INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO
DE CONTROLE E ALIMENTAÇÃO DE TUBOS DE TITÂNIO E FIOS DE
PRATA PARA A PRODUÇÃO DE SEMENTES DE IODO-125**

JOSÉ RODRIGUES DE LIMA

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear – Aplicações**

Orientador:

Dr. Carlos Alberto Zeituni

SÃO PAULO

2016

**Dedico este trabalho à minha
esposa Dilza e minha filha Vitória
pelo apoio e os incentivos recebidos.**

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Carlos Alberto Zeituni pela orientação neste trabalho, pelas informações prestadas e pelos incentivos para a conclusão.

Ao MSc. Fábio Eduardo de Campos, gerente da Divisão de Projetos e Fabricação (DPF) do Ipen, pelo apoio e incentivo na realização da pós-graduação.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho: Engenheiro Sérgio Augusto Sá, pelas sugestões no projeto, Célio Miguel, pela usinagem das peças, Marcio A. G. Ramos, pelas sugestões e auxílio na montagem do dispositivo, Roberto Mauro Schoueri, na ajuda nas matérias.

Ao Sr. Gilson Carlos Victorino, profissional do setor de usinagem da DPF, pelo esforço em realizar de forma precisa a usinagem das peças, mesmo dispondo de um maquinário obsoleto e antigo para a realização dos serviços.

Ao Msc. Aguinaldo Donizete Negrini pela ajuda nos testes realizados com vácuo e as sugestões oferecidas.

Aos Drs. João Augusto Moura, Anselmo Feher e Osvaldo Luis da Costa, do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do Ipen, nas sugestões para a realização deste trabalho.

Ao IPEN pela oportunidade e pelas instalações utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

A todos que de alguma forma ajudaram e colaboraram para a realização deste trabalho.

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE
CONTROLE E ALIMENTAÇÃO DE TUBOS DE TITÂNIO E FIOS DE PRATA PARA
A PRODUÇÃO DE SEMENTES DE IODO-125**

JOSÉ RODRIGUES DE LIMA

RESUMO

No Brasil, o câncer de próstata é um dos tipos de câncer que mais afeta a população masculina, sendo o segundo mais incidente, ficando atrás apenas do câncer de pele não melanoma que é o mais ocorrente na população. Existem vários procedimentos para o tratamento do câncer de próstata, dentre eles temos a braquiterapia com sementes de Iodo-125, este método é realizado inserindo sementes com Iodo radioativo na próstata do paciente. As sementes são constituídas de uma capsula de titânio medindo 0,8 mm de diâmetro por 4,5 mm de comprimento com um fio de prata medindo 0,5 mm de diâmetro por 3,0 mm de comprimento, adsorvido com Iodo-125, que é selado por meio de solda laser. As tecnologias usadas nos processos de produção de sementes de Iodo-125 são protegidas por patentes e a obtenção dos direitos de produção apresenta um custo elevado, inviabilizando a sua produção por esses processos devidos aos custos. O objetivo deste trabalho é desenvolver o projeto de um dispositivo para a contagem dos tubos de titânio e dos fios de prata usados na confecção das sementes de Iodo-125, este objetivo foi atingido estabelecendo uma metodologia para o posicionamento dos fios de prata e sua condução para o processo de contagem. Para tanto, foi projetado, construído e utilizado um novo dispositivo que se encontra hoje totalmente operacional. Foram utilizados motores de passo e sensores óticos para auxiliar no processo de automação do conjunto.

PALAVRAS-CHAVES: Braquiterapia, Sementes de Iodo, Câncer, Produção de Sementes, Automação.

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DEVICE CONTROL
AND TITANIUM PIPE SUPPLY AND WIRES SILVER FOR IODINE-125
SEEDS OF PRODUCTION**

JOSÉ RODRIGUES DE LIMA

ABSTRACT

In Brazil, prostate cancer is the kind of cancer that affects the major quantity of male population worldwide, the second most incident, only affecting less people than the non-melanoma skin cancer which is the most frequently occurring in the population. There are several procedures for the treatment of prostate cancer, including brachytherapy using Iodine-125 seeds. This method is performed by inserting seed with radioactive iodine in the prostate of the patient. The seeds are composed of a titanium capsule measuring 0.8 mm in diameter and 4.5 mm in length with a silver wire measuring 0.5 mm in diameter and 3.0 mm in length adsorbed Iodine-125, which it is sealed by laser welding. The technology used in the iodine-125 seeds production processes are protected by patents and obtaining the production rights presents a high cost. The objective of this work is to develop the design of a device for counting the titanium tubes and silver wires used in making the seeds of iodine-125, this goal was achieved by establishing a methodology for the placement of silver wires and the movement for the counting process. Thus, it was designed, built and used a new device that is now fully operational. Stepper motors, and optical sensors were used to assist in the automation of the assembly process.

KEY WORDS: Brachiterapy, Iodine Seeds, Cancer, Source Production, Automation.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 A ocorrência de Câncer no Brasil	9
1.2 Câncer de Próstata.....	10
1.2.1 Câncer de próstata no Brasil	11
1.2.2 Tratamento do câncer de próstata	12
1.2.2.1 Teleterapia.....	12
1.2.2.2 Braquiterapia.....	12
1.3 Sementes de ^{125}I	13
1.3.1 Etapas de produção das sementes de ^{125}I	20
2 - OBJETIVOS.....	23
3 – REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3.1 A História da Braquiterapia	24
3.2 Automação.....	25
3.3 Motor de Passo	25
3.3.1 Emprego.....	26
3.4 Sensores Óticos	27
3.4.1 Sensores Óticos de barreira	28
3.4.2 Sistema Reflexivo	28
3.4.3 Sistema por difusão.....	29
3.4.4 Sistema por difração	30
3.5 Software CAD	31
3.6 Vácuo.....	33
3.6.1 O que é vácuo?.....	33
3.6.2 As unidades de medida de vácuo	33
3.6.2.1 Medidas de Pressão	33
3.6.3 Como o vácuo é caracterizado	34
3.6.4 Aplicações Científicas e Tecnológicas do Vácuo.....	37
3.6.4.1 Outras aplicações do uso da Tecnologia do Vácuo	37
4 – MATERIAIS E METODOS	38
4.1 Estrutura, Equipamentos e componentes usados na fabricação do dispositivo....	38
4.2 Concepção do primeiro modelo do contador.....	38

4.3 Primeiro experimento	39
4.3.1 Discussão e observações	40
4.4 Segundo experimento	40
4.4.1 Resultado	41
4.4.1 Discussão e observações	41
4.5 Estudos de ângulo de caída.....	41
4.6 Experimentos para verificação do comportamento dos fios de prata controlando a queda dos fios	42
4.6.1 Resultado	43
4.6.2 Discussão e observações	43
4.7 Trabalhando com os fios de prata de maneira ordenada	44
4.7.1 Discussão e observações	46
4.8 Dimensão dos fios de prata.....	47
4.9 Posicionamento horizontal dos fios de prata	49
4.10 Testes e ajustes para operação do dispositivo	51
4.10.1 Colocação dos fios de prata no disco estriado	51
4.10.2 Testes de operação manual do dispositivo.....	53
4.10.2.1 Resultados e observações.....	53
4.11 Operação automatizada do dispositivo	54
4.11.1 Testes de Sincronismo	54
4.11.1.1 Resultados	55
4.11.2 A contagem dos fios de prata.....	55
4.11.2.1 Observações	56
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
6 – CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1 – INTRODUÇÃO

Câncer é o nome dado a um conjunto de mais de 100 doenças que têm em comum o crescimento desordenado de células, que invadem tecidos e órgãos. É uma das doenças que causa mais mortes a vários séculos, tornando-se um dos grandes problemas que afetam a saúde pública, em especial nos países em desenvolvimento, onde o índice de ocorrência é maior (INCA, 2016).

A estimativa mundial, realizada em 2012, pelo projeto Globocan/Iarc, apontou que, dos 14 milhões de casos novos estimados, mais de 60% ocorreram em países em desenvolvimento (Fig. 1). Para a mortalidade, a situação agrava-se quando se constata que, dos 8 milhões de óbitos previstos, 70% ocorreram nesses mesmos países (INCA, 2016).

Os tipos de câncer mais incidentes no mundo foram pulmão (1,8 milhão), mama (1,7 milhão), intestino (1,4 milhão) e próstata (1,1 milhão). Nos homens, os mais frequentes foram pulmão (16,7%), próstata (15,0%), intestino (10,0%), estômago (8,5%) e fígado (7,5%). Em mulheres, as maiores frequências encontradas foram mama (25,2%), intestino (9,2%), pulmão (8,7%), colo do útero (7,9%) e estômago (4,8%) (INCA, 2016).

