

# AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE IRRADIAÇÃO DE ALVOS EM CÍCLOTRONS

Sumair G. Araujo, Valdir Sciani e Rosemeire S. Almeida

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, Brasil

## RESUMO

Atualmente, dois cíclotrons estão operacionais no IPEN-CNEN/SP: um, modelo CV-28, com capacidade de acelerar p, d,  $^3\text{He}^{++}$  e  $\alpha$ , com energias de 24, 14, 36 e 28 MeV, respectivamente, e correntes de feixe de até 30 $\mu\text{A}$ ; o outro, modelo Cyclone 30, acelera prótons com energia de 30MeV e correntes de até 350 $\mu\text{A}$ . Ambos têm o objetivo de irradiar alvos tanto para produção de radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear, tais como,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{18}\text{F}$ , como para pesquisas em geral. Procurou-se, nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas de irradiações completamente automáticos, sempre visando a redução da exposição de trabalhadores à radiação e aumento da confiabilidade de utilização destes sistemas, uma vez que esperam-se atividades altíssimas envolvidas nestes processos. Na automação, utilizou-se um Controlador Lógico Programável (CLP) ligado a uma malha de realimentação, para gerenciar todas as variáveis envolvidas nos processos das irradiações. A programação do CLP foi desenvolvida utilizando-se o Software Simatic S7, da Siemens, onde todas as etapas são supervisionadas em telas em um microcomputador. A confecção e sequência de encadeamento das mesmas foram desenvolvidas utilizando o Software aplicativo da Unisoft, servindo para manter o operador informado sobre o que está sendo feito, em qualquer tempo particular.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, verificou-se um rápido crescimento no uso de aceleradores de partículas para produção de radioisótopos, em especial o uso de cíclotrons compactos, com os quais tem-se a vantagem de produzir radioisótopos de meia-vida curta e alta atividade específica. Os radioisótopos podem ser aplicados em muito campos, particularmente em medicina, biologia e na indústria. Na medicina, os radioisótopos podem ser utilizados tanto em terapia como em diagnósticos e possuem uma série de restrições sob sua escolha: meia-vida, natureza e energia da radiação, comportamento biológico do produto, compatibilidade com o desempenho do equipamento e o tipo do exame efetuado [1,2,3,4].

Atualmente, dois cíclotrons estão operacionais no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN): um, de íons positivos, modelo CV-28, fabricado pela empresa Americana *The Cyclotron Corporation (TCC)* e outro, de íons negativos, modelo Cyclone 30, fabricado pela empresa Belga, *Ion Beam Applications (IBA)*.

O modelo CV-28, é uma fonte de irradiação capaz de acelerar prótons, dêuterons,  $^3\text{He}^{++}$  e partículas alfa a uma energia máxima de 24, 14, 36 e 28 MeV, respectivamente, e corrente de prótons externa de até 30  $\mu\text{A}$  e está em operação

desde 1982 [5]. Devido à sua versatilidade, tem grande aplicação em pesquisas em geral.

O segundo Cíclotron instalado, o modelo Cyclone 30, em operação desde 1999, do tipo íon negativo, possui capacidade de acelerar prótons com energia máxima de 30MeV, corrente de até 350 $\mu\text{A}$ , com objetivo principal de produzir radioisótopos em escala suficiente para suprir o mercado dos radioisótopos mais utilizados em Medicina Nuclear:  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$  e  $^{18}\text{F}$ . Atualmente são produzidos rotineiramente  $^{123}\text{I}$  e  $^{18}\text{F}$ , sendo previsto para a próxima fase o início da produção de  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ .

Em ambos os casos, o Laboratório de Cíclotrons (TTC) tem desenvolvido dispositivos especiais que permitem a realização destas irradiações nas condições necessitadas: energia e corrente do feixe, forma física do alvo, etc. O TTC tem interesse no desenvolvimento de sistemas completamente automáticos, que possam ser utilizados pelo maior número de usuários possível, sempre visando a redução da exposição do pessoal à radiação e a praticidade de utilização, uma vez que esperam-se atividades altíssimas envolvidas nestes processos. Estes sistemas devem permitir a irradiação de alvos nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Também, é de interesse o desenvolvimento de sistemas que permitam a monitoração do feixe, tanto da energia e corrente de feixe quanto de sua

homogeneidade, parâmetros de vital importância, independente do tipo de experimento realizado.

