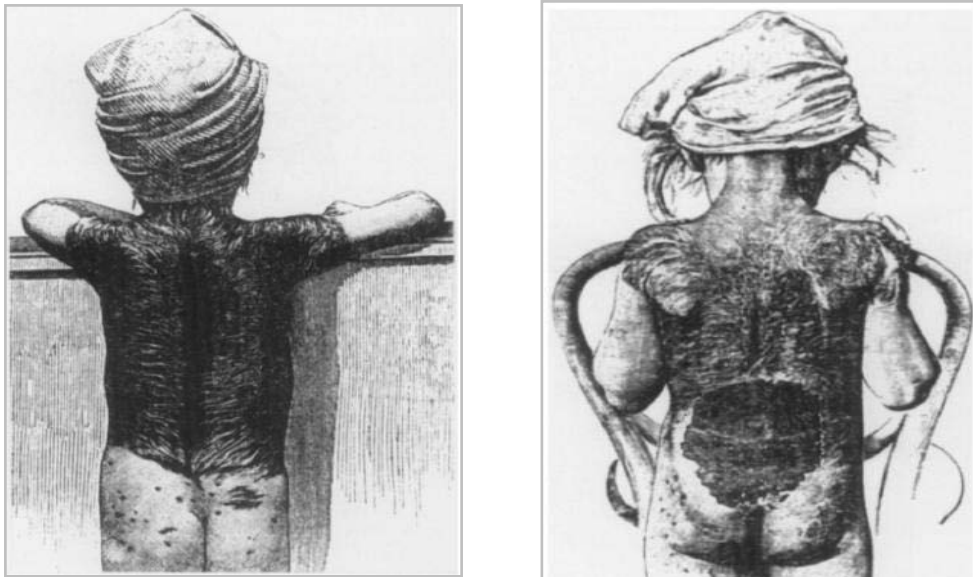
O tratamento consistia numa Radioterapia fraccionada, aplicada num nevo pigmentado e piloso (*naevus pigmentosus piliferus*), localizado em quase toda a extensão das costas de uma paciente de cinco anos, tendo uma dimensão de 36 x 37 cm. (Figs. 115 e 116) Freund previamente já tinha tido conhecimento da potencialidade dos raios-X provocarem dermatite e queda de cabelo, pelo que decidiu verificar esta propriedade na condição da paciente. (KOGELNIK 1997)



**Fig. 114: Equipamento de radioterapia utilizado por L. Freund. (FREUND 1904)**

No dia 3 de Dezembro de 1896, já eram notórios os primeiros sinais do efeito depilatório da radiação. Nesse dia, Freud iniciou uma nova fase de tratamento, na qual pretendeu verificar se os raios anódicos, e não os raios-X, poderiam estar na origem do fenómeno verificado, uma vez que, por lapso, parte do tratamento de duas horas no referido dia ter sido feito com uma exposição de quinze a vinte minutos com raios anódicos, momento em que se verificou o início da queda de cabelo. Posteriormente, após ter exposto um outro nevo no braço direito da paciente aos raios anódicos durante doze dias, verificou que este tipo de radiação não exercia qualquer efeito biológico, concluindo que, de facto, eram os raios-X os agentes do efeito depilatório. O tratamento da metade inferior do nevo foi iniciado no dia 18 de Dezembro de 1896. Nesta fase, Freund pretendeu excluir o possível efeito biológico da corrente eléctrica, colocando,

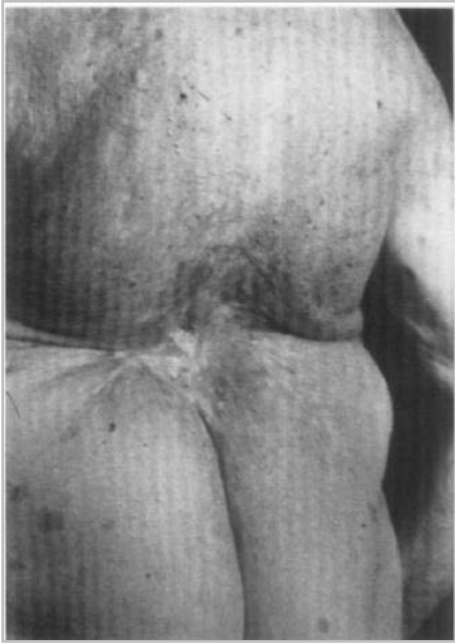
para tal, uma folha de alumínio entre o tubo de raios-X e a pele, ligada à torneira de abastecimento de água (para descarregar a electricidade). Como esperava verificar uma diminuição dos raios-X produzidos nesta fase do tratamento, expôs esta região do nevo durante quarenta e duas horas à radiação, em vinte e um tratamentos diários, de duas horas de duração. (KOGELNIK 1997)



**Figs. 115 e 116: Ilustrações da paciente de Freund antes do tratamento e após o tratamento da metade inferior do nevo. (KOGELNIK 1997)**

Este tratamento foi referido no primeiro livro publicado sobre terapia de raios-X por Eduard Schiff (1849-1913) em 1901, *“The Therapeutics of the Röntgen Rays”*, muito embora não abordasse a temática de forma muito extensa, possuindo apenas trinta e seis páginas. Schiff, entre outras considerações, fez um comentário sobre um efeito nocivo resultante da exposição à radiação durante o tratamento, referindo que a ulceração observada serviu como guia para se adoptarem comportamentos mais seguros na prática da técnica, e, por esta razão Freund, reduziu a duração das sessões de tratamento para dez minutos (as sessões aplicadas nesta paciente tinham a duração de duas horas, observando-se, desta forma, a ulceração manifestada). Apesar de se ter observado o desenvolvimento de algumas ulcerações na altura do tratamento, assim como posteriormente, todas as ulcerações foram curadas e a paciente não faleceu, encontrando-se de boa saúde ao longo das consultas de controlo médico realizadas com a supervisão de Freund, sendo o último realizado setenta e cinco anos após o tratamento, em que a idade da paciente era já de oitenta anos (Fig. 117). (KOGELNIK 1997)





**Fig. 117: Fotografia da paciente de Freund, obtida num *follow-up* realizado após 75 anos do início do tratamento de Radioterapia. (KOGELNIK 1997)**

Freund, após aplicação da sua terapia, concluiu que os raios-X foram os únicos agentes responsáveis pelos resultados obtidos, e que os seus efeitos são cumulativos ao longo dos tratamentos. Fez importantes considerações respeitantes ao emprego da técnica, como a importância da duração de cada sessão de tratamento, bem como da sua totalidade, a fim de evitar o aparecimento de efeitos secundários, isto é, inferiu acerca da importância de definir a existência de uma dose terapêutica suficiente e que minimizasse os efeitos nocivos; a importância da distância do tubo de raios-X à região sujeita à exposição da radiação; o vácuo existente no interior dos tubos, bem como da intensidade da radiação. (KOGELNIK 1997)

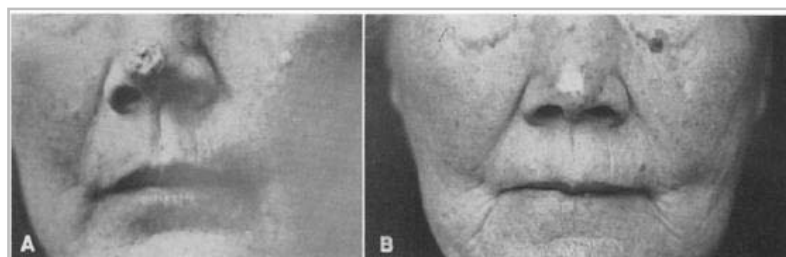
Apesar de Freund ter documentado, aparentemente, um caso de sucesso de terapia com raios-X, alguns investigadores duvidaram do efeito terapêutico desta radiação, nomeadamente do seu efeito depilatório. Por volta de 1898, Ludwig Boltzmann (1844-1906), entre outros, defendia que tal efeito biológico se devia ao campo eléctrico gerado pelo tubo de raios-X. No entanto, em 1900, através dos trabalhos de Robert Kienböch (1871-1953) é que a comunidade científica aceitou que, de facto, os raios-X eram o agente responsável pelo efeito depilatório observado. (KOGELNIK 1997)

Os recentes desenvolvimentos na quantificação da dosagem de raios-X, juntamente com a disponibilidade de quantidades mais elevadas de radiação, tornaram possível a realização de tratamentos de Radioterapia numa ou em poucas sessões. Kienböch,

conforme publicado no seu livro de Radioterapia, em 1907, fez uma distinção entre o método de Freund anteriormente referido (pequenas doses fraccionadas, resultantes de exposições diárias), o seu (com quatro doses fraccionadas) e o de Holzkecht (tratamento e dose únicos). Durante algumas décadas discutiu-se qual a tipologia de método mais adequada; de modo geral, os que recorriam a doses fraccionadas e os que recorriam a uma única dose, estabelecendo-se, posteriormente, que o método de Freund, método da Radioterapia fraccionada, era o “*golden-standard*” na prática da Radioterapia, nomeadamente na área da Oncologia, permanecendo válido até hoje. (DEL REGATO 1993, KOLGENIK 1997)

Em Dezembro de 1899, Tage Sjögren e Tor Stenbeck, apresentaram numa reunião da “*Swedish Society of Medicine*”, em Estocolmo, dois casos de tratamento de cancro na face e no nariz, respectivamente, havendo o registo fotográfico de ambos os casos (Figs 118 e 119). O tratamento aplicado por Sjögren consistiu em cinquenta sessões de Radioterapia e o de Stenbeck totalizou noventa e nove sessões. (BERVEN 1962, MOULD 2002)

Importa referir que nos primeiros anos da Radiologia, os mesmos Médicos eram responsáveis tanto pela sua aplicação diagnóstico, tanto na terapia, recorrendo, frequentemente, ao mesmo equipamento para ambas as finalidades. No entanto, antes do desenvolvimento do tubo de Coolidge, a penetração da radiação nos tecidos, nomeadamente, na pele, era muito limitada, o que levou, inicialmente, a que se aplicasse a Radioterapia nos casos de cancro mais superficiais ou nos cancros pouco profundos. Só a partir de 1920 é que foi introduzido o primeiro equipamento que permitiu a aplicação dos raios-X no tratamento de cancros subcutâneos, com uma saída de 2-5 mA a 200 kV. (MOULD 2007b, MACKEE 1921, SHANKS 1950)



**Fig. 118 e 119: Fotografias da paciente de Tor Stenbeck antes (A) e após (B) o tratamento de um cancro de pele na sua face. (BERVEN 1962)**

O potencial valor dos raios-X para fins terapêuticos, foi sugerido, desde cedo, após se ter verificado o desenvolvimento de uma reacção dermatológica (a já referida dermatite), frequentemente observada como o resultado da exposição continuada aos raios-X por parte do operador, nomeadamente, durante o uso do fluoroscópio para inferir a penetração da radiação produzida pelo equipamento. De facto, nos primeiros anos da Radioterapia, ainda não existiam métodos seguros e precisos para obter uma calibração, pelo que este era um dos meios utilizados (ver capítulo 5.3). O tratamento aplicado, dependia essencialmente do tipo de lesão do paciente, e o seu sucesso, iria depender não só do conhecimento do funcionamento do equipamento de raios-X, mas também da experiência do operador em aplicar, adequadamente, para cada caso específico, a dose de radiação. (KASSABIAN 1907)

A aplicação terapêutica dos raios-X rapidamente se estendeu às mais diversas especialidades da Medicina, surgindo, a partir de então, numerosos casos de sucesso no tratamento de diferentes condições patológicas, através de modificações na metodologia aplicada em cada situação particular. De facto, nos primeiros anos, os raios-X eram aplicados no tratamento de inúmeras doenças, como, leucemia, sífilis, psoríase, epilepsia, tuberculose, entre várias outras. Particularmente, o valor da Radiologia, quer no diagnóstico, quer na terapia da tuberculose, foi de grande importância no fim do século XIX<sup>100</sup>. (BELOT 1905, FRANKEL 1996, FREUND 1904, KASSABIAN 1907, MACKEE 1921)

### **5.3. Quantidade e Qualidade da Radiação**

Os conceitos de quantidade e qualidade de raios-X produzidos foram tidos em consideração pelos investigadores na realização de radiografias e na obtenção de

---

<sup>100</sup> A tuberculose foi a primeira causa de morte nos Estados Unidos da América no fim do séc. XIX, continuando a ser uma das principais causas de morte durante as primeiras décadas do séc. XX. O rápido desenvolvimento da Radiologia permitiu que fosse aplicada no diagnóstico desta doença, provando ser um factor decisivo na sua detecção precoce. Nos primeiros anos, inferia-se acerca das vantagens da Fluoroscopia relativamente à Radiologia no campo do diagnóstico. Apesar da primeira ser mais económica, rápida e de fácil interpretação, os desenvolvimentos na Radiologia levaram a que a escolha caísse nela como sendo a técnica imagiológica de diagnóstico de tuberculose. O aumento da eficácia na obtenção de radiografias, aliado ao decréscimo dos custos associados ao processo, permitiu a aplicação da Radiografia nos programas de rastreio da tuberculose, pelo que foi a ferramenta de eleição em programas de controlo da doença, permanecendo, deste modo, até à implementação do teste cutâneo da tuberculina.

diferentes resultados. Por vezes, uma placa fotográfica ficava enegrecida rapidamente, devendo-se tal efeito a uma quantidade considerável de radiação. Por outro lado, a obtenção de uma radiografia com um bom contraste, que permitisse uma distinção clara entre o tecido ósseo e os tecidos moles, dependia da qualidade dos raios-X, isto é, do seu poder de penetração. Desta forma, se um tubo emitisse apenas raios-X que penetrassem somente os tecidos moles (e não os ossos) obter-se-ia um bom contraste na radiografia: os ossos surgiriam com uma cor branca, e os tecidos moles envolventes com uma coloração mais escura, uma vez que nos ossos ocorre uma maior absorção de radiação. Na verdade, os raios-X emitidos pelos tubos de descarga submetidos a diferentes condições de vácuo e a regimes eléctricos variados, apresentam uma qualidade variável. Por exemplo, quando o tubo é muito “duro”, o poder de penetração é maior, mas a diferenciação dos tecidos é menos nítida do que com um tubo menos “duro”. (SWINTON 1897, WILLIAMS 1901)

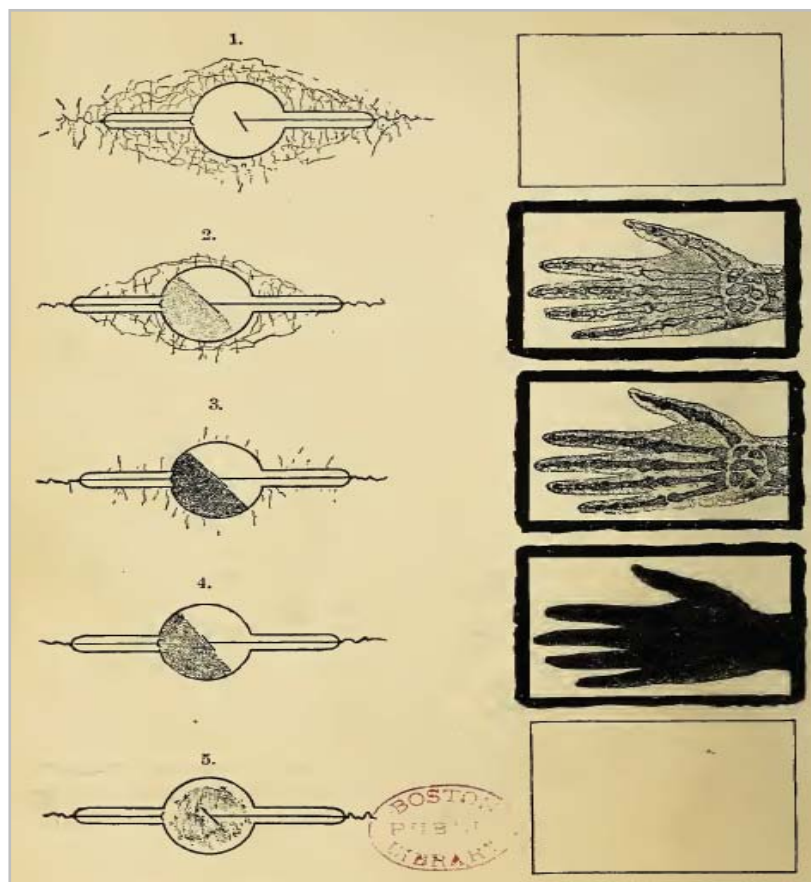
Inicialmente, um dos métodos mais usados para calibrar a radiação produzida por um tubo de raios-X era através da exposição da mão do operador à observação com um fluoroscópio, avaliando a capacidade de penetração da radiação, através do contraste da imagem obtida no ecrã fluorescente. (Figs. 120). (CHRISTIE 1913, WILLIAMS 1901)



**Fig. 120: Um dos primeiros métodos de calibração dos raios-X produzidos, inferido através da imagem resultante do exame radioscópico à mão do operador (1896). (FELDMAN 1989)**

Os tubos “duros”, nos quais o grau de vácuo é elevado, aumentando, assim, a resistência à passagem de corrente, produziam uma radiação com grande poder de penetração (raios-X “duros”, de menor comprimento de onda), que não era absorvida pela placa fotográfica. Os de “dureza” média, que ocupam um lugar intermédio entre os tubos “duros” e “moles”, eram os que produziam a radiação que conferia o contraste

adequado, diferenciando os ossos dos tecidos moles. Nos tubos “moles”, o grau de vácuo é baixo, pelo que ao existir uma menor resistência à passagem de corrente, produzem uma radiação muito pouco penetrante (raios-X “moles”, de maior comprimento de onda), que também era absorvida pelos tecidos moles, como a pele, quase na sua totalidade (Fig. 121). Como já referido no capítulo 3.1.4, este tipo de tubos era adequado para a Radioterapia, nomeadamente na área da Dermatologia, mas, pelo contrário, não era adequado para efeitos de diagnóstico, uma vez que neste caso se pretende uma medida de radiação que permita não só a penetração da pele, mas também outros órgãos do corpo de maior profundidade. (CHRISTIE 1913, HESSENBRUCH 2000, KASSABIAN 1907, WILLIAMS 1901)



**Fig. 121: Esquema que ilustra o efeito da resistência do tubo através da qualidade da imagem visualizada com um fluoroscópio. 1. Não há passagem de corrente pelo tubo, devido à resistência ser muito elevada; 2. A resistência do tubo é elevada, pelo que a imagem obtida no ecrã é clara, mas sem contraste. A radiação obtida com este tubo é a de maior penetração, mas, no entanto, a diferenciação dos tecidos moles é inferior à verificada com o tubo de resistência mais baixa; 3. A resistência do tubo não é tão elevada com em 2., verificando-se que a imagem obtida é de boa qualidade, mostrando um bom contraste entre os ossos e os tecidos moles. 4. A resistência do tubo é baixa, obtendo-se uma imagem escura no ecrã, não se verificando contraste entre o tecido ósseo e os tecidos moles. 5. A resistência do tubo é muito baixa, não se obtendo nenhuma imagem no ecrã fluorescente. (WILLIAMS 1901)**

Para além desta interpretação do comportamento dos tubos, um outro método de medição da qualidade dos raios-X, consistia em observar a coloração exibida pela fluorescência, verificada a nível das paredes de vidro do tubo de raios-X quando estes eram produzidos. Deste modo, quando se observava uma cor verde escura, o tubo estava a trabalhar em condições de vácuo baixo (Fig. 122); uma cor verde clara era indicadora de que o tubo estava a trabalhar correctamente (Fig. 123) e, no caso das paredes do tubo racharem, observava-se rapidamente uma cor encarnada (Fig. 124). (KASSABIAN 1907)



**Figs. 122, 123 e 124: Coloração exibida pela fluorescência das paredes de um tubo de raios-X em condições de baixo vácuo, de vácuo adequado e perfurado, respectivamente. (KASSABIAN 1907)**

A fluorescência observada dependia do tipo de vidro de que era feito o tubo de raios-X. Nos primeiros tubos construídos, geralmente, o vidro continha silicatos de potássio, sódio e cálcio, mas, por vezes, continha chumbo, manganésio e boro. A fluorescência verificada na maioria dos tubos de origem alemã era amarela, uma vez que eram feitos de vidro com potássio. Tubos construídos no Reino Unido continham, maioritariamente, chumbo e lítio, verificando-se uma fluorescência de cor azul. (KAYE 1923, MOULD 2007b) Qualquer um deste tipo de interpretação referido não fornecia padrões de calibração que pudessem ser reproduzidos, dado que a observação deste comportamento teria que ser experimentado. Por outras palavras, não fornecia um algoritmo para uma metodologia padronizada do procedimento. (HESSENBRUCH 2000)

Campbell Swinton foi um dos investigadores que se interessou pelos conceitos de qualidade e quantidade de raios-X produzidos pelos tubos, tentando interpretar de que forma é que o conjunto de equipamentos necessários à produção de raios-X poderia estar relacionado com estes conceitos. Na sua opinião, a quantidade não representava um grande problema, uma vez que era conhecido que recorrendo a baterias mais potentes, obter-se-ia uma maior quantidade de radiação. Pelo contrário, a qualidade era mais problemática. Ao tentar resolver esta questão, tentou separar as variáveis que contribuíssem para alterações deste parâmetro. Assim, alterou em diferentes ensaios, uma variável (como, grau de vácuo, distância entre o cátodo e o anti-cátodo, tamanho do cátodo, entre outros), mantendo todas as outras constantes, verificando que em cada caso, a qualidade da radiação sofria alteração. Por outro lado, o metal de que era feito o anti-cátodo influenciava apenas a quantidade. Swinton pensou que, o valor de penetração dos raios-X produzidos em determinadas condições seria dependente da velocidade média das moléculas e da diferença de potencial entre elas e o anti-cátodo no momento do impacto, sendo tanto maior quanto a velocidade e a diferença de potencial. Para além disso, estas partículas podiam ter cargas e velocidades diferentes (devido à excitação do cátodo não ser uniforme), podendo ambas variar ao longo do percurso devido a colisões. Desta forma, estava convencido de que tinha obtido explicação para o espectro de qualidade de raios-X produzido, estabelecendo a ideia de que algo que aumentasse o potencial entre cátodo e o ânodo, iria alterar a qualidade da radiação, no sentido de conferir maior poder de penetração. (HESSENBRUCH 2000, SWINTON 1897)

As ideias de Swinton foram aceites de modo geral, conduzindo gradualmente à ideia de que a introdução de instrumentos que fornecessem medidas quantificáveis quer da qualidade, quer da quantidade de raios-X produzidos<sup>101</sup>, poderia conduzir à padronização de procedimentos experimentais, tornando a sua reprodução por diferentes investigadores mais facilitada. A produção de uma qualidade e quantidade de radiação específica foi uma das vantagens da adopção destes aparelhos. Desta forma, as calibrações também permitiram adaptar as condições experimentais ao tipo de resultado que se pretendesse obter; se se pretendesse obter uma determinada radiografia, deveria trabalhar-se com um tubo de determinada aparência ou a determinadas voltagens e

---

<sup>101</sup> Até ao final do século XIX, recorria-se frequentemente ao uso de voltímetros para se obter uma indicação da qualidade e de amperímetros para a quantidade da radiação.

correntes. No entanto, apesar do contributo de Swinton, este não demonstrou que, de facto, as variáveis que apontou anteriormente eram dependentes entre si.<sup>102</sup> A solução para o problema veio com a introdução de outros meios de calibração, não relacionados com as leituras de quantidades eléctricas fornecidas pelos voltímetros e amperímetros, mas de forma directa através da radiação produzida, como se verá posteriormente. (HESSENBRUCH 2000)

### **5.3.1. Métodos de Determinação da Quantidade da Radiação**

Enquanto os primeiros métodos aplicados com a finalidade de inferir acerca da qualidade da radiação produzida possam ter sido adequados para fins de diagnóstico, o desenvolvimento de métodos quantitativos foi também necessário para controlar a dose administrada aos pacientes sujeitos a Radioterapia, uma vez que exposições a doses de radiação exageradas poderiam ter consequências muito graves. A dose administrada em Radioterapia foi medida através de vários meios, como a avaliação da reacção induzida na pele pela exposição aos raios-X, denominando-se a dose correspondente como “dose eritema da pele” (do Inglês “*skin erythema dose*” - SED), avaliada segundo a intensidade do eritema observado. Para além deste meio subjectivo de avaliação da dosagem de radiação a aplicar, outros foram desenvolvidos a partir de 1902, como meios que utilizavam pastilhas que alteravam de cor ou filmes fotográficos que escureciam, ambos sob a acção da exposição à radiação, bem como através de ecrãs fluorescentes. (BARTLETT 2008, BELOT 1905, ROTH 1995)

Guido Holzkecht (1872-1938), influenciado por Robert Kienböch (1871-1953), também se interessou pela Radioterapia. Este último demonstrou que o grau de intensidade de radiodermatite era proporcional à quantidade de radiação absorvida pela pele. Holzkecht, consciente da necessidade em obter um valor para uma dose específica de radiação, desenvolveu, em 1902, o primeiro instrumento que satisfazia essa necessidade, o cromo-radiómetro (Fig. 125), que constituiu um marco na obtenção

---

<sup>102</sup> Por exemplo, uma alteração na voltagem, implicava alterações na quantidade e qualidade, sendo difícil manter qualquer uma delas constante, seja o grau de vácuo, a voltagem, a qualidade ou quantidade da radiação.



de uma dosimetria exacta, conferindo uma maior base de precisão nas práticas de Radioterapia. O fundamento da medição obtida pelo cromo-radiómetro consistia no efeito fotoquímico e em alterações consequentes na cor de uma mistura de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e cloreto de potássio (KCl), que passava da cor amarela para verde quando exposta aos raios-X. A mistura de sais encontrava-se disposta em pequenas pastilhas, tendo um cartão como suporte. Durante a sessão de Radioterapia, colocava-se uma pastilha sobre a pele do paciente, junto da região a tratar, de modo a que recebesse a mesma quantidade de radiação que esta última. (BARTLETT 2008, BELOT 1905, GUILLEMINOT 1906, KOLGENIK 1996, VASCONCELLOS 1903)