FIGURA 1: Incidência e mortalidade por câncer no mundo (“Fact Sheets by Cancer”).

1.1 A ocorrência de Câncer no Brasil

A estimativa para o Brasil, biênio 2016-2017, aponta a ocorrência de cerca de 600 mil casos novos de câncer. Excetuando-se o câncer de pele não melanoma (aproximadamente 180 mil casos novos), ocorrerão cerca de 420 mil casos novos de câncer. O perfil epidemiológico observado assemelha-se ao da América Latina e do Caribe, onde os cânceres de próstata (61 mil) em homens e mama (58 mil) em mulheres serão os mais frequentes (Tab. 1). Sem contar os casos de câncer de pele não melanoma,

os tipos mais frequentes em homens serão próstata (28,6%), pulmão (8,1%), intestino (7,8%), estômago (6,0%) e cavidade oral (5,2%) (INCA, 2016).

TABELA 1: Estimativas para 2016 de casos novos de câncer, por Estado*

Estados	Próstata	Mama Feminina	Cólon e Reto	Traqueia, Brônquio e Pulmão	Estômago	Colo do Útero	Cavidade Oral
Acre	110	70	20	50	60	70	20
Amapá	80	50	30	30	60	80	20
Amazonas	520	440	230	300	400	680	100
Pará	1.010	830	420	430	690	820	210
Rondônia	290	190	90	140	130	110	40
Roraima	70	50	20	30	30	30	20
Tocantins	390	180	110	110	80	180	40
Alagoas	560	520	150	210	160	300	170
Bahia	3.910	2.760	1.260	1.040	1.100	1.180	860
Ceará	2.550	2.160	860	1.060	1.270	960	540
Maranhão	1.050	650	270	360	370	970	130
Paraíba	1.040	800	270	330	410	330	260
Pernambuco	2.750	2.550	940	970	850	970	600
Piauí	890	580	250	280	210	410	140
Rio Grande do Norte	930	720	300	350	360	290	240
Sergipe	610	450	170	190	150	220	130
Distrito Federal	840	1.020	570	310	270	270	160
Goiás	2.070	1.680	940	800	510	600	380
Mato Grosso	1.040	710	330	340	270	360	180
Mato Grosso do Sul	1.100	820	490	360	290	330	170
Espírito Santo	1.180	1.010	650	480	440	300	380
Minas Gerais	5.920	5.160	3.040	2.320	1.990	1.030	1.610
Rio de Janeiro	5.970	8.020	4.660	2.920	1.780	1.490	1.980
São Paulo	12.730	15.570	11.600	6.770	4.920	2.120	4.360
Paraná	5.260	3.730	2.330	2.270	1.530	860	1.120
Rio Grande do Sul	6.000	5.210	3.190	4.240	1.340	870	1.110
Santa Catarina	2.330	2.030	1.090	1.530	850	510	520
Brasil	61.200	57.960	34.280	28.220	20.520	16.340	15.490

*Números arredondados para múltiplos de 10.

**Número de casos menor que 15.

1.2 Câncer de Próstata

O câncer de próstata se apresenta como o mais comum entre os homens em todo o mundo. De acordo com dados estimativos de 2012, aproximadamente 1 milhão de casos novos foram esperados no mundo para este câncer (Fig. 2). Aproximadamente 70% dos casos diagnosticados ocorrem em regiões mais desenvolvidas (PAKZAD et al., 2015). As mais altas taxas de incidência são observadas na Austrália/Nova Zelândia, Europa Ocidental e América do Norte (INCA, 2016).

FIGURA 2: Sistema urinário detalhando o câncer de próstata

1.2.1 Câncer de próstata no Brasil

Estimam-se 61.200 casos novos de câncer de próstata para o Brasil em 2016 (Fig. 3). Esses valores correspondem a um risco estimado de 61,82 casos novos a cada 100 mil homens.

Sem considerar os tumores de pele não melanoma, o câncer de próstata é o mais incidente entre os homens em todas as Regiões do país.

Localização Primária	Casos	%	Homens	Mulheres	Localização Primária	Casos	%
Próstata	61.200	28,6%			Mama feminina	57.960	28,1%
Traqueia, Brônquio e Pulmão	17.330	8,1%			Colón e Reto	17.620	8,6%
Colón e Reto	16.660	7,8%			Colo do útero	16.340	7,9%
Estômago	12.920	6,0%			Traqueia, Brônquio e Pulmão	10.890	5,3%
Cavidade Oral	11.140	5,2%			Estômago	7.600	3,7%
Esôfago	7.950	3,7%			Corpo do útero	6.950	3,4%
Bexiga	7.200	3,4%			Ovário	6.150	3,0%
Laringe	6.360	3,0%			Glândula Tireoide	5.870	2,9%
Leucemias	5.540	2,6%			Linfoma não Hodgkin	5.030	2,4%
Sistema Nervoso Central	5.440	2,5%			Sistema Nervoso Central	4.830	2,3%

*Números arredondados para múltiplos de 10.

FIGURA 3: Distribuição proporcional dos dez tipos de câncer por gênero mais incidentes estimados para 2016

1.2.2 Tratamentos do câncer de próstata

O tratamento do câncer de próstata pode ser feito através de cirurgia, radioterapia ou quimioterapia (KLEIN et al., 2009). Em muitos casos, é necessário combinar mais de uma modalidade (TAKIZAWA et al., 2009).

A radioterapia é um tratamento no qual se utilizam radiações para destruir um tumor ou impedir que suas células aumentem. Estas radiações não são vistas, e durante a aplicação o paciente não sente nada (DULANEY et al., 2016). A radioterapia pode ser usada em combinação com a quimioterapia ou outros recursos no tratamento dos tumores (“INCA - Câncer - Tratamento”).

No tratamento do câncer de próstata, a terapia com radiação pode ser de dois tipos:

1.2.2.1 Teleterapia: É o tipo mais utilizado, feito com feixe de radiação externo onde a próstata e os tecidos vizinhos são tratados por um feixe de radiação proveniente de um acelerador linear ou de outra fonte de radiação (Fig. 4).

FIGURA 4: Tratamento por Radioterapia

1.2.2.2 Braquiterapia: Método radioterápico que vem sendo bastante utilizado em estágios iniciais e intermediários da doença, consiste na introdução de sementes contendo o radioisótopo ^{125}I ou ^{103}Pd no interior do órgão, próximas ao tumor, afetando ao mínimo outros órgãos nas proximidades (JUNIOR, 2013). Atualmente, o isótopo radioativo ^{125}I é um dos mais usados em braquiterapia prostática. Neste procedimento a

ocorrência de efeitos colaterais é menor, 85% dos pacientes até 70 anos de idade permanecem ativos após o implante e também a incontinência urinária raramente é afetada (RODRIGUES et al., 2013). Apesar de não muito comum, o câncer de próstata pode ser tratado com fontes de Irídio-192 de alta taxa de dose.

O procedimento de introdução das sementes é realizado em conjunto com o Urologista e o Radioterapeuta para o posicionamento correto de cada agulha observando o posicionamento das mesmas através da imagem num aparelho de ultrassom através de um monitor de computador com imagens em tempo real. As sementes são inseridas em toda a próstata, são inseridas entre 80 e 120 sementes através de 20 a 30 inserções de agulhas (Fig. 5).

Este procedimento exige alta precisão de posicionamento das sementes de forma que a radiação emitida pelas sementes atinja toda a região do câncer de próstata, matando as células cancerosas.

FIGURA 5: Detalhes de um implante usando sementes de ^{125}I

1.3 Sementes de ^{125}I

As sementes apresentam dimensões pequenas e todas são compostas de uma cápsula de titânio (ZHAO et al., 2009) de 0,8 mm de diâmetro externo, 0,05 mm de espessura de parede e 4,7 mm de comprimento (Fig. 6).

FIGURA 6: Desenho ilustrativo da semente de ^{125}I e comparativo de tamanho

A estrutura interna varia de modelo para modelo. No caso das sementes utilizadas no Brasil, utiliza-se um fio de prata como substrato. Todas as sementes são encapsuladas em titânio, pois esse elemento é um material inerte, que não causa rejeição quando em contato direto com o tecido humano sendo classificado como material biocompatível (JUNIOR, 2013). A atividade típica das sementes de ^{125}I é de 0,5 mCi (18,50 MBq).

O implante de sementes de ^{125}I permanente apresenta uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais, pois o método é associado a baixas taxas de impotência sexual e incontinência urinária e os pacientes podem retornar à atividade normal, inclusive trabalho de um a três dias com pouca ou nenhuma dor.