Sabe-se que há duas razões para automação de alvos e de processamento: além da redução da exposição de trabalhadores à radiação existe o aumento da confiabilidade do método. Não utilizando operação remota e automática, na qual o operador é que decide quando ativar uma válvula ou passar para a próxima etapa, está propensa a um erro do mesmo. A aplicação de um Controlador Lógico Programável (CLP), ligado a uma malha de realimentação, pode ser usado para gerenciar a condição do processo e decisão do que fazer. Muitos parâmetros, tais como, temperatura, pressão, vácuo, fluxo de gás e de líquido, precisam ser monitorados para proporcionar dados para controle do processo. Todas estas etapas podem ser automatizadas, contanto que sensores apropriados garantam que controles contínuos do processo estejam disponíveis.

Uma vantagem, obviamente, é que consiste em um processo completo, desde o início da operação: carregamento do alvo, acompanhamento da irradiação, o subsequente descarregamento do alvo e finalmente, o envio do mesmo para processamento químico, que pode ser feito por um operador em um terminal único.

Todas as etapas do processo aparecerão em uma tela, e servirão para manter o operador informado sobre o que está sendo feito, em qualquer tempo particular. Assim, se os parâmetros estiverem dentro dos limites pré-estabelecidos, o processo continuará. Caso contrário um programa tentará corrigi-lo para trazê-lo dentro dos limites permitidos.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as operações serão gerenciadas e supervisionadas em uma tela de computador, que se comunica com um CLP acoplado, o qual fará todo o controle do processo. Para estas etapas, é necessário implantar os seguintes sensores para a realimentação de dados no sistema: de níveis de fluídos, de pressão, de fluxo, de temperatura, radioatividade. Em cada etapa do processo, todos estes parâmetros deverão ser monitorados. Portanto, além desta seqüência lógica, há necessidade de atuação, quando qualquer anomalia nestes ciclos for identificada.

Como a idéia básica é o desenvolvimento de um sistema automatizado, onde possa ser utilizado um sistema único para controle de três tipos de alvo ou seja em três estados diferentes, torna-se necessário partir de porta-alvos, os mais complexos possíveis, de tal forma que inclua o maior número de etapas e pontos de controle. Assim, diversas etapas foram previstas:

a. Projeto de três porta-alvos, onde foram levados em conta a quantidade de material depositado ou carregado (lembrar que quando utiliza-se material enriquecido, este deve ser recuperado e para uma produção) e a corrente de feixe máxima efetiva.

b. Para alvos no estado líquido, foi estudada a instalação de um alvo cônico criogênico [6,7] (pois é um dos mais complexos): necessidade inicial de estudar os efeitos do comprimento desse alvo cônico e o número de ranhuras de refrigeração para melhor eficiência, sem ocorrer volatilização do mesmo. Exemplo de utilização: irradiação de água para a obtenção de  $^{18}\text{F}$ .

c. No caso de alvos sólidos, foi projetado um tipo já utilizado para a produção do  $^{67}\text{Ga}$ , via  $^{68}\text{Zn}$ , no IPEN, considerando um controle automático para exercer as funções de carregar, ventilar, purgar, e transportar o alvo até a célula de manipulação. O mesmo controle pode ser aplicado no porta-alvo utilizado para a produção de  $^{123}\text{I}$ , via Óxido de Telúrio, no IPEN [8].

d. Para irradiar gases, optou-se por um alvo cônico [4,9], uma vez que altas intensidades de correntes em alvos gasosos resultam em uma redução na densidade do gás ao longo da direção do feixe, que sofre um alargamento devido ao espalhamento.