**Fig. 125: Cromo-radiómetro de Holzkecht. (THE KNY-SCHEERER COMPANY 1905)**

Uma escala graduada servia de padrão e era constituída por doze cápsulas, cuja intensidade de coloração se acentuava gradualmente, de uma extremidade à outra da série, sendo possível realizar uma comparação do grau de coloração observado após a exposição. A cada grau de escala correspondia um número, que indicava a quantidade de raios absorvidos segundo uma unidade, unidade “H” ou de Holzkecht (H), escolhida pelo autor, sem, no entanto, a ter definido. Holzkecht estimou a quantidade de radiação necessária para produzir uma reacção dermatológica suave e, arbitrariamente, designou este valor como uma dose normal, atribuindo o valor de três unidades (3H). A unidade H foi utilizada durante aproximadamente três décadas, até ao aparecimento da unidade roentgen, a partir de 1928. Passado algum tempo, o cromo-radiómetro sofreu algumas alterações e, uma vez que a cor poderia ser também influenciada pelo calor, foi estabelecida uma condição de controlo. Mais tarde, Holzkecht adoptou as pastilhas de platinocianeto de bário de Sabouraud-Noiré para a obtenção de resultados mais satisfatórios com o cromo-radiómetro. (GUILLEMINOT 1906, KOLGENIK 1996, VASCONCELLOS 2003)

As pastilhas de Raymond J. A. Sabouraud (1864-1938) e Henri Noiré (1878-1937), conhecidas por pastilhas de Sabouraud & Noiré (Fig. 126), propostas em 1904, foram utilizadas na medição da quantidade de radiação produzida, sendo compostas por platinocianeto de bário e mudavam de cor com a exposição à radiação. A escala padrão utilizada para comparação da cor obtida possuía três cores: uma correspondente à cor do platinocianeto de bário sem exposição à radiação; outra correspondente à dose 4H, em unidades de Holznecht, necessária para que se verificassem os primeiros sinais de reacção dermatológica e, a última, correspondente à dose máxima permitida sem causar dermatite, apenas efeito depilatório – 5H). Apesar de algumas limitações, como a menor sensibilidade deste método relativamente ao proposto por Holznecht, bem como a ocorrência de alterações de cor devido a diversos factores, como a exposição à luz ou calor, a utilização destas pastilhas permaneceu até à década de 1930. (GUILLEMINOT 1906, HESSENBRUCH 2000, KASSABIAN 1907)

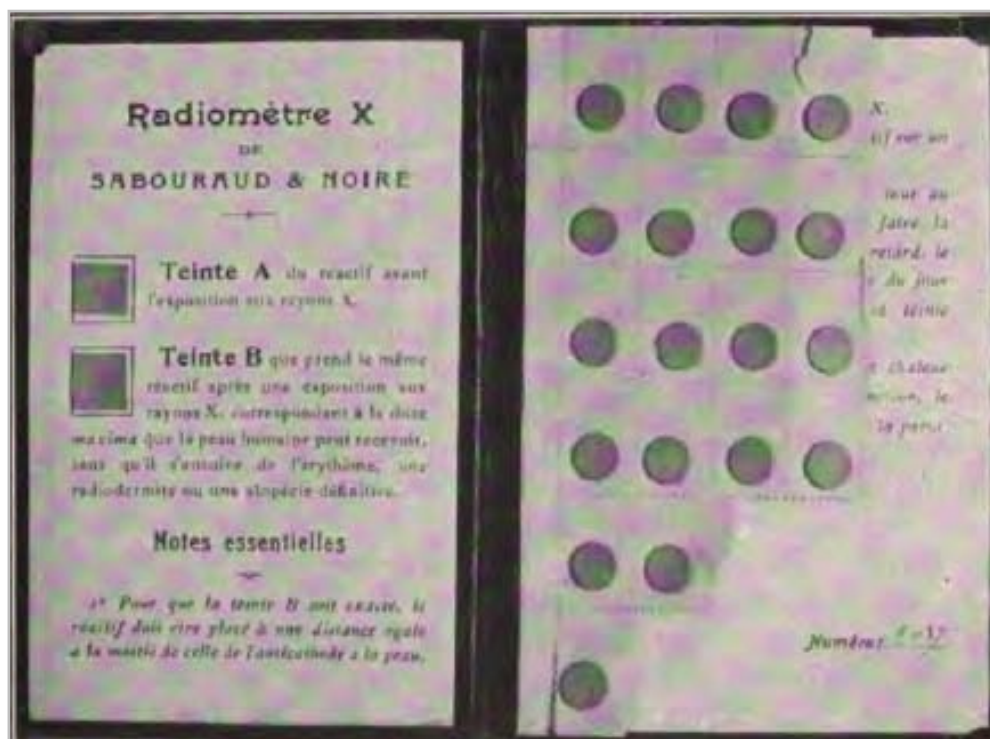
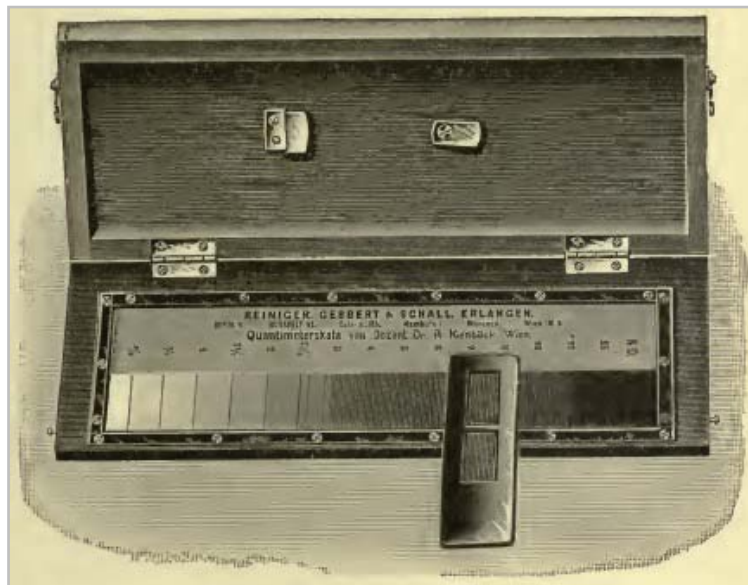


Fig. 126: Pastilhas de Sabouraud & Noiré. (MACKEE 1921)

Alguns anos mais tarde, em 1905, Robert Kienböck desenvolveu o quantímetro (Fig. 127), que marcou o início da dosimetria recorrendo a filmes fotográficos, através da utilização de tiras de papel impregnado com brometo de prata, designadas por tiras de Kienböck, que eram colocadas na pele do paciente durante a exposição à radiação. Após

a sua revelação, eram comparadas com uma escala de cinzentos num instrumento designado quantímetro, calibrado em unidades, designadas por “X”, em que 10X correspondia à dose máxima das pastilhas de Sabouroud e Noiré, equivalente a 5H, de acordo com as unidades de Holzkecht. Este método tinha como desvantagens necessitar de um processo de revelação cuidadoso e dificuldades na comparação da escala, especialmente quando eram empregues doses muito elevadas. No entanto, por outro lado, permitia estimar pequenas diferenças de dosagem e obter resultados com maior exactidão do que os obtidos através dos métodos anteriormente referidos, para além de fornecer uma forma de registo permanente. (DEL REGATO 1993, GUILLEMINOT 1906, KASSABIAN 1907, MEGGITT 2008)



**Fig. 127: Quantímetro de Kienböch. (KASSABIAN 1907)**

Foi observado por vários autores que se o equipamento de raios-X se mantivesse o mais constante possível, qualquer indivíduo teria uma reacção dermatológica semelhante, num mesmo intervalo de tempo. A comparação entre diferentes pastilhas de acordo com a reacção produzida na pele permitiu a conversão de unidades entre diferentes pastilhas. No entanto, verificou-se que não eram equivalentes e que as unidades referentes a uma pastilha variavam de lugar para lugar. No entanto, apesar de tal limitação, o seu uso era preferível relativamente aos anteriores métodos de calibração dos tubos de raios-X, que ofereciam poucas condições de segurança. Para além disso, foram importantes no

fornecimento de valores e registos que poderiam constar num protocolo radiológico<sup>103</sup>. Este era constituído por várias informações, como nome e origem do paciente, distância do tubo à pele, tempo de exposição, milliamperagem, “dureza” do tubo e as leituras da dosagem proveniente de três tipos de pastilhas: Sabouraud-Noiré, Holzkecht e, finalmente, as tiras de Kienböch.<sup>104</sup> (HESSENBRUCH 2002)

Foram também propostos vários métodos de quantificação de raios-X, baseados na acção de sais de elementos radioactivos sob ecrãs contendo sais fluorescentes à exposição pelos primeiros. W. H. Guilleminot (1869-1922), em 1907, propôs o recurso à fluorescência observada em ecrãs contendo sais de platinocianeto de bário expostos a uma fonte de rádio. A unidade proposta por si baseada nesse fenómeno designava-se unidade “M” (M). Uma fonte de rádio era usada para padronizar a unidade, bem como para quantificar a produção de raios-X, colocando o ecrã a uma distância conhecida para um dado intervalo de tempo. Outros métodos semelhantes ao descrito, ainda que com algumas variações, foram propostos por diversos autores. (BARTLETT 2008, KASSABIAN 1907)

O efeito da ionização dos raios-X como base de uma medida de radiação<sup>105</sup>, foi sugerido por Paul Villard (1860-1934), em 1908, como «*a quantidade de electricidade passando por uma unidade de espaço por unidade de tempo em condições padrão de pressão e temperatura.*». (JENNINGS 2007, RÖNTGEN 1896, ROTH 1995)

A unidade proposta por Villard foi pouco utilizada até ter sido adoptada em 1918 por B. Krönig (1863-1917) e W. Friedrich (1883-1968) como a unidade “e”. Seis anos mais tarde, em 1924, esta unidade foi modificada por H. Behnken (1889-1945) e em 1925 por I. Solomon (1880-1939), unidades röntgen alemã e francesa, respectivamente, ambas com o símbolo “R”. Em 1927 Antoine Béclère determinou um factor de conversão entre ambas as unidades, sendo que 1 R alemã = 2,25 R francesa. Este facto, por si só, justificou a necessidade da definição de unidades internacionalmente aceites, como ocorreu em 1928 no segundo Congresso Internacional de Radiologia, em Estocolmo.

---

<sup>103</sup> Ver Anexo A.

<sup>104</sup> Kienböch defendia que as suas tiras não sofriam descoloração com o passar do tempo, pelo que podiam constar no registo do paciente.

<sup>105</sup> Esta ideia já tinha sido anteriormente proposta em 1906 por Joseph Belot (1876-1953), sem, no entanto, ter definido uma unidade.

Neste foi proposta e a adoptada a unidade röntgen, “r”, como unidade de exposição radioactiva, que especifica a quantidade de radiação ionizante, de acordo com a carga electrostática que produz atravessar um determinado volume de ar. Assim, a unidade r foi definida como «a quantidade de radiação X que, quando são utilizados plenamente os electrões secundários e se evita o efeito das paredes, produz num centímetro cúbico de ar atmosférico a 0°C e à pressão de 76<sup>cm</sup> de mercúrio, um tal grau de condutabilidade que se mede uma unidade de carga electrostática em corrente de saturação.». (BARTLETT 2008, JENNINGS 2007, VON LOON 2004)

Importa referir que em 1914, L. Slizard (1898-1964), reunindo os requisitos necessários para um instrumento funcional que permitisse a medição da ionização, apresentou o iontoquantímetro, que constituiu um outro avanço na calibração da radiação, sendo uma mais-valia essencial na Radioterapia, nomeadamente no tratamento de cancro, contribuindo para uma obtenção de uma dosagem tão precisa, quanto a necessária nesse contexto. Posteriormente, de forma a implementar a unidade r definida em 1927, foram propostos vários modelos de câmaras de ionização em diversos países, como no Reino Unido, Estados Unidos da América e Alemanha, através das quais era possível determinar a quantidade de radiação ionizante produzida, como as câmaras de ar livre, a fim de fornecerem medidas padronizadas de radiação, pelo que, a partir de 1931, era possível realizar comparações a nível internacional entre estas. Alguns anos mais tarde, foram desenvolvidas câmaras de ionização para funcionarem como padrões para altas energias<sup>106</sup>. (HESSENBRUCH 2000, JENNINGS 2007, VON LOON 2004)

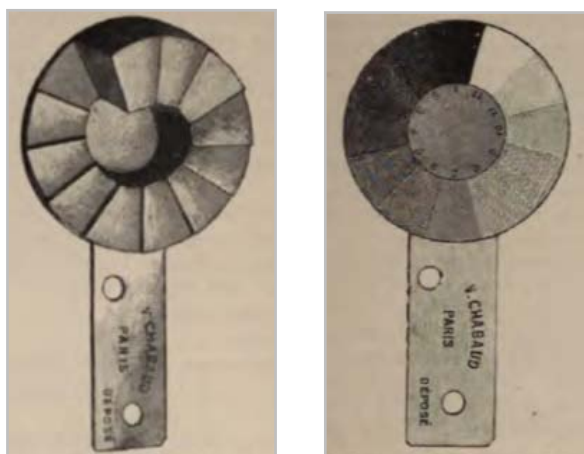
### 5.3.2. Métodos de Determinação da Qualidade da Radiação

As medidas da penetração dos raios-X, isto é, da sua qualidade, também desempenharam um papel muito importante no diagnóstico e, sobretudo, na terapia. Inicialmente, recorrendo ao fluoroscópio, a classificação da “dureza” da radiação baseava-se directamente na penetração nos tecidos e nos ossos, mas, posteriormente, surgiram os penetrametros, que constituíram um importante progresso neste contexto. O

---

<sup>106</sup> Importa referir que Röntgen, na sua segunda comunicação sobre raios-X, demonstrou que estes tornam o ar condutor, e que essa condutividade era proporcional à pressão verificada neste último, para além de ter relatado a realização de ensaios em câmaras de ionização.

primeiro foi desenvolvido por Röntgen em 1897, mas, geralmente, atribui-se o crédito a L. Benoist, que em 1902, desenvolveu o rádio-cromómetro (Figs. 128 e 129), baseado no princípio que diferentes metais possuem diferentes graus de transparência no que respeita à sua penetração pelos raios-X. Este consistia num disco delgado de prata de 0,11 mm de espessura, ocupando o centro de um círculo, cujo contorno era formado por 12 sectores de alumínio, de espessura gradual (de 1 a 12 mm), em forma de escada. Era colocado em cima de uma placa fotográfica, ou atrás de um ecrã fluorescente, e a luminosidade que se verificava atrás do disco de prata era comparada com a verificada nos sectores de alumínio. O número de ordem do sector, que acusa a mesma transferência que o disco de prata, caracterizava e fornecia uma medida da qualidade dos raios produzidos, correspondendo os degraus mais baixos a raios-X “moles” e os mais altos, a raios-X mais “duros”. No entanto, estes métodos eram muito pouco precisos, uma vez que as leituras obtidas dependiam da sensibilidade do olho do operador e variava conforme o operador. Para além disso, fornecia, essencialmente, medidas de penetração máxima, não mínima, uma vez que não era possível registar os raios-X “moles” produzidos juntamente com os mais intensos. (BELOT 1905, CHRISTIE 1913, KASSABIAN 1907, VASCONCELLOS 1903)



**Figs. 128 e 129: Vista anterior e posterior do rádio-cromómetro de Benoist, respectivamente. (BELOT 1905)**

Em 1902, Antoine Bécclère desenvolveu um instrumento designado espintermetro (Fig. 130), destinado a medir a qualidade do feixe da radiação produzida pelo tubo, baseando-se no princípio de que a medida da extensão da faísca corresponde (ou é directamente proporcional) à resistência do tubo. Esta última medida, por sua vez, é directamente proporcional à capacidade de penetração dos raios. Assim, a medição da extensão da faísca, equivalente à resistência entre os eléctrodos do tubo de descarga, permitia medir,

indirectamente, a qualidade dos raios-X produzidos. O espintermetro era composto por duas hastes metálicas, graduadas em centímetros, a que se ligavam os eléctrodos de bobine. A distância a que estes eléctrodos eram colocados, era equivalente à extensão da faísca, pelo que se a resistência interior do tubo aumentasse, a faísca saltaria entre as extremidades das hastes. Este método era um método mais seguro relativamente aos outros praticados com esta finalidade, sendo essencial na prática da Radioterapia. No entanto, apesar de se obter uma medida exacta da resistência do tubo, a estimativa do poder de penetração da radiação não era muito precisa. (BELOT 1905, VASCONCELLOS 1903)

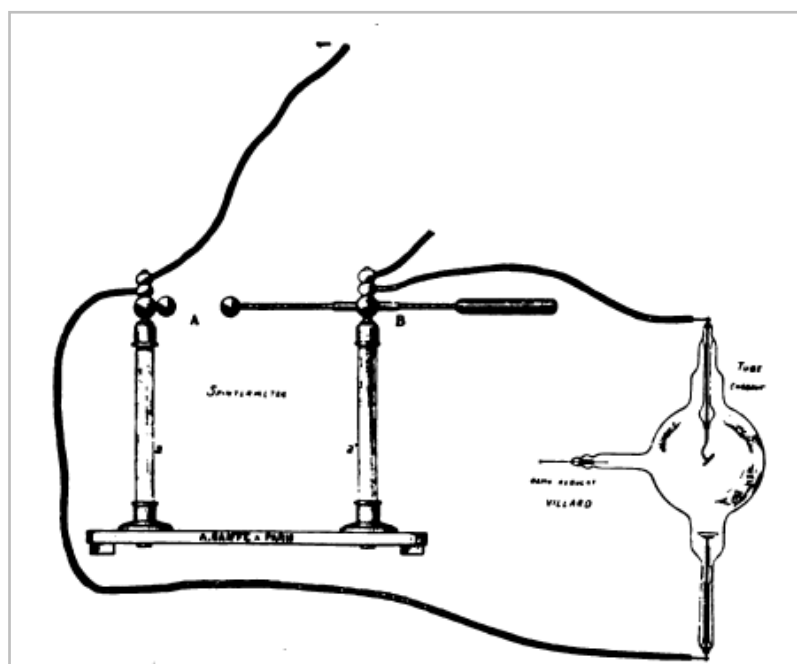


Fig. 130: Espintermetro em ligação com um tubo de foco. (BELOT 1905)

A calibração teve um papel de grande importância no contexto da Radiologia, quer a nível do diagnóstico, quer a nível da Radioterapia. A nível do diagnóstico, devido à obtenção de radiografias de melhor contraste; a nível da Radioterapia, uma vez que a obtenção de medidas de dosagem mais correctas e precisas empregues neste contexto foi fundamental para a segurança do paciente. Para além disso, restringiu a liberdade com que se empregava a técnica radiológica no início da sua prática. Os resultados obtidos fortaleceram a confiança dos pacientes e contribuíram para a evolução desta especialidade, expandindo-se para outras áreas, em ambas as suas vertentes. (HESSENBRUCH 2000)

A prevalência da quantificação na rotina da prática da técnica radiológica, teve também um impacto na análise do efeito da radiação, nomeadamente por fornecer valores que poderiam ser tidos em consideração em análises estatísticas, contribuindo para que, por exemplo, se considerasse que a sensibilidade à radiação dependia da especificidade de um determinado tecido, e não da idiosincrasia do paciente. (HESSENBRUCH 2000)

#### **5.4. Implementação da Radiologia nos Hospitais. Radiologia - uma Nova Especialidade Médica**

O benefício, evidente, da aplicação dos raios-X nas mais variadas especialidades médicas para fins de diagnóstico e de terapia, levou, gradualmente, a que fossem implementados laboratórios de raios-X nos hospitais, nos quais fosse possível aplicar a técnica nos pacientes, de modo adequado. No entanto, tal só aconteceu após alguns anos.

Logo após a descoberta dos raios-X, foi claro que os novos raios seriam de grande utilidade na Medicina, mas, no entanto, poucos foram aqueles que entendiam as possibilidades da sua aplicação e que acreditavam que se podiam dedicar à sua aplicação na Medicina. A ideia que prevalecia era a de que a Radiologia era meramente um procedimento fotográfico, que possuía um campo limitado de aplicações, principalmente, na detecção de fracturas. De um modo geral, excepto nalguns casos, o Médico Radiologista era visto apenas como um Médico com a capacidade técnica de produzir uma radiografia de boa qualidade, para que o clínico pudesse fazer uma interpretação. Só lentamente é que se foi interiorizando que a experiência do radiologista na interpretação das radiografias merecia ser valorizada. (BARCLAY 1942)

Inicialmente, era frequente que os Médicos encaminhassem os seus pacientes para laboratórios de Física<sup>107</sup>, privados ou de Universidades, ou para outras instituições com

---

<sup>107</sup> Neste sentido, importa referir a descrição de Arthur Schuster em “*The Progress of Physics*” sobre as suas experiências com o público no início de 1896: “*My laboratory was inundated by medical men bringing patients, who were suspected of having needles in various parts of their bodies, and during one week I had to give the best part of three mornings to locating a needle in the foot of a ballet dancer, whose ailment had been diagnosed as bone disease. The discharge tubes had all to be prepared in the*



estúdios de raios-X, para serem sujeitos aos exames de raios-X, dado a existência e disponibilidade da instrumentação necessária nessas instalações. Esta situação não se verificava nas instalações hospitalares, onde, o equipamento, quando existente, era muito pouco eficiente. Para além disso, as instalações que inicialmente foram designadas para esse fim, eram precárias e inadequadas, oferecendo, frequentemente, poucas condições de segurança. Eram, geralmente, espaços de pequenas dimensões, pouco iluminados, muitas vezes situados em caves e afastados do edifício central do hospital. Por esta razão, muitas vezes, e no início da Radiologia, eram utilizadas as instalações de outros departamentos existentes nos hospitais (como o departamento de Electroterapia), uma vez que as direcções hospitalares mostravam resistência a investir em questões de “fotografia”, bem como em reconhecer que um departamento de raios-X, bem equipado e adequado constituía não só uma necessidade clínica, como conferia notoriedade. (GOODMAN 1995b, JAUNCEY 1945)

No entanto, com o reconhecimento do valor da Radiologia no diagnóstico e terapia e a sua evolução, os laboratórios de Radiologia foram surgindo de forma gradual nos hospitais, reunindo as condições necessárias para um bom desempenho na aplicação da técnica, ganhando, desta forma, o seu estatuto de um novo departamento hospitalar independente. Inicialmente existia o departamento de Electroterapia e Radiologia, mas, mais tarde, estas duas especialidades médicas acabaram por se separar. Posteriormente, o departamento de Radiologia dividiu-se em dois departamentos independentes, o de diagnóstico e o de Radioterapia. (GOODMAN 1995b, MOULD 2007b)

A integração da Radiologia na rotina diária dos hospitais e subsequente estabelecimento de laboratórios de raios-X seguiu duas vias diferentes em diferentes locais do Mundo. A primeira foi através do interesse e dedicação de um Médico de um determinado hospital pelos estudos com raios-X e a sua aplicação na Medicina. A segunda foi sob a direcção do Fotógrafo do hospital ou pela incorporação da Radiologia no departamento de Electroterapia. (GOODMAN 1995b)

---

*laboratory itself, and, where a few seconds exposure is required now [1911], half an hour had to be sacrificed owing to our ignorance of the best conditions for producing the rays.”* As experiências de Schuster foram reproduzidas em muitos laboratórios de Física por todo o Mundo. (JAUNCEY 1945)

A fim de ilustrar o percurso da implementação da Radiologia nos hospitais, serão citadas as contribuições de alguns Médicos pioneiros nesta especialidade, bem como as de outros indivíduos, que, apesar de não possuírem esta profissão, desempenharam, igualmente, um decisivo papel no estabelecimento da Radiologia nos hospitais, bem como o seu estabelecimento como uma especialidade médica independente.