No mercado internacional, o custo mínimo da semente é de US\$ 16,00 e a quantidade de sementes requeridas por implante é de 80 a 120 unidades. No Brasil, os implantes são realizados com sementes importadas. O IPEN-CNEN/SP estabeleceu um projeto para desenvolvimento e produção das sementes de ^{125}I (CHUERY, 2005).

Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos são os principais fabricantes de sementes no mundo (WALLACE, 2005). As sementes diferem no processo utilizado na produção, sendo exclusivos e protegidos por patentes, tornando a sua reprodução proibida ou onerosa devido aos *royalties* de propriedade industrial, inviabilizando comercialmente a sua industrialização em outros países (POMMIER et al., 2013). Nenhuma dessas patentes é de domínio público (Fig. 7 a Fig. 14). Estas figuras foram retiradas da literatura sem nenhuma modificação.

FIGURA 7: Uromed Corporation – Symetra ^{125}I .

Consiste de uma cápsula de titânio selada a laser, contendo no seu interior um fio de ouro-rádio opaco que possibilita contraste e uma camada de cerâmica com ^{125}I (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 8: Best Medical International – 2301

A parte externa é composta por um revestimento duplamente encapsulado de titânio selado a laser. O interior acomoda um marcador de tungstênio e o ^{125}I adsorvido em um substrato não especificado (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 9: SourceTech Medical – Implant.

A capsula é de titânio selada a laser. A parte interna de um fio de ouro como marcador, uma camada de alumínio e uma cobertura de cobre. Não especifica como está distribuído o ^{125}I (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 10: Amersham 6711 Oncoseed.

Apresenta um núcleo de prata rádio-opaco, onde o ^{125}I está adsorvido e a capsula externa é de titânio com selagem a laser (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 11: Mentor – loGold.

A fonte de braquiterapia consiste de uma capsula de titânio selada a laser, contendo ^{125}I adsorvido em quatro esferas de resina. O corpo da cápsula contém também duas esferas de ouro inativo que servem como marcadores, para identificar e localizar a fonte (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 12: Syncor Pharmaseed BR ^{125}I .

Consiste de uma capsula de titânio selada a laser, contendo no seu interior um fio de paládio radio-opaco coberto por uma camada de $0,5\mu\text{m}$ de ^{125}I (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 13: Med-Tec – I-Plant 3500.

A capsula é de titânio selada a laser. O ^{125}I está adsorvido em um cilindro cerâmico e no seu interior está alojado um fio de prata que é utilizado com traçador (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

FIGURA 14: Uro-Cor – Prostaseed.

A fonte consiste em uma cápsula de titânio selada a laser. No seu interior estão depositadas 5 esferas de rádio-opaco onde o ^{125}I está adsorvido (HEINTZ; WALLACE; HEVEZI, 2001).

Devido à proibição em repetir os procedimentos de fabricação das sementes e a inviabilidade econômica neste processo, torna-se importante o desenvolvimento de novos processos para que seja atendida a demanda do Brasil e também minimize consideravelmente a dependência externa.

Com a diminuição da dependência externa na produção de sementes, os custos para obtenção das mesmas diminuem consideravelmente, permitindo um acesso maior da população aos benefícios que este tratamento pode proporcionar.

O domínio da tecnologia da confecção das sementes de ^{125}I no Brasil foi obtido em duas etapas: o desenvolvimento da metodologia da adsorção do material radioativo no substrato de prata (CHUERY, 2005) e o desenvolvimento do processo de selagem da semente utilizando a soldagem a plasma (FEHER, 2006).

Nas dependências do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do Ipen, está instalado em um dos laboratórios uma unidade para produção de sementes de ^{125}I (Fig. 15), a obtenção das sementes é obtida através de uma sequência de operações realizadas com os tubos de titânio e os fios prata, dentre as operações realizadas na produção verificamos o processo de contagem e transporte dos tubos de titânio e dos fios de prata, este processo deve ser realizado utilizando-se a automação dentro da unidade (SOMESSARI, 2010).

FIGURA 15: Unidade de produção de sementes de ^{125}I no Ipen

1.3.1 Etapas de produção das sementes de Iodo-125

A produção demanda prazo de pelo menos 2 semanas entre o pedido e a entrega das sementes a transportadora.

Os procedimentos serão:

1. Na quinta feira, de acordo com os pedidos de sementes, requisitar ao setor de compra do IPEN por e-mail a aquisição de iodo-125 em solução com uma folga de 100%. Ou seja, requisitar pelo menos o dobro da atividade total das sementes pedidas. Isso é necessário pois, a eficiência global de produção, incluindo o decaimento radioativo do material é um pouco maior que 55%.
2. O setor de compras do IPEN requisita ao fabricante escolhido, que embarcará o material radioativo na sexta-feira de manhã.
3. Durante o fim de semana, o setor de compras do IPEN desembaraça este material na alfândega e transporta para o IPEN colocando-o no *pass-through* existente no almoxarifado da sala 50.
4. Com o acompanhamento da proteção radiológica, este material é transportado para o laboratório de produção de sementes de iodo-125.

Os procedimentos operacionais para produção das sementes no laboratório serão:

1. O material é colocado dentro do Sistema de abertura e selagem (SAS) ligado a *glove-box* 1.
2. Checam-se todos os sistemas e equipamentos internos da *glove-box* (pressão do ar comprimido, vácuo, depressão na célula, núcleos de prata preparados), para que a operação ocorra sem falhas. Caso algum item não esteja a contento, corrigir antes de proceder a abertura da blindagem que já está posicionada dentro do SAS.
3. Dispensa da solução de iodo-125, transferindo todo o material colocado no SAS de entrada da célula 1 para o interior da célula 1 e fechar a tampa do SAS de entrada da célula 1.
4. Colocação de núcleos de prata em cada frasco posicionado no carrossel, utilizando o contador nesta operação.
5. Dispensar a solução radioativa em todos os frascos posicionados no carrossel.
6. Adsorção do iodo-125 nos núcleos de prata.
7. Secagem dos fios de prata por 26 horas.

8. Selagem das sementes de iodo-125 usando solda laser (Fig. 16)
9. Colocação da semente soldada em frascos por um dispositivo pneumático para início dos testes de estanqueidade (Fig. 17)
10. Medição de Atividade.

FIGURA 17: Fluxograma de processo dos ensaios de estanqueidade (MOURA, 2009)

2 – OBJETIVOS

- Desenvolver a metodologia de contagem dos tubos de titânio e desenvolver a metodologia de contagem dos fios de prata necessários para a produção das sementes de ^{125}I .
- Projetar e construir um dispositivo automático para contagem de tubos de titânio e fios de prata.
- Desenvolver e analisar os procedimentos operacionais para a operação do dispositivo.
- Teste para validação do sistema.
- Aperfeiçoar a operação e utilização deste dispositivo.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A História da Braquiterapia

As propriedades biológicas da radiação surgiram com os primeiros pesquisadores da radioatividade, através da exposição das mãos à radiação apareciam dermatites, o que os levou a especular do uso do Raio-X com finalidade terapêutica, semelhante ao da luz solar (SOUZA, 2009).

A combinação de Raios-X e de rádio foi aplicada, a seguir, no tratamento de diversas lesões de cabeça e pescoço, tumores de rinofaringe, carcinoma de estômago, tumores de pele e em diversos processos inflamatórios (SOUZA, 2009).

Os braquiterapeutas pioneiros limitavam-se a inserir grandes tubos de Rádio, dentro do tumor, por um certo período, e retirá-los posteriormente. O primeiro sucesso da braquiterapia foi relatado em 1903, em St. Petersburg, por Goldberg e London, que trataram dois pacientes com carcinoma basocelular da região facial. A partir de 1904, descrevem-se as primeiras aplicações de rádio para tratamento das neoplasias do colo do útero (SOUZA, 2009).

Em 1914, Stevenson e Joly desenvolveram a técnica do uso de sulfato de Rádio puro, construindo, portanto, as primeiras agulhas de rádio feitas de aço e platina (SOUZA, 2009).

Nos anos 30, foi desenvolvido um sistema didático de braquiterapia, com base na nova unidade radiação - o Röntgen (R) - como as regras e as tabelas de distribuição de fontes intersticiais de Rádio e diferentes atividades lineares (SOUZA, 2009).

De 1950 a 1960, durante a nova era atômica, foi possível a obtenção de novos radioisótopos e foram desenvolvidos novos métodos de *afterloading* (carregamento) para proteger os médicos e todo o pessoal envolvido na braquiterapia (SOUZA, 2009).