## III. PARTE EXPERIMENTAL

**Desenvolvimento e montagem do sistema.** O Sistema Integrado é composto por *porta-alvos* acoplados em uma pré-câmara na linha de feixe, um *painel de campo* onde estará instalada toda a infra-estrutura de controle dos alvos e um *painel de controle*, onde será feito o gerenciamento e supervisão dos processos (a 30 metros do campo).

### Porta-alvos

a. **Porta-alvo Sólido.** O porta-alvo sólido foi fabricado em alumínio, sendo a fixação do alvo feita através de um pistão pneumático, que permite tanto a sua instalação como a sua retirada. Este porta-alvo foi projetado para irradiação de alvos sólidos, eletrodepositados em uma placa suporte de cobre niquelada de dimensões  $(72 \times 27) \text{ mm}^2$ . A refrigeração do alvo é feita com água deionizada na parte de trás do mesmo (refrigeração  $2\pi$ ), como pode ser visto na Figura 1.

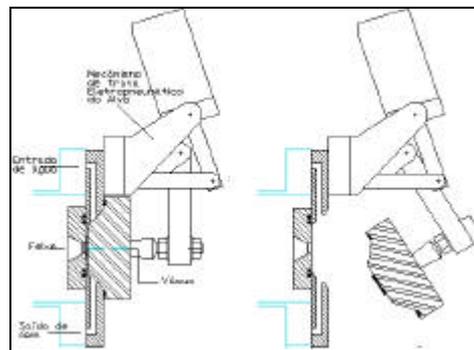


Figura 1. Porta-alvo Sólido.

b. **Porta-alvo Gasoso.** O Porta-Alvo gasoso foi fabricado em cobre e niquelado. A câmara do alvo consiste de um cone em Cobre, que será refrigerado com água deionizada. A parte frontal do alvo contém uma janela dupla de Havar de  $25 \mu\text{m}$  de espessura, presa em uma flange de alumínio, que é refrigerada com  $\text{He}_2$  em sua parte interna. Em seu corpo, foram colocados quatro conectores que são acoplados a válvulas, que permitem o carregamento do alvo com gás, escape de segurança, vaporização e coleta do alvo. Este porta-alvo é mostrado na Figura 2.

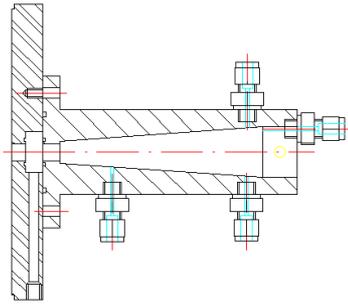


Figura 2. Porta-alvo Gasoso.

c. Porta-Alvo Líquido. O porta-alvo foi fabricado em cobre com geometria cônica, com aletas que permitem uma melhor refrigeração. O conjunto está localizado em uma câmara criogênica, preenchida com nitrogênio líquido, isolada a vácuo, cuja função é congelar o alvo e mantê-lo congelado durante a irradiação. Um sistema injetor, preso a um posicionador linear na frente do alvo, fará o seu carregamento. A fixação do alvo é feita através de uma válvula gaveta acoplada a um fole, permitindo uma rotação do alvo em 90°, após a irradiação, para ser feita a coleta. Este porta alvo é mostrado na figura 3

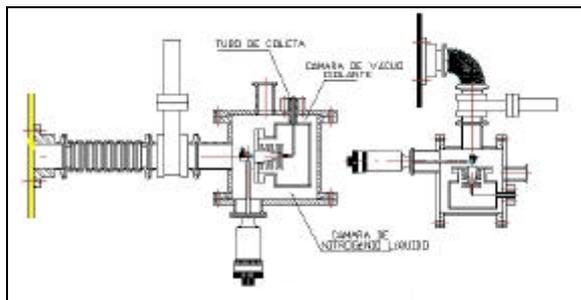


Figura 3. Porta-alvo Líquido.

