

Os Quenotrões do Museu Faraday

No natal de 2021 apresentámos uma árvore de natal muito especial, que foi realizada tendo por base uma válvula eletrónica, com cerca de 50 anos de vida, que encontrámos, ainda sem ser usada, na embalagem de transporte original, numa arrecadação situada na garagem do Pavilhão de Civil. Para nós era uma ampola de raios X.

Visitámos esta arrecadação, convidados por Paulo Mota, técnico do IST, restaurador do Museu de Civil, para ver se alguns motores velhos que lá se encontravam poderiam ter interesse para o Museu Faraday. Os motores têm entre 50 cm e 70 cm de diâmetro e devem pesar mais de 150 kg cada um. Não são suficientemente atrativos para o Museu onde temos motores mais antigos, interessantes e mais leves.

Nesta arrecadação fomos surpreendidos pela presença de vários equipamentos de eletrotecnia que considerámos que seriam interessantes para o Museu Faraday. Começámos a escolhê-los fazendo alguns montes de equipamento muito interessante para depois transportarmos para o Museu.

A arrecadação tinha o piso inclinado e apenas podíamos ir até meio, pois estava inundada; no fundo da sala havia cerca de 10 cm de altura de água. *Uma descida aos infernos, dir-se-ia.* Tivemos de molhar os pés para ver o resto e, no fundo da sala, encontrámos uma válvula eletrónica muito bonita na sua caixa de origem, Fig. 1. O funcionário do IST, Paulo Mota, que nos acompanhava, disse-nos que havia outra válvula numa caixa de cartão.

As nossas coisas carregam de valor histórico o nosso espaço quotidiano. Reconheci logo ser uma válvula de raios X¹ que teria sido usada na investigação sobre raios X feita nos anos 50 a 90 pelo Prof. Alves Marques, engenheiro eletrotécnico formado no IST em 1953. Eu tinha colaborado com o Prof. Alves Marques nos anos 90, através da realização de um Trabalho Final de Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IST (Anexo I).

Demos prioridade a trazer estas válvulas gigantes e o restante equipamento ficou para outra oportunidade. Mas, entretanto, apareceu a pandemia e ao fim deste tempo ainda não retirámos os outros equipamentos.

Começámos a procurar informação sobre o Laboratório de Raios X do Prof. Alves Marques, mas no IST não encontrámos qualquer registo. Na revista Técnica encontrámos uma referência ao Prof. Alves Marques, como sendo o [primeiro professor a fazer o doutoramento no IST](#).



Fig. 1 – O que será?

¹ - Os raios X foram tendo contacto com alguns investigadores que trabalharam com altas tensões elétricas e tubos de vácuo, mas foi o físico alemão [Wilhelm Conrad Röntgen](#) (1845-1923) quem detetou pela primeira vez os raios X, assim chamados por desconhecer a sua natureza. Uma das maiores [aplicações foi na medicina](#).

Este facto teve uma grande importância para mim e quando a equipa dos Podcast dos IST “110 objetos” nos pediram se tínhamos no Museu Faraday algum objeto relacionado com o Prof. Alves Marques, lembrei-me da válvula de Raios X. Lembrei-me também da Profa. Isabel Cabaço da Física do IST, que tinha trabalhado com o Prof. Alves Marques, através de uma conversa que tinha tido com a Profa. Inês Simas do DEEC (ver anexo II).

Na sequência, trocámos várias informações e ficou combinado fazer a gravação do Podcast na semana de 11 a 16 de dezembro de 2022.

No Museu Faraday tivemos várias discussões relacionadas com a válvula, pois não nos parecia uma ampola convencional de raios X. O ânodo era plano e ortogonal ao feixe de eletrões e não era inclinado como acontece com as ampolas de raios X mais convencionais.