As primeiras sementes de ^{125}I foram desenvolvidas em 1967, com a patente de Lawrence, sob o título “*Therapeutic metal seed containing within a radioactive isotope disposed on a carrier and method of manufacture*”. Em poucos anos a tecnologia foi vendida para a 3M Corporation e depois para a Amersham International que permaneceu como única fornecedora de sementes radioativas para implantes permanentes até 1987. A segunda patente obtida, foi a de Kubiawicz (de título “*Radioactive iodine seed*”), em que são descritos quatro exemplos de deposição de ^{125}I em prata para confecção da

semente. Este modelo de semente é utilizado até hoje (Modelo 6711 da GE- Healthcare) (SOUZA, 2009).

Em 1972 o grupo de Whitmore do "Memorial Sloan-Kettering Cancer Center", nos Estados Unidos realizou estudos com as sementes de ^{125}I . A equipe obteve resultados favoráveis na redução da incontinência urinária e na impotência. Entretanto, evidenciaram que o método não permitia uma distribuição uniforme da dose de radiação na próstata (SOUZA, 2009).

A partir de 1983, novos avanços como o auxílio do ultrassom transretal e a tomografia computadorizada, impulsionaram o desenvolvimento da braquiterapia. Foi desenvolvido o implante permanente de sementes de ^{125}I para tratamento de câncer da próstata. O tratamento ficou mais seguro e preciso (SOUZA, 2009).

3.2 Automação

A palavra automação é proveniente do latim *automatus* e significa mover-se por si. Diversas definições estão disponíveis, mas, em resumo, automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas com o objetivo de tornar um processo mais eficiente, maximizando a produção com menor gasto de energia e gerando maior segurança. Entendemos por gasto de energia a aplicação de mão de obra especializada em atividades de baixa geração de valor, gasto de tempo, desperdícios etc. (CAMPANA; OPLUSTIL, 2011).

A ideia de automação está diretamente ligada à ideia das máquinas, que agilizam as tarefas quase sempre sem a interferência humana.

A automação mecanizada é aquela que faz uso de sensores, sistemas de computação (software) e sistemas mecânicos, monitorada e controlada pelo ser humano.

3.3 Motor de Passo

Os Motores de Passo (Fig. 18) são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares,

denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste (SANTOS, 2008).

A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados (SANTOS, 2008).

FIGURA 18: Perspectiva explodida de um motor de passo

3.3.1 Emprego

Um motor de passo pode ser uma boa escolha sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades - ao contrário da maioria dos outros motores elétricos - mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso este é amplamente usado em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial entre outros dispositivos eletrônicos que requerem de precisão (SANTOS, 2008).

3.4 Sensores Óticos

São Sensores cujo funcionamento baseia-se na emissão de um feixe de luz, o qual é recebido por um elemento fotossensível, basicamente são divididos em três sistemas: Barreira, Difusão e Reflexão, são utilizados em diversas áreas: Industrial em sistema automáticos e de segurança pessoal, residencial e predial como alarmes (“MecaWeb - Sensores Óticos”).

Na indústria são muito utilizados, por exemplo, em sistemas de contagem de peças, determinação de fim de curso, e sistemas de segurança, os sensores em geral incluindo os sensores óticos podem ser encontrados em duas versões PNP, e NPN, já que são em sua grande maioria baseados em transistores (“MecaWeb - Sensores Óticos”).

A grande vantagem desse tipo de sensoriamento é o não contato com o sistema que será monitorado, desta forma são evitados problemas mecânicos e permite, por exemplo, que a leitura (contagem de peças, etc.) seja feita em movimento, o que garante que o sensoriamento ocorra sem interrupção do processo de fabricação (“MecaWeb - Sensores Óticos”).

Os encapsulamentos são os mais diversos, porem o mais comum é o cilíndrico (Fig. 19).

FIGURA 19: Sensor ótico cilíndrico

3.4.1 Sensores Ópticos de Barreira

Baseia-se na interrupção ou incidência de um feixe luminoso sobre um fotorreceptor, o qual provoca uma ação (comutação) eletrônica. A radiação é proveniente da emissão de raios infravermelhos em grande parte das aplicações, bem como laser (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

Para conseguir máxima eficiência a luz é modulada ou pulsada a uma frequência máxima de 1,5khz, frequência que será interpretada por um receptor óptico sincronizado a essa frequência o que imuniza o sistema de interferências da recepção luminosa ambiente (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

É um sistema formado por sensores alinhados:(Fig. 20)

FIGURA 20: Detalhe do alinhamento dos sensores

Além das aplicações habituais, como contagem de peças, proteção do operador, etc., o sistema pode trabalhar com emissão de luz visível, para sistemas de alarme tanto em ambientes internos quanto externos, formando uma barreira que ao ser interrompida, pode causar diversos acionamentos no sistema (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

3.4.2 Sistema Reflexivo

É um sistema formado pelo dispositivo emissor de luz e dispositivo receptor montado no mesmo conjunto, neste caso o feixe de luz emitido é refletido em uma superfície refletora e retorna ao ponto de origem atingindo o dispositivo receptor que está ao lado do dispositivo emissor (Fig. 21) (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

FIGURA 21: Diagrama de blocos do Sistema Reflexivo

Os tipos reflexivos ou por difusão são comumente utilizados onde um espelho ou a própria peça a ser detectada reflete os raios infravermelhos. Evidentemente que as peças não poderão ter suas superfícies opacas, já que prejudicarão a detecção. Os sensores ópticos pelo sistema a de barreira possuem um alcance maior que os reflexivos, chegando a distâncias de até 200 metros, enquanto os reflexivos e por difusão a apenas 10 metros (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

3.4.3 Sistema por difusão

No sistema por difusão, os elementos de emissão e recepção infravermelho estão montados justapostos em um mesmo conjunto óptico, direcionados para a face sensível do sensor (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

Os raios infravermelhos emitidos pelo transmissor refletem sobre a superfície de um objeto e retornam em direção do receptor, a uma distância determinada (distância de comutação), que provoca o chaveamento eletrônico, desde que o objeto possua uma superfície não totalmente fosca e permita a reflexão (Fig. 22) (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

FIGURA 22: Diagrama de blocos do Sistema por difusão

3.4.4 Sistema por difração

Neste sistema os elementos de emissão e recepção infravermelho estão montados justapostos assim como o de difusão em um único conjunto óptico, direcionados para um prisma, o feixe de luz retorna em direção do receptor (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

Quando este prisma, por exemplo, é mergulhado em qualquer líquido translúcido, os raios infravermelhos se dispersam, desviando assim a sua trajetória ocasionando uma comutação eletrônica (Fig. 23) (“MecaWeb - Sensores Ópticos”).

FIGURA 23: Diagrama de blocos do sistema por difração

3.5 Software CAD

CAD – *Computed-Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador – é um método computacional bastante utilizado na concepção de projetos de Engenharia, Arquitetura, entre outras (PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SOFTWARE INC, 2014). Tal método consiste em um *software* voltado ao desenho técnico, reunindo diversas ferramentas destinadas aos mais variados fins (“Software CAD”).

Nos primeiros anos, a utilização dos softwares de CAD restringiu-se às empresas do setor aeroespacial e pelas grandes montadoras automobilísticas, como a General Motors, por exemplo, devido ao alto custo dos computadores exigidos pelos sistemas. Tais *softwares* ainda não eram comercializados livremente no mercado, o desenvolvimento dos mesmos era particularmente voltado à demanda dos referidos setores.

Por volta de 1970, os *softwares* de CAD deixaram de ser somente objetivo de pesquisas e passaram a ser comercializados livremente. Nesta mesma época, foram desenvolvidos *softwares* de CAD 3D.

A partir de 1980, com o desenvolvimento do primeiro *Personal Computer* (PC), pela IBM e seu lançamento em 1981, as atenções foram voltadas para tal classe de computadores. A empresa Autodesk, fundada no ano de 1982, lançou em novembro do mesmo ano o primeiro programa de CAD para PCs, o “AutoCAD Release 1” (MITTA; FLORES, 1995). Em 1985 a Avions Marcel Dassault lançou a segunda versão do CATIA, comercializada pela IBM. Nessa mesma década foram desenvolvidas as estações de trabalho (microcomputadores de grande eficiência e alto custo destinado a aplicações técnicas) que funcionavam com o sistema operacional UNIX (RITCHIE; THOMPSON, 1974). A maioria os programas de CAD desenvolvidos a partir de então se destinavam ao UNIX (RITCHIE; THOMPSON, 1974). Nos anos que se seguiram até a atualidade, o desenvolvimento de softwares de CAD (Fig. 24) se deu de forma generalizada, com ofertas feitas por diversas empresas do ramo. A tecnologia vem sendo aprimorada a cada dia e com difusão da Internet no final dos anos 90, tal gênero de *software* tornou-se muito acessível ao redor do mundo, possuindo versões que podem ser utilizadas de forma gratuita (*freewares*).