#### Elaboração do processo de controle dos três porta-alvos.

a. Etapas do processo para controle do alvo sólido

Procedimento: 1- Instalar porta alvo na linha; 2- posicionar, por sucção o alvo no porta-alvo; 3- travar o alvo; 4- fazer pré-vácuo; 5- circular água; 6- abrir válvula de feixe; 8- irradiar; 9- ventilar para quebrar vácuo; 10- purgar para retirada da água residual utilizada na refrigeração; 11- soltar o porta-alvo; 12- coletar em uma cápsula; 13- enviar porta-alvo para a célula de manipulação.

b. Etapas do processo para controle do alvo gasoso.

Procedimento: 1- Fazer vácuo; 2- refrigerar janelas com He e corpo do porta alvo com água desmineralizada; 3- carregar o alvo com gás; 5- irradiar; 6- recuperação do gás alvo enriquecido via método criogênico; 7- retirar gás irradiado isolado nas paredes do alvo, através da introdução do vapor; 8- coletar a água condensada contendo gás radioativo; 9- transportar para a célula de manipulação.

c. Etapas do processo para controle do alvo líquido.

Procedimento: 1- Colocar o porta-alvo; 2- Fazer pré vácuo na câmara criogênica e em seu encapsulamento (isolante térmico para o nitrogênio líquido); 3- preencher câmara criogênica com nitrogênio líquido para refrigerar e congelar o alvo; 4- carregar o alvo com sistema injetor; 5. irradiar; 6-

girar o porta-alvo em 90°; 7- purgar o nitrogênio líquido; 8- coletar o material irradiado com uma bomba peristáltica; 9- transportar para a célula de manipulação.

#### Desenvolvimento da Programação do Software/CLP para o Gerenciamento de Dados.

O Software do CLP foi desenvolvido na linguagem de programação estruturada *Ladder*, utilizando o Software *Simatic S7* da SIEMENS. O programa é comentado em português, incluindo a descrição dos elementos de comando e a função de cada linha de programa, visando facilitar a compreensão da lógica. O projeto mantém um software de gerenciamento para integrar todo o processo em tempo real, desde a colocação do alvo até sua emissão para a célula de manipulação.

#### Sistema Supervisório do Processo.

O sistema de supervisão permite manter prevenido o operador do que está acontecendo e se houver alguma falha eles podem ser resolvidos rapidamente. Este sistema fornece informação completa do estado de válvulas, chaves ou seja de todos os dispositivos envolvidos no processo e não necessita ser acompanhado, uma vez que ele é equipado de alarme com som. Nele está incluído uma lista sequencial de alarme e mudanças de estados dos dispositivos dando informação de liga/desliga dos mesmos.

Projeto e Elaboração do Software de Supervisão: Foram desenvolvidos o Software do Sistema Supervisório e definição da lógica de funcionamento, para os respectivos processos dos alvos sólido, líquido e gasoso, utilizando-se o Software aplicativo da *Unisoft*, conforme os itens abaixo:

- Confecção das telas, seqüência de encadeamento e seleção independentes para cada tipo de alvo;
- Desenvolvimento de disparo de mensagens e eventos de alarmes;
- Definição dos procedimentos de navegação nas telas.

As figuras 4, 5 e 6 mostram as telas que foram construídas, para o alvo líquido, sólido e gasoso, respectivamente. Para o alvo líquido, por exemplo, pode-se observar em que etapa está o processo, que neste caso, está na de Rotação. No lado direito desta figura pode-se visualizar a tela de comando, que quando acionada no ícone, possibilita atuação do operador para: Seleção do Alvo, Comando de Reset, Comando Manual/Automático e Comando liga/desliga. No lado esquerdo, uma janela de válvula aparece (somente no comando manual) quando for acionada e sempre que for solicitada. O alvo que estiver acionado ficará apagado na tela (parte inferior). Isto não impede que a tela dos dois outros alvos (sólido e gasoso) possam ser selecionadas pelo operador apenas para visualização.