**Fig. 131: Exame fluoroscópico realizado por F. Williams. (WILLIAMS 1901)**

Francis Henry Williams (1852-1936) (Fig. 131), em Boston, nos Estados Unidos da América, iniciou, em Maio de 1896, a aplicação da técnica radiológica no “*Boston City Hospital*”, numa pequena sala na cave da biblioteca do hospital. Durante dois anos, o trabalho foi realizado apenas por Williams numa pequena sala, dividida num gabinete de vestir, gabinete de exame, área de equipamento e câmara escura. Em 1905, foi implementado um departamento de raios-X no hospital, ao qual pertencia um grupo de cinco elementos: um Médico, um Médico assistente, um assistente do Médico, um Fotógrafo e um assistente do Fotógrafo. O Médico assistente era frequentemente um aluno de Medicina em estágio hospital ou mesmo ainda no início do seu curso. O papel do Fotógrafo evoluiu, posteriormente, para o de técnico radiologista. (DEL REGATO 1993, GOODMAN 1995b)

Williams, através do estabelecimento do departamento de raios-X no hospital, ao reunir de modo sistemático os registos obtidos ao longo do seu trabalho neste campo, bem como relatórios médicos associados a cada caso clínico, tornou possível que tal constituísse um recurso à promoção da técnica de diagnóstico e terapia dos raios-X, bem como um estímulo para a investigação sobre o valor desta radiação na prática médica, nomeadamente em processos oncológicos. Para além disso, prestou um grande contributo em desenvolvimentos técnicos, bem como na adopção de procedimentos de segurança. O seu livro “*The Roentgen Rays in Medicine and Surgery*”, publicado em 1901, teve um impacto enorme na literatura científica e foi muito aclamado. Visitantes locais e de outras cidades deslocavam-se frequentemente ao hospital onde exercia, com

o intuito de observarem a técnica de Williams para a poderem reproduzir posteriormente. (DEL REGATO 1993, GOODMAN 1995b)



**Fig. 132: Antoine Béclère.**  
(PALLARDY 1999)

Antoine Béclère (1856-1939) (Fig. 132), em França, foi um dos mais conceituados investigadores na área da Imunologia, sendo conhecido como um dos fundadores desta área científica. Após uma demonstração da técnica dos raios-X por parte de Paul Odin, Béclère ficou fascinado com o que observou e decidiu dedicar-se à Radiologia. Em 1897 foi nomeado chefe de serviço de Medicina Geral no “*Hôpital Tenon*”, em Paris, no qual criou o primeiro departamento de Radiologia. No

entanto, as instalações disponíveis não reuniam todos os requisitos necessários para uma boa prática da técnica. Particularmente, a sua pequena dimensão, não permitia a existência de uma câmara escura, pelo que Béclère levava as suas placas fotográficas de vidro para sua casa a fim de serem reveladas. (PALLARDY 1999)



No ano de 1898, organizou o primeiro curso de Radiologia, no qual ocorriam palestras e demonstrações (Fig. 133), em que apresentava os resultados e avanços obtidos no campo desta especialidade, como equipamento, ensaios de Fluoroscopia (Fig. 134) e aplicações médicas e cirúrgicas dos raios-X. (DEL REGATO 1999, PALLARDY 1999)

**Fig. 133: Anúncio de 1905 a palestras e demonstrações sobre Radiodiagnóstico e Radioterapia por Antoine Béclère.** (DEL REGATO 1993)

Em Julho de 1898, no quarto Congresso Internacional de Tuberculose, em Paris, demonstrou as vantagens da Fluoroscopia no diagnóstico da tuberculose. (DEL

REGATO 1999) Alguns anos mais tarde, ainda neste âmbito, publicou o livro “*Les rayons de Roentgen dans le diagnostic de la tuberculose*” (1899), seguido de “*Les rayons de Roentgen et le diagnostic des affections thoraciques non-tuberculeuses*”, em 1901. (LONDE 1899, LONDE 1901)

Béclère fez a tradução para Francês do livro de Francis Williams de 1901, anteriormente referido, e influenciado pelas ideias defendidas pelo autor sobre o valor da Radioterapia e a sua experiência neste campo, interessou-se por este. Ainda nesse ano, Béclère realizou o primeiro Congresso Internacional de Radiologia em Paris. (DEL REGATO 1999, VON LOON 2004)

Após ter tido conhecimento do cromoradiómetro, apresentado por Guido Holzkecht no segundo Congresso Internacional de Electrologia e Radiologia Médica, em 1902 em Berna, Béclère ficou interessado na possibilidade de medir a quantidade de radiação aplicada aos pacientes, de modo que, quando regressou a Paris, criou um serviço de Radioterapia no “*Hôpital Saint-Antoine*”, para o qual tinha sido transferido em 1899 e nomeado chefe de serviço. (DEL REGATO 1993, PALLARDY 1999)



**Fig. 134 : Exame radioscópico ao tórax realizado por Béclère no “*Hôpital Tenon*”.**  
(LONDE 1899)

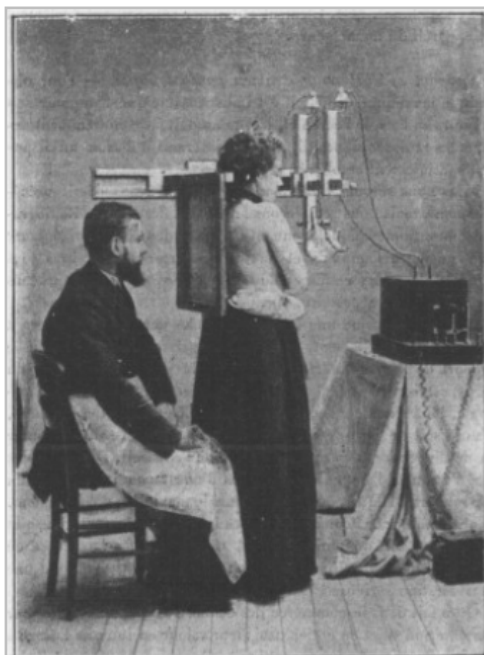
Béclère aplicou e defendeu não só a importância da Radiologia no diagnóstico de diversas condições clínicas, mas também a importância da Radioterapia, assim como as práticas adequadas em meio hospitalar, sob supervisão dos Médicos. Para além disso, enfatizou a importância da dosagem na prática da Radioterapia, bem como defendeu também medidas de protecção para os Médicos e pacientes relativamente aos efeitos nocivos dos raios-X. (DEL REGATO 1993, GOODMAN 1995b)

Na primeira metade de 1896, diversos hospitais de Londres possuíam nas suas instalações aparelhos de raios-X. Os Médicos que realizavam a técnica radiográfica, eram frequentemente, os que possuíam interesse pela electricidade e fotografia e a tendência era que os primeiros ensaios com raios-X fossem realizados nos departamentos de Electroterapia, como o fez William Snowden Hedley (1870-1936), no início de 1896, no “*London Hospital*”. No “*Miller Hospital*”, também

em Londres, Thomas Moore, juntamente com William Webster, não só implementaram o primeiro departamento de raios-X em Inglaterra, como colaboraram activamente na organização da “*Röntgen Society*” e da revista “*Archives of the Röntgen Ray*”. (GOODMAN 1995b)

É importante referir também o recurso aos raios-X em hospitais militares e de campo. Conforme referido anteriormente, o exército britânico foi um dos primeiros a recorrer à Radiologia para examinar feridos de guerra, durante a Reconquista do Sudão, em 1898. O Major John C. Battersby foi um dos cirurgiões que realizou várias radiografias em pleno campo de batalha. (GOODMAN 1995b)

Para terminar, é de referir a contribuição de alguns indivíduos, que apesar de não serem Médicos, desempenharam um importante papel na prática da Radiologia e da sua implementação no seio dos hospitais.



**Fig. 135: Albert Londe durante a realização de um exame fluoroscópico. (LONDE 1898)**

Albert Londe (1858-1917) foi um Fotógrafo Francês conhecido pelos seus trabalhos inoconográficos desenvolvidos durante vários anos no hospital psiquiátrico “*La Salpêtrière*”, em Paris, sobre diversas condições psiquiátricas patológicas, como a histeria. Londe foi, de facto, o pioneiro da fotografia médica, tendo contribuído com uma importante publicação em 1893, “*La photographie médicale: Application aux sciences médicales et physiologiques*”, a primeira dedicada a esta área. Após ter tido conhecimento da notícia da descoberta de Röntgen, e de ter adquirido a instrumentação necessária à produção de raios-X, Londe iniciou

os seus estudos neste campo, tendo em 10 de Fevereiro de 1896 sido submetida à Academia de Ciências de Paris uma comunicação intitulada “*Application de la méthode de Röntgen*”, na qual descrevia os seus estudos sobre a sensibilização de placas fotográficas pelos raios-X e onde apresentou a sua primeira radiografia. (LONDE 1896, LONDE 1898)

Posteriormente, e decorrente das suas investigações sobre a técnica radiográfica e radioscópica, publica, em 1898, “*Traité pratique de radiographie et radioscopie: technique et applications médicales*”, uma publicação de referência nesta área, na qual descrevia a metodologia empregue em ambas as técnicas, a instrumentação necessária, as técnicas de registo e processamento fotográficos, bem como várias aplicações médicas (Fig. 135). O “*Service Photographique et Radiographique de La Salpêtrière*”, do qual era director, que serviu durante algum tempo de modelo para a instalação de outros laboratórios do género em instituições hospitalares. Se no campo da fotografia médica Albert Londe foi pioneiro, também o foi na Radiologia, nomeadamente ao serviço da Medicina. (BERNARD 2005, LONDE 1898)

Nos Estados Unidos da América, o farmacêutico Walter Dodd (1869-1916) iniciou os seus trabalhos como radiologista em Março de 1896 no Massachusetts General Hospital. Inicialmente com instrumentação pouco adequada e insuficiente, o hospital foi adquirindo novos aparelhos de forma gradual, pelo que em 1908 foi criado, oficialmente, o departamento de Roentgenologia<sup>108</sup>, do qual Dodd fez parte quando se licenciou em Medicina nesse mesmo ano. (GOODMAN 1995b)

De modo semelhante, Mihran Kassabian (1870-1910) através do seu trabalho como Fotógrafo e do seu interesse pela Electroterapia, tornou-se Radiologista no “*Medico-Cirurgical College and Hospital*” em Filadélfia, contribuindo para a sua implementação como um departamento clínico, pelo que, em 1903 foi nomeado director do “*Roentgen Ray Laboratory*” na referida instituição. (GOODMAN 1995b)



**Fig. 136:** Logotipo de “*The Röntgen Society*”. (THOMAS 2011)

Importa também referir a contribuição para o estabelecimento da Radiologia como uma especialidade médica, por parte de várias sociedades radiológicas fundadas em vários países europeus e nos Estados Unidos da América, no fim do século XIX e início do século XX. A primeira a ser fundada, “*The Röntgen Society*” (Fig. 136), surgiu em Londres em meados de 1897, sendo Silvanus Thompson (1851-1916) o seu presidente. Em 1900, surge a “*Roentgen Society*

<sup>108</sup> O termo “Roentgenologia” é idêntico a “Radiologia”, sendo de uso frequente no início da sua prática.

*of the United States*”<sup>109</sup>, nos Estados Unidos da América, criada por Herber Roberts, fundador do “*American X-Ray Journal*”, como anteriormente referido. (ALLSOPP 1965, BRECHER 1969)

Um dos objectivos destas sociedades era actuarem no sentido de alterar o carácter desorganizado e heterogéneo da prática da Radiologia, uma vez que no seu início não estava bem definido quem poderia exercê-la, não existindo, praticamente, regras inerentes ao seu exercício, assim como não estava profissionalizado o estatuto de quem a operava (alguém que adquirisse um aparelho de raios-X podia tornar-se, *ipso facto*, um Radiologista). Deste modo, as sociedades de Radiologia funcionavam não só como uma plataforma de discussão sobre os raios-X e a sua aplicação na Medicina, bem como uma base para o começo do processo de profissionalização da Radiologia, definindo a noção da necessidade de existirem competências da parte de quem produzia e interpretava os exames radiográficos, conseguidas através de formação especializada. (MOULD 2011, PASVEER 1989, UNDERWOOD 1945)

No início do século XX, muitos dos indivíduos que trabalhavam com raios-X começaram a planear o seu método de trabalho estabelecendo regras e critérios de funcionamento, procurando uma uniformização da metodologia de trabalho e da técnica, a fim de se obterem resultados clínicos fidedignos, bem como a sua divulgação na comunidade médica. (PASVEER 1989)

Além do que foi anteriormente exposto, a evolução da Radiologia esteve dependente de dois factores que se interligaram: a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) e o estabelecimento do Diploma de Cambridge. O primeiro factor conferiu um novo olhar ao valor da Radiologia e a necessidade imediata de Radiologistas especializados, dado a utilização de radiografias para o diagnóstico de feridos de guerra e a necessidade de que a sua interpretação fosse feita por técnicos com formação especializada, de forma a se obterem conclusões clínicas válidas, contribuindo para tal, também, o uso de equipamento padronizado, fidedigno e seguro. Desta forma, foi estimulada a criação de programas de treino, bem como o desenvolvimento de unidades de raios-X portáteis e a

---

<sup>109</sup> Esta designação permaneceu até em 1902, ano a partir do qual, e até actualmente, esta sociedade passou a ser designada “*American Roentgen Ray Society*”.

substituição de placas fotográficas de vidro por películas de celulose. O segundo veio colmatar a falha na formação especializada. (BARCLAY 1942, PASVEER 1989)

O estabelecimento do “*Diploma in Medical Radiology and Electrology*” (DMRE), também conhecido por Diploma de Cambridge, em 1920, pode ser visto como um marco para a profissionalização da Radiologia. Este diploma surgiu da acção da “*British Association for the Advancement of Radiology and Physiotherapy*” (BARP), formada em 1917, e era exigido a quem se candidatasse a um determinado posto de trabalho em Radiologia num hospital, pelo que o estatuto do Radiologista como um trabalhador qualificado, assim como, o estatuto da Radiologia como uma especialidade médica qualificada, foram firmemente estabelecidos. (BARCLAY 1942, VON LOON 2004)

O avanço na tecnologia respeitante aos equipamentos de raios-X, a existência de regulamentação a nível do exercício da Radiologia (nomeadamente, em termos de pessoal qualificado para o desempenho da mesma) e a crescente consciencialização de que a imagem radiológica constituía uma importante ferramenta de diagnóstico e de terapia, reveladora de resultados clínicos de grande valor, são factores que contribuíram para alterar o modo como os Médicos observavam e interpretavam uma imagem, bem como a sua visão do papel dos raios-X na prática médica, contribuindo para que as práticas de Radiologia fossem, gradualmente, uma rotina implementada nos hospitais. (PASVEER 1989)

## **5.5. Toxicidade da Radiação. Medidas de Protecção**

Embora o entusiasmo sobre as investigações no âmbito da Radiologia fosse grande e os resultados daquelas fossem bastante promissores, pouco tempo decorreu, após as primeiras aplicações dos raios-X, até se tornar aparente, bem como divulgada, a toxicidade e efeitos nocivos da (incorrecta) exposição diária à radiação, bem como a necessidade do estabelecimento de medidas de segurança e protecção. Tornou-se claro que uma exposição continuada e excessiva aos raios-X, poderia ser nociva para o Homem e, conseqüentemente, estar na base da origem de uma série de efeitos



secundários, tais como queda de cabelo, irritação cutânea, inflamação e dor, bem como o desenvolvimento, a longo prazo, de cancro e de outras condições patológicas. Muitos investigadores observaram algumas alterações na pele, particularmente, nas suas mãos. De modo geral, os pioneiros da Radiologia, não tinham consciência dos perigos da exposição aos raios-X, uma vez que não podiam ser observados, inalados, ouvidos ou sentidos. Para além disso, quaisquer que fossem os efeitos observados decorrentes do seu uso, eram atribuídos a outros factores. Contudo, longas e repetidas exposições resultaram em danos graves e, muitas vezes, levaram à morte de muitos investigadores no período inicial da Radiologia. (KASSABIAN 1907, TIGGELEN 2001)

Em Março de 1896 John Daniel, Professor de Física na Universidade de Vanderbilt, nos Estados Unidos da América, tentou radiografar o crânio de um colega com um tubo de raios-X a cerca de 1,3 centímetros da sua cabeça, durante uma hora de exposição. Três semanas mais tarde, relatou a ocorrência de queda de cabelo em toda a região exposta à radiação<sup>110</sup>. (GOODMAN 1995a, JAUNCEY 1945)

No Verão de 1896, Herbert Hawks (1872-1943), assistente de Michael Pupin, da Universidade de Columbia, após ter realizado uma demonstração de raios-X na “*Bloomingdale Brothers’ Store*” em Nova Iorque, sofreu queimaduras na pele, para além de queda de cabelo em algumas zonas do corpo, como cabeça e face. (GOODMAN 1995a)

Muitas foram as razões possíveis apontadas como responsáveis pelo desenvolvimento de dermatite<sup>111</sup> induzida pelos raios-X (Fig. 137), como fenómenos devido a radiação ultra-violeta, raios catódicos, efeitos electrostáticos, ozono, idiosincrasia do paciente, erros no procedimento da técnica, entre outros. Todavia, o maior número de investigações gravitava em volta destas duas teorias: acção dos raios-X e acção dos fenómenos eléctricos. (KASSABIAN 1907, SOUSA 1945b)

---

<sup>110</sup> Uma das primeiras indicações sobre o efeito nocivo dos raios-X no Homem, nomeadamente, a nível ocular, surgiu no dia 29 de Março no jornal popular “*Globe-Democrat*”, nos Estados Unidos da América.

<sup>111</sup> Também designada por radiodermatite ou radiodermite, dividia-se em radiodermatite crónica e radiodermatite aguda. Esta última subdividia-se em três graus, primeiro, segundo e terceiro. A radiodermatite crónica, mais lenta e progressiva, primeiramente só se observava no operador, cujas mãos estavam muito tempo expostas a raios de fraco poder penetrante ou de baixa intensidade, passando depois a verificar-se também em pacientes sujeitos a sessões muito prolongadas ou repetidas de radioterapia. A radiodermatite aguda, pelo contrário, surgia rapidamente após uma exposição a radiação muito penetrante.



**Fig. 137: As mãos de Mihran Kassabian, apresentando o resultado de exposições prolongadas e frequentes aos raios-X (radiodermatite crónica). (KASSABIAN 1907)**

A relutância na aceitação dos efeitos nocivos, bem como a dúvida persistente relativamente à possibilidade dos raios-X poderem constituir-se como os agentes causadores de tais danos, terá sido eliminada por Elihu Thomson (1853-1937) no fim do ano de 1896. Thomson expôs, deliberadamente, a ponta do seu dedo mínimo aos raios-X e verificou, após alguns dias, que o seu dedo ficou inchado, encarnado e dolorido, tendo ocorrido, também a formação de bolhas. (BELOT 1905, GOODMAN 1995a, KASSABIAN 1907, MACKEE 1921)

Após a divulgação da notícia no “*Electric World*” de 28 de Novembro de 1896, muitos mais relatos sobre os efeitos nocivos dos raios-X surgiram, tornando-se evidente que estes não eram, de todo, inócuos ao ser humano. De facto, o maior perigo da exposição aos raios-X foi dramaticamente conhecido através da morte de vários pioneiros de estudos e trabalhos com raios-X. Tal deve-se, entre outras razões, ao facto da produção instável de radiação, e em grande quantidade, verificada nos primeiros tubos disponíveis levar a que os primeiros Radiologistas tivessem que examinar as suas próprias mãos com um fluoroscópio a fim de calibrar a quantidade de radiação produzida, inferindo, através do eritema desenvolvido na pele das suas mãos, o tempo de exposição necessário para a produção de radiografias. Para além disso, e frequentemente, as mãos também ficavam expostas à radiação enquanto o operador posicionava os pacientes em direcção às placas fotográficas durante a aplicação da técnica. Por outro lado, os longos tempos de exposição necessários para a realização das primeiras radiografias

contribuíram para tais efeitos. (BELOT 1905, FRANKEL 1996, GOODMAN 1995a, VASCONCELLOS 1903)

Como referido anteriormente, só em 1900 é que Kienböch demonstrou serem os raios-X os causadores de lesões cutâneas. Tal foi demonstrado da seguinte forma: interpôs um ecrã opaco à radiação com um orifício circular, entre o tubo de descarga e o doente, irradiando durante trinta minutos, a uma distância de quinze centímetros. A zona cutânea lesada correspondia à projecção geométrica desse orifício. Posteriormente, fez a contraprova, interpondo um disco de chumbo entre a ampola e o doente. A zona que não sofreu danos pelos raios-X era também a projecção geométrica do disco à distância de quinze centímetros, o que não aconteceria se a causa nociva estivesse no campo eléctrico envolvido todo o tubo<sup>112</sup>. (SANTOS 1945b)

Entre os pioneiros que foram vítimas da exposição aos raios-X, citem-se os exemplos de Hall-Edwards e Clarence Dally (1865-1904).

Hall-Edwards após ter conhecimentos dos efeitos nocivos dos raios-X, testou os seus efeitos em si próprio, diariamente, durante um ano, pois não estava convencido dos novos factos revelados. Após esse tempo, referiu que não tinha sofrido nenhuma consequência resultante dessa exposição e que os efeitos nocivos poderiam ocorrer devido a um desempenho incorrecto da técnica pelo operador. No entanto, a sua opinião modificou-se quando começaram a surgir os primeiros efeitos no seu corpo, feridas dolorosas e verrugas, publicando um artigo com a descrição da sua condição no “*British Medical Journal*” em 1904, onde aconselhava a todos os que trabalhassem com raios-X para serem cautelosos na aplicação da técnica. Com o passar do tempo, desenvolveu cancro nas mãos, que levou à amputação do seu ante-braço esquerdo e dos dedos da sua mão direita, acabando por falecer em 1926. (FRANKEL 1996, MEGGITT 2008)

Clarence Dally, assistente-chefe de Thomas Edison desde 1896, era responsável por vários aspectos relacionados com a produção de tubos de raios-X, o que acabou por

---

<sup>112</sup> Kienböch esclareceu, ainda, uma outra questão relativamente ao efeito nocivo das radiações produzidas por tubos “duros” e tubos “moles”, no aparecimento de radiodermites. Assim, demonstrou, após estudos em pacientes e animais que «*contrariamente à opinião espalhada, um tubo que emite fortes descargas eléctricas e somente poucas radiações X de um forte poder penetração [tubo “duro”] tem uma acção quase nula, enquanto que um tubo relativamente fraco, de pequeno poder de penetração [tubo “mole”] tem uma acção considerável sobre a pele.*».

conduzir a que surgissem os efeitos da sua toxicidade, como queda de cabelo, queimaduras, ulceração, dor e desenvolvimento de carcinoma de pele. Dally foi sujeito à amputação de ambos os membros superiores e, em 1904 faleceu com trinta e nove anos, na sequência de uma dermatite aguda - foi a primeira vítima fatal nos Estados Unidos da América devido aos raios-X. Edison<sup>113</sup> após ter perdido o seu assistente, e de se ter consciencializado da toxicidade associada aos raios-X, decidiu abandonar os seus trabalhos relativos à radiação. (COMROE 1976, FRANKEL 1996, GOODMAN 1995a, SOUSA 1945b)

Nos primeiros tempos, quando as voltagens aplicadas eram extremamente baixas e os raios-X, geralmente, “moles”, muitos dos efeitos nocivos dos raios-X manifestavam-se sob a forma de queimaduras externas e de crescimentos superficiais. Embora os efeitos fossem severos, existia a vantagem de serem rapidamente assinalados. Quando, pelo contrário, se começou a aplicar voltagens mais elevadas e raios mais penetrantes, os malefícios dos raios-X tomaram um aspecto mais subtil e de lento aparecimento. Os raios-X “duros” produzidos penetravam na pele e eram absorvidos pelos tecidos profundos, ao nível dos quais causavam diversas condições clínicas e doenças, que, frequentemente, tinham um desenlace fatal. (PULLIN 1937)

Um ano após a descoberta de Röntgen, Wolfram C. Fuchs (1865-1908), propôs o que é considerado como o primeiro conjunto de medidas de protecção contra a radiação: 1) redução do tempo de exposição, o máximo possível; 2) manter uma distância de 30 cm do tubo de raios-X e 3) aplicar vaselina na pele e deixar uma camada extra na maior parte da região exposta. Deste modo, é interessante verificar que os três princípios básicos de protecção radiológica – tempo, distância e protecção – estavam estabelecidos<sup>114</sup>. (BRODSKY 1989, CLARKE 2009)

---

<sup>113</sup> Em Março de 1896, Edison já tinha relatado o efeito irritante dos raios-X a nível dos olhos e sugeriu precaução relativamente ao seu uso prolongado. Após a morte de Dally, abandona os seus estudos com raios-X.

<sup>114</sup> Albers-Schönberg, vítima de uma dermatite crónica, em meados de 1900, sugeriu medidas semelhantes. Adicionalmente, recomendou que se abandonasse a anterior técnica aferição da “dureza” do tubo pela colocação da mão do operador entre o tubo e o ecrã fluorescente.



**Fig. 138: Fato protector de raios-X do início do século XX. Era feito de borracha coberta com folha de chumbo, assim como as luvas, capuz e avental. Os óculos eram de vidro com chumbo. (THE KNEE-SCHEERS COMPANY 1905)**

Neste sentido, relativamente à protecção do paciente era comum, como medida profilática, inferir acerca da susceptibilidade através da aplicação não sequencial de pequenas doses de radiação. O tipo de tubo também era tido em conta, uma vez que tubos “moles” produziam dermatite mais rapidamente que tubos “duros”, bem como a distância do tubo relativamente ao paciente<sup>115</sup>. No tratamento terapêutico de condições clínicas mais profundas, as partes sãs eram protegidas da radiação através de folhas finas de chumbo de determinada espessura e com um orifício do tamanho e forma da zona a tratar<sup>116</sup>. A fim de filtrar as radiações desnecessárias, era usada uma peça de pele ou alumínio (em pó) sobre a zona que a ser irradiada, bem como eram utilizados diafragmas que limitassem a radiação secundária que se dispersava a partir das paredes dos tubos de raios-X, como o diafragma de Potter-Bucky, referido anteriormente no capítulo 4.1. Para além disso, o operador devia também recorrer a luvas e avental de borracha, bem como a óculos de vidro de chumbo para protecção dos olhos (Fig. 138). (KASSABIAN 1907, MACKEE 1921)

No entanto, apesar de em meados de 1920 as ideias de protecção radiológica se encontrarem a dar os seus primeiros passos, nomeadamente pela criação de regulamentação para práticas de Radiologia em condições de segurança mais adequadas em vários países, não havia uniformidade nos procedimentos da técnica e das condições de segurança sob as quais ocorriam. Tal motivou a realização do primeiro “*International Congress of Radiology*” (ICR), em Londres, em 1925, cujo principal objectivo consistia em criar uma comissão para elaborar uma proposta de uma medida de exposição máxima à radiação permitida, e de uma unidade que quantificasse a

<sup>115</sup> Quanto maior a distância do tubo ao operador, menor seria o perigo de queimaduras.

<sup>116</sup> Devido à sua elevada densidade, é muito opaco. A espessura escolhida dependia da qualidade e quantidade de radiação desejada a empregar.

radiação, que fosse aceite internacionalmente (o que, em última análise, seria crucial para o progresso da Radioprotecção). De facto, até então, não havia um padrão de referência que estabelecesse um nível de exposição-limite à radiação, tolerado pelo ser humano em condições razoáveis de fiabilidade e de segurança. Neste sentido, foi criado o “*International Committee on Radiation Units and Measurements*” (ICRU), apesar de ter sido, em 1928, designado “*International X-ray Unit Committee*” (IXRUC), responsável por estabelecer unidades relacionadas com os níveis de radiação estabelecidos, bem como recomendar procedimentos para sua medição. (CLARKE 2009, BARTLETT 2008)

Em 1928 ocorreu o segundo ICR, em Estocolmo, e o ICRU propôs que fosse adoptado o roentgen (r) como unidade de exposição radioactiva, referida no capítulo 5.3.2. Foi também criado o “*International X-ray and Radium Protection Committee*” (IXRPC)<sup>117</sup> com o intuito de estabelecer doses-limite de radiação e de princípios básicos de protecção contra a mesma, que fossem tendentes a reduzir e, preferencialmente, eliminar os efeitos decorrentes da sua exposição<sup>118</sup>. Em 1931, no terceiro Congresso Internacional de Radiologia, em Paris, a definição da unidade r manteve-se inalterada. Em 1934, no quarto Congresso Internacional de Radiologia, em Zurique, o IXRPC propôs uma dose diária tolerável de radiação, 0,2 r, que consistia num valor limite de segurança, abaixo do qual não seriam esperados efeitos indesejáveis, bem como outras medidas de segurança a adoptar na prática da Radiologia, como duração de horas de trabalho diárias e anuais, realização de exames de rotina para monitorização do estado de saúde do operador, entre outros. (CLARKE 2009, BARTLETT 2008, JENNINGS 2007)

Röntgen nunca sofreu de queimaduras nas mãos ou outros danos provocados pelos raios-X como sucedeu em vários pioneiros da Radiologia, e tal pode ser devido, em parte, ao facto de ter trabalhado com a radiação durante relativamente pouco tempo. Adicionalmente, para a realização das suas experiências de raios-X, construiu uma câmara suficientemente larga para o acomodar, assim como os instrumentos necessários, constituída por placas de zinco soldadas. Era completamente hermética,

---

<sup>117</sup> Actualmente designado por “*International Committee on Radiation Protection*” (ICRP).