FIGURA 24 - Interface do AutoCAD 2014 (Sistema Operacional Windows).

Para o modelamento 3D e os desenhos das peças foi utilizado como ferramenta de CAD o software Solid Edge, da Siemens PLM Software (“Solid Edge: Siemens PLM Software”) (Fig. 25)

FIGURA 25 – Interface do Software CAD 3D Solid Edge da SIEMENS PLM

3.6 VÁCUO

3.6.1 O que é o vácuo?

Vácuo é geralmente definido como espaço vazio, ou espaço absolutamente desprovido de matéria. No meio industrial vácuo é considerado um espaço parcialmente esvaziado (até o mais alto grau possível), através de meios artificiais, como por uma bomba de ar. Outra definição diz que é o grau de rarefação abaixo da pressão atmosférica (“Vácuo » Laboratório de Vácuo e Criogenia”).

Em 1643, Evangelista Torricelli criou o primeiro vácuo da história produzido pelo homem, enchendo um tubo de vidro de 1,20m, fechado em um dos lados, com mercúrio e emborcando-o em um recipiente cheio de mercúrio. Com isso 760 mm de mercúrio permaneceram no tubo (“Vácuo » Laboratório de Vácuo e Criogenia”).

Em um sistema de ar comprimido, o aumento da pressão do ar cria a força motriz. Em um sistema a vácuo, a pressão do ar é reduzida para níveis abaixo da pressão atmosférica, de modo que a pressão mais elevada da atmosfera vizinha é usada para criar a força motriz (“Vácuo » Laboratório de Vácuo e Criogenia”).

A pressão é reduzida para níveis de vácuo devido à remoção de porções de moléculas de ar de um sistema fechado. Ao evacuar o ar do sistema fechado, desenvolve-se uma pressão diferencial entre o sistema e a atmosfera vizinha. Pode-se dizer, então, que o volume disponível para as moléculas aumentou (“Vácuo » Laboratório de Vácuo e Criogenia”).

3.6.2 As unidades de medida de vácuo

3.6.2.1 Medidas de Pressão

A pressão é definida como sendo a força exercida por unidade de área. No caso da pressão de um gás essa pressão é produzida pelo choque das moléculas do ar com as paredes do recipiente (STEMPNIAK, 2002).

A pressão depende do número de moléculas por unidade de volume e da agitação térmica dessas moléculas. Quanto maior a temperatura, maior é a agitação das moléculas e maior é o número de choques que essas moléculas têm com as paredes do recipiente. No Sistema Internacional (SI) a unidade de pressão é o pascal, definido como sendo a pressão correspondente a um newton por metro quadrado que é denominada pascal (1 Pa) em homenagem ao físico Pascal. Esta é a unidade de pressão que deve ser utilizada (STEMPNIAK, 2002).

Historicamente, entretanto, os físicos e engenheiros se acostumaram com outras unidades, ainda utilizadas. Uma delas é a altura da coluna de mercúrio em um barômetro cuja origem remonta ao tempo de Torricelli. Mais tarde com o advento do Sistema Métrico Decimal a unidade foi definida como: um milímetro de mercúrio (mm Hg) que às vezes é denominado um Torricelli (1 Torr) em homenagem a Torricelli. Outras unidades ainda em uso são a atmosfera e o bar. Não há outra justificativa para o uso de unidades diferentes do pascal exceto pelo hábito e porque alguns instrumentos de medição ainda usam unidades estranhas ao SI (STEMPNIAK, 2002).

3.6.3 Como o vácuo é caracterizado

Não existe vácuo perfeito. Por mais eficiente que seja o sistema, por mais avançadas que sejam as bombas de vácuo utilizadas, por mais cuidadoso que seja o sistema de juntas e soldas sempre há um pequeno vazamento e a pressão chega a um valor mínimo que não pode ser mais reduzida. A tecnologia de vácuo progrediu muito nos últimos anos com novos tipos de bombas e novos materiais a serem utilizados como vedantes, hoje, é possível atingir pressões da ordem de 10^{-12} Torr nos melhores sistemas. Nem sempre, porém é necessário produzir o melhor vácuo possível. Para cada processo procura-se obter o vácuo adequado ao que se quer (STEMPNIAK, 2002).

Para se especificar adequadamente o sistema de vácuo é necessário o estudo das propriedades dos gases a baixa pressão, cujos fundamentos foram estabelecidos nos meados do século XIX, por James Clerk Maxwell, na Teoria Cinética dos Gases. Essa teoria se baseia na aplicação das leis da Mecânica às moléculas em seu movimento e na sua interação com as paredes do recipiente do gás (STEMPNIAK, 2002).

Na Teoria Cinética dos Gases os parâmetros mais importantes são: a quantidade de moléculas por unidade de volume, a temperatura, a velocidade média e a distância média que as moléculas percorrem sem colidir umas com as outras (caminho livre médio) (STEMPNIAK, 2002).

Por mais eficiente que seja o sistema, sempre sobram moléculas do gás originalmente existente no recipiente. A quantidade de moléculas que restam, por unidade de volume, pode ser utilizada para caracterizar o vácuo. À medida que o vácuo se torna mais perfeito, isto é, quanto menor a pressão, há um número cada vez menor de moléculas por unidade de volume. A pressão do gás está relacionada com os choques por unidade de tempo que essas moléculas têm com as paredes do recipiente. Quanto melhor o vácuo essas colisões se tornam menos frequentes e, da mesma forma, as colisões entre as próprias moléculas acontecem menos. Estas colisões, entre duas moléculas, são caracterizadas pela distância que as moléculas podem percorrer, em média, entre duas colisões sucessivas, grandeza que os físicos chamam de “caminho livre médio”. À pressão atmosférica normal temos cerca de 2×10^{19} moléculas por centímetro cúbico. Se a pressão for aproximadamente um milionésimo da pressão atmosférica normal o número de moléculas ainda é bem grande: 3×10^{13} por cm^3 e, mesmo na situação de um dos melhores vácuos que podem ser feitos tecnicamente ou seja 10^{-9} mm de Hg, ainda temos cerca de 30 milhões de moléculas em um centímetro cúbico (STEMPNIAK, 2002)

O caminho livre médio é a principal referência para os pesquisadores que precisam utilizar o vácuo em seus trabalhos porque, muitas vezes, a presença do ar pode representar um empecilho para o movimento de outras partículas em que o cientista está interessado. É o caso, por exemplo, de um tubo de televisão (“tubo de raios catódicos”) onde elétrons emitidos da parte de trás do tubo devem chegar até a tela. Se a pressão não for muito baixa, os elétrons não conseguem atingir diretamente a tela para formar a imagem devido à alta probabilidade de colisões com as moléculas presentes. Por isso é preciso reduzir a pressão de modo que o caminho livre médio seja muito maior do que o tamanho do tubo de imagem do televisor e assim os elétrons possam chegar sem problemas à tela. A tabela 1 mostra a relação entre a pressão e os parâmetros mencionados (STEMPNIAK, 2002).

TABELA 1: Parâmetros para vários tipos de vácuo

	Pressão Atmosférica	Médio vácuo	Alto vácuo	Ultra alto vácuo	Ultra alto vácuo
Pressão (Torr)	760	10^{-3}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-9}
Número de moléculas por cm^3	2×10^{19}	3×10^{13}	3×10^{10}	3×10^8	3×10^7
Número de moléculas por segundo que bombardeiam as paredes	3×10^{23}	4×10^{17}	4×10^{14}	4×10^{12}	4×10^{11}
Caminho livre médio entre as colisões (cm)	$6,5 \times 10^{-6}$	5	500	5×10^5	5×10^6

Devemos levar em conta que o gás com que estamos trabalhando geralmente é o ar, cuja composição é: nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio (0,9%) e, em menor proporção, gás carbônicos, neônio, hélio, metano, criptônio, hidrogênio, óxido nítrico e xenônio (STEMPNIAK, 2002).

As pessoas que utilizam sistemas de vácuo precisam conhecer as bombas necessárias (Fig. 26) para atingir a pressão exigida, saber medir a pressão com bastante segurança e conhecer os materiais necessários para suportar os efeitos externos e os materiais necessários para vedar os recipientes a fim de que o ar externo não penetre (STEMPNIAK, 2002).