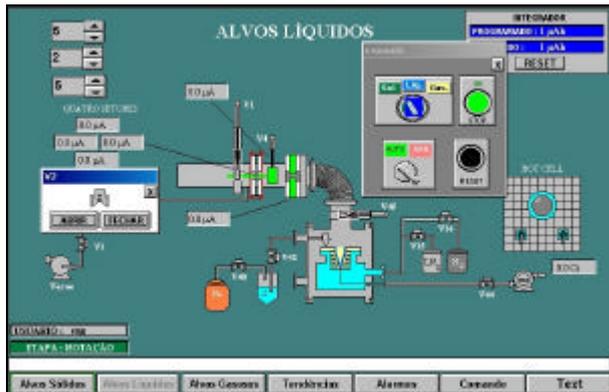


Figura 4. Tela de supervisão do Alvo Líquido

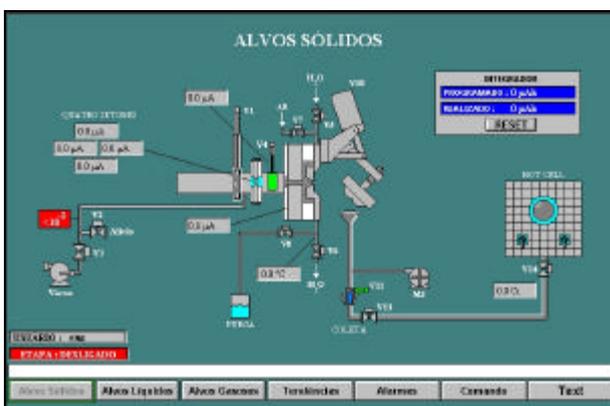


Figura 5. Tela de supervisão do Alvo Sólido.

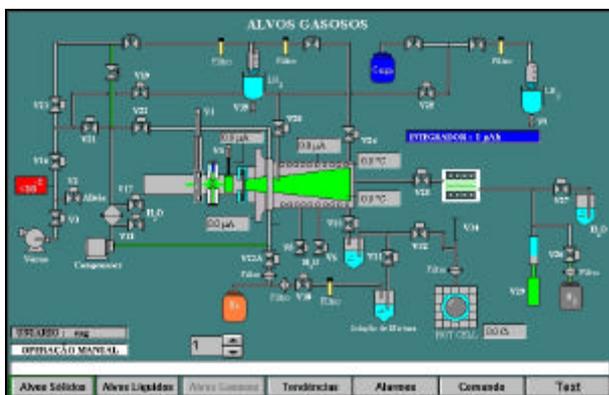


Figura 6. Tela de supervisão do Alvo Gasoso.

### Hardware.

**Painel de Controle.** No painel de controle do processo estão inclusos o Painel de Alimentação dos motores, bombas e válvulas e microcomputador para a supervisão; Controlador Lógico Programável (CLP) S7-300 (SIEMENS); Módulos de Entradas e Saídas Digitais e Analógicas. Ele ficará localizado na Sala de Controle do Cíclotron CV-28 a 30 metros da linha de feixe, onde serão feitos os primeiros ensaios, permitindo toda a supervisão necessária para gerenciamento dos parâmetros envolvidos no processo de automação dos três porta-alvos, conforme mostrado na figura 7.



Figura 7. Painel de Controle

**Painel de Campo.** É composto de uma estrutura de alumínio, onde estão instalados todos os componentes envolvidos nos três processos e servirá também como suporte dos porta-alvos nas linhas de feixe. Esta montagem foi feita conforme mostrado na figura 8, nas laterais serão instaladas as válvulas e na parte interna as bombas. Em cima, além de servir como suporte dos porta-alvos, será instalado o sistema tombador para coleta do alvo líquido.