<sup>118</sup> Entre as medidas a adoptar constava a duração das horas de trabalho, a localização das instalações e a sua escolha no que respeita, por exemplo, à sua dimensão, existência de ventilação, entre outras medidas.

com exceção de uma abertura que podia ser fechada por uma porta de zinco. A parede na posição oposta à porta estava, na sua maior parte, coberta com chumbo. Proximamente do equipamento de descarga (montado no exterior da caixa) foi feita uma abertura de quatro centímetros de largura na parede de zinco e no revestimento de chumbo. Por sua vez, esta abertura era selada com uma fina lâmina de alumínio. Através desta janela os raios-X podiam entrar na caixa de observação. (MOULD 1995, RÖNTGEN 1896)

## 6. OS RAIOS-X NA MEDICINA PORTUGUESA

### 6.1. As Primeiras Notícias sobre a Descoberta dos Raios-X na Imprensa Portuguesa

Tal como noutros países, também a notícia da descoberta de Röntgen surgiu na imprensa, pouco tempo após ter acontecido. Em Portugal, a primeira notícia sobre a descoberta de Röntgen surgiu no jornal “*Novidades*”, em 27 de Janeiro de 1896, como notícia de primeira página, mostrando uma clara compreensão da sua importância e antevendo as possibilidades de aplicação da nova radiação: «*Diversos problemas científicos e muitas questões industriais derivam da nova invenção que vem modificar se não destruir totalmente as teorias que até agora estavam consagradas a respeito da natureza da luz e da transmissão dos raios luminosos; mas a aplicação de maior interesse e que está suscitando a maior curiosidade e solicitude é a reprodução dos acidentes ou lesões internas do corpo humano, o que facilitará enormemente a acção da medicina e sobretudo as operações de cirurgia. Sendo do conhecimento do público a radiografia da mão, não era difícil prever a aplicação da descoberta para o diagnóstico das fracturas.*». Dias depois, o jornal concluía: «*Ainda que se não fosse mais longe, a descoberta do sr. Roentgen nem por isso deixará de ser uma das mais valiosas conquistas feitas nesse último século em benefício da humanidade.*». (BOBONE 1897, SOUSA 1945a)

Se ao “*Novidades*” se deve a primeira notícia da descoberta, é ao jornal “*O Século*” que cabe a honra de ser o primeiro jornal a dar uma reprodução das primeiras radiografias feitas em Portugal, consagrando ao assunto toda a sua primeira página da edição de 1 de Março de 1896 (Fig.139). A notícia, com o título «*Photographia atravez dos corpos opacos*», era reveladora de grande entusiasmo: «*Todos os instrumentos até agora conhecidos, deveras preciosos, perderão todo o seu valor desde que os raios catódicos de Roentgen passarem através do pescoço, do peito, do ventre e se puderem obter as fotografias da contextura, disposição e estado dos órgãos como se estivéssemos vendo, não mortos e dissecados nas mesas de anatomia, mas vivos e funcionando na sua*



maravilhosa actividade.». Posteriormente a estes, outros jornais foram divulgando a notícia com maior ou menor objectividade ou relevo.<sup>119</sup> (LIMA 1896, SOUSA 1945a)



Fig. 139: A edição de 1 de Março de 1896 do jornal “O Século”, dedica a sua capa à notícia da descoberta de Röntgen e as primeiras aplicações dos raios-X em Portugal, reproduzindo diversas radiografias. (LIMA 1896)

Importa notar que se as primeiras notícias dos jornais portugueses se caracterizaram pela clareza e objectividade, muitas outras que surgiram posteriormente confundem a verdade com a fantasia, facto real com o especulativo, o conceito com a anedota, como

<sup>119</sup> Citem-se os exemplos d’”O Occidente” (Fig. 148), “Diário de Notícias”, “O Primeiro de Janeiro”, “O Eco”, “Diário Ilustrado”, entre outros.

surgiu num artigo no jornal “*Novidades*”, dias após a sua primeira notícia.<sup>120</sup> Durante os primeiros meses posteriores à descoberta dos raios-X, outros exemplos foram surgindo na imprensa Portuguesa, assim como na imprensa de todo o mundo, como referido no capítulo 5, ainda que, certamente, para além disso, os jornais nacionais não tenham dado a nota humorística ou mesmo o carácter quase, ou mesmo até, imoral, que alguns atribuíram à descoberta de Röntgen e às suas aplicações possíveis. (SOUSA 1945a)

Neste sentido, de acordo com GRAHM (1942), «*o espantinho da imoralidade dos Raios X empalideceu quando, em Janeiro de 1896, se radiografou o braço doente do Imperador da Alemanha e desvaneceu para sempre quando a rainha D. Amélia de Portugal mandou radiografar algumas das suas damas de honor com o fim de avaliar o dano que os espartilhos apertados causavam aos seus fígados.*». (GRAHM 1942)



**Fig. 140: Radiografia da mão da Rainha D. Amélia, realizada por ocasião da sua visita ao Laboratório Radiológico do Hospital de S. José em 1905. (SOUSA 1945a)**

Numa carta, datada de 1945, a Emílio Oliveira Martins, cirurgião dos Hospitais Cívicos de Lisboa e delegado da “*Ordem dos Médicos*”, a Rainha D. Amélia (1865-1951) refere «*Todas as minhas recordações, dos anos remotos, em que eu estava em Portugal, deixam-me muito presentes as horas, nas quais, com grande interesse, ocupei-me dos Raios X, que Roentgen acabava de descobrir. Fiz, então, tudo o que era em meu poder, para que no nosso País fossem conhecidos os benefícios dessa descoberta, e quiz mesmo que se fizesse uma radiografia das minhas mãos.*»

Paralelamente, foi confirmada ao Cônsul de Portugal em Paris, pela Rainha, a veracidade da referida notícia. De facto, a 20 de Fevereiro de 1905, a Rainha deslocou-se às instalações do Laboratório Radiológico do Hospital de S. José, onde foi realizada uma radiografia da sua mão. (Fig. 140) (SOUSA 1945a)

<sup>120</sup> Neste artigo, discutia-se as relações dos raios-X «*com a telepatia ou com o conjunto de fenómenos físicos designados sob este nome e que se tem conservado até agora no domínio do ocultismo*», acabando por concluir «*que a questão da transmissão da imagem dum objecto através dum corpo opaco se propõe hoje em novos termos e que seria muito interessante saber se em condições mais aperfeiçoadas da experiência, caso se faça a substituição da placa fotográfica por um olho, o que esse olho perceberá.*».

Três anos mais tarde, em 1908, o rei D. Manuel II (1889-1932), filho da Rainha D. Amélia e do Rei D. Carlos I (1863-1908), visitou o Laboratório radiológico do Hospital de S. José, onde o Médico Feyo e Castro (1877-1937) realizou uma radiografia da sua mão, conforme noticia a revista “*Ilustração Portuguesa*”, na edição de 13 de Julho de 1908 (Fig. 141). (DIAS 1908)



**Fig. 141: Radiografia da mão do Rei D. Manuel II, realizada por ocasião da sua visita ao Laboratório Radiológico do Hospital de S. José, em 1908 publicada na “*Ilustração Portuguesa*”. (DIAS 1908)**

Na imprensa científica, particularmente, nas revistas médicas da época, a primeira a assinalar a descoberta dos raios-X foi a “*Coimbra Médica*”, no dia 1 de Fevereiro de 1896<sup>121</sup>. Nela constava um longo artigo sobre o assunto, com as principais características das novas radiações, referindo «*Sem demoradas meditações, se antevê, num relance, o prodígio de aplicações a que descoberta dará origem nos diversos ramos da ciência médica.*». Nos números seguintes desta revista em que se noticiavam outros aspectos dos raios-X manteve-se um conteúdo objectivo, referindo-se apenas a factos rigorosamente controlados, ao contrário de alguns centros científicos

<sup>121</sup> Comparativamente ao que foi referido, num capítulo anterior, sobre a divulgação da notícia da descoberta em revistas científicas estrangeiras, como “*Lancet*”, “*British Medical Journal*”, entre outras, verifica-se que a revista “*Coimbra Médica*” não se distanciou muito da data de publicação das mesmas, antecipando-se mesmo ao “*Journal of the American Medical Association*”, uma importante revista médica, que só noticiou a descoberta dos raios-X na edição de 15 de Fevereiro de 1896.

estrangeiros, os quais anunciavam, por vezes, resultados sem fundamento científico. (SOUSA 1946)

## 6.2. As Primeiras Radiografias Obtidas em Portugal e as Primeiras Aplicações em Medicina



**Fig. 142: Henrique Teixeira Bastos.**  
(<http://www.museudaciencia.org>)

Henrique Teixeira Bastos (1861-1943) (Fig. 142)<sup>122</sup>, lente de Física na Universidade de Coimbra, foi um investigador que investigou a acção dos raios catódicos e dos raios-X, possuindo no gabinete de Física Experimental da Universidade a instrumentação adequada para estes estudos. (Figs. 143 e 144).

De facto, desde o princípio da década de 1850 que a experimentação de descargas eléctricas em gases e o estudo de espectros de emissão interessava os Professores de Física Experimental de Coimbra. Tal permitiu a existência dos recursos técnicos necessários

para a reprodução imediata das experiências de Röntgen. A quase totalidade do equipamento utilizado nas primeiras experiências com raios-X em Fevereiro de 1896 tinha sido adquirida em 1872, isto é, vinte e quatro anos antes, muito em parte devido ao notável desenvolvimento alcançado pelo referido gabinete no final do século XIX, graças à acção do Professor da Universidade de Coimbra António Maria dos Santos Viegas (1835-1914), que estabeleceu contacto com a comunidade europeia da época. (LEONARDO 2011, MARTINS 2003)

---

<sup>122</sup> O interesse de Teixeira Bastos pela electricidade já vinha de longe. Em 1884 apresentou como dissertação inaugural de Doutoramento o trabalho designado “*Unidades eléctricas*”. Após um ano, apresentou “*Teoria electromagnética da luz*” como dissertação de concurso.



**Figs. 143 e 144: Instrumentação existente no Gabinete de Física Experimental da Universidade de Coimbra: uma ampola de raios-X (FIS.1185) e uma bobina de Ruhmkorff (FIS.0315), respectivamente. (<http://www.museudaciencia.org>)**

Conforme noticiado no jornal “*Novidades*” de 3 de Fevereiro de 1896 a primeira radiografia feita em Portugal é da sua autoria: «*O Sr. Dr. Henrique Teixeira Bastos, lente de Física da Universidade de Coimbra, realizou ontem algumas experiências com os Raios X, fotografando um dedo e uma chave com pleno êxito.*». Na revista científico-literária “*O Instituto*”, órgão do Instituto de Coimbra, o próprio Teixeira Bastos publica um artigo em que confirma as suas experiências, bem como as condições em que as mesmas decorreram e o equipamento utilizado<sup>123</sup>. (BASTOS 1896, SOUSA 1946)

Também “*O Século*”, na edição referida anteriormente, noticiou que «*O Sr. Dr. Teixeira Bastos, catedrático da segunda cadeira de Física, da Faculdade de Filosofia, encetou no dia 2 de Fevereiro, no laboratório anexo à sua aula os seus ensaios sobre o novo processo de fotografia através dos corpos opacos.*». Para além disso, o extenso artigo contava com a inclusão de quatro reproduções de radiografias obtidas pelo investigador de Coimbra no dia 3 de Fevereiro 1896. Teixeira Bastos contava com a colaboração do conceituado Fotógrafo Adriano Sousa e Silva, proprietário da “*Fotografia Académica Conimbricense*”, tendo reconhecido o valor da sua colaboração em diversos trabalhos. (BASTOS 1896, LIMA 1896, SOUSA 1946)

---

<sup>123</sup> Nesse artigo publicado n’*“O Instituto”*, Teixeira Bastos refere: «*Nas experiências realizadas no gabinete de physica da Universidade, uma grande bobina de Ruhmkorff era excitada por seis elementos de Bunsen, e a descarga 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 cadáver (o primeiro ensaio feito), de uma mão viva, de uma caixa de pesos, de uma sardinha.*». Refere, igualmente, os resultados de experiências de outros investigadores sobre propriedades adicionais dos raios-X, como a sua capacidade de descarregarem corpos electrizados, bem como várias aplicações cirúrgicas. Estes factos demonstram que Teixeira Bastos dominava completamente a Física da sua época e a técnica instrumental necessária para a experimentação, bem como estava a par dos desenvolvimentos científicos nesta área.

Relativamente às radiografias realizadas em Coimbra, reproduz-se o noticiado pela edição referido jornal: «(...) há quatro notáveis que são os que reproduzimos pela zincogravura os quais podem igualar em êxito aos melhores do estrangeiro e que são os seguintes:

1- Dedo indicador d'um cadáver do theatro anatómico em que a imagem óssea ficou muito nítida.

2- Estojo de madeira hermeticamente fechado, obtendo-se as sombras dos pesos e da pinça n'elle dispostos, assim como as dobradiças e o fecho.

3- Mão direita d'um alumno do quarto ano de Medicina em que a parte esquelética saiu perfeitíssima com todas as suas particularidades.

4- Mão direita de J. F. de 11 annos, em tratamento na terceira enfermaria dos hospitaes da Universidade.»



**Fig. 145: A primeira radiografia obtida em Coimbra para fins de diagnóstico por Teixeira Bastos com a colaboração do Fotógrafo Adriano da Sousa e Silva. (<http://www.museudaciencia.org>)**

A primeira tese sobre raios-X também foi apresentada em Coimbra, por Álvaro José da Silva Basto (1873-1924), licenciado em Filosofia Natural, como dissertação inaugural para o Acto de Conclusões Magnas na Faculdade de Filosofia. Foi submetida em Maio de 1897 e intitulava-se “Os raios catódicos e os raios X de Röntgen”. É um trabalho muito completo que começa por estudar os raios catódicos, as acções luminosas, químicas, fotográficas, caloríficas, electrónicas, abordando também a condução molecular, condução eléctrica, a teoria das ondulações transversais e ondulações longitudinais. Analisa e discute a génese da descoberta de Röntgen, bem como vários

aspectos relacionados com os raios-X, como a sua emissão, propagação, reflexão, refração, difracção, polarização, velocidade, acção sobre os corpos electrizados, etc., referindo-se no final da sua publicação a aplicações práticas dos raios-X. (BASTO 1897)

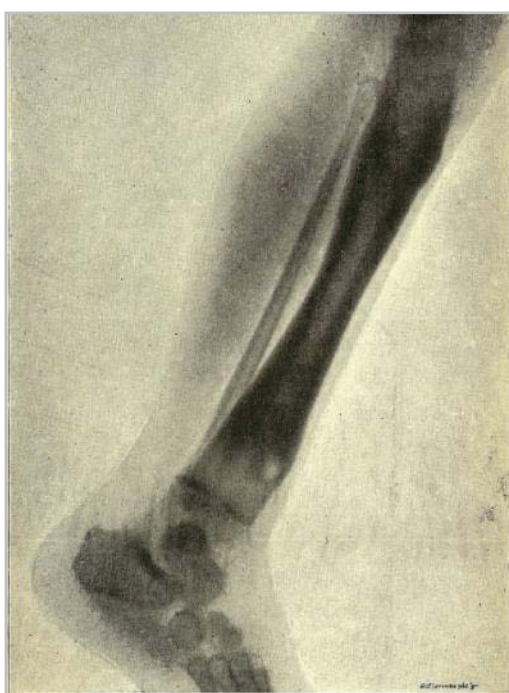
No Porto, ainda no mesmo ano, mas posteriormente à publicação da tese de Silva Bastos, Luís Cândido Correia de Abranches apresentou uma dissertação inaugural à Escola Médico-Cirúrgica do Porto, intitulada “*Raios X (Estudo Clínico)*” e que ao contrário da primeira, desenvolvia mais os assuntos relativos às varias aplicações dos raios-X na Medicina e Cirurgia, existentes até então; referia, também, os trabalhos de investigadores internacionais, demonstrando que se encontrava a par dos desenvolvimentos da técnica. Para além disso, fez também um enquadramento histórico da descoberta dos raios-X, nomeadamente de estudos anteriores aos de Röntgen e dos do próprio, bem como refere a instrumentação utilizada na técnica e a metodologia usada pelo autor na revelação, fixação e impressão das placas fotográficas. No fim da sua dissertação, o autor apresenta duas reproduções de radiografias obtidas por si. (ABRANCHES 1897)

Em Lisboa, só mais tarde, em Julho de 1900, é que surgiu a primeira tese sobre a aplicação dos raios-X em Medicina<sup>124</sup>. Henrique de Melo Archer da Silva apresentou à Escola Médico-Cirúrgica de Lisboa, a dissertação inaugural intitulada “*Raios Roentgen em clínica*”. No início da sua dissertação, o autor faz considerações acerca da importância da aplicação dos raios-X em Medicina: «(...) a importância que dia a dia vae tomando como meio de diagnostico, como maneira segura de decidir questões de anatomia, de physiologia etc. (...); agradece o contributo do Médico Virgílio Machado (1859-1927), que será referido posteriormente neste trabalho, pelo apoio prestado na realização da sua dissertação e aborda questões relativas às técnicas radiográficas e instrumentação utilizadas por diversos autores, fazendo sempre referência à metodologia e instrumentação de Virgílio Machado, referindo que de «entre todos os

---

<sup>124</sup> No entanto, em 1898, Francisco Ferreira dos Santos apresentou uma dissertação inaugural à Escola Médico-Cirúrgica de Lisboa, intitulada “*Algumas Palavras sobre Reumatismo Deformante (Um Caso Clínico)*”. Nesta, refere que recorreu à Radioscopia para o diagnóstico da doença e sua evolução, bem como a importância desta contribuição, afirmando «*Não poderíamos precisar nitidamente os caracteres do typo clínico que aqui apresentamos sem o emprego da radioscopia.*» Para além disso, inclui uma reprodução de uma radiografia do caso clínico descrito. Ao contrário da dissertação de Archer e Silva, não refere qualquer pormenor acerca da técnica empregue, nem do seu procedimento ou instrumentação.

*gabinetes de Radiographia até aqui conhecidos pelas descrições nas Revistas da especialidade, occupa um dos primeiros logares o do professor Virgílio Machado. Possuidor d'um poderoso e magnifico material, as suas radiographias podem competir com as melhores do estrangeiro.»*. O autor enumera e descreve diversas aplicações dos raios Röntgen, no que respeita à Clínica Cirúrgica, Clínica Médica, Obstetrícia e Terapêutica, bem como considerações acerca das mesmas, complementando os diversos assuntos abordados com descrições de vários casos clínicos, estando estes ilustrados com algumas reproduções de radiografias de diversos autores, como Virgílio Machado (Figs. 146 e 147). (SILVA 1900)



**Figs. 146 e 147: Dois exemplos de reproduções de radiografias incluídas na dissertação inaugural de Archer e Silva (1900) realizadas por Virgílio Machado. (SILVA 1900)**

Em Coimbra a descoberta de Röntgen não se confinou apenas ao laboratório de Física. Logo de início, Daniel de Matos interessou-se pelo assunto e, conforme anunciado no “*Novidades*” de 4 de Fevereiro de 1896, «*tencionava experimentar brevemente no Hospital da Universidade as aplicações científicas desta importante descoberta.*». De facto, a radiografia da mão direita do doente de onze anos a que “*O Século*”, na edição de 1 de Março de 1896 se referiu<sup>125</sup>, foi feita a pedido deste Médico, na altura Professor da cadeira de Clínica Cirúrgica, para demonstração aos alunos do quarto ano do curso

<sup>125</sup> Tal como n”*O Século*”, n”*O Occidente*” e no já referido artigo escrito por Teixeira Bastos n”*O Instituto*” também constava uma reprodução da radiografia desse caso clínico.



de Medicina<sup>126</sup>, contando com a colaboração do Fotógrafo Adriano da Silva e Sousa (Fig. 145). Desta forma, foi também em Coimbra que se realizou o primeiro diagnóstico clínico-radiológico, assim como se reconheceu o valor didáctico do novo método. Como já foi referido anteriormente, também foi em Coimbra que foi realizada a primeira radiografia e a primeira tese sobre raios-X. Deste modo, os factos fundamentais da história da Radiologia em Portugal estão ligados à Escola de Coimbra. (LIMA 1896, SOUSA 1946)

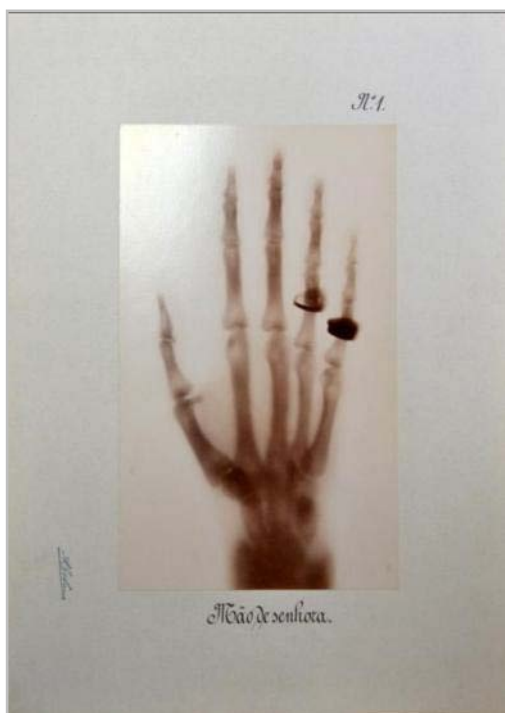


**Fig. 148: O jornal “O Occidente” também noticiou a descoberta de Röntgen e as primeiras aplicações dos raios-X em Coimbra por Teixeira Bastos e Daniel Matos, na edição de 25 de Março de 1896, com o título “A photographia atravez dos corpos opacos”. (SILVA 1896)**

A colaboração de um investigador, Médico ou Físico, com um Fotógrafo para a obtenção das radiografias, verificou-se, também, à semelhança de outros países, no início da história da Radiologia Portuguesa, como se verificou em Coimbra com o Fotógrafo Adriano Sousa e Silva. (SOUSA 1946)

<sup>126</sup> O diagnóstico anatomoradiológico deste caso foi: «*Tuberculose do primeiro metacarpico e das duas phalanges do pollegar. Osteíte tuberculose condensante no primeiro metacarpico e primeira phalange. Ankulose da articulação metacarpico phalângica. Existe rarefação do resto da primeira phalange e da última, apresentando-se, pelas alterações ósseas e pelo desenvolvimento exuberante do tecido embryonário, o pollegar curto e grosso.*».

Augusto Bobone (1852-1910), como todos os grandes Fotógrafos da sua época, interessava-se não só pela técnica fotográfica, pela suavidade de nuances numa paisagem, pelo conteúdo psicológico de cada retrato que saía do seu “*atelier*”, mas também por todas as modalidades de fotografia na suas aplicações à Ciência. Na hierarquia artística deste tempo, distinguia-se entre Fotógrafos amadores e Fotógrafos científicos. Bobone exercia as duas funções. Tendo já trabalhado em fotomicrografia, encarou com interesse a fotografia pelos raios-X. Segundo o próprio «*a simples curiosidades, se não o hábito que tenho de experimentar todas ou quasi todas as innovações ou descobertas em que figura a photographia, levou me a fazer investigações sobre os raios X, encontrando grandes obstáculos antes de conseguir bons resultados.*». (BOBONE 1897, SOUSA 1946)



**Fig. 149: A primeira radiografia obtida por Augusto Bobone, em 22 de Março de 1896. (ESPÓLIO DA BIBLIOTECA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DE LISBOA)**

Apesar de não possuir no seu “*atelier*” um tubo apropriado para a produção de raios-X, foi-lhe cedido por Virgílio Machado, Médico e um dos grandes pioneiros da Radiologia em Portugal, um tubo de Crookes, através do qual conseguiu, decorrido algum tempo, tendo obtido a 22 de Março de 1896, a sua primeira radiografia (Fig.149). Posteriormente, apresentou e ofereceu Academia das Ciências de Lisboa, uma colecção de radiografias resultantes dos seus estudos<sup>127</sup>, referindo: «*Tendo por único guia os resultados obtidos de experiência sobre experiência, consegui fazer os resultados que tenho a honra de apresentar ao Ex.<sup>mo</sup> Sr. Presidente e mais membros da Real Academia das Ciências para*

<sup>127</sup> Esta colecção, disponível na Biblioteca da Academia de Ciências de Lisboa, foi consultada no âmbito do projecto “Fotografia Científica: estudo da instrumentação e dos processos físico-químicos no período século XIX – início século XX” (PTDC/ HIS-HCT/102497/2008 – FCT), do qual fiz parte como Bolseiro de Investigação.

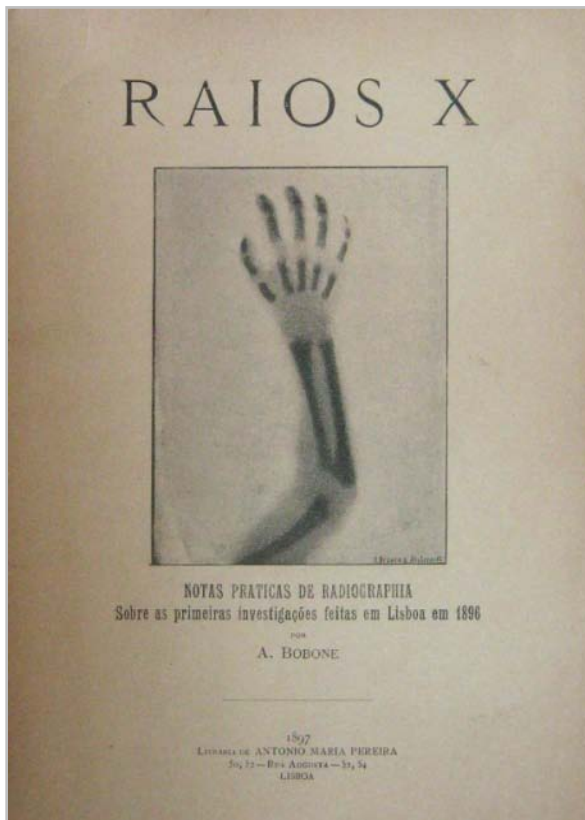
que se dignem tomar conhecimento e sobre eles emitam a sua esclarecida opinião como os primeiros e únicos sobre corpos vivos, feitos em Portugal, com nitidez e perfeição.».<sup>128</sup> (BOBONE 1897)

Esta colecção, para além de conter radiografias relativas a casos clínicos, compreendia, também, radiografias de espécies marinhas, mamíferos, aves, anfíbios, bem como de alguns estudos relativos à opacidade aos raios-X por parte de diversos objectos e materiais, nomeadamente, o vidro (Figs. 150, 151, 152 e 153). Na sua monografia, Bobone refere, de acordo com a sua natureza, qual o tipo de vidro mais indicado para a construção de tubos de Crookes para investigações com raios-X, não deixando, também, de salientar a importância deste factor na «*aplicação aos instrumentos em que tenha de fazer-se observações por intermédio de photographia*». Esta monografia é a primeira publicada em Portugal sobre raios-X, em 1897, intitulando-se “*Raios X. Notas praticas de radiographia sobre as primeiras investigações feitas em Lisboa em 1896*”. (Fig. 154) (BOBONE 1897)



**Figs. 150, 151, 152 e 153: Exemplos de radiografias obtidas por Augusto Bobone, pertencentes à colecção apresentada à Academia de Ciências em 1896. (ESPÓLIO DA BIBLIOTECA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DE LISBOA)**

<sup>128</sup> Daqui poder-se-ia ficar com a ideia de caber a Bobone a primeira radiografia, mas tal, como foi anteriormente referido, não lhe pertence esse mérito, tendo sido obtida cerca de mês e meio após Teixeira Bastos.