FIGURA 26: Modelo de bomba de Vácuo

3.6.4 Aplicações Científicas e Tecnológicas do Vácuo

As aplicações do vácuo são muitas. Na tecnologia moderna grande parte dos produtos tem de uma ou outra forma a influência de processos em que há necessidade de se fazer algum tipo de vácuo. Começemos pelas embalagens “a vácuo” de café, carne, requeijão e geléias. Muitas vezes um ambiente com baixa pressão é necessário, para facilitar a abertura dessas embalagens, outras a conservação dos produtos depende de um menor teor de oxigênio para se reduzir as possibilidades de oxidação. A liofilização de produtos é feita por técnicas de vácuo (STEMPNIAK, 2002).

3.6.4.1 Outras aplicações do uso da Tecnologia do Vácuo

- Garrafa térmica (“James Dewar”)
- Lâmpada incandescente (“Mission - The Edison Papers”)
- Eletrônica
- Filmes Finos (TATSCH, 2000)
- Estrutura da Matéria
- Lasers
- Células Solares

Muitos outros assuntos poderiam ser comentados, ainda:

- o estudo do espaço cósmico onde um vácuo muito melhor que os melhores sistemas na Terra podem produzir existe entre os astros oferece uma possibilidade interessante de estudo do vácuo;
- no nosso próprio corpo temos uma bomba de vácuo representada pelos pulmões;
- a fabricação de medicamentos usa sistemas de vácuo no processamento e para garantir limpeza tão boa quanto possível (STEMPNIAK, 2002).

4 – MATERIAIS E METODOS

4.1 Estrutura, Equipamentos e componentes usados na fabricação do dispositivo

Para a fabricação das peças componentes do projeto do contador foi utilizada a estrutura de máquinas operatrizes existente na Divisão de Projetos e Fabricação (DPF) do Ipen, assim como os serviços de usinagem e fabricação das peças foi feita pelos profissionais da oficina da DPF (Fig. 27).

FIGURA 27: Maquinas operatrizes da oficina da DPF do Ipen e algumas peças fabricadas.

4.2 Concepção do primeiro modelo de contador

Foi apresentado como ideia inicial para concepção do projeto do dispositivo um conjunto composto de um funil, um disco seletor alojado a um bloco para condução dos fios de prata, alinhados e fixados em uma placa para a montagem do conjunto.

A operação consiste em colocar um volume estabelecido de fios de prata dentro do funil para que seja conduzido por um tubo até o disco que fará a seleção para a contagem dos mesmos (Fig. 28).

FIGURA 28: Concepção inicial do contador dos fios de prata

A partir da concepção inicial do projeto do dispositivo, iniciou-se os experimentos. Foram feitos dois funis em acrílico para estudo da passagem dos fios de prata, um com 45° e outro com 60° em relação à face superior e um orifício com 1,0 mm de diâmetro para a saída dos fios (Fig. 29).

A opção por acrílico na fabricação dos funis é devido a fácil usinagem do material, a sua transparência que auxilia na observação da disposição dos fios, baixo coeficiente de atrito, permitindo um fácil deslizamento dos fios na superfície do acrílico (BRYDSON, 1999).

FIGURA 29: Desenhos e confecção dos funis de 45° e 60°

4.3 Primeiro experimento.

Foram posicionados os dois funis em uma base e despejados os fios nos dois para verificar o comportamento dos mesmos (Fig. 30). Neste processo observamos que os

primeiros fios de prata passavam pelo orifício de passagem do funil, mas devido a velocidade de queda e ao choque entre eles o resultado foi o travamento de um sobre o outro impedindo a passagem dos demais.

FIGURA 30: Funil com detalhe dos travamentos dos fios

4.3.1 Discussão e observações

O objetivo nestes primeiros testes foi verificar o comportamento dos fios de prata no funil e se este procedimento já é o suficiente para auxiliar o contador no processo de contagem dos fios, o resultado observado é que não atende ao que o trabalho se propõe a realizar.

4.4 Segundo experimento

No segundo experimento realizado foi feito um suporte metálico de alumínio para a fixação do funil de acrílico numa posição elevada (Fig. 31). Foi fixado no corpo do funil um motor vibratório para observar o resultado aplicando vibração com as sementes dentro dele, o motor foi acionado gerando vibração e jogamos os fios para verificar o resultado.

Neste experimento não houve um estudo da vibração ideal para ser aplicada ao conjunto, usamos um motor vibratório de celular para auxílio nos trabalhos.

FIGURA 31: Imagem do funil fixado ao suporte

4.4.1 Resultado

O resultado após a realização deste segundo experimento foi o travamento dos fios, ocorrida de maneira semelhante ao resultado obtido no primeiro experimento.

4.4.2 Discussão e Observações

A posição sequencial entre um fio e outro é necessária para que o fio possa ser contado, conforme detalhamento apresentado na concepção inicial do projeto.

Depois dos resultados obtidos nos dois experimentos, optou-se pelo controle de caída dos fios de prata no funil e assim evitar o acúmulo excessivo dos fios próximos ao orifício de passagem, evitando o travamento.

4.5 Estudos de ângulo de queda no funil.

Com base nos resultados obtidos nos dois experimentos, observou-se que o comportamento foi o mesmo, ou seja, o travamento de forma semelhante dos fios de prata, após esta análise foi feito um estudo em desenho para auxiliar na obtenção do ângulo de queda ideal para que o fio de prata possa passar pelo orifício (Fig. 32).

FIGURA 32: Estudos de ângulo de caída e de diâmetro para passagem dos fios de prata

4.6 Experimentos para verificação do comportamento dos fios de prata controlando a queda dos fios.

Foi desenvolvido um dispositivo experimental, que foi acoplado ao suporte usado anteriormente, com o objetivo de fazer os fios deslizarem por um tubo com auxílio de um eixo que conduzirá os fios até um orifício lateral ao tubo para despejar os fios no funil de forma controlada (Fig. 33).

FIGURA 33: Concepção e montagem do dispositivo para os experimentos

Utilizando o mesmo suporte nos experimentos iniciais foi fixado um tubo na posição vertical acima do funil com um eixo inserido no tubo para elevação dos fios, de modo que o espaço entre as paredes do tubo e do eixo fosse ocupado pelos fios de prata. Para a movimentação do eixo foi acoplado a ele um parafuso para auxiliar no movimento de subida do eixo. Movimentando-se o eixo para cima foram realizados testes com velocidades variadas de subida (Fig. 34).

FIGURA 34: Testes com queda controlada.

4.6.1 Resultado

A queda dos fios de prata se apresentou inconstante em várias situações, foram aplicadas várias velocidades de subida do eixo. Observou-se que é necessária uma velocidade bem reduzida para que os fios passem livremente pelo orifício do funil, mesmo assim houve situações de travamento dos fios devido a quantidade inconstante de fios que cai do tubo.

4.6.2 Discussão e observações

Através das análises feitas até o momento para a definição do dispositivo, observou-se que este método de condução dos fios de prata, utilizando funil para auxiliar na operação de contagem não atende aos objetivos deste trabalho devido aos constantes travamentos dos fios no orifício de passagem.

4.7 Trabalhando com os fios de prata de maneira ordenada

Neste processo foi fabricada uma placa estriada com canais para o alojamento ordenado dos fios de prata em filas lado a lado uma da outra (Fig. 35).

FIGURA 35: Desenho ilustrativo com detalhes dos canais da placa e o fio de prata posicionado.

O objetivo foi posicionar os fios nos canais forçando a um alinhamento e posicionamento fixo na base estriada (Fig. 36).

A operação de posicionamento dos fios nos canais foi feita de forma manual, com uma moldura em volta da área estriada, movimentou-se o conjunto rapidamente de forma circular sobre uma base horizontal de modo que os fios se alojem aleatoriamente nos canais.

FIGURA 36: Fios de prata posicionados na placa

Com os fios de prata posicionados nos canais, colocou-se uma tampa de fechamento para evitar a saída dos fios (Fig. 37).

FIGURA 37: Placa estriada com a tampa de fechamento

Este conjunto é posicionado com os fios de prata alinhados na posição vertical numa guia fixa formando um conjunto que movimentara a base estriada com a tampa de modo que os fios sejam posicionados até o orifício de saída na guia fixa para serem contados (Fig. 38).

FIGURA 38: Desenho do conjunto montado

O corpo superior móvel é travado numa guia que se move lateralmente acionada com o giro de um parafuso, a cada volta completa do parafuso é posicionada uma fileira de fios para passarem no orifício (Fig. 39).

FIGURA 39: Desenho de detalhe em corte

O conjunto foi fabricado, montado e foram feitos testes com o dispositivo (Fig. 40).

Posicionou-se a placa com os fios de prata na posição vertical e com o movimento lateral do corpo superior do dispositivo, observou-se a queda dos fios de forma rápida e todos em conjunto, a cada alinhamento dos canais com o orifício de saída ocorria o mesmo.