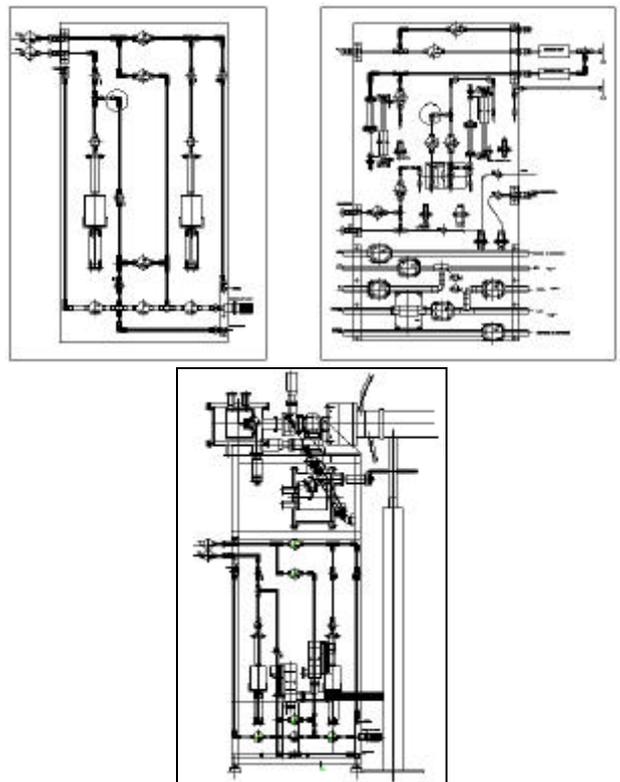


Figura 8. Painel de Campo.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Testes do Sistema. Foram feitos todos os testes de simulação de funcionamento do sistema, tais como:

- Teste funcional simulado;
- Ajuste dos elementos de campo (chaves fim de curso, cilindros pneumáticos e etc);
- Teste de funcionamento do sistema em vazio;
- Testes em vácuo para verificação da estanqueidade do sistema;
- Teste de funcionamento com carga e de desempenho.

No sistema que está sendo desenvolvido, todas as funções necessárias para a utilização do respectivos dispositivos de irradiação serão solicitadas pela interface Operador-PC, que serão executadas pelo sistema via CLP, seguindo a lógica de controle determinada, e caso ocorra qualquer anomalia durante o processo, uma realimentação tentará corrigir o defeito ou um alarme indicará a ocorrência da anomalia. Assim, durante o processo, ocorrendo um travamento no sistema, o controle tenta a correção deste defeito ou falha, sem que o processo deva retornar novamente a seu início. O operador tem a opção de passar o comando para manual e tentar corrigir o defeito, não alterando a sequência do mesmo. Esta informação de anomalia será dada através de um sinal sonoro e de informação escrita na tela, sempre que algo não acontecer como o previsto pelo operador. No modo manual, haverá também a possibilidade de se fazer manutenções rotineiras sem necessidade de ligar todo o sistema.

Testes com irradiações de alvos. A próxima etapa será a montagem dos três porta-alvos na linha de feixe. O desempenho final do sistema automatizado será feito através de irradiações:

- Sólido: com zinco natural
- Gasoso: com criptônio natural
- Líquido: com água natural

A opção de englobar os três tipos de alvos, principalmente o de tipo criogênico, se deu em função de desenvolver um sistema de automação o mais completo possível, abrangendo o maior número de etapas possíveis envolvidas.

Nestes testes, será dada ênfase à monitoração de todo os parâmetros críticos do processo, tais como: temperatura, pressão e corrente, tanto do alvo como nos quatro setores, colimador, beam stopper e cálculo de dose integrada.

#### V. CONCLUSÕES

Com a conclusão do projeto, diversos pontos importantes poderão ser citados:

- Condições de controle em três linhas de feixe independentes, caso haja necessidade, sendo uma para cada tipo de alvos;
- Sistema de controle unificado, que possibilita controle de 3 tipos de alvo em diferentes geometrias;
- Segurança operacional e confiabilidade;
- Redução significativa da dose ao trabalhador;
- Retirada automática do alvo, com gerenciamento e supervisão através do computador;

- Indicação da incidência do feixe no alvo com controle de sua homogeneidade e perfil, através das correntes nos colimadores e 4 setores;
- Controle da temperatura e pressão no alvo durante a irradiação.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP, para a realização deste trabalho.