**Fig. 154: A primeira monografia sobre raios-X publicada em Portugal (1897) por Augusto Bobone. (BOBONE 1897)**

Alfredo da Costa (1883-1908) escreveu, a pedido de Bobone, o prefácio desta monografia e, prevendo o alcance da descoberta de Röntgen referiu «*O diagnóstico exacto nem sempre é coisa fácil em cirurgia e tem bastas dificuldades em medicina. Há lesões profundas de órgãos que se escondem à observação clínica e cuja apreciação chega a ser impossível. Os meios semiotécnicos nem são completos nem os que existem são absolutos; é por isso que em medicina a dúvida e até o erro de diagnose são lícitos dentro de certas condições que representam não a ignorância do médico, mas a incapacidade da ciência. A radiografia,*

*alargando consideravelmente os meios de diagnóstico, vem prestar à medicina serviços de que nem mesmo se pode por enquanto avaliar toda a magnitude.*». Para além disso, tece elogios à contribuição dos estudos de Bobone e da sua aplicação na Medicina: «*Quem há por esse paiz fóra que uma vez ao menos não tivesse tido ensejo de travar conhecimento com superioridade, nas muitas provas a que teem sido submettidas com admiração e applauso de todos? [...] Mais do que na arte pensou o meu amigo na humanidade que padece, e já não sou o unico que tenha de agradecer-lhe o valioso concurso que a sua radiographia alguma vez me prestou em esclarecer pontos de diagnostico cirúrgico, que sem a sombra de Roentgen poderiam ter ficado com a pecha de incerteza.*». (BOBONE 1897)

Na sua monografia, Augusto Bobone, revela um perfeito conhecimento de uma grande parte da literatura radiológica da época, apresentando detalhes da técnica fotográfica, como as placas sensíveis que permitiam a obtenção de melhores resultados, as etapas do processamento fotográfico, a importância do tempo de exposição e as variáveis das quais depende, entre outros. O autor aborda, igualmente, alguns aspectos da Física dos raios-X e da técnica radiológica, tais como a distância entre o objecto de estudo e o tubo

de raios-X, o tipo de radiação produzida, o estudo da opacidade de vários materiais à radiação, com base na realização de experiências, discussão de conceitos e formulação de hipóteses. Bobone escreve também sobre a importância da aplicação dos raios-X na Medicina: «(...) a aplicação dos raios X ou raios de Rontgen sobre os corpos vivos podem considerar-se como um auxiliar à medicina e de indiscutível valor nas operações cirúrgicas.» e da importância do papel do registo fotográfico neste contexto: «Quando se proceder à investigação de alto interesse com os raios X por meios photographicos, deve considerar-se a photographia como parte integrante da sciencia e não como simples acessório, porque d'ella depende a precisa observação que se deseje fazer sobre qualquer corpo.» (BOBONE 1897)

Nesta monografia, Bobone incluiu algumas reproduções de radiografias acompanhadas da descrição das condições experimentais em que foram obtidas, bem como de aspectos clínicos, pertencentes a uma colecção de doze exemplares, que «foi radiographada com o tubo de Crookes em forma de pêra, pequeno modelo, que o ex.<sup>mo</sup> sr. dr. Virgilio Machado teve a bondade de me emprestar, e com uma bobine, também de pequeno modelo, dando a centelha de 0<sup>m</sup>,03 e alimentada por uma pilha de Bunsen.» Estes estudos primeiros estudos com raios-X realizados por Augusto Bobone, decorridos durante cerca de um mês, permitiram o início do seu reconhecimento internacional. Segundo o próprio, estes foram «expostos nos primeiros centros de Paris, Berlim, Bruxellas e New York, onde receberam as melhores referências, como attestam cartas e jornaes recebidos d'estes paizes.»<sup>129</sup>. (BOBONE 1897)

O primeiro laboratório radiológico instalado em Portugal, e aberto ao público, surge pela iniciativa de Augusto Bobone, onde recebia pacientes enviados pelos seus médicos<sup>130</sup>. Nos boletins radiográficos, para além da interpretação do objecto radiografado, constam referências a doentes de Virgílio Machado, Alfredo da Costa, entre outros Médicos. (BOBONE 1897)

---

<sup>129</sup> Relativamente a um outro conjunto de (dezanove) radiografias referido por Bobone na sua monografia, o próprio refere que parte delas foi obtida com uma bobina de Rhümkorff e um tubo de Crookes proveniente do “*Instituto Industrial e Commercial de Lisboa*”. A bobina de indução a que se refere, assim como a que foi utilizada na colecção que reúne os seus primeiros estudos, foi cedida por Pina Vidal (1841-1919).

<sup>130</sup> Também no estrangeiro, os primeiros laboratórios de raios-X abertos ao público foram os de Fotógrafos que viam na descoberta uma nova fonte de lucro.

Importa referir que a primeira localização de um corpo estranho realizada em Portugal foi feita por este Fotógrafo, conforme se encontra relatado n.º “O Século” de 2 de Junho de 1896: «É deveras espantoso o que já temos visto feito por Bobone e muito mais teremos que ver quando ele possuir os aparelhos que encomendou. É muito honroso para o artista e para o nosso país que lhe deve o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tão grande auxílio à clínica portuguesa e à Humanidade em geral.». (SOUSA 1946)

Augusto Bobone refere ainda na sua monografia de 1897, que a 10 de Junho de 1896 lhe foi apresentado um doente para fazer uma radiografia da mão esquerda onde tinha o terceiro dedo deslocado, depois de três meses de tratamento. Como o doente tinha o seu dedo flectido, por dificuldades de técnica, repetiu a radiografia mais que uma vez e o doente acusou sensíveis melhoras, fazendo movimentos de extensão mais amplos. Bobone acrescentou: «Possuo uma carta d’este senhor certificando que as suas melhoras são devidas à acção dos raios X.». (BOBONE 1897) No entanto, o emprego terapêutico, e a possível obtenção de cura por aplicação dos raios-X, foi, neste caso, obviamente, acidental<sup>131</sup>.

Para além de Adriano Sousa e Silva, em Coimbra, e de Augusto Bobone, em Lisboa, Emílio Biel (1838-1915) foi um Fotógrafo que também desempenhou um papel de relevo nos primórdios da Radiologia Portuguesa, colaborando com o Médico Araújo e Castro, na realização das primeiras radiografias realizadas no Porto. Este último era secretário da “Sociedade União Médica” e na sessão de 10 de Fevereiro de 1896, fez algumas considerações acerca do método de Röntgen aplicado à Medicina e mostrou algumas fotografias cedidas por Biel e obtidas no seu “atelier” fotográfico, «servindo-se para isso de uma poderosa bobine, cujas descargas se efectuavam através dum grande tubo de Geissler.». (LIMA 1946, RAMOS 1946)

---

<sup>131</sup> Segundo SOUSA (1946), em 1 de Novembro de 1897, D. António Maria de Lancastre (1857-1941), publica na Revista Portuguesa de Medicina e Cirurgia Práticas, um artigo sobre “Osteoperiostite limitada terminando por supuração. Cura pelos Raios X”. O autor ao descrever as modificações sofridas pelo processo osteomielítico no decurso do tratamento resume, assim, as suas ideias: «Elas evidenciam um fluxão, ou por outra um efeito vasodilatador. Ora vasodilatação, diapedese e fagocitismo são associados imprescindíveis. Pensei que pela acção dos raios X poderíamos obter além de um nutrição mais abundante dos elementos próprios, provocar um elemento embaraçoso para os agentes infectantes – quais eles fossem – pela inundação de leucócitos que as alterações vasculares apontadas traziam à superfície. Ajudar os nossos tecidos a resistirem e a defenderem-se dos agentes infectantes constitui o grande problema da terapêutica para todas as infecções que não tenham medicação específica. Os raios X parece-nos poderem satisfazer a essas exigências de ajudar a defesa.». »

### 6.3. Alguns Pioneiros da Radiologia Portuguesa

Em Portugal, assim como noutros países, após a fase inicial da aplicação dos raios-X na Medicina, na qual os Fotógrafos desempenharam um papel de relevo, surgiram os primeiros Médicos a contribuírem para a sua utilização nos hospitais e na luta pela sua diferenciação como especialidade médica. Durante algum tempo, estes Médicos eram conhecidos como “*Fotógrafos de doenças*”. Para alguns, os Médicos que faziam radiografias estavam a entrar num campo no qual não lhes competia desenvolver tal actividade, pois esse domínio era da competência dos Físicos, por se tratar de um método físico, ou dos Fotógrafos, por se tratar de uma nova modalidade de fotografia. (SOUSA 1945a, SOUSA 1946)

De entre os vários Médicos pioneiros da Radiologia em Portugal, citem-se Carlos Leopoldo dos Santos (1864-1935), pela mão do qual foi instalado, em Lisboa, o primeiro consultório de Radiologia em Abril de 1897<sup>132</sup>, Feyo e Castro, responsável pela instalação e organização da secção de Radiologia do Hospital de S. José<sup>133</sup> em 1898, o primeiro hospital em Portugal a beneficiar desse auxiliar de diagnóstico e terapêutica<sup>134</sup> e Virgílio Machado<sup>135</sup>. (BOBONE 1897, LOPES 1946, RAMALHO 1946)

---

<sup>132</sup> A propósito do consultório de Carlos Santos, RAMOS (1995), cita o descrito no primeiro fascículo nº1 do primeiro volume do “*Boletim da Sociedade Portuguesa de Radiologia Médica*”: «a primeira aparelhagem que trouxe de Paris constava apenas de uma bobine de Ruhmkorff com interruptor de martelo que dava uma faísca de 15 cm e uma bateria de 12 acumuladores. Os tubos eram de 5, 10 e 15 cm de diâmetro, com anticátodo de platina (...).». Acrescenta, também, que «em Agosto de 1897 encontrava-se já a funcionar no seu consultório a instalação necessária para a radiografia.».

<sup>133</sup> Em Junho de 1896, porém sem as devidas instalações organizadas, bem como a existência de instrumentação necessária, Augusto Bobone foi convidado por Alfredo da Costa a deslocar-se a este hospital para a realização de uma radiografia da mão de um paciente, que tinha sido atravessada por uma bala de um revólver. De acordo com BOBONE (1897), «*Como estava tratando d’uma nova instalação e não tinha ainda os aparelhos que mandara fabricar, servi-me d’um tubo de Crookes que me foi emprestado, e com que fiz uma nitida radiographia, mostrando claramente os destroços causados pela bala na parte inferior do primeiro metacarpico.*».

<sup>134</sup> Facto semelhante aconteceu em 1902, no Hospital da Universidade de Coimbra, com a criação do Gabinete de Radioscopia e Radiografia, ficando o serviço sob a direcção de António Pádua. Em 1918, já em novas instalações, passou a ser designado por “Laboratório de Radiologia e Electrologia”, separando-se as duas especialidades em 1926 em dois laboratórios distintos. No Porto, em 1908, foi inaugurado o Gabinete de Radiografia no Hospital de Santo António, cuja direcção estava a cargo de António d’Andrade Junior.

<sup>135</sup> Logo que se iniciou a aplicação dos raios-X em diagnóstico, Virgílio Machado adquiriu um desses aparelhos e instalou-o numa dependência da enfermaria do Hospital de S. José onde prestava serviço médico. No entanto, não foi possível o seu funcionamento, devido à impossibilidade dos acumuladores que accionavam o transformador eléctrico, serem carregados pela corrente disponível pelo dínamo do hospital. Pouco tempo depois, no ano de 1897, propôs à administração desse hospital, a criação e instalação de um serviço de Electroterapia, de Radiologia e de Análises Clínicas. Apesar de reunir a



**Fig. 155: Virgílio Machado.**  
(CARVALHO 1929)

Virgílio Machado (Fig. 155) frequentou a Escola Politécnica e manifestou desde muito cedo aptidões especiais para o estudo da Física e da Química. Foi também aluno da Escola Médico-Cirúrgica de Lisboa, terminando o seu curso com distinção em 1883. Para além de ter feito parte do quadro médico do Hospital de S. José (1885), foi também Professor de Química Geral e Análise Química no Instituto Industrial e Comercial de Lisboa (1887) e, mais tarde, Professor de Química no Instituto Superior Técnico (1911). (MONTEIRO 1928)

De entre os pioneiros da Radiologia Portuguesa, Virgílio Machado foi o que mais extensa produção científica publicou referente a diversos ramos da Ciência. Os seus trabalhos mereceram elevadas recompensas a nível internacional, sendo citados em várias publicações importantes da sua época. A longa lista dos seus trabalhos, que no final da vida atingiram perto de duas centenas, compreende livros e artigos em revistas nacionais e estrangeiras, nos quais tratou de vários assuntos médicos no campo da Radiologia, Electricidade Médica (Electroterapia e Electrofisiologia)<sup>136</sup>, Neurologia<sup>137</sup>, Urologia,

---

melhor preparação e experiência necessárias em todas as áreas do referido serviço, a sua proposta não foi aceite. Durante vários anos trava uma luta burocrática com a administração hospitalar, a qual indefere a iniciativa de montar, por expensas próprias, uma instalação completa de Radioscopia e Radiografia.

<sup>136</sup> Entre as mais importantes, importa referir “*As aplicações médicas e cirúrgicas da electricidade*” (1898) e “*Les applications directes et indirectes de l’électricité à la médecine et la chirurgie*” (1908 e segunda edição em 1912); esta última, merecedora de louvores de reputados nomes da Ciência da época, como de H. Guilleminot (1869-1922) e W. J. Morton (1819-1968), foi reproduzida parcialmente no livro *Medical Electricity and Roentgen Rays*, de S. Tousey, em 1910) e traduzida também em Alemão.

<sup>137</sup> Logo após a sua entrada no Hospital de São José, em 1885, onde fez serviço na Enfermaria Sousa Martins, fundou nessa instituição, o primeiro serviço hospitalar Português de Neurologia, na enfermaria de São Sebastião. Neste serviço aplicava os seus conhecimentos de electricidade no diagnóstico e terapia, justificando a sua opção do seguinte modo: «*As afecções nervosas são aquelas em que mais larga aplicação tem a electricidade desde longa data. Indispensável é porém para quem deseje utilizar na clínica os variados modo de tratamento eléctrico não só conhecer a rigorosa técnica indispensável ao seu êxito mas saber também estabelecer com a possível segurança um diagnóstico nosográfico, topográfico, anatomopatológico de qualquer afecção nervosa de modo a poder conjecturar se no tratamento deste ou daquele caso convirá ou não a terapêutica eléctrica, qual devendo ser a modalidade e a técnica a adoptar.*».

Importa ainda referir que foi sobre esta especialidade que Virgílio Machado redigiu a sua tese de final de curso na Escola Médico-Cirúrgica de Lisboa, intitulada “*Paralisia Infantil*” (1883), o primeiro trabalho publicado em Portugal sobre esta doença. Para além disso, foi o primeiro a publicar em Portugal, em 1919, uma monografia sobre semiologia neurológica, “*Elementos de Neurosemiologia Clínica*”.



Análises Clínicas e outros ainda sobre temas de índole não médica. (CARVALHO 1929, MONTEIRO 1928)

No que respeita a publicações, por exemplo, em várias revistas científicas estrangeiras sobre as suas contribuições no âmbito da Radiologia, pode referir-se que, em 1898, o seu trabalho sobre o exame radiológico na litíase biliar, “*Bladderstone*”, foi publicado nos Estados Unidos da América no “*Archives of the Roentgen Ray and allied phenomena*”. Também na Alemanha tal se verificou, com a publicação dos seus estudos sobre a aplicação dos raios-X ao mixedema, à doença de Raynaud e ao osteossarcoma da fíbula na revista “*Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen*”. (MONTEIRO 1928)

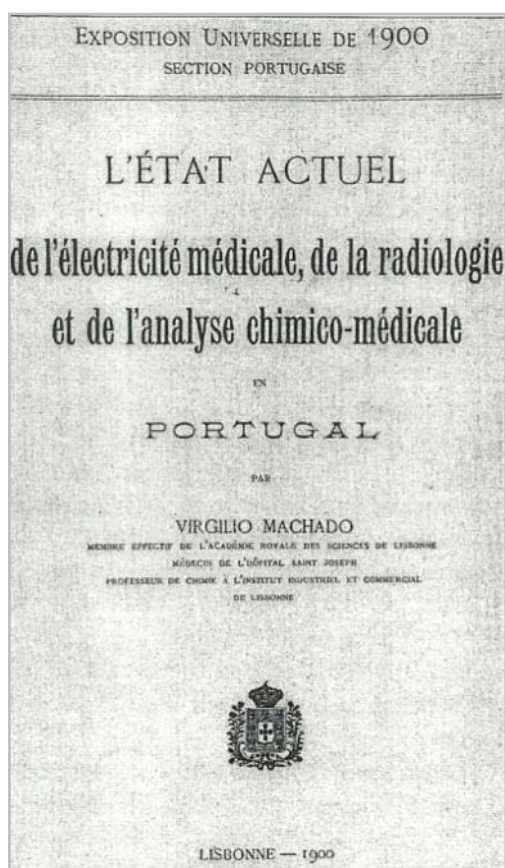
Mas Virgílio Machado não era apenas mais um Médico interessado nas aplicações da descoberta de Röntgen que veio abrir novos horizontes à Medicina. Era também um Físico. Desde os seus tempos de estudante da Escola Politécnica, tinha manifestado elevada aptidão para os estudos no campo da Física Experimental, desenvolvendo e adquirindo conhecimentos cuja profundidade lhe permitiram compreender não só as teorias que envolveram a descoberta dos raios-X, mas também, a da instrumentação associada. (LIMA 1959)

As memórias apresentadas à Academia das Ciências de Paris, “*Quelques faits nouveaux observés dans les tubes de Crookes*” (1896) e “*Renforcement des rayons X*” (1897), juntamente com “*Sur un appareil pour orienter le foyer producteur des rayons X et mesurer sa distance au fluoroscope ou à la plaque photographique*” (1898), reproduzido em resumo no “*Traité de Radiologie Médicale*” de Bouchard (1898), e o seu artigo “*Investigations of X ray problems*”, publicado no “*American X Ray Journal*”<sup>138</sup> em 1901, entre tantos outros títulos, são alguns dos exemplos que atestam o seu domínio dos conhecimentos sobre os raios-X e da técnica instrumental, bem como, do seu prestígio internacional. As primeiras publicações foram dedicadas a questões técnicas do novo científico, levando-o a introduzir modificações e aperfeiçoamentos vários na instrumentação disponível na época, em colaboração com os fabricantes deste tipo de aparelhos. (LEITÃO 1959, MONTEIRO 1928)

---

<sup>138</sup> Este tema foi apresentado por Virgílio Machado no segundo congresso anual da “*Roentgen Society of the United States*”, em Bufalo, Nova Iorque, nos Estados Unidos da América.

Para além destas contribuições, três anos após a descoberta de Röntgen escreveu uma importante monografia intitulada “*O exame dos doentes pelos Raios X*”, juntamente com a memória apresentada à Academia de Ciências de Lisboa, em 1900, ao nível da semiologia radiológica do coração, intitulada “*O exame do coração no vivo pelos raios X*”, e do estômago, “*Os novos métodos de exame clínico do estômago*” (1901), o que fazem de Virgílio Machado um dos antecessores mais distintos da Radiologia Portuguesa e que mais contribuiu para o seu desenvolvimento. (LIMA 1959, MACHADO 1898a, MACHADO 1900b, MONTEIRO 1928)



Ainda no ano de 1900, a sua publicação “*L'état actuel de l'électricité médicale, de la radiologie et de l'analyse chimico-médicale en Portugal*” (Fig. 157), apresentada na Exposição Universal de Paris em 1900<sup>139</sup>, constituiu uma contribuição valiosa para a história da Medicina Portuguesa nestas especialidades e na qual refere onze publicações sobre Radiologia, algumas já citadas neste trabalho, as quais, igualmente, apresentadas à Academia das Ciências de Lisboa e à Academia de Ciências de Paris. (MACHADO 1900a)

**Fig. 156: Capa da publicação “*L'état actuel de l'électricité médicale, de la radiologie et de l'analyse chimico-médicale en Portugal*”, apresentada por Virgílio Machado em 1900 na Exposição Universal de Paris, em 1900. (MACHADO 1900a)**

Nesta publicação, Virgílio Machado descrevia as aplicações da Radiologia e da Radioscopia que eram realizadas em Portugal até ao início do século XX, bem como a sua importância como uma técnica de grande valor «*para determinar a sede e a natureza das doenças.*». Desta forma, de acordo com o autor, «*(...) os raios X*

<sup>139</sup> No decorrer da referida exposição, Virgílio Machado apresentou um importante estudo sobre “*A Medicina na Exposição Universal de Paris em 1900*”, publicado em 1907, onde demonstra não só a extensão e complexidades dos seus conhecimentos, mas também o seu espírito crítico.

*empregados como método radioscópico ou método radiográfico, de acordo com o exame a executar, permitiram-nos as seguintes investigações:*

*1º. Relativamente aos ossos dos membros: apreciação da sua forma, relação da sua densidade relativamente à que possuem numa situação normal, regularidade ou irregularidade da sua superfície, relações articulares, luxações, coxa vara, soluções de continuidade (fracturas), alterações das cartilagens articulares, verificação da aplicação conveniente de aparelhos em casos de deslocação ou de fractura, estudo fisiológico dos movimentos dos ossos, etc.*

*(...)*

*2º. Verificação da presença de corpos estranhos (balas, fragmentos de vidro ou lâminas de faca, agulhas, sequestros ósseos, medalhas ou moedas); determinação precisa da sua posição no esófago, estômago, intestinos, pulmões, cérebro, espinha dorsal, olhos, etc.*

*3º. Determinação do volume, da forma, das relações e dos movimentos do coração; apreciação de deformações dos grandes vasos, ateromas, aneurismas, etc.*

*4º. Exame do aparelho respiratório, permitindo o estudo do diafragma, o diagnóstico precoce da tuberculose pulmonar, a determinação precisa da existência e da extensão de um derrame pleurítico e da influência que exercem os diversos meios terapêuticos sobre a sua reabsorção, e enfim a constatação da presença de quistos hidáticos, de neoplasias, etc.*

*(...)*

*5º. Relativamente ao aparelho digestivo e seus anexos, podemos avaliar pelo método dos raios X, avaliar o grau de dilatação do estômago, verificar as dilatações fusiformes do esófago e da presença de neoplasias neste canal, no estômago ou no fígado; determinámos a sede de obstruções intestinais, etc., etc.*

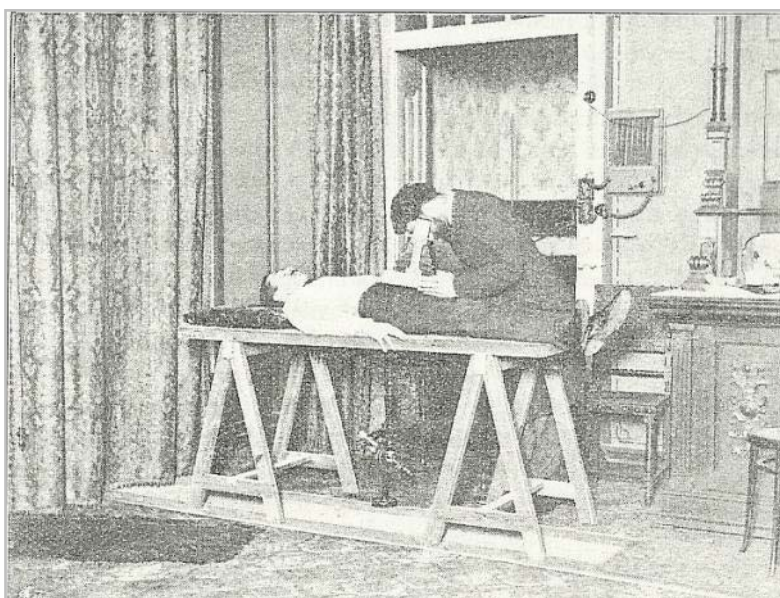
*6º. Com os raios X podemos reconhecer por vezes a presença de cálculos hepáticos, renais ou vesicais.*

*7º. Empregamos por vezes, no serviço de Obstetrícia, a radiografia, a fim de determinar a conformação da bacia óssea, o tamanho dos seus diâmetros, etc.*

*8º. Já empregámos também a radiosopia e a radiografia, em Medicina Legal, nos casos seguintes: para demonstrar a existência de lesões ou a presença de corpos estranhos nos tecidos, decorrentes de actos criminais ou acidentes no exercício de certas profissões, acidentes com direito a uma indemnização; para tornar evidente os*

*erros ou as imperfeições de uma intervenção cirúrgica; para verificação da identidade; para determinar a idade de um feto.*

*9º. Nos estudos anatómicos utilizamos os raios X (com o auxílio de artificios técnicos, cuja descrição não podemos fazer aqui) para realizar estudos interessantes sobre o sistema arterial, etc., etc. (...)*»

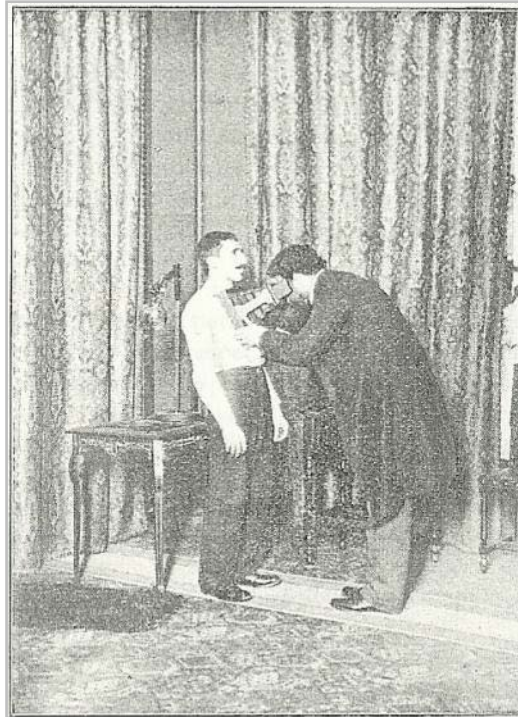


**Fig. 157: Exame radioscópico ao ventre realizado por Virgílio Machado, recorrendo a um fluoroscópio. (MACHADO 1900a)**

Para além destas aplicações, o autor descreve a instrumentação disponível para os exames radiológicos<sup>140</sup>, faz referência ao valor da utilidade e exploração clínica associada à informação fornecida pelas radiografias e pelos exames radioscópicos, à protecção contra a acção nociva dos raios-X, bem como enumera variados assuntos clínicos, quer de Radiologia, quer de Radioscopia (Fig. 157 e 158), que foram objecto de publicações especiais e que foram observados no seu estabelecimento. Refere também que, estavam a ser realizadas investigações, sobre a potencial acção das radiações sobre os tecidos animais e sobre alguns microrganismos, e consequentemente, sobre o seu efeito terapêutico. No entanto, considerou notáveis os resultados curativos obtidos em várias doenças, como lúpus, reumatismo infantil e elefantíase, bem como o desenvolvimento de estudos que permitissem a cura de várias formas de tuberculose. (MACHADO 1900a)

---

<sup>140</sup> Bem como, a instrumentação necessária e empregue nas outras especialidades às quais se dedicava, já referidas.