FIGURA 40: Imagem do dispositivo montado e posicionado com os fios de prata.

4.7.1 Discussão e observações

Nos experimentos realizados utilizando a placa com os canais estriados observou-se que este procedimento ajuda no posicionamento ordenado dos fios de prata, porem a operação de condução dos fios precisa ser aperfeiçoada.

4.8 Dimensão dos fios de prata

Nas referências sobre as dimensões dos fios de prata usados em sementes de ^{125}I , as várias literaturas informam 3 mm de comprimento, porem durante os experimentos realizados com a placa estriada observou-se visualmente diferentes medidas no comprimento dos fios (Fig. 41), a partir desta observação foi então realizada a medida em um lote de 100 unidades para verificar a variação nas dimensões dos fios (Tab. 2) Utilizando-se um paquímetro com precisão de 0,02 mm foram feitas as medidas.

FIGURA 41: Observação visual dos fios e paquímetro utilizado nas medidas.

TABELA 2: Mostra das várias medidas encontradas em um lote de 100 fios de prata

DIMENSÕES OBTIDAS DE UM LOTE DE 100 FIOS DE PRATA

Nº da medida	Valor (mm)	Nº da medida	Valor (mm)	Nº da medida	Valor (mm)	Nº da medida	Valor (mm)
1	2,94	26	2,98	51	2,97	76	3,01
2	2,94	27	2,98	52	2,76	77	2,92
3	2,96	28	2,99	53	3,00	78	3,00
4	2,54	29	2,98	54	2,94	79	3,00
5	3,02	30	2,98	55	2,97	80	2,88
6	3,00	31	2,92	56	2,97	81	1,64
7	2,98	32	2,96	57	2,88	82	2,96
8	2,98	33	3,00	58	2,96	83	2,96
9	3,02	34	2,94	59	2,96	84	2,98
10	2,96	35	3,00	60	2,98	85	2,98
11	2,96	36	2,98	61	3,00	86	2,98
12	2,91	37	3,00	62	2,92	87	2,66
13	2,92	38	2,98	63	2,96	88	2,96
14	3,00	39	3,02	64	2,96	89	2,90
15	2,98	40	2,95	65	3,00	90	2,98
16	3,00	41	2,98	66	2,98	91	2,96
17	2,98	42	2,92	67	2,92	92	2,99
18	3,02	43	2,90	68	3,00	93	2,95
19	3,00	44	2,96	69	3,02	94	2,99
20	2,98	45	3,02	70	3,00	95	2,98
21	3,02	46	2,22	71	3,00	96	3,02
22	2,96	47	2,98	72	2,94	97	2,96
23	2,90	48	3,00	73	2,94	98	2,96
24	2,96	49	3,08	74	2,98	99	2,96
25	2,97	50	3,02	75	3,00	100	3,00

A partir da verificação das medidas obtidas nos fios de prata, constatou-se que seriam necessárias alterações na concepção do projeto inicial.

Nas medidas apresentadas nos fios observou-se medidas entre 1,64 mm (mínima) e 3,08 mm (máxima). A maioria dos fios se encontra numa tolerância de medida aceitável no comprimento que permite o processo de contagem através do disco seletor conforme detalhado no projeto conceitual inicial, porem devido as variações de medidas encontradas ser grande, fica descartada a utilização de um disco seletor na condução dos fios de prata pois esta situação de comprimentos diferentes vai causar travamentos futuros numa operação com os fios (Fig.42).

FIGURA 42: Desenho de detalhe de travamento com um fio de prata menor que 3 mm.

A partir destas análises iniciou-se o desenvolvimento de um novo projeto do contador.

4.9 Posicionamento horizontal dos fios de prata

Depois dos experimentos realizados e dos resultados obtidos, foi desenvolvido um novo projeto do dispositivo que vai auxiliar na contagem dos componentes das sementes (Fig. 43).

FIGURA 43: Imagem ilustrativa do desenho do projeto do dispositivo de contagem das sementes de 125]

Através da utilização de motor de passo acoplado ao disco ele será rotacionado em passos angulares de 9° para o posicionamento de cada canal onde estão alojados os fios de prata, os canais se alinham a uma agulha, a cada alinhamento estabelecido dos canais, um braço ligado a um excêntrico é acionado com o auxílio de outro motor de passo que realiza uma rotação completa e desloca a agulha movendo o conjunto dos fios de prata posicionados no canal do disco.

Diagrama de um sistema de deposição de fios de prata por eletrolise. À esquerda, uma vista superior de um disco estrado com uma agulha centralizada. À direita, uma vista lateral detalhada da agulha e do disco estrado, mostrando o fluxo de fios de prata e o tubo de sucção com vácuo.

50

4.10 Testes e ajustes para operação do dispositivo

Antes da operação com o dispositivo foram feitos os seguintes ajustes:

- Regulagem da altura dos canais com os furos de condução e sucção dos fios.
- Alinhamento dos canais de alojamento dos fios de prata no disco estriado com os furos de condução da agulha e de sucção dos fios (Fig. 46).
- Deslizamento da agulha sobre os canais do disco estriado.

FIGURA 46: Detalhe dos alinhamentos da agulha, da guia e dos canais com os furos.

4.10.1 Colocação dos fios de prata no disco estriado

A operação de posicionar os fios de prata no disco estriado segue o mesmo procedimento utilizado anteriormente na placa estriada, ou seja, de forma manual. O disco é alojado em uma base circular, deposita-se os fios no disco e com o auxílio de um pincel movimenta-se os fios de prata no disco, após ocuparem uma quantidade aceitável nos canais, remove-se o restante da superfície do disco e coloca-se a tampa cobrindo a face superior do disco.

Durante as operações de alojamento dos fios no disco, observou-se algumas situações de sobreposição de um fio de prata sobre o outro (Fig. 47).

FIGURA 47: Disco alojado na base e detalhe de sobreposição de fios nos canais do disco.

Observa-se que é necessária uma inspeção visual bem detalhada para a verificação do posicionamento correto dos fios nos canais do disco.

Foram feitas várias operações de alojamento dos fios e a sobreposição dos fios de prata ocorreu de forma semelhante em todas as situações.

Depois de posicionado todos os fios no disco foi colocada a tampa de fechamento superior (Fig. 48).

FIGURA 48: Disco com os fios posicionados e a tampa de acrílico fixada.

4.10.2 Testes de operação manual do dispositivo

Nos testes realizados com a utilização do vácuo posicionamos o dispositivo conectado em conjunto com um frasco através dos tubos para sucção dos fios de prata e este frasco conectado a uma bomba de vácuo para auxílio na operação de sucção dos fios (Fig. 49).

FIGURA 49: Bomba de vácuo utilizada nos testes com o dispositivo e o frasco com os fios no fundo

Estes testes foram realizados sem a utilização dos sensores óticos, foram feitos testes do transporte dos fios pelos tubos com a utilização do vácuo para verificar a necessidade de alguma correção antes do processo de contagem com os sensores óticos.

4.10.2.1 Resultados e observações

Durante os testes realizados, o transporte dos fios de prata pelo tubo ocorreu satisfatoriamente, não apresentando nenhum travamento. Durante a montagem do dispositivo vários ajustes foram necessários (Fig. 50) e correções foram feitas para uma operação confiável do dispositivo.

FIGURA 50: Correção na altura da agulha com o canal do disco.

4.11 Operação automatizada do dispositivo

Após os ajustes iniciais no conjunto, foram iniciadas as ligações dos motores de passo e das ligações dos sensores óticos para operação automatizada do dispositivo (Fig. 51).

FIGURA 51: Dispositivo e ligação dos motores.

Após as ligações dos fios aos motores, foram feitas definições de posicionamento do disco e da agulha para estabelecer uma posição inicial a cada nova operação de contagem dos fios, neste caso a posição da agulha é definida numa posição sempre recuada e um dos canais do disco sempre alinhado ao furo guia da agulha. Esta operação é feita ajustando-se cada um dos motores separadamente, para não ocorrer um travamento do disco entre estes ajustes devido a um eventual posicionamento errado da agulha.

4.11.1 Testes de Sincronismo.

Com os motores ligados e ajustadas as suas posições de parada durante o processo, foi necessário estabelecer um sincronismo no posicionamento dos motores, a ordem de posicionamento é estabelecida da seguinte forma:

O disco estriado é posicionado no dispositivo com um dos canais alinhados ao furo guia da agulha e ao orifício de sucção (posição zero).

A agulha é ajustada numa posição recuada com a ponta alojada no furo guia (posição zero) (Fig. 52).

FIGURA 52: Detalhe de posicionamento do canal do disco e da agulha recuada e avançada.