#### REFERÊNCIA

- [1] ARAUJO, S. G. **Otimização do Sistema de Alvo Interno do Ciclotron CV-28 do IPEN - CNEN/SP.** São Paulo: 1996. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- [2] CLAYTON, C.G. **Some comments on the development of radiation and radioisotope measurement applications in industry.** Int. J. Appl. Rad. Isot., v.34, n.12, p.917-934, 1990.
- [3] LAMBRECHT, R.M.; SAJJAD, M.; SYED, R. H.; MEYER, W. **Target preparation and recovery of enriched isotopes for medical radionuclide production.** Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res., A282, p.296-300, 1989.
- [4] QAIM, S.M. **Target development for medical radioisotope production at a cyclotron.** Nucl. Inst. Meth in Phys. Res., v. 41, n.10-11, p.289-295, 1989.
- [5] THE CYCLOTRON CORPORATION. **Instruction and Service Manual for the Cyclotron Corporation's - Model CV-28 Cyclotron** - Ser. No.604. US Pat. (TCC Ins-26), nov. 12, 1976.
- [6] FIROUZBAKT, M. L.; SCHLYER, S. J.; WOLF, A. P. **The yield of F-18 from different target designs in the  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$  reaction on frozen  $^{18}\text{O}[\text{CO}_2$ .** In: FIFTH INTERNATIONAL WORKSHOP ON TARGETRY AND TARGET CHEMISTRY, september 19-23, 1993, Upton. *Proceedings...* Upton: BNL, 1994. p. 68-77.
- [7] SHEFER, R. E.; KLINKOWSTEIN, R. E.; HUGHEY, B. J. **Production of PET radionuclides with a high current electrostatic accelerator. The ECBO technologies isotope production system.** IV TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON TARGETRY AND TARGET CHEMISTRY, september, 9-12, 1991, Switzerland. *Proceedings ... Switzerland: Regim Weinreich, 1992. p. 4-10.*
- [8] MICHAEL, H.; ROSEZIN, H.; APELT, H.; BLESSING, G.; KNIEPER, J.; QAIM, S. M. **Some technical improvements in the production of  $^{123}\text{I}$  via the  $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$  reaction at a compact cyclotron.** Int. J. Appl. Rad. Isot., v.32, n.8, p. 581-587, 1981

[9] BLESSING, TÁRKÁNYI, QAIM. **Production of  $^{82m}\text{Rb}$  via the  $^{82}\text{Kr}(\text{p},\text{n})$  – process on highly enriched  $^{82}\text{Kr}$ : a remotely controlled compact system for irradiation safe handling and recovery of the target gas and isolation of the radioactive product.** Int. J. Appl. Rad. Isot., v.48, n.1, p.37 - 43, 1997.

#### ABSTRACT

Nowadays, two cyclotrons are being operated at IPEN-CNEN/SP: one model CV-28, capable of accelerating p, d,  $^3\text{He}$  and  $\alpha$ , with energies of 24, 14, 36 and 28 MeV, respectively, and beam currents up to 30  $\mu\text{A}$ ; the other one, model cyclone 30, accelerates protons with energy of 30 MeV and currents up to 350  $\mu\text{A}$ . Both have the objective of irradiating targets both for radioisotope production for use in Nuclear Medicine, such as  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{18}\text{F}$ , and general research. The development of irradiating systems completely automatized was the objective of this work, always aiming to reduce the radiation exposition dose to the workers and to increasing the confiability of use of these systems, because very high activities are expected in these processes. In the automation, a Programmable Logical Controller (PLC) was used connected to a feedback net, to manage all the variables involved in the irradiation processes. The program of the PLC was developed using Simatic Step Seven (S7), Software from Siemens, where all the steps are supervised in screens at a microcomputer. The assembling and sequence of leading were developed using the software from Unisoft, that keeps the operator informed about the work being carried out, at any time.