Acabámos por descobrir vários tipos de ampolas menos convencionais. A ampola estava envolta numa folha espessa de chumbo e com vários avisos em alemão “Cuidado com Raios X”, o que também achámos estranho, pois os raios X só são gerados por estimulação do ânodo e não há emissão espontânea de raios X. O nosso voluntário Luís Ferreira acabou por descobrir, no fundo da embalagem de madeira, um papel degradado pela água em que estava imersa. Conseguimos perceber que era a guia de remessa da ampola, enviada pela Sociedade Mattos Tavares de Lisboa, onde vinha a data de 1972 e o preço de 26 480\$80 (vinte e seis mil quatrocentos e oitenta escudos e oitenta centavos)², Anexo III.

Todo o corpo traz em si marcas da sua história. A minha intenção era manter a embalagem de madeira original usada no transporte da válvula nova, mas a embalagem estava em muito mau estado e a madeira para além de tosca, apresentava muitas farpas expostas.

Tivemos aqui algumas divergências, mas, numa visita ao Museu Faraday, a Dra. Marta Lourenço, Diretora do [MUNHAC](#), ficou encantada com a válvula e a sua embalagem original³.

Com este forte apoio, dei uma limpeza e envernizamento suave à embalagem de madeira e assim ficou.

A outra ampola, que já foi usada, foi limpa e decidimos fazer um expositor mais compacto para o Museu. Acabámos por fazer a árvore de Natal de 2021 com este objeto.

<https://museufaraday.ist.utl.pt/Press&Media/Natal2021.mp4>

A gravação do Podcast sobre a válvula de raios X, acabou por ser feita no dia 21 de dezembro.

Recordar e relatar são formas de ampliar a nossa memória. A Profa. Isabel Cabaço enviou-me uma fotografia do Laboratório do Prof. Alves



Fig. 2- Kenotron e embalagem renovada.

² - No final de 1970, o meu Fiat 850 Special tinha custado cerca de 53 000 escudos. A ampola custou ao IST quase meio automóvel Fiat 850.

³ - A Dra. Marta defende o conceito de Museu vivo, onde os objetos não estão enclausurados em prateleiras e aprecia alguma desarrumação de trabalhos que mostre evolução das coisas do Museu. No Museu Faraday temos sempre a discussão da desarrumação, mas eu costumo arrumar os críticos lembrando sempre a opinião da Dra. Marta Lourenço.

Marques retirada de um artigo da revista *Técnica da Associação de Estudantes do IST*, publicado no número 362, em 1966.

A revista [está disponível na Internet](#) e pode ver aqui o artigo completo:

https://museufaraday.ist.utl.pt/HistTechnology/A_Marqus_difra_Tec_n362.pdf⁴

Afinal não se tratava de uma válvula de Raios X, mas sim de um díodo de vácuo retificador de muito alta tensão (225 kV) usado para obter as elevadas tensões contínuas necessárias para o funcionamento das ampolas de raios X. Esta válvula eletrónica chama-se “Kenotron” (talvez seja Quenotrão em português) e foi inventada em 1914 por Saul Dushman.



Fig. 3 – Kenotron com avental de chumbo.

Entre 1913 e 1921, nos Laboratórios da [General Electric](#), empresa criada por Edison e Thomson em 1892, foram realizados [quatro novos tipos de válvulas eletrónicas](#): “Kenotron”, “Pliotron⁵”, “Dynatron⁶”, e “Magnetron⁷” pelos famosos cientistas [Irwing Langmuir](#) (1881-1957), [Saul Dushman](#) (1883-1954) e [Albert Hull](#) (1880-1966).

Normalmente o Quenotrão não emite raios X, porque só conduz numa das alternâncias da tensão da rede, ficando com uma pequena diferença de potencial entre ânodo e cátodo e, na outra alternância, fica inversamente polarizado com uma tensão extremamente alta, mas normalmente não há condução.

O Quenotrão precisa de ser refrigerado para que o ânodo não aqueça a uma temperatura elevada.