**Fig. 158: Exame radioscópico ao interior do tórax realizado por Virgílio Machado. (MACHADO 1900a)**

Ainda a propósito do estado actual da Radiologia em Portugal, Virgílio Machado referiu na sua monografia de 1900 que era importante mencionar, entre outros laboratórios<sup>141</sup>, o laboratório do Hospital Militar Permanente de Lisboa, cuja inauguração data do início de 1899<sup>142</sup>. Contudo, o serviço radiológico deste hospital foi de curta duração, deixando de funcionar em 1900 por avarias, falta de material e outras dificuldades<sup>143</sup>. (LACERDA 1995, LOPES 1946, MACHADO 1900a)

Em 1903, o Rei D. Carlos determinou que, nas instalações desse hospital, fosse criado um gabinete de Radioscopia e Radiografia dirigido por um Médico militar de graduação de capitão ou tenente. No entanto, somente em 1909 é que o serviço iniciou a sua actividade, devidamente equipado com aparelhos de raios-X, permitindo a realização de inúmeros exames radiológicos a militares, desempenhando um importante papel na selecção de indivíduos aptos para integrarem o serviço militar; era também realizado o diagnóstico da tuberculose pulmonar, quer na observação clínica aquando a sua

---

<sup>141</sup>Como o laboratório do já referido Carlos Leopoldo dos Santos, em Lisboa e o de Arantes Pereira e Araújo e Castro, no Porto.

<sup>142</sup> Possivelmente, antes desta data, já existia um aparelho de raios-X nas instalações do hospital, ainda que sem serviço organizado de Radiologia.

<sup>143</sup> O Hospital Militar do Porto só viria a surgir em 1911.

incorporação, quer posteriormente, quando se diagnosticavam novos casos da doença<sup>144</sup>. Compreende-se, claramente, o interesse que poderia ter para o serviço de saúde dos exércitos, o diagnóstico precoce destes casos de tuberculose pulmonar sem expressão clínica através da Radiologia, assumindo uma importância capital, quer no seu diagnóstico, quer na apreciação das lesões anatómicas consequentes<sup>145</sup>. (LOPES 1946)

Durante o seu último ano do curso de Medicina, Virgílio Machado montou um modesto gabinete de Electroterapia, adquirindo todo o material a suas próprias expensas. Quando terminou o curso, abandonou esta instalação a convite de José Silva Amado (1840-1925) para integrar o seu consultório, que dividia com José Maria Alves Branco (1825-1885), onde instalara o primeiro laboratório de Análises Clínicas. Posteriormente, com o falecimento deste último e o abandono da vida clínica de Silva Amado, Virgílio Machado ficou encarregue da direcção deste consultório, onde exerceu Clínica Geral, paralelamente à realização de análises clínicas e de aplicações de Electroterapia. Apesar de ter mudado de instalações, nomeadamente por motivos de espaço, manteve a sua preocupação em manter-se actualizado no que respeita a descobertas e aperfeiçoamentos das suas especialidades, pelo que, em logo em 1896, poucos meses após a descoberta de Röntgen, adquiriu os primeiros aparelhos de raios-X, tendo recebido a visita do Rei D. Carlos<sup>146</sup> às instalações do seu “*Instituto de Electricidade Médica*” (Fig. 159). (CARVALHO 1929)

Segundo Virgílio Machado, «*O Instituto de electricidade médica, a que estão annexos os laboratórios de analyse chimica, e de radiographia e radiosopia (raios X), e em que*

---

<sup>144</sup> A Suíça foi o primeiro país a instituir no exército a designada Radioscopia sistemática na luta contra a tuberculose, em 1922. Em Portugal terá sido em meados de 1930.

<sup>145</sup> Neste sentido, importa referir que em 1896 Charles-Joseph Bouchard (1837-1915) reconheceu a importância da Radioscopia no diagnóstico precoce da tuberculose pulmonar, sobre a qual apresentou uma comunicação à Academia de Ciências de Paris. Posteriormente, em 1899, Bécclère contribuiu para este diagnóstico com a importante publicação “*Os raios Roentgen e o diagnóstico da tuberculose*”.

<sup>146</sup> No âmbito do projecto “Fotografia Científica: estudo da instrumentação e dos processos físico-químicos no período século XIX – início século XX” (PTDC/ HIS-HCT/102497/2008 – FCT), realizei, no Arquivo Nacional da Torre do Tombo (ANTT), um estudo relativamente ao período entre os anos 1880 e 1910, da documentação de despesa referente à aquisição de material e instrumentação científica pela Casa Real, particularmente pelo Rei D. Carlos para uso nas suas expedições oceanográficas. Entre as várias aquisições, e, particularmente, na caixa de documentação com a referência PT-TT-CR-5878, datada de 30 de Abril de 1896, verificou-se a existência de material e instrumentação de raios-X, como tubos de Geissler de várias dimensões e bobines de Rühmkorff de diferentes tamanhos, pilhas e fio condutor, evidenciando o interesse de D. Carlos na aplicação desta radiação aos seus estudos, para além de diverso material fotográfico, como placas fotográficas de diversos fabricantes. Possivelmente, D. Carlos terá contado com a colaboração do já referido Augusto Bobone, nomeadamente na obtenção de radiografias, uma vez que era um dos Fotógrafos da Casa Real. Ver Anexo C.

*se utilizam os valiosos serviços das sciências auxiliares da Medicina, adquiriu, (...), o desenvolvimento, que o tornou, pela vastidão do seu arsenal, e só por isso, digno de figurar sem desdouro, ao lado de todos os outros estabelecimentos congêneres no estrangeiro.».* (MACHADO 1898b)



**Fig. 159: Instalações do laboratório de Radioscopia e Radiografia do “Instituto de Electricidade Médica”.**  
(MACHADO 1898b)

Desde então, cada vez mais animado pela ideia de prestar serviços ao seu país, mediante a divulgação das mais recentes aquisições científicas,<sup>147</sup> especialmente no campo da aplicação da electricidade à Medicina (Electrofisiologia, Electrosemiologia e a Electroterapêutica)<sup>148</sup> e da Radiologia, juntamente com a necessidade de possuir instalações mais amplas para suportar a constante aquisição de instrumentação

---

<sup>147</sup> A este propósito, e a título de exemplo, refira-se que foi Virgílio Machado que, na Europa, divulgou, primeiramente, nos “*Archives d’Electricité Médicale*”, o referido transformador proposto por Snook.

<sup>148</sup> Em 1881, Virgílio Machado foi Secretário do delegado de Portugal, António Maria dos Santos Viegas, na Exposição Internacional de Electricidade em Paris. Segundo LEITÃO (1959), «*foi decisiva esta viagem para o seu futuro. Ela havia de orientar e coordenar as duas tendências do jovem investigador: a electricidade e a medicina. Pela evolução da sua vida se vê que o conseguiu plenamente e, como precursor da ciência da sua época, nasceu dessa associação a sua especialização ulterior em roentgenologia.*».

necessária ao exercício das especialidades com que trabalhava, bem como o número crescente de clientes, criou, em Março de 1903, o “*Instituto Médico*”<sup>149</sup> (Fig. 160), no qual se dedicou ao diagnóstico e terapêutica no campo das referidas especialidades durante largos anos e onde, segundo CARVALHO (1929), «*as justas e nobres ambições de Virgílio Machado quanto à perfeição das instalações necessárias não só para a sua clínica, mas também para o seu estudo, se realizaram por completo.*» (CARVALHO 1929, LEITÃO 1959, MACHADO 1903, MONTEIRO 1928)



**Fig. 160: Edifício do “*Instituto Médico*”, em Lisboa.  
(MACHADO 1903)**

Dotado com os mais aperfeiçoados aparelhos de Electroterapia e de raios-X, as instalações laboratoriais e clínicas deste instituto contavam com amplas e várias secções destinadas às aplicações directas e indirectas da electricidade ao diagnóstico e à terapêutica (calor, luz, raios-X, entre outros) de várias doenças e condições patológicas, como ainda no campo das análises químicas e microscópicas da urina, exemplo dos últimos progressos nos processos de diagnóstico e tratamento, que muito lhe valeram a consideração da parte de vários investigadores de outros países, particularmente, nas áreas da Neurologia, Radiologia e Electroterapia, e com os quais mantinha correspondência activa. Estes factos valeram-lhe o reconhecimento de muitas academias, sociedades, juntamente com prémios em congressos e exposições internacionais<sup>150</sup>. (CARVALHO 1929, LIMA 1959, MACHADO 1903)

<sup>149</sup> Os seus dois pisos contavam com amplas instalações, divididas em várias salas (dezanove), entre laboratórios, casa de máquinas, consultórios, etc., segundo as diversas especialidades médicas aplicadas ao diagnóstico e terapia no “*Instituto Médico*”. Ver Anexo B.

<sup>150</sup> Virgílio Machado teve sempre interesse em participar em congressos e exposições, quer nacionais, quer internacionais. No âmbito destes últimos, é de referir que no Congresso de Fisioterapia de Liège, em



## 6.4. O Ensino Universitário da Radiologia em Portugal e a sua Implementação como Especialidade Médica

Quando se fala dos primórdios do ensino da Radiologia Médica em Portugal, é necessário ter em consideração um vasto tema que abrange quatro questões fundamentais: 1) ensino da Radiologia no curso geral de Medicina; 2) ensino para a formação dos especialistas em Radiologia – Radiodiagnóstico e Radioterapia e Medicina Nuclear; 3) Ensino da Radiologia a especialistas não Radiologistas e 4) ensino para a formação dos auxiliares de Radiologia Médica. (RAMOS 1970). No entanto, neste trabalho, serão apenas referidas, brevemente, as duas primeiras questões.

Depois da descoberta de Röntgen – e, particularmente, em 1911, ano em que se efectuou em Portugal uma importante reforma do ensino médico, que introduziu na aprendizagem as diferentes especialidades médicas – foram várias as alterações no plano curricular do curso de Medicina, sem que a Radiologia fosse considerada. Tal só veio a acontecer em 1926<sup>151</sup>, com a criação do ensino oficial e generalizado desta especialidade em todas as Faculdades de Medicina do país<sup>152</sup>. Estava integrada no terceiro ano do curso, de duração semestral, em conjunto com a Farmacologia, Anatomia Patológica, entre outras disciplinas. No entanto, é certo que, pelo menos desde 1924, em Lisboa e no Porto, se fazia o ensino “não oficial” da Radiologia, sem que fosse necessária avaliação, ao contrário do que passou a suceder posteriormente. Em 1930 a disciplina passou a ser designada Semiótica Radiológica, sendo o ensino da Radioterapia confinado à Terapêutica Geral. É de referir que um ano antes, Joaquim Roberto de Carvalho (1893-1944) foi o primeiro Médico Radiologista Português a obter o título de Professor. (RAMOS 1970)

---

1904, ganhou o diploma de honra. Na Exposição Universal de St. Louis, nos Estados Unidos da América, também em 1904, e em 1908, no Brasil, na Exposição Nacional do Rio de Janeiro, foi-lhe atribuída a medalha de ouro.

<sup>151</sup> Existiam outros países que foram mais precoces na instituição do ensino obrigatório da Radiologia, como a Holanda (1899), Estados Unidos da América (1900), Itália (1912), França (1913), Espanha (1918) e a antiga Jugoslávia (1922). No entanto, surgiram outros países que o fizeram após Portugal (e Suíça), como o México (1934), Checoslováquia (1939) e a Bulgária (1940).

<sup>152</sup> Se não há notícias de que Portugal tivesse participado no primeiro Congresso de Radiologia em Londres (1925), já no segundo, em Estocolmo (1928), Bénard Guedes (1913-1941) esteve presente e colaborou activamente, tendo apresentado uma comunicação sobre o ensino da Radiologia em Portugal.

Durante muitos anos, a Medicina Portuguesa desenvolveu-se sem que a prática das especialidades médicas obedecesse a quaisquer preceitos legais, à semelhança do verificado noutros países. A especialização era voluntária, não era necessário justificar a sua prática, pelo que qualquer indivíduo podia exercer qualquer uma. Deste modo, tornou-se clara a necessidade de não só definir as especialidades médicas, mas também de normalizar as regras de preparação e de verificação de aptidões. (RAMOS 1970)

Até ao aparecimento da “*Sociedade Portuguesa de Radiologia Médica*” (SPRM)<sup>153</sup>, em 1931, não havia propriamente sub-especialização em Radiologia que levasse a trabalho exclusivo em alguns dos seus ramos. Já existia, é certo, alguns Médicos a praticar somente a Radiologia dos aparelhos digestivo e ósseo, mas acumulava essa prática com o exercício da clínica da mesma especialidade. A sub-especialização radiológica surgiria alguns anos mais tarde, com a criação da “*Ordem dos Médicos*” em 1938. (RAMOS 1995)

### **6.5. A “*Escola Portuguesa de Angiografia*”**

A Radiologia Portuguesa prestou um contributo decisivo para o seu progresso enquanto especialidade médica, ao serem introduzidas várias técnicas angiográficas. (RAMOS 1970) O êxito da designada “*Escola Portuguesa de Angiografia*”, iniciada por Egas Moniz em 1927 e continuada por outros distintos investigadores, não só aumentou o prestígio e abriu novas perspectivas à Radiologia, como a partir da qual a Radiologia Portuguesa deixou uma marca profunda no conhecimento universal da especialidade. (PORTELA 1983) Para tal, muito contribuiu o primeiro, e, até hoje, único, Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina<sup>154</sup> atribuído a um investigador Português, Egas Moniz

---

<sup>153</sup> O âmbito do seu trabalho era fomentar o estudo da Radiologia, no que respeita aos seus aspectos puramente científicos e as suas aplicações práticas à Medicina. Actualmente, designa-se por “*Sociedade Portuguesa de Radiologia e Medicina Nuclear*” (SPRMN).

<sup>154</sup> Egas Moniz, para além da angiografia cerebral, premiada com o Prémio de Neurologia da Faculdade de Medicina de Oslo em 1945, desenvolveu a leucotomia pré-frontal em 1935 usada no tratamento de determinadas psicoses, que lhe valeu o Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1949. No entanto, a propósito da descoberta da angiografia cerebral foi proposto quatro vezes (1928, 1933, 1937 e 1944) para o Prémio Nobel.

(1874-1955) – Fig. 161. Neste serão apresentadas, resumidamente, as contribuições de alguns dos principais Médicos da “*Escola Portuguesa de Angiografia*”<sup>155</sup>.



**Fig. 161: Egas Moniz. (SOUSA 1978)**

Egas Moniz<sup>156</sup>, Professor de Neurologia da Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa (1911)<sup>157</sup>, investigava, desde 1924, um meio semiológico objectivo que permitisse o diagnóstico de tumores cerebrais<sup>158</sup>, através de um processo idêntico ao proposto, em 1921, pelo Médico Neurologista Francês Jean Sicard (1872-1929), a mielografia<sup>159</sup>. Assim, durante dois anos de «*incubação científica*», como Moniz designou esse período, realizou diversos estudos que permitiram o estabelecimento dos princípios técnicos do seu método, obtendo, em 28 de Junho de 1927, com a colaboração de Almeida Lima (1903-1985)<sup>160</sup>, a primeira angiografia cerebral no Homem, *in vivo*<sup>161</sup>, a base das técnicas angiográficas actuais (Fig. 162). No início do mês de Julho, apresentou na “*Société de Neurologie de Paris*” a sua primeira comunicação, “*L’encéphalographie artérielle, son importance dans la localisation des tumeurs cérébrales*”, tendo sido recebida com grande entusiasmo e reconhecido o seu carácter promissor. (KOTOWICZ

<sup>155</sup> As contribuições de outros, como João Cid dos Santos (1907-1975), Sousa Pereira (1904-1986) e Ayres de Sousa (1905-1980), por serem posteriores a 1930, não serão referidas no presente trabalho.

<sup>156</sup> O seu primeiro contacto com os raios-X ocorreu na altura das primeiras experiências realizadas em Portugal pelo já referido Professor Teixeira Bastos, quando Moniz realizou um trabalho no decorrer do seu curso de Medicina na Faculdade de Medicina de Coimbra intitulado “*Diagnóstico das fracturas pelos raios X*”. Em Maio de 1896 realizou uma radiografia de uma fractura nos ossos do antebraço de um cadáver, obtida pela primeira vez em Coimbra.

<sup>157</sup> Em 1911, fundou, juntamente com António Flores (1883-1957), a Clínica Neurológica do Hospital de Santa Marta.

<sup>158</sup> A única técnica existente até à data que permitia semelhante diagnóstico era a ventriculografia, conseguida em 1918 por Walter Dandy (1886-1946), ainda que com uma menor extensão. Esta técnica consistia em obter uma radiografia do interior do crânio dos pacientes após a injeção de ar nos ventrículos cerebrais, através de orifícios feitos no crânio. Moniz trabalhou num novo aparelho de diagnóstico que permitisse maior visibilidade do interior do crânio.

<sup>159</sup> Técnica de diagnóstico que permitia a obtenção de uma radiografia da medula espinal, após a injeção de um meio de contraste radiopaco (lipiodol) no líquido cefalorraquidiano.

<sup>160</sup> O neuro-cirurgião Pedro Almeida Lima (1903-1985), iniciou a sua colaboração com Moniz em 1926. Em 1932 e 1933, trabalhou com Hugh Cairns (1896-1952) no departamento de Neurologia do “*London Hospital*”, onde realizou a primeira angiografia do Reino Unido.

<sup>161</sup> Antes da aplicação do método *in vivo* no Homem, os estudos foram desenvolvidos em animais e cadáveres humanos. O material biológico provinha do Instituto de Medicina Legal, era injectado no Instituto Rocha Cabral e, posteriormente, transitava para o Hospital de Santa Marta para ser radiografado.

2012, MONIZ 1925, MONIZ 1927, MONIZ 1931, MONIZ 1945, MONIZ 1949, PORTELA 1983, SOUSA 1978)



**Fig. 162: Primeira angiografia cerebral *in vivo* obtida por Egas Moniz em 28 de Junho de 1927. (MONIZ 1949)**

Esta técnica radiológica proporcionava ao neurologista e ao neuro-cirurgião um método muito valioso de diagnóstico e um auxiliar de muito interesse no domínio da terapêutica cirúrgica. Para tal, estudou várias substâncias opacas aos raios-X<sup>162</sup> que pudessem ser injectadas directamente na corrente sanguínea, via artérias carótidas<sup>163</sup>, de modo a não só tornar visíveis nas radiografias os vasos sanguíneos<sup>164</sup> cerebrais, mas também o fluxo sanguíneo cerebral. Para além disso, a opacidade conseguida com a injeção directa desses produtos permitia obter um contraste que permitia detectar várias anomalias dos vasos sanguíneos cerebrais, como tumores, aneurismas, malformações arteriovenosas,

---

<sup>162</sup> As primeiras tentativas em pacientes foram realizadas em 1926 em seis indivíduos com doenças neurológicas graves, tendo um deles falecido algumas horas após a injeção da substância radiopaca inicialmente escolhida para este fim, brometo de estrôncio (SrBr). No entanto, verificou que este não era o mais adequado, quer pela toxicidade associada, quer pela sua radiopacidade, tendo voltado a sua atenção para o iodeto de sódio (NaI), com o qual obteve a primeira arteriografia humana *in vivo*. Posteriormente, em 1931, recorreu ao torotraste (dióxido de tório, ThO<sub>2</sub>). Apesar de este composto proporcionar um melhor contraste, o seu uso teve de ser descontinuado, após se ter descoberto o seu efeito carcinogénico e a sua radioactividade). Foram ensaiados, também, compostos orgânicos iodados.

<sup>163</sup> Existem duas artérias carótidas primitivas no Homem, cada uma dando origem a uma artéria carótida externa e uma artéria carótida interna, esta última responsável pela irrigação da maior parte do cérebro. Nas primeiras angiografias, o meio de contraste foi injectado nas carótidas internas e, posteriormente, em, 1931, nas artérias carótidas primitivas.

<sup>164</sup> A designação “angiografia” compreende a arteriografia (radiografia das artérias cerebrais) e a flebografia (radiografia das veias cerebrais). Refira-se que esta última foi obtida por Moniz em 1932.

entre outras anomalias, facilitando, assim, o seu diagnóstico e tratamento<sup>165</sup>. (LIMA 1959, MONIZ 1931a, MONIZ 1931b, MONIZ 1934, MONIZ 1945)

Das mais importantes publicações de Egas Moniz sobre angiografia, importa referir duas. Em 1931, publicou “*Diagnostique des tumeurs cérébrales et épreuve de l’encélographie artérielle*“, monografia na qual apresentava os resultados conseguidos na evolução da técnica, resultantes de cinco anos de investigação. Esta publicação foi prefaciada por Joseph Babinski (1857-1932)<sup>166</sup> e, de acordo com este, a angiografia cerebral era «*o fruto de uma meditação continuada e de numerosas experiências conduzidas com um método rigoroso. A ideia nova, que ninguém teve antes de Moniz, e que surgiu um dia no seu espírito à procura de meios capazes de aperfeiçoar a semiologia dos tumores intracranianos, de facilitar a sua localização é a seguinte: será possível introduzir nos vasos do encéfalo pela carótida interna, que irriga a maior parte do cérebro, uma substância opaca aos raios X, obtendo uma imagem radiográfica da rede arterial cerebral e de determinar, pelo menos nalguns casos, pelas modificações, pelas deformações encontradas na estrutura arterial, o local ocupado pela neoplasia.*».



**Fig. 163: Apresentação do método da Angiografia Cerebral por Egas Moniz numa conferência na Faculdade de Medicina de Lisboa. (SOUSA 1978)**

---

<sup>165</sup> Entre 1927, ano da publicação dos primeiros artigos científicos, e 1934, Moniz juntamente com a sua equipa, publicou cento e sessenta e cinco artigos sobre angiografia, divulgando a evolução da técnica e do leque de aplicações.

<sup>166</sup> Babinski foi um dos mais ilustres Neurologistas Franceses com quem Egas Moniz contactou durante as suas viagens a Paris e com quem mantinha uma estreita colaboração científica.

Três anos mais tarde, em 1934, Moniz publica outra obra importante, “*L’angiographie cérébrale. Ses applications et resultats en anatomie, physiologie et clinique*”, na qual descreve observações e consolida resultados obtidos em investigações anteriores, bem como fornece novas metodologias, que permitiram o alargamento do seu campo de observação para além das artérias, ocupando-se também das artérias, veias, meninges e de aspectos da circulação dos vasos cerebrais. (MONIZ 1931, MONIZ 1934)

A importante contribuição de Egas Moniz para o conhecimento dos vasos cerebrais, bem como a extensão do seu método a outros aspectos da circulação cerebral<sup>167</sup>, proporcionou-lhe um reconhecido prestígio internacional e veio a ser muito importante na divulgação do seu trabalho de investigação posterior no domínio da Psico-cirurgia.<sup>168</sup> Neste domínio, juntamente com outros autores que desenvolveram estudos nesta área, alargou as fronteiras da Neurocirurgia. Segundo FERREIRA (1945), a angiografia cerebral «*constitui sem duvida alguma o corpo de doutrina mais completo que jámais produziu entre nós qualquer ramo das ciências biológicas; e nenhum outro deu à medicina portuguesa lugar tão destacado e permanente entre as conquistas científicas mundiais.*». (MONIZ 1934, MONIZ 1949, PORTELA 1983, SOUSA 1978, TONDREAU 1985)

A angiografia cerebral proposta por Egas Moniz, abriu novos caminhos noutras áreas de patologia, para além do cérebro. Reynaldo dos Santos (1880-1970), Professor de Urologia da Faculdade de Medicina de Lisboa, criou, em 1929, a arteriografia dos membros, contando com a colaboração de Augusto Lamas e José Pereira Caldas<sup>169</sup>. Desta forma, foi acentuado o interesse do método não só nos tumores, mas também noutras doenças, cujas alterações patológicas se deveriam repercutir sobre os vasos e evidenciar-se quer morfológica, quer funcionalmente nas imagens arteriográficas.

---

<sup>167</sup> Como por exemplo, estudos iniciados em 1931, que elucidassem a velocidade e as diferentes fases da circulação sanguínea no cérebro, bem como a sua dinâmica.

<sup>168</sup> Também designada por lobotomia (mais frequentemente) e leucotomia. Esta inovadora intervenção cirúrgica cerebral, foi desenvolvida no fim de 1935, com o intuito de tratar ou melhorar os sintomas de uma determinada patologia psiquiátrica.