O motor de acionamento da agulha executa uma rotação que faz a agulha avançar e recuar no canal do disco. Na sequência, o motor de acionamento do disco executa um giro de 9° para posicionamento do próximo canal com o furo guia da agulha.

A partir daí estes movimentos são repetidos 40 vezes nesta mesma sequência até o disco voltar à posição zero e completar o ciclo no disco todo.

Foram realizados vários ciclos de movimentação sem os fios de prata no disco para verificar a possível ocorrência de alguma falha na operação do dispositivo.

4.11.1.1 Resultados

A movimentação sincronizada do conjunto ocorreu satisfatoriamente e após a finalização dos ciclos de movimentação foram colocados os fios de prata no disco para o início da contagem.

4.11.2 A contagem dos fios de prata

Foram acionados os sensores óticos para a contagem e a bomba de vácuo para a sucção dos fios, foi acionado o motor de movimentação da agulha com uma rotação de 10 rpm, que foi adotado após os testes de operação manual do dispositivo, a velocidade de avanço dos fios no canal em direção ao furo de sucção foi adequada para a observação visual dos fios de prata serem succionados na aproximação com o furo de sucção.

Após 4 minutos de operação, o disco completou uma volta, finalizando o processo de contagem dos fios.

Os mesmos fios contados neste processo foram colocados novamente nos canais do disco e foi iniciado novamente o processo de contagem para verificação da precisão da contagem.

4.11.2.1 Observações

A colocação dos fios para a recontagem no disco requer muita atenção, por ser uma operação manual, eventuais perdas de um ou mais fios podem ocorrer em decorrência do seu tamanho muito pequeno. Nos ciclos de contagem realizados, as quantidades obtidas não sofreram variações significativas a partir da primeira contagem, sendo assim a precisão na contagem dos fios de prata poderá ser afetada em decorrência desta etapa da operação que precisa ser aperfeiçoada.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os experimentos de funcionamento do dispositivo, constatou-se que o mesmo atendeu ao objetivo desejado, que é a passagem dos fios de prata de forma precisa, ou seja, a passagem de um fio por vez pelo sensor ótico para a contagem.

Uma observação a ser citada durante os testes realizados que merece destaque é o material de fabricação do disco estriado, nos testes realizados o disco utilizado foi de alumínio, devido a sua cor semelhante à do fio de prata, ao serem posicionados nos canais do disco a visualização dos fios se confunde com o próprio disco, não permitindo uma visão detalhada do fio sobre o disco, talvez um outro material de cor diferente resolva a questão (Fig. 53).

FIGURA 53: Detalhe da visualização dos fios de prata posicionados no disco.

6 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados métodos para a contagem de fios de prata utilizados na produção das sementes de ^{125}I , nos experimentos iniciais a utilização de um funil como forma de condução dos fios não se apresentou como solução ideal para ser usada neste processo devido aos travamentos ocorridos nos experimentos.

A opção de estabelecer um posicionamento prévio dos fios de prata de forma que eles possam ser conduzidos se mostrou como o método mais aceitável e como solução no projeto do dispositivo para contagem apresentado neste trabalho.

O processo de fabricação das peças componentes do dispositivo, requerem que durante a usinagem sejam aplicadas normas de ajuste de medida e tolerância ISO, para garantir um ajuste de posicionamento preciso durante a montagem do dispositivo, este procedimento facilitará em muito uma operação precisa do dispositivo.

Recomenda-se que o disco a ser construído para a operação rotineira seja fabricado com material que apresenta coloração diferente dos fios de prata. Como também utilizaremos este dispositivo para conduzir os tubos de titânio, este autor recomenda estudos utilizando-se um disco fabricado em latão ou cobre.

Mais estudos devem ser realizados para uma melhor forma de alojamento dos fios no disco estriado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. [s.l.] Elsevier, 1999.

CAMPANA, G. A.; OPLUSTIL, C. P. Conceitos de automação na medicina laboratorial : revisão de literatura. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 47, n. 2, p. 119–127, 2011.

CHUERY, M. E. et al. ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA METODOLOGIA PARA CONFEÇÃO DE SEMENTES DE IODO-125 PARA APLICAÇÃO EM BRAQUITERAPIA Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear -Aplicações. 2005.

DULANEY, C. R. et al. Prostate Radiotherapy in the Era of Advanced Imaging and Precision Medicine. **Prostate cancer**, v. 2016, p. 4897515, 2016.

FEHER, A. **Desenvolvimento de procedimento utilizando processo de soldagem plasma para confecção de sementes de Iodo 125**. [s.l.] Insitituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006.

HEINTZ, B. H.; WALLACE, R. E.; HEVEZI, J. M. Comparison of I-125 sources used for permanent interstitial implants. **Medical physics**, v. 28, n. 4, p. 671–682, 2001.

INCA - Câncer - Tratamento. Disponível em: <<http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/cancer/site/tratamento>>. Acesso em: 13 set. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE CANCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **INCA - Instituto Nacional de Câncer - Estimativa 2016**. [s.l: s.n.].

James Dewar. Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/biografias/james-dewar.html>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

JUNIOR, P. S. F. Desenvolvimento Da Metodologia Para Síntese Do Poli (Ácido Lático-Co-Ácido Glicólico) Para Utilização Na Produção De Fontes Radioativas. 2013.

KLEIN, E. A. et al. Outcomes for intermediate risk prostate cancer: are there advantages for surgery, external radiation, or brachytherapy? **Urologic oncology**, v. 27, n. 1, p. 67–71, jan. 2009.

MecaWeb - Sensores Ópticos. Disponível em:

<http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_sensor_optico>. Acesso em: 13 set. 2016.

Mission - The Edison Papers. Disponível em: <<http://edison.rutgers.edu/mission.htm>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

MITTA, D. A.; FLORES, P. L. User productivity as a function of AutoCAD interface design. **Applied Ergonomics**, v. 26, n. 6, p. 387–395, dez. 1995.

MOURA, J. A. **Estudo e desenvolvimento de metodologia para controle de qualidade em processo de produção de fontes seladas de iodo -125 para aplicação em braquiterapia.** São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 6 jul. 2009.

PAKZAD, R. et al. The incidence and mortality of prostate cancer and its relationship with development in Asia. **Prostate International**, v. 3, n. 4, p. 135–140, 2015.

POMMIER, P. et al. [Valorisation of brachytherapy and medico-economic considerations]. **Cancer radiothérapie: journal de la Société française de radiothérapie oncologique**, v. 17, n. 2, p. 178–81, abr. 2013.

PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SOFTWARE INC, S. **CAD / Diseño Asistido por Computadora.** Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cad.shtml>.

RITCHIE, D.; THOMPSON, K. The UNIX Time- Sharing System. **Communications of the ACM**, v. 17, n. 7, p. 365–375, 1974.

RODRIGUES, G. et al. Low-dose rate brachytherapy for patients with low- or intermediate-risk prostate cancer: A systematic review. **Canadian Urological Association journal = Journal de l'Association des urologues du Canada**, v. 7, n. 11–12, p. 463–470, 2013.

SANTOS, V. D. A. Motor de Passo. **Telecom.Uff.Br**, p. 15, 2008.

Software CAD. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/solutions/cad-software>>. Acesso em: 15 set. 2016.

Solid Edge: Siemens PLM Software. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/solid-edge/>. Acesso em: 15 set. 2016.

SOMESSARI, L. S. **Automação do processo de soldagem a laser (Nd:YAG) para**

confeção das sementes de Iodo-125 utilizadas em braquiterapia. [s.l: s.n.].

SOUZA, C. D. DE [UNESP]. Braquiterapia com sementes de iodo-125: manufatura e tratamento. **Aleph**, 2009.

STEMPNIAK, R. A. A Ciência e a tecnologia do Vácuo: Resumo Histórico e Algumas Aplicações. **Sociedade Brasileira do Vácuo, São José dos Campos**, p. 1–14, 2002.

TAKIZAWA, I. et al. Oncological results, functional outcomes and health-related quality-of-life in men who received a radical prostatectomy or external beam radiation therapy for localized prostate cancer: a study on long-term patient outcome with risk stratification. **Asian journal of andrology**, v. 11, n. 3, p. 283–90, 2009.

TATSCH, P. Deposição de filmes finos. **Jacobus W. Swart. Oficina de**, p. 203–208, 2000.

Vácuo » Laboratório de Vácuo e Criogenia. Disponível em: <<http://sites.ifi.unicamp.br/labvacrio/vacuio/>>.

WALLACE, R. E. LDR: Source Design. 2005.

ZHAO, L. et al. Antibacterial coatings on titanium implants. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, v. 91, n. 1, p. 470–480, 2009.