Se o ânodo aquecer emitirá eletrões e estes serão extremamente acelerados na fase da tensão da rede em que o Kenotron não conduz. Neste caso o Kenotron emitirá raios X. Por isso é sempre conveniente blindar os Quenotrões de alta tensão com lâminas de chumbo. Poderá ser esta a explicação para o facto de o “nosso” Kenotron ter aparecido envolvido numa camisa de chumbo.

A geração da alta tensão contínua para alimentar uma ampola de raios X

O circuito de alimentação da ampola de raios X, com corrente contínua de alta tensão, usado pelo Prof. Alves Marques está representado na Fig. 4.

A retificação da tensão da rede de alimentação (220 V, 50 Hz) envolve um transformador reductor de tensão, T2, para alimentar o filamento do Quenotrão e um transformador elevador de tensão, T1, para 70 kV, para que fosse retificada pelo Quenotrão. Trata-se de uma retificação de meia onda cuja tensão de saída, sendo contínua, será tornada quase constante pelo condensador C (Fig. 2) de 500 pF / 100 kV.

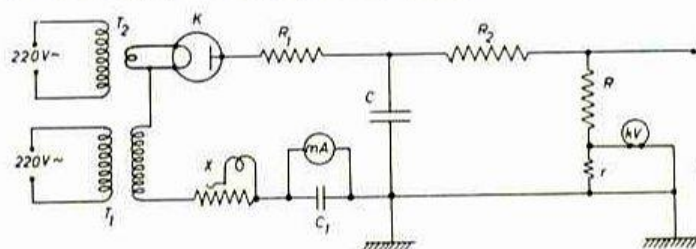
Num dos próximos números do [Faraday News](#) convidaremos a Profa. Isabel Cabaço para nos contar pormenores sobre o seu trabalho de investigação realizado sob orientação do Prof. Alves Marques, o primeiro doutorado pelo IST. Entretanto, pode [ver aqui uma opinião da Profa. Isabel Cabaço](#) sobre o ambiente de investigação nesta data no IST.

⁵ - O [Pliotron](#) foi criado por Langmuir e é um tríodo para altas tensões, normalmente usado em emissores e geradores de radiofrequência.

⁶ - O [Dynatron](#) deve-se a Hull e apresenta a característica de resistência negativa necessária para fazer osciladores. Foi ultrapassado pelo tétrodo.

⁷ - O [Magnetron](#) foi criado por Hull e é um excelente gerador de micro-ondas. Teve um papel fundamental nos radares da 2ª guerra mundial e no presente é a fonte mais barata para gerar micro-ondas.

INSTALAÇÃO DE ALTA TENSÃO



T ₁	Transformador principal	42 a 60 Hz primário : 220 V 20 A secundário : 70 V 30 mA
T ₂	Transformador de aquecimento do kenotrão	42 a 60 Hz primário : 220 V secundário : 16 V 11 A
K	Kenotrão pico de tensão inversa	225 kV
	corrente máxima	50 mA
C	Condensador capacidade	0,05 μF 100 V
R,r	Divisor de tensão	R 300 M Ω r 3 M Ω
R ₁ , R ₂	resistências de protecção da ampola de raios X e do kenotrão	R ₁ = R ₂ = 150 k Ω
mA	miliamperímetro quadro móvel	25 mA (resistência interna < 30 Ω)
C ₁	Condensador	C = 1 μF 250 V

Fig. 4 - Retificador de alta tensão usado no Lab. de raios X em 1966.
Correção (Museu Faraday): onde está 70 V e 100 V devia estar 70 kV e 100 kV.

Pode, também, ver aqui um vídeo gentilmente cedido pela Profa. Ana Gaspar que também foi aluna de doutoramento do Prof. Alves Marques, e onde salienta algumas características deste professor.

[Vídeo feito pela Profa. Ana Gaspar sobre o Prof. Alves Marques.](#)

Agradecimentos

Agradeço a preciosa colaboração da Profa. Isabel Cabaço, da Profa. Ana Gaspar e dos voluntários do Museu Faraday que foram muito generosos nos trabalhos de restauro destes dispositivos. Um agradecimento especial ao Prof. Carlos Fernandes pela revisão e pelas sugestões de alteração do texto.