<sup>169</sup> O Médico Radiologista Pereira Caldas desenvolveu em 1933 um instrumento, o rádio-carroussel que, por meio de uma placa giratória com controlo manual, permitia a obtenção de seis angiografias em seis segundos (designadas angiografias em série) após a injeção de uma determinada quantidade de torotraste nas carótidas. Basicamente, era constituído por uma coluna com uma base de ferro, para evitar as oscilações. Esta coluna suportava um eixo sobre o qual roda, por meio de esferas, uma placa dividida em seis partes por uma moldura de ferro. Cada uma destas divisões permitia a entrada de um chassis de determinadas dimensões. O rádio-carroussel foi um indiscutível suporte técnico para a evolução técnica da angiografia. Ver Anexo D.

Posteriormente, ao injectar um meio de contraste radiopaco (iodeto de sódio, NaI, em solução concentrada) na aorta através da região lombar, obteve a primeira aortografia, com referidos colaboradores. (MONIZ 1934, PORTELA 1983, SANTOS 1929a, SANTOS 1929b)

Em 1931, Lopo de Carvalho (1890-1970), nesta altura Professor de Clínica Propedêutica da Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa, após ter iniciado investigações angiográficas em animais no ano anterior, obteve a primeira angiografia pulmonar no Homem, permitindo a visualização dos vasos pulmonares. Nesse ano, juntamente com Egas Moniz e Almeida Lima, apresentou uma comunicação à Academia de Ciências de Lisboa sobre “*A visibilidade aos raios X dos vasos pulmonares, obtida por injeção de líquido opaco na aurícula direita*”, na qual eram apresentados, pela primeira vez, os fundamentos da técnica de angiopneumografia, que revolucionou o estudo das doenças pulmonares em Portugal através da Radiologia. (MONIZ *et al.* 1931)

Além das investigações decorridas em Lisboa, também no Porto se desenvolveram consideravelmente os estudos angiográficos, a partir do impulso dado por Hernâni Monteiro (1891-1963), Professor de Anatomia da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. No seguimento dos trabalhos de arteriografia de Egas Moniz e de Reynaldo dos Santos, Hernani Monteiro tornou possível a visualização do sistema linfático por meio dos raios-X *in vivo*, obtendo a primeira linfangiografia em 1931. Joaquim Roberto de Carvalho, Álvaro Rodrigues (1904-1987) e Sousa Pereira (1904-?) prestaram o seu contributo no desenvolvimento desta técnica. (RODRIGUES 1931)

No âmbito da história da Medicina Portuguesa, os diversos estudos angiográficos desenvolvidos foram um caso excepcional de florescimento sistemático de uma obra pioneira: a visualização *in vivo* dos vasos sanguíneos, tanto na sua expressão morfológica como fisiológica, no seu funcionamento normal e patológico. Abria-se, assim, uma nova era da Radiologia, tendo a angiografia a melhor aceitação internacional, inicialmente na Europa e, mais tarde, na América do Norte, começando a ser largamente praticada por neurocirurgiões em cooperação com Neuroradiologistas. (PORTELA 1983, TONDREAU 1985)

Numa conferência ocorrida em 1945 por iniciativa da “*Sociedade Portuguesa de Radiologia*” no âmbito das comemorações do cinquentenário da descoberta dos raios-X, Egas Moniz referiu: «*Röntgen ao fazer a sua descoberta não podia saber o alto serviço que em todos os sectores havia de prestar à Medicina. A obra iniciada há meio século é imensa e segue em demonstrações sucessivas e triunfantes.*». (SOUSA 1978) O mesmo poderá ser dito dos trabalhos dos vários investigadores da *Escola Portuguesa de Angiografia*, cuja contribuição para a Radiologia «*é imensa e segue em demonstrações sucessivas e triunfantes.*».



## 7. CONCLUSÃO

Durante o século XIX as diversas investigações sobre a condução de electricidade em gases rarefeitos terão impulsionado Wilhelm Röntgen para iniciar os seus estudos nesta área, que culminariam na descoberta dos raios-X no fim do ano de 1895. De facto, a sua descoberta representou um marco na história da Ciência, particularmente na história da Medicina, ao influenciar a sua prática de uma forma que, possivelmente, e durante várias décadas, nenhum outro avanço nos conhecimentos científicos o tenha conseguido. Físicos e Médicos desenvolveram estudos adicionais sobre a “*nova radiação*”, assim como aperfeiçoaram o equipamento necessário para a sua produção, de modo a que fosse possível um vasto leque de aplicações dos raios-X em diversas áreas da Ciência. Possivelmente, a mais beneficiada terá sido a Medicina, ao serem utilizados no campo do diagnóstico e terapia, representando um enorme contributo para o bem-estar da Humanidade.

A evolução da Radiologia quer no campo do diagnóstico médico, quer no campo da radioterapia, desde o final do século XIX e até à primeira metade do século XX, não teria sido possível sem que tivessem ocorrido aperfeiçoamentos na instrumentação necessária à produção de raios-X, paralelamente à evolução e desenvolvimento de novas técnicas radiológicas. Durante os primeiros anos foram introduzidas várias alterações nos equipamentos de raios-X, assim como instrumentação acessória, que permitiram atingir voltagens mais elevadas e uma melhor protecção contra os efeitos nocivos da radiação, mas também um melhor controlo da quantidade e qualidade dos raios-X produzidos, permitindo assim, um feixe de radiação mais intenso e, quando necessário, radiação de grande poder de penetração. Foram duas as alterações importantes que se combinaram para atingir tal grau de progresso: a substituição da bobina de indução pelo transformador de alta tensão e o desenvolvimento do tubo de Coolidge que, gradualmente, substituiu as ampolas de gás. Para além disso, o desenvolvimento de instrumentação específica e adequada para, por exemplo, a obtenção de voltagens mais adequadas a diferentes propósitos e de práticas mais seguras, nomeadamente, a nível da dosagem de radiação, contribuiu para o estabelecimento da Radioterapia, assim como a sua prática em condições, simultaneamente, mais seguras e menos empíricas.

As primeiras aplicações dos raios-X na Medicina surgiram rapidamente após a sua descoberta e iniciaram-se a nível do diagnóstico clínico, nomeadamente na detecção de corpos estranhos, mas rapidamente novas e várias aplicações foram surgindo, revolucionando o olhar do médico para o corpo. Tal foi importante para se obter um diagnóstico mais correcto e preciso das mais diversas condições clínicas, quer a nível anatómico, quer a nível patológico. Para tal, muito contribuiu a introdução da Fluoroscopia e de ecrãs fluorescentes, bem como a evolução dos métodos de registo fotográfico. Particularmente, estes últimos permitiram a obtenção de radiografias de melhor contraste, assim como tempos de exposição mais reduzidos, que culminaram com o desenvolvimento de filmes de raios-X de emulsão dupla, que substituíram as placas de vidro, juntamente com a introdução de dois ecrãs fluorescentes que aumentavam a sensibilidade das emulsões dos filmes de raios-X, tendo sido, também, alterada a sua base para uma base de acetato de celulose, de modo a que oferecesse melhores condições de segurança, nomeadamente a nível da sua não-inflamabilidade. Para além disso, o desenvolvimento de diafragmas foi um outro aspecto importante entre os desenvolvimentos técnicos adicionais, ao conferir uma melhor definição e contraste radiográficos, através da eliminação da radiação secundária.

Paralelamente, ainda que não tão imediatas, surgiram as primeiras tentativas da aplicação da nova radiação em tratamentos, inicialmente, a nível dermatológico, após se terem verificado os primeiros sinais cutâneos do efeito da exposição aos raios-X, ainda que sem o perfeito conhecimento do seu efeito nocivo a longo prazo. O desenvolvimento verificado a nível da Radioterapia ocorreu, praticamente, de modo semelhante ao desenvolvimento das aplicações dos raios-X no diagnóstico, apesar de a ênfase ter sido atribuída à utilização de uma gama mais ampla de quilovoltagens, permitindo a obtenção de radiação mais penetrante, e de tubos de raios-X adequados a esse fim, permitindo, deste modo, uma maior extensão da sua aplicação terapêutica.

Apesar de um curto período de meses em que a utilização dos raios-X era feita na ausência do conhecimento dos efeitos nocivos desta radiação para a saúde, rapidamente foram reportados os primeiros casos desses efeitos por parte de diversos pioneiros das práticas radiológicas. No fim de 1896, eram vários os casos publicados na literatura científica de dermatite. No entanto, houve alguma dificuldade na aceitação de que a origem destes efeitos estava na base de uma incorrecta exposição à radiação. Porém, na

viragem do século, a evolução quer das técnicas, quer da instrumentação, assim como procedimentos mais seguros e o reconhecimento do perigo da radiação, contribuía para a redução dos danos observados. Para além disso, durante e imediatamente após a Primeira Guerra Mundial, o estabelecimento de diversas sociedades de Radiologia foi importante na definição dos primeiros conjuntos de procedimentos de protecção radiológica. Para além disso, foi também de extrema importância o início dos Congressos Internacionais de Radiologia, que forneceram as bases para a definição de uma medida de quantificação da dose de tolerância da exposição à radiação, como sucedeu no segundo Congresso Internacional de Radiologia, em 1928, no qual foi definida a unidade röntgen (“r”).

Nos primeiros meses após a descoberta de Röntgen, ainda não havia uma clara definição da Radiologia como uma especialidade médica, ou era mesmo ausente, não sendo imediata a sua implementação nas instalações hospitalares. Nesta altura era comum os médicos enviarem os seus pacientes a laboratórios de Física de diversas Universidades, bem como a estúdios de Fotografia para a realização de exames radiológicos, uma vez que estas instalações possuíam o material necessário para esse fim, contrariamente ao verificado no seio hospitalar. Posteriormente, surgiram as primeiras tentativas de implementação, não só por parte de diversos médicos, mas também de outros indivíduos com conhecimento da técnica, de laboratórios de Radiologia e Radioscopia nas instalações hospitalares. Após um período de carência de instrumentação e de espaços “oficiais” e adequados, nomeadamente a nível de segurança e protecção, para a instalação destes laboratórios, bem como de algum cepticismo relativamente a este assunto, as práticas da Radiologia em laboratórios adequados e independentes foram sendo comuns e rotineiras nos hospitais. Ainda a nível da introdução dos raios-X no seio hospitalar, há que referir também a importância do estabelecimento de hospitais militares permanentes e de campo que prestaram um enorme contributo.

Paralelamente a estes factos, no fim da Primeira Guerra Mundial tornou-se claro que era necessário haver um treino de Radiologistas para uma prática mais credenciada da Radiologia, e para o seu estabelecimento como especialidade médica. O diploma de Cambridge foi de extrema importância, e marcou o início do estabelecimento de outros diplomas posteriores, que desempenharam um papel importante na questão do ensino da Radiologia nas faculdades de Medicina.

Em Portugal poucos dias após a publicação na imprensa nacional da notícia da descoberta dos raios-X, já em Coimbra foram realizados as primeiras investigações sobre raios-X, culminando com a obtenção das primeiras radiografias, algumas das quais aplicadas no diagnóstico clínico, bem como no ensino. Para tal, foi imprescindível a colaboração de um Fotógrafo profissional, o mesmo sucedendo noutros países, onde os primeiros laboratórios radiológicos eram, geralmente, montados por Fotógrafos. Em Portugal, Adriano Sousa e Silva e Augusto Bobone são bons exemplos.

A implementação de laboratórios de Radiologia e Radioscopia nos hospitais portugueses foi o próximo passo para o reconhecimento e estabelecimento da Radiologia com especialidade médica, tendo iniciado-se em Lisboa, em 1898. Para tal, contribuiu Virgílio Machado, um dos pioneiros da Radiologia Portuguesa que prestou um importante papel também a nível do aperfeiçoamento da técnica de produção de raios-X, bem como na prática da Radiologia e Radioscopia, sendo o seu trabalho reconhecido internacionalmente.

A contribuição Portuguesa para o desenvolvimento da Radiologia, tendo acompanhado a sua evolução desde o seu início, alcançou o seu ponto mais alto com as investigações de Egas Moniz, único prémio Nobel Português em Medicina ou Fisiologia, a quem se deve a criação da angiografia cerebral. Posteriormente ao seu trabalho pioneiro, seguiram-se outros por parte de outros notáveis investigadores, que juntamente com Moniz, integravam a designada “*Escola Portuguesa de Angiografia*”, de grande prestígio internacional.

Não se deve deixar de referir que em Lisboa, Porto e Coimbra, para além dos nomes citados, investigadores pertencentes a outros centros universitários contribuíram também para os estudos realizados nesta primeira fase da Radiologia Portuguesa, iniciada com a descoberta dos raios-X por Röntgen no fim do ano de 1895, até à fundação da “*Sociedade Portuguesa de Radiologia Médica*” em 1931.

É certo que muito ficou por dizer, mas, no entanto, pretendeu fazer-se uma análise histórica da contribuição de investigadores Portugueses no desenvolvimento da Radiologia no período corresponde ao limite temporal previamente delimitado (fins do

séc. XIX, inícios da década de trinta). Em Portugal, tal como noutros países, alguns dos referidos pioneiros da Radiologia também foram vítimas da radiação, particularmente, num primeiro período da prática da sua técnica, no qual as precauções necessárias a ter com a radiação eram, de um modo geral, e durante alguns anos, desconhecidas, ou até consideradas pouco relevantes, tal era a sua dedicação à aplicação de uma nova e promissora descoberta na Medicina, com o intuito de obter resultados e abrir horizontes insuspeitados nos campos de diagnóstico e terapêutica.

## BIBLIOGRAFIA

- s.a. (s.d.). *Kenetrons. Application Data*. General Electrics. Schenectady, N. Y.
- s.a. (1905). *Illustrated and Descriptive Catalogue of Roentgen X-Ray Apparatus and Accessories*. The Kny-Scheerer Company. Schenectady, N. Y.
- s.a. (1920). *Coolidge X-ray Tube*. General Electric Company. Schenectady, N. Y.
- Abranches, L. C. C. (1897). *Raios X (Estudo Clinico)*. Dissertação Inaugural. Escola Medico-Cirurgica do Porto. Porto, Imprensa Commercial.
- Allsopp, C. B. (1965). Silvanus Thomson and the Roentgen Society. *Brit J Radiol*; **456** (38): 889-894
- Arruda, W.O. (1996). Wilhelm Conrad Röntgen: 100 anos da descoberta dos raios X. *Arq Neuropsiquiatr*; **54** (3): 525-531
- Assmus, A. (1995). The early history of X rays. *Beam Line*; **25** (2): 10-24
- Aubert, L. (1898). *La Photographie de l'Invisible. Les Rayons X*. Paris, Schleicher Frères
- Barclay, A.E. (1942). The passing of the Cambridge diploma. *Brit Med J*; **15** (180): 351-354
- Bartlett, D.T. (2008). 100 years of solid state dosimetry and radiation protection dosimetry. *Radiat Meas*; **43** (2): 133-138
- Basto, A. J. S. (1897). *Os raios catódicos e os raios X de Röntgen*. Coimbra, Imprensa da Universidade.

- Bastos, H.T. (1896). Raios X de Röntgen. *O Instituto : jornal científico e litterario*. **43** p. 38-41, p. 274-279
  
- Béclère, A. (1899). *Les rayons de Roentgen dans le diagnostic de la tuberculose*. Paris, Librairie J.-B. Baillière et Fils
  
- Béclère, A. (1901). *Les Rayons de Röntgen et le diagnostic des affections thoraciques non tuberculeuses*. Paris, Librairie J.-B. Baillière et Fils
  
- Belot, J. (1905). *Radiotherapy in skin disease*. London & New York, Rebman
  
- Bernard, D. (2005). L'image des rayons X et la photographie. *Études photographiques*; **17**. URL: <http://etudesphotographiques.revues.org/index756.html>. Consultada em 4 de Março de 2012
  
- Berven, E. (1962). The development and Organization of therapeutic Radiology in Sweden. *Radiology*; **79** (5): 829-841
  
- Bobone, A. (1897). *Raios X. Notas praticas de radiographia sobre as primeiras investigações feitas em Lisboa em 1896*. Lisboa, Livraria de António Maria Pereira
  
- Bottone, S. R. (1898). *Radiography and the 'X' Rays in Practice and Theory*. London and New York, Whittaker & Co.
  
- Bowers, B. (1970). *X-rays: their discovery and applications*. London, H.M.S.O.
  
- Bragg, W. H. (1915). Bakerian Lecture. X-rays and crystal structure. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*. **215**; 253-274
  
- Bragg, W. L. (1913). The Structure of Some Crystals as Indicated by their Diffraction of X-rays. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. **89** (610); 248-277

- Brecher, R., Brecher, E. M. (1969). *The Rays: a history of Radiology in the United States and Canada*. Baltimore, Williams and Wilkins
  
- Brodsky, A., Kathren, R.L. (1989). Historical development of radiation safety practices in radiology. *Radiographics*; **9** (6): 1267-1275
  
- Calado, J. (1989). A Ciência e a Arte da Fotografia. Colóquio/Ciências. Revista de Cultura Científica Nº 6 Set/ Dez. Fundação Calouste Gulbekian
  
- Cannon, W.B. (1902). The movements of the intestines studied by means of the Röntgen rays. *J Med Res*; **7** (1): 72-75
  
- Carvalho, A. S. (1929). Elogio do professor Virgilio Machado. Lisboa, Typografia Ingleza, Ltd.
  
- Casey, M. T. (1985). Nicholas Callan – priest, professor and scientist. *IEE Proceedings*; **132** (8): 491-497
  
- Chang, R. (2005). *Química*. Boston, McGraw-Hill
  
- Christie, A. C. (1913). *A Manual of X-Ray Technic*. Philadelphia & London, J. B. Lippincott Company
  
- Clark, G. L. (1932). *Applied X-Rays*. New York and London, McGraw-Hill Book Company, Inc.
  
- Clarke, R.H., Valentin, J. (2009). The history of ICRP and the evolution of its politics. *Annals of the ICRP*; **39** (1): 75-110
  
- Comroe, J.H. (1976). The inside story. *Am Rev Respir Dis*; **113** (3): 381-385
  
- Courmelles, F. (1897). *Traité de Radiographie Médicale et Scientifique*. Paris, Octave Doin



- Crookes, W. (1879). *On Radiant Matter. A Lecture Delivered to the British Association for the Advancement of Science, at Sheffield, Friday, August 22, 1879.* London, [s.n.]
  
- Cullity, B. D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction.* Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
  
- Del Regato, J. A. (1993). *Radiological Oncologists: the unfolding of a medical specialty.* Reston, VA, Radiology Centennial
  
- Dias, C. M. D. (Director) (1908). A mão de El-Rei D. Manuel. *Ilustração Portuguesa,* Lisboa; **VI** (125)
  
- DiSantis, D. (1986). Early American Radiology: The Pioneer Years. *Am J Roentgenol;* **147** (4): 850-853
  
- Feldman, A. (1989). A sketch of the technical history of Radiology from 1896 to 1920. *Radiographics;* **9** (6): 1113-1128
  
- Ferreira, A. (1945). Os Raios X e a Ciência Moderna. *Imprensa Médica;* 14
  
- Filho, O. S. (1995). Breve histórico dos cem anos da descoberta dos Raios-X: 1895-1995. *Quim Nova;* **18** (6); 574-583
  
- Forrai, J. (2007). History of X-ray in Dentistry. *Rev Clín Pesq Odontol;* **3** (3): 205-211
  
- Frankel, R.I. (1996). Centennial of Röntgen's Discovery of X-rays. *West J Med;* **164:** 497-501
  
- Freund, L. (1904). *Elements of General Radio-therapy for Practitioners.* New York, Rebman Company
  
- Gerson, E.S. (2004). Scenes from the past: x-ray mania: the x ray in advertising, Circa 1895. *Radiographics;* **24** (2): 544-551

- Glasser, O. (1995). W. C. Roentgen and the discovery of the Roentgen rays. *Am J Roentgenol*; **165** (5): 1033-1040
  
- Goodman, P.C. (1995a). The new light: discovery and introduction of the X-ray. *Am J Roentgenol*; **165** (5): 1041-1045
  
- Goodman, P.C. (1995b). The X-ray enters the hospital. *Am J Roentgenol*; **165** (5): 1046-1050
  
- Grahm, H. (1942). *Historia de la cirugía*. Barcelona, Iberia-Joaquín Gil Ed.
  
- Guedes, M. V. (2002). Uma bobina de Ruhmkorff. *Electricidade*; **392**: 6
  
- Guilleminot, H. (1906). *Handbook of electricity in medicine*. New York, Rebman
  
- Guttery, D. (2006). Radiographs – 1896-1897: a collection of original lantern slides in 1896-97. *The Invisible Light. The Journal of the British Society for the History*; **25**: 18-19
  
- Heilmann, H-P (1996). Radiation oncology: historical development in Germany. *Int J Radiat Oncol*; **35** (2): 207-217
  
- Hessenbruch, A. (2000). Calibration and work in the X-ray economy, 1896-1928. *Soc Stud Sci*; **30** (3): 397-420
  
- Hessenbruch, A. (2002). A brief history of x-rays. *Endeavour*; **26** (4): 137-141
  
- Hofman, J.A.M. (2010). The art of medical imaging: Philips and the evolution of medical X-ray technology. *MedicaMundi*; **54** (1): 5-21
  
- Isenthal, A. W., Ward, H. S. (1901). *Practical Radiography. A Handbook for Physicians, Surgeons and Other Users of X-Rays*. London, Published for The Photogram, Ltd by Dawbarn and Warn, Ltd

- Jauncey, G. E. M. (1945). The birth and early infancy of X-rays. *Am J Physics*; **13** (6): 362-379
  
- Jennings, W.A. (2007). Evolution over the past century of quantities and units in radiation dosimetry. *J Radiol Prot*; **27** (1): 5-16
  
- Kassabian, M.K. (1907). *Röntgen rays and electro -therapeutics, with chapters on radium and phototherapy*. Philadelphia & London, J.B. Lippincott Co.
  
- Kaye, G. W. C. (1914). *X Rays. An Introduction to the Study of Röntgen Rays*. London, Longmans, Green and Co.
  
- Kaye, G. W. C. (1923). *X Rays*. London, Longmans, Green and Co.
  
- Knox, R. (1916). *Radiography, X-Ray Therapeutics and Radium Therapy*. New York, The Macmillan Company
  
- Knox, A. V. (1921). *General Practice and X-Rays*. London, A. & C. Black, Ltd.
  
- Kogelnik, H. P. (1996). Radiation Oncology: Historical Development in Germany. *Int J Radiation Oncology Biol Phys*. **35** (2): 207-217
  
- Kogelnik, H.D. (1997). Inauguration of radiotherapy as a new scientific speciality by Leopold Freund 100 years ago. *Radiother Oncol*; **42** (3): 203-211
  
- Kotowicz, Z. (2012). *Psychosurgery. The Birth of a New Scientific Paradigma. Egas Moniz and the Present Day*. Lisbon, Centre for Philosophy of Science, University of Lisbon
  
- Kraissl, F. (1935). The evolution of the X-ray tube. *J. Chem. Educ*; **12** (12): 553-558
  
- Lacerda, A. (1995). A descoberta de Roentgen e a evolução da Radiologia no Progresso da Imagiologia. Centenário dos Raios X (1895-1995). Comemorações da

Universidade Nova de Lisboa e Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil.  
Lisboa, Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil

- Leitão, J. A. (1959). No centenário de Virgílio Machado. *A Medicina Contemporânea*; **3**: 127-134
  
- Leonardo, A. J. F., Martins, D. R., Fiolhais, C. (2011). A Física na Universidade de 1900 a 1960. *Gazeta de Física*; **34** (2): 9-15
  
- Leszczynski, K., Boyko, S. (1997). On the controversies surrounding the origins of radiation therapy. *Radiother Oncol*; **42** (3): 213-217
  
- Lima, M. (redactor) (1896). A photographia atravez dos corpos opacos. *O Século*, Lisboa; **5** (71): 1-2
  
- Lima, A. P. (1946). Ainda o centenário de Röntgen. 2ª resposta a um crítico ressonador. *Jornal do Médico*; **VII** (173): 739-745
  
- Lima, A. (1959). Virgílio Machado – No Centenário do seu Nascimento. Boletim da Academia das Ciências de Lisboa; vol. XXXI
  
- Lima, R.S., Afonso, J.C. (2009). Raios-X: fascinação, medo e ciência. *Quim Nova*; **32** (1); 263-270
  
- Londe, A. (1896). Application de la méthode de Röntgen. Note d'Albert Londe, présentée par M. Arsène d'Arsonval. *Comptes Rendus de la Académie des Sciences*, T. CXXII pp. 311-312
  
- Londe, A. (1898). *Traité Pratique de Radiographie et de Radioscopie*. Paris, Gauthier-Villars
  
- Lopes, J. M. F. (1946). A Descoberta de Röntgen e a Medicina Militar. *Imprensa Médica*; 1

- Lumière, A., Lumière, L. (1896). Recherches photographiques sur les rayons de Röntgen. Note de MM. Auguste et Louis Lumière, présentée par M. Lippmann. *Comptes Rendus de la Académie des Sciences*, T. CXXII pp. 382-383
  
- Machado, V. (1898a). *O exame dos doentes pelos raios X*. Lisboa, Typ. Estevão Nunes & Filhos
  
- Machado, V. (1898b). *Radioscopia e Radiographia (Raios X)*. Lisboa, Imprensa de Libânio da Silva
  
- Machado, V. (1900a). *L'État Actuel de l'Électricité Médicale, de la Radiologie et de l'Analyse Chimico-Médicale*. Lisbonne, [Imprimerie Nationale]
  
- Machado, V. (1900b). *O exame do coração no vivo pelos raios-X*. Lisboa, Typ. Da Academia Real das Ciências
  
- Machado, V. (1903). *Instituto Médico*. Lisboa, Typ. Calçada do Cabra
  
- MacKee, G. M. (1921). *X-rays and Radium in the Treatment of Diseases of the Skin*. Philadelphia and New York, Lea & Febiger
  
- Martins, R. A. (1998). A descoberta dos raios-X: o Primeiro Comunicado de Röntgen. *Revista Brasileira de Ensino de Física*; **20** (4): 373-391
  
- Martins, D. R. (2003). As Ciências Físicas em Coimbra. Acedido a 20 de Maio de 2012 em <http://cvc.instituto-camoes.pt/ciencia/e48.html>
  
- Matijaca, A. (1917). *Principles of Electro-Medicine, Electro-Surgery and Radiology*. Butler, N. J., New York [etc.], B. Lust
  
- Meggitt, G. (2008). *Taming the rays: a history of radiation and protection*. (ebook) [S.l.], Lulu.com

- Moniz, E. (1925). *O ensino médico em Lisboa: clínica neurológica*. Lisboa, Faculdade de Medicina de Lisboa
  
- Moniz, E. (1927). La radioartériographie cérébrale. *Bulletin de l'Académie de Médecine*. Séance du 12 Juillet 1927. **97** (28). Paris, Masson & C<sup>ie</sup> Éditeurs
  
- Moniz, E. (1931). *Diagnostic des tumeurs cérébrales et épreuve de l'encéphalographie artérielle*. Paris, Masson & Cie Éditeurs
  
- Moniz, E., Carvalho, L., Lima, A. (1931a). Visibilidade aos raios X dos vasos pulmonares, obtida por injeção de líquido opaco na aurícula direita. *Academia das Ciências de Lisboa*. Sessão de 19 de Fevereiro de 1931. Boletim respectivo, 3:145
  
- Moniz, E. (1931b). La localisation des tumeurs cérébrales par l'encélographie artérielle. *Rapport présenté au Congrès Neurologique International de Berne*. Lisbonne, Imprensa Libanio da Silva.
  