Anexos

Anexo I – A colaboração com o Prof. Alves Marques

Nos anos 80 a Profa. Inês Simas do DEEC, que tinha sido minha aluna de doutoramento, fez um trabalho sobre aquisição de dados de experiências de raios X (colaboração entre o Centro de Electrónica- CEAUTL e um Centro onde o Prof. Alves Marques fazia investigação sobre raios X). Havia uma instalação de investigação também no Laboratório de Física do IST.

O Prof. Alves Marques tinha sido meu professor de Física nos anos 68 ou 69, dava as aulas teóricas e aulas práticas. O Prof. Rebelo Simões dava outras aulas práticas. O responsável era o Prof. Silveira que só vi no exame final. Confesso que as aulas teóricas do Prof. Alves Marques não eram muito interessantes e as folhas do Prof. Silveira também não o eram. Lembro-me de estar em Campo de Ourique, num café, com outros colegas, uma tarde toda para perceber meia página de uma das folhas da sebenta.

As aulas práticas do Prof. Alves Marques também não eram muito agradáveis. Eu e outros colegas acabámos por mudar para a aula prática do Prof. Rebelo Simões onde discutíamos muito futebol e anedotas, mas no último quarto de hora resolvíamos o problema e ficávamos todos a perceber a matéria.

Nos anos 90, enquanto eu era coordenador do Ramo de Sistemas Eletrónicos e Computadores, SEC, da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, LEEC, o Prof. Alves Marques contactou-me para eu propor um novo Trabalho Final de Curso, TFC, para adquirir dados das experiências que fazia sobre Raios X.

Eu nunca mais tinha contactado com o Prof. Alves Marques, mas quando me apareceu sabia tudo sobre mim. Até me disse: “você talvez não se lembre, mas foi meu aluno”, um exemplo de modéstia.

Apareceu logo um aluno candidato para realizar um novo trabalho, agora com aquisição de dados através de um PC e a entrada direta numa folha de Excel.

Na discussão do TFC o júri era constituído por mim (estive em todos os júris dos alunos de SEC) e o Prof. Alves Marques, que me tinha pedido para as suas assistentes estarem

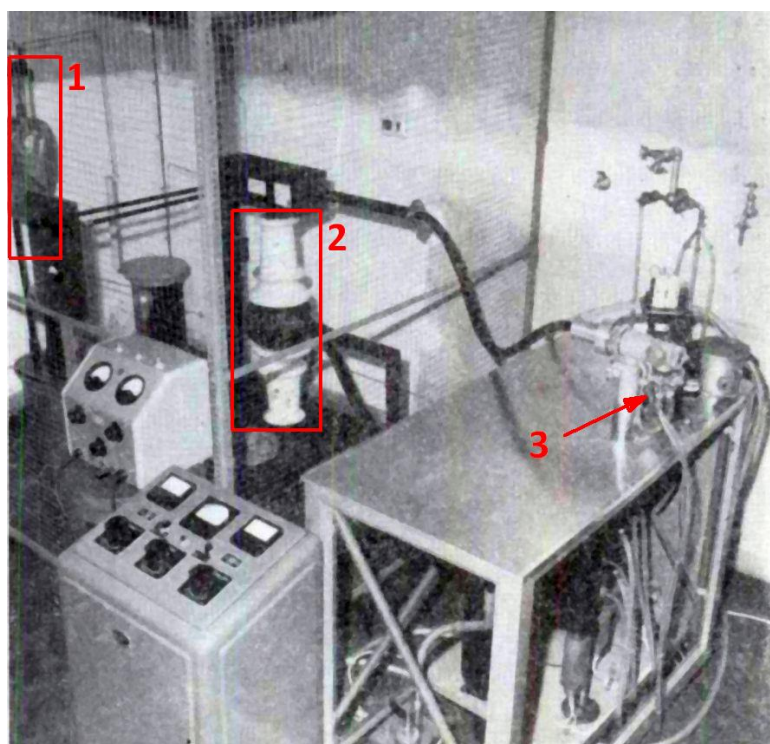


Fig. 5 - IST- 1966 - Laboratório de Investigação sobre Raios X.
(Rev. Técnica n. 362).

1- Quenotrão com camisa de chumbo; 2- Condensador C de 500 pF /100 kV; 3 - Ampola de Raios X.

presentes. Na minha avaliação o trabalho estava bom e na escala que eu usava mereceria 14 valores. A opinião do Prof. Alves Marques era de que o trabalho valia 20 valores. Fiquei com um problema, dada a diferenças de opiniões. O Prof. Alves Marques solicitou-me para pedir

também a opinião das suas assistentes e esta opinião foi concordante com a sua, de que o trabalho valia 20 valores. O argumento principal do Prof. Alves Marques estava relacionado com o benefício enorme que o trabalho tinha trazido para a sua investigação e não com o mérito do ponto vista de trabalho de engenharia eletrotécnica. Já não me lembro ao certo, mas a nota final deve ter ficado em 15 ou 16 valores.

A partir deste episódio o Prof. Alves Marques tratava-me com uma deferência que eu nunca tinha sentido no IST. Passei a ser consultor das alterações relacionadas com a eletrotecnia que havia no seu laboratório pois pedia-me sempre uma opinião.

Anexo II – Opinião da Profa. Isabel Cabaço sobre as válvulas encontradas

“As válvulas, de que enviou uma imagem, são anteriores ao meu trabalho no grupo. Havia de facto uma instalação no IST que tinha sido montada pelo Professor com todos os componentes separados e que estava numa divisória dum gabinete chamado do Professor Silveira.

Essa instalação serviu para o trabalho de tese da M. Isabel Alves Marques e mais tarde para trabalhos de alunos (análise de figuras de difracção de RX de amostras cristalinas em pó) e foi desmantelada quando o Tokamak foi instalado. Creio que durante algum tempo o Professor tentou guardar alguns componentes e mais tarde andaram por uma arrecadação no edifício Física - Matemática, mas não sei dizer-lhe se existe alguma coisa ainda.

No artigo “dinâmicas estudantis” aparecem algumas opiniões do Prof. Alves Marques.”

Anexo III – Guia de remessa do Quenotrão

Soc. Co. Mattos Tavares, Lda.
 RUA GREGÓRIO LOPES, 111
 12220 - MATALIM - LISBOA 2
 APARTADO 2624 - LUSTAMANTE

GUIA DE REMESSA N.º 2624 1SP-vc
 SOC. COM. MATTOS TAVARES, LDA - CAT. POSTAL 2171 - LISBOA-2
 xmo. (s) Snr. (s)

Secção: ELECTROMEDIC
 Data: 5/4/72
 V. Requisição: 59?
 Expedição: MICA
 Senha:
 Conta n.º:

CODIGO	Quantidade	DESCRICAO	Preço	Total Líquido
	1	AMPOLA DE RAIOS X TIPO GV 69	23.590\$00	23.590\$00
			2.830\$80	26.420\$80

IMPOSTO DE TRANSAÇÕES
 Certificado de Registo Fornecedor N.º 19659
 Cliente N.º
 Declaração apresentada ao abrigo da qual não foi devido imposto de transacções
 Modelo n.º N.º de Ordem

IMPOSTO DE TRANSAÇÕES
 Total
 Seguro

IMPORTANTE - Pedimos o favor de tomarem em atenção as condições de venda, impressas no verso deste guia, e de as lerem imediatamente após a recepção dos mercadorias.

TOTAL DESTA GUIA 26428

Fig. 6 - Guia de remessa da Ampola.

Dados: Dia: 5/4/72, Req. 59?; Ampola de Raios X tipo GV 69; Destino: Laboratório de Física.
 Preço: 23.590\$00; Imposto de Transação (12%): 2.830\$80; Total: 26.420\$80.