- Moniz, E. (1934). *L'angiographie cérébrale : ses applications et résultats en anatomie, physiologie et clinique*. Paris, Masson & C<sup>ie</sup> Éditeurs
  
- Moniz, E. (1945). *Os Raios Röntgen na Neurologia. Conferências Médicas*. Lisboa, Portugália Editora
  
- Moniz, E. (1949). *Confidências de um investigador científico*. Lisboa, Edições Ática
  
- Monteiro, A. C. (1928). O Professor Vergílio Machado. *Jorn. Soc. Sc. Med. Lisboa*. **XCII** (7). Lisboa, Tipografia do Comércio
  
- Morgan, R. H., Lewis, I. (1945). The Roentgen Ray: its past and future. *Dis Chest*; **11** (6): 502-510
  
- Mould, R.F. (1995). Invited review: Röntgen and the discovery of X-rays. *Brit J Radiol*; **68** (815): 1145-1176

- Mould, R. F., Tai, T. H. P. (2002). Nasopharyngeal carcinoma: treatments and outcomes in the 20<sup>th</sup> century. *Brit J Radiol*; **75** (892): 307-399
  
- Mould, R. F, Aronowitz, J. N (2006). Evolution of the knowledge of electricity and electrotherapeutics with special reference to X-rays & cancer. Part 1. Ancient Greeks to Luigi Galvani. *Nowotwory*; **56** (6): 653-662
  
- Mould, R. F, Aronowitz, J. N (2007a). Evolution of the knowledge of electricity and electrotherapeutics with special reference to X-rays & cancer. Part 2. Alessandro Volta to James Clerk Maxwell. *Nowotwory*; **57** (1): 24-33
  
- Mould, R. F, Aronowitz, J. N (2007b). Evolution of the knowledge of electricity and electrotherapeutics with special reference to X-rays & cancer. Part 3. Sir William Crookes to 20<sup>th</sup> century electrotherapists. *Nowotwory*; **57** (2): 82-92
  
- Mould, R.F. (2011). X-rays in 1896-1897. *Nowotwory*; **61** (6): 100-109
  
- Museu da Ciência (2011). Raios X em Coimbra. Acedido a 24 de Abril 2012 em <http://www.museudaciencia.org/index.php?iAction=Coleccoes&iArea=3&iId=53>
  
- Niewenglowski, G.-H. (1898). *Technique et Applications des Rayons X. Traité Pratique de Radioscopie et de Radiographie*. Paris, Radiguet
  
- Pallardy, G. (1999). La radiologie est entrée avant l'électricité dans les hospitaux de Paris. *Histoires des Sciences Médicales*; **33** (4): 333-341
  
- Pasveer, B. (1989). Knowledge of shadows: the introduction of X-ray images in medicine. *Sociol Health Ill*; **11** (4): 360-381
  
- Peh, W.C.G. (1995a). History of the discovery of X-rays. Part I – Röntgen and his discovery of X rays. *Singapore Med J*; **36**: 437-441
  
- Peh, W. C. G. (1995b). History of the discovery of X-rays. Part II – Controversies surrounding and following Röntgen's discovery. *Singapore Med J*; **36**: 554-558

- Posner, E. (1970). Reception of Röntgen's discovery in Britain and U.S.A.. *Brit Med J*; **4** (5731): 357-360
  
- Portela, A. (1983). *Egas Moniz: Pioneiro de Descobrimentos Médicos*. Amadora, Livraria Bertrand
  
- Pullin, V. E., Wiltshire, W. J. (1927). *X-Rays: Past and Present*. [London], Ernest Benn Ltd.
  
- Pullin, V. E. (1939). *Raios X e Rádio*. Trad. Agostinho da Silva. Lisboa, Editorial Inquérito
  
- Ramalho, F. (1946). *História do Laboratório de Radiologia da Faculdade de Medicina de Coimbra*. Coimbra, Livraria Académica
  
- Ramos, A. (1946). Ainda a propósito do centenário de Röntgen. *Jornal do Médico*. **VII** (166): 539-540
  
- Ramos, A. (1995). A Roentgenologia Portuguesa. Da descoberta dos raios X por W. C. Roentgen (8-11-1895) à Fundação da Soc. Portuguesa de Radiologia Médica (1931). *Livro comemorativo do centenário da descoberta dos raios X - 1895-1995*. Lisboa, Soc. Port. Rad. Med. Nucl., pp 15-28
  
- Ramos, H. V. (1996). Röntgen e a Medicina. *Rev Soc Med Int Port* ; **3** (4): 250-256
  
- Redhead, P.A. (1993). The ultimate vacuum. *Vacuum*; **53** (1); 137-149
  
- Richards, H.C. (1943). Arthur Willis Goodspeed, 1860-1943: A Pioneer in Radiology. *Am J Physics*; **11** (6): 342-344
  
- Riesz, P. B. (1995). The Life of Wilhelm Conrad Roentgen. *Am J Roentgenol*; **165** (5): 1533-1537



- Rodrigues, A., Pereira, S. (1931). Novas orientações no estudo do sistema linfático. *Arquivo de Patologia*; **3** (2-3): 1-15
  
- Roth, J. (1995). The consequences of the discovery by W. C. Röntgen for present-day medical physics and radiation protection. *Experientia*; **51** (7): 640-651
  
- Röntgen, W. C. (1895). Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*; **9**: 132-141
  
- Röntgen, W. C. (1896). Eine neue Art von Strahlen (II. Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*; **1**: 11-17
  
- Röntgen, W. C. (1897). Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. *Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Gesamtsitzung vom 13 Mai 1897*; **26**: 576-592
  
- Rowland, S. (1896a). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part I. *Br Med J*; 361-364 (8 Febr 1896)
  
- Rowland, S. (1896b). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part IV. *Br Med J*; 556-559 (29 Feb 1896)
  
- Rowland, S. (1896c). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part VI. *Br Med J*; 683-684 (14 Mar 1896)
  
- Rowland, S. (1896d). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part VII. *Br Med J*; 748-750 (21 Mar 1896)
  
- Rowland, S. (1896e). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part XI. *Br Med J*; 1059-1061 (25 Apr 1896)
  
- Rowland, S. (1896f). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part VIII. *Br Med J*; 807-809 (28 Mar 1896)

- Rowland, S. (1896g). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part XVI. *Br Med J*; 1676-1677 (5 Dec 1896)
  
- Rowland, S. (1896h). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part IX. *Br Med J*; 874-876 (4 Apr 1897)
  
- Rowland, S. (1897). Report on the Application of the New Photography to Medicine and Surgery. Part VIII. *Br Med J*; 1486-1487 (12 Jun 1897)
  
- Santos, R., Lamas, A., Caldas, J. (1929a). A arteriografia dos membros. *A Medicina Contemporânea*; **47** (1): 1-5
  
- Santos, R., Lamas, A., Caldas, J. (1929b). Arteriografia da aorta e dos vasos abdominais. *A Medicina Contemporânea*; **47** (11): 93-96
  
- Santos, M. J. M. N. (2000). *Deposição assistida por laser de filmes finos de r-B<sub>4</sub>C. O papel do precursor de Carbono na sua composição e estrutura*. Relatório de Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Física Tecnológica, Dep<sup>10</sup> de Física da FCUL, Lisboa
  
- Sarton, G. (1937). The discovery of X-rays. *Isis*; **26** (2): 349-369
  
- Satterlee, F.L.R. (1912). *Dental Radiology*. Swenarton Stationery Company. New York
  
- Seliger, H.H. (1995). Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. *Phys Today*; **48** (11): 25-31
  
- Shanks, C. S. (1950). Fifty years of Radiology. *Br Med J*; **1**: 44-48
  
- Silva, C. (editor) (1896). A photographia atravez dos corpos opacos. *O Occidente*, Lisboa; **XIX** (621): 67-69

- Silva, H. M. A. (1900). *Raios Röntgen em clínica*. Dissertação Inaugural. Escola Medico-Cirurgica de Lisboa. Lisboa
  
- Soares, F. A., Lopes, H. B. (2001). Filme Radiográfico e Processamento. Curso técnico de Radiologia. CEFET/SC
  
- Sousa, A. (1945a). Os Raios X na Imprensa Portuguesa. *Imprensa Médica*; 14
  
- Sousa, A. (1945b). O conceito patogénico da radiodermite na história dos Raios X. *Jornal do Médico*; **VII** (153): 149-152
  
- Sousa, A. (1946). *A Descoberta de Roentgen e a Universidade de Coimbra*. Coimbra, Livraria Académica
  
- Sousa, A. (1978). Génes e evolução da angiografia – A propósito do cinquentenário da descoberta de Egas Moniz. *Jornal da Sociedade das Ciências Médicas de Lisboa*; **142** (3): 169-190
  
- Souza, A. A. (2008). A contribuição da difracção molecular dos raios-X para configuração molecular. *Ensino e Pesquisa*; **1** (5); 122-133
  
- Swinton, A. A. C. (1897). The Production of X Rays of Different Penetrative Values. *Proceedings of the Royal Society of London*; **61**: 222-226
  
- Thomas, A. (2011). Reflecting on the Institute's history. *BJR News*; **6**: 42
  
- Tondreau, R. L. (1985). Egas Moniz 1874-1955. *Radiographics*; **5** (6): 994-997
  
- Underwood, E. A. (1945). Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) and the Early Development of Radiology. *Proc R Soc Med*; **38** (12): 697-706
  
- Vasconcellos, J. P. (1903). *Sobre a acção da empola de Crookes no Lupus e Epithelioma*. These Inaugural. Escola Medico-Cirurgica de Lisboa. Lisboa

- Vermeulen, D. J. (2002). Early X-ray equipment: a view from the south. *Eng Sci Educ J*; **11**(6): 231-242
  
- Van Loon, R., Van Tiggelen, R. (2004). Radiation dosimetry in medical exposure. A short historical overview. *Annales de l'Association Belgique de Radioprotection*. **29** (2): 163-174
  
- Von Laue, M. (1915). *Concerning the detection of X-ray interferences*. Nobel Lecture, 12 November 1915
  
- Van Tiggelen, R. (2001). Since 1895, Orthopaedic surgery needs X-ray imaging: a historical review from discovery to computed tomography. *JBR-BTR*; **84** (5): 204-213
  
- Wake, R., Yoshiyama, M., Iida, H., Takeshita, H., Kusuyama, T., Kanamitsu, H., Mitsui, H., Yamada, Y., Shimodozono, S., Haze, K. (2011). History of Coronary Angiography, *Advances in the Diagnosis of Coronary Atherosclerosis*, InTech. Acedido a 19 de Janeiro de 2012, em: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/history-of-coronary-angiography>
  
- Ward, H. S. (1896). *Practical Radiography: a Hand-Book of the Applications of the X Rays*. London, Published for The Photogram, Ltd by Dawbarn and Warn, Ltd
  
- Watson, E.C. (1945). The discovery of X-rays. *Am J Physics*; **13** (5): 281-291
  
- Wendell, L. (1919). *The Systematic Development of X-Ray Plates and Films*. St. Louis, C. V. Mosby Company
  
- Whittaker, E. T. (1910). *A History of the Theories of Aether and Electricity: from the age of Descartes to the close of the nineteenth century*. London, Longmans, Green and Co.
  
- Williams, F. H. (1901). *The Roentgen Rays in Medicine and Surgery as an Aid in Diagnosis and as a Therapeutic Agent*. New York, The Macmillan Company; London, Macmillan & Co., Ltd.

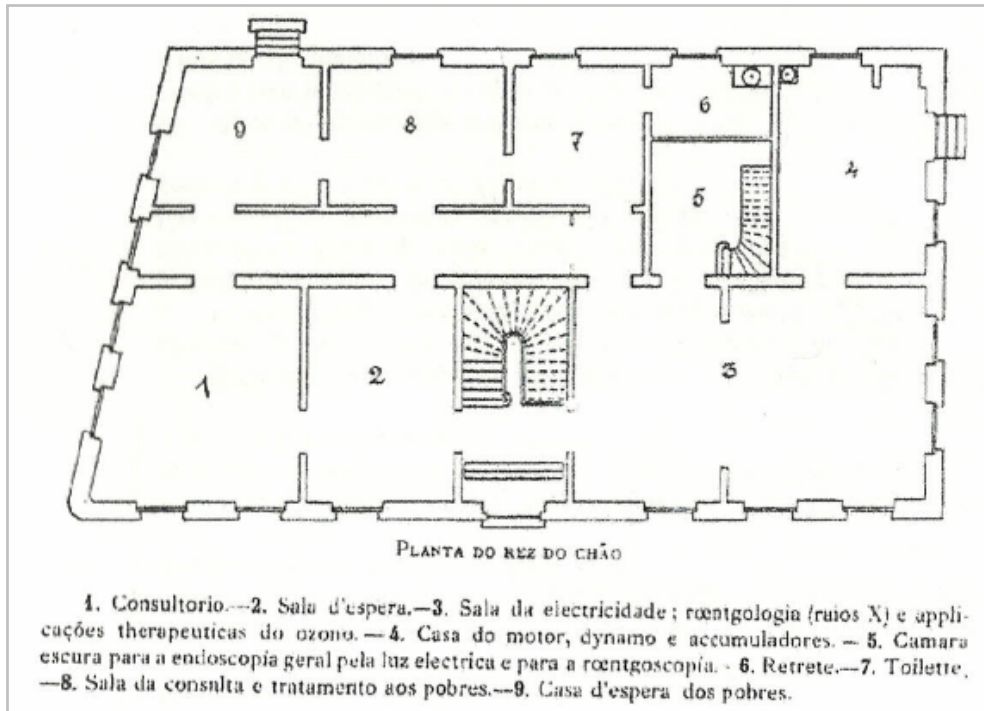
# ANEXOS

## ANEXO A

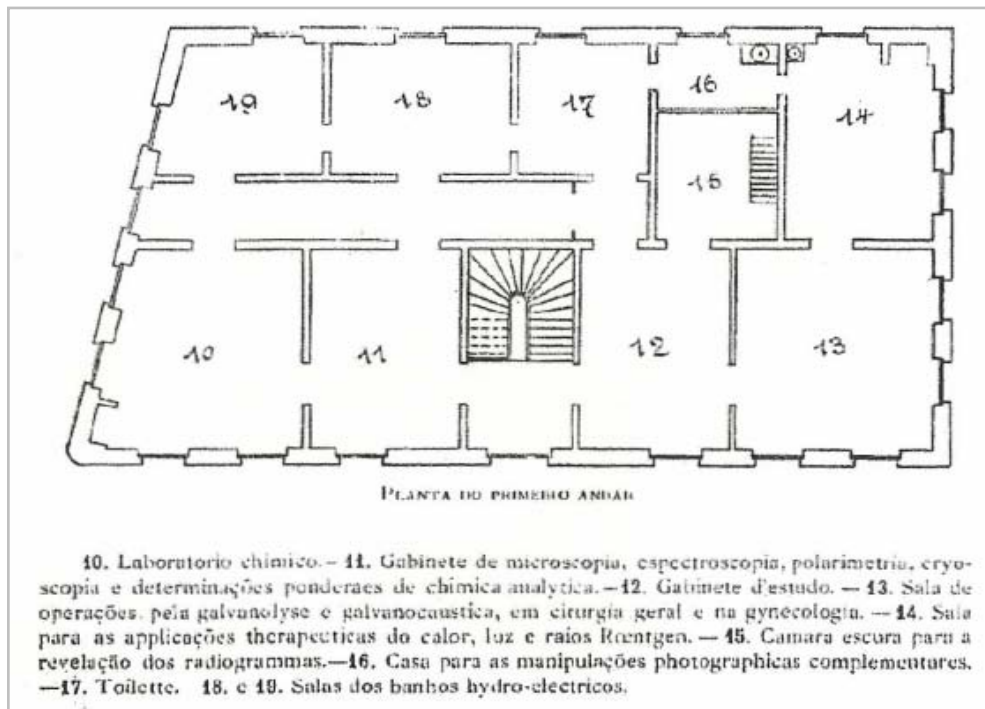
PHILADELPHIA HOSPITAL										No.	
RÖNTGEN RAY LABORATORY, RECORD OF DIAGNOSIS.											
1	NAME			ADDRESS			Nativity Occupation		Month	Day	190
2	SEX	Male Female	Age Single Married	Color	Weight Height	lbs.	Department Ward	Referred by Address		M.D.	
3	Previous History										
4	Date, Place, Duration, Character, etc., of Injury or Disease.										
5	Part or Organ Involved										
6	SYMPTOMS	Physical and Clinical									
7											
8	Chemical and Microscopical Examinations										
9	REMARKS										
Technic Employed in Diagnosis.						Diagnosis made from Skiagram or Fluoroscope or Stereo-Skiagraph					
I APPARATUS		II POSITIONS OF THE TUBE AND PATIENT				III QUALITIES OF THE RAYS, TIME OF EXPOSURE					
A	Varieties and Make	Distance of Anode from Plate				Current going to the Primary Coil					
	Revolving Plates	Inch		cm.		Volts		Amp.			
	Number	Thickness of the Part				Secondary or Induced Current					
	Diameter	Inch		cm.		Milliamperes					
	Rev. per Minute	POSITIONS OF PART				Parallel Spark-gap					
B	Length of Spark-gap	Antero-posterior				Inch					cm.
		Inch		cm.		No. of Besost's Scale					
	Accumulator	Volts		Lateral				Degree of Vacuum of Tube: Low (soft), Medium, High (hard)			
	Ampere-hour	Flexion				Time of Exposure					
	Direct Current	Extension				sec.					min.
C	Altern. Current	Dorsal Decubitus				Intensifying Screen					
	Transformer	Ventral Decubitus				Variety of the Plate					
		Recumbent				Sizing		X	A		
		Semi-recumbent				Standing		X	B		
		With or without Bandage, Splint, Cast				With or without Bandage, Splint, Cast		X	C		
D	Varieties	Negatives *				OPERATOR					
	No. of Interruptions	E Varieties				Over or under-exposed or developed, Patient moved					
	Per Minute	Non-Regulating				No. of Prints					
	Mechanical	Self-Regulating				Duplicite					
	Mercury	Osmo-Regulat.				AUTOPSY					
Welsch											
Caldwell											
Simon											
Diagnosis made by Director.....										M.D.	
or Assistant.....										M.D.	
215											

Fig. A1: Exemplo de um protocolo radiológico utilizado no Hospital de Filadélfia, no princípio do séc. XX. (KASSABIAN 1907)

## ANEXO B



**Fig. B1: Planta do rés-do-chão das instalações do “Instituto Médico” de Virgílio Machado. (MACHADO 1903)**



**Fig. B2: Planta do primeiro piso das instalações do “Instituto Médico” de Virgílio Machado. (MACHADO 1903)**

ANEXO C

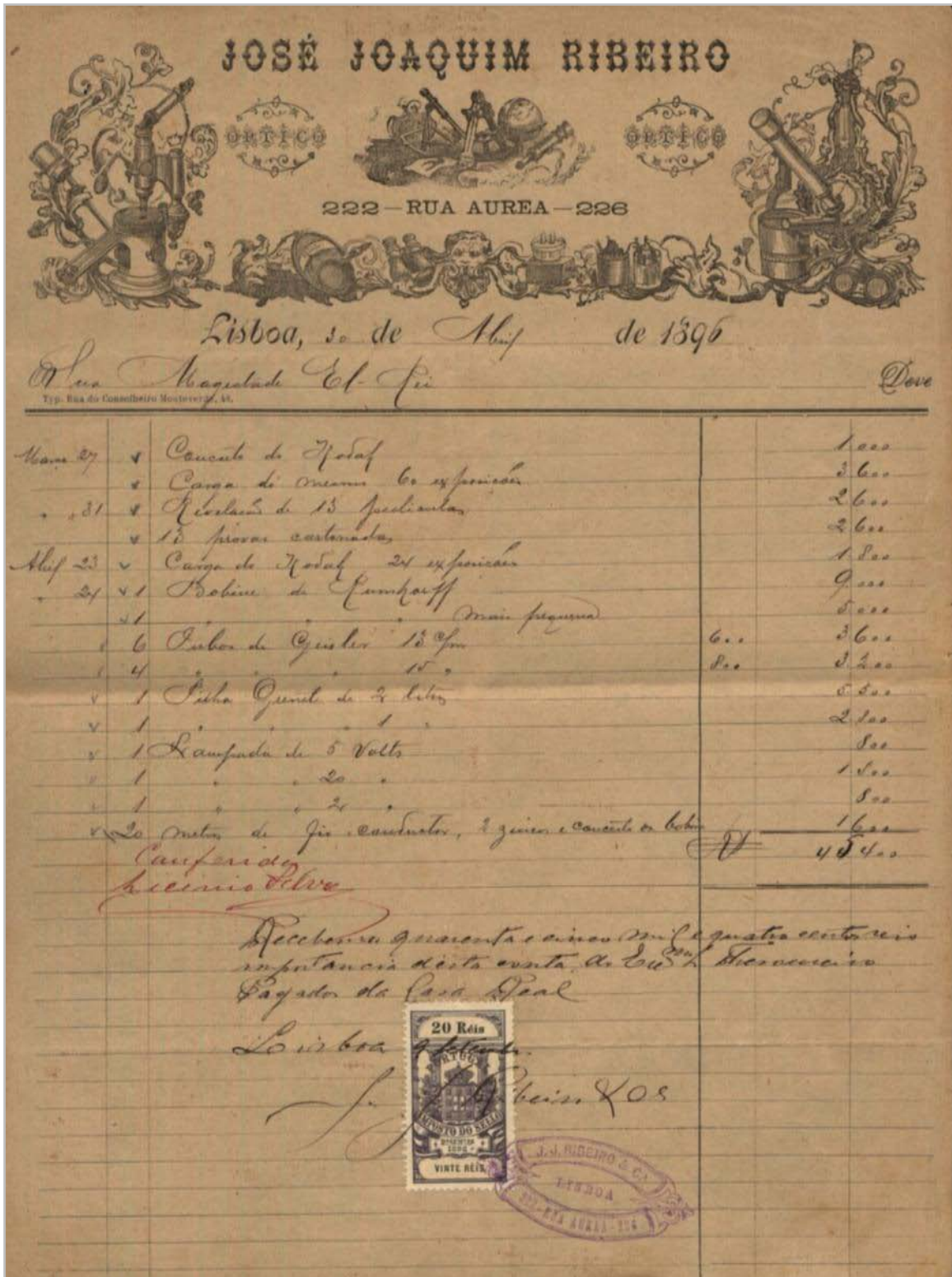
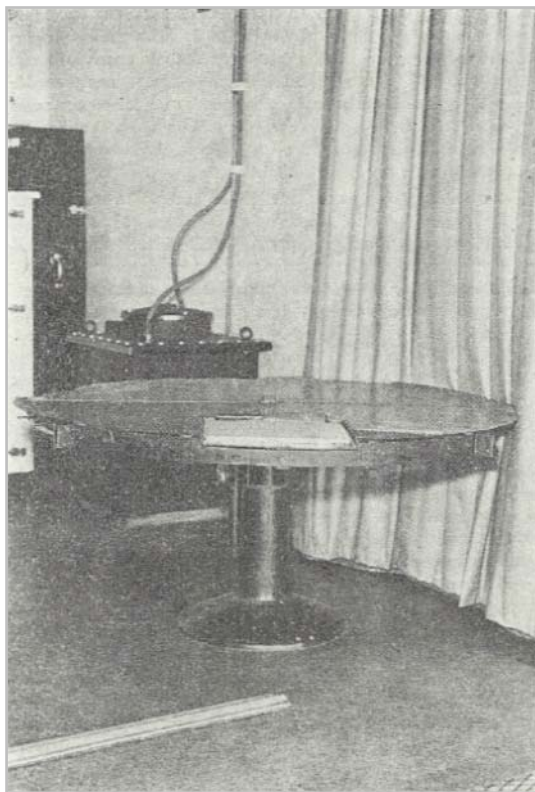
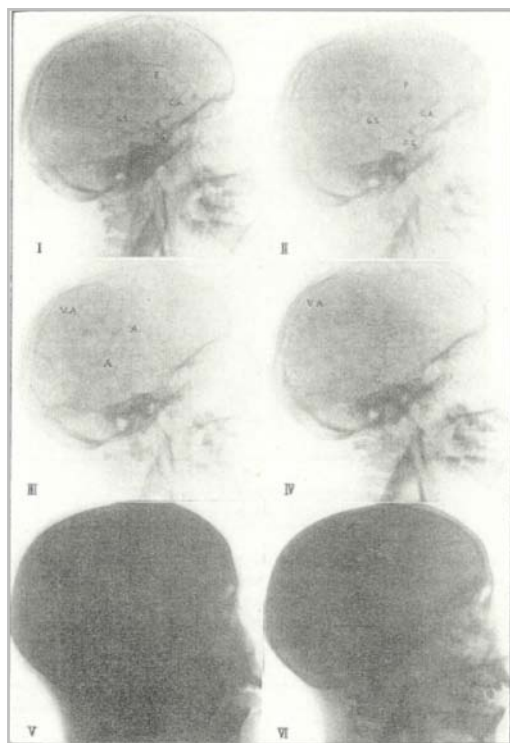


Fig. C1: Factura de despesa do Rei D. Carlos relativa à aquisição de material utilizado em experiências com raios-X. O material foi adquirido na casa José Joaquim Ribeiro, em Lisboa, em 30 de Abril de 1896. (Doc. N° PT-TT-CR-cx5878)

## ANEXO D



**Fig. D1: Radio-carroussel. (MONIZ 1934)**



**Fig. D2: Angiografias em série obtidas com o rádio-carroussel. (MONIZ 1934)**