

Estudo do processamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis por plasma térmico

Study of compactable solid radioactive waste processing by thermal plasma

DOI:10.34115/basrv5n4-005

Recebimento dos originais: 20/06/2021

Aceitação para publicação: 12/07/2021

Eduardo Sant'Ana Petraconi Prado

Mestrado em Tecnologia Nuclear

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 12227-010, Av. dos Astronautas, 1625-1917, Jardim da Granja, São José dos Campos – SP

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN, 05508-000, Avenida Professor Lineu Prestes, 2242, São Paulo/SP

E-mail: edu.petraconi@gmail.com

Felipe de Souza Miranda

Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 12228-900, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos/SP

E-mail: mirannda.fs@gmail.com

Cristian Cley Paterniani Rita

Mestrado em Física

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 12228-900, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos/SP

E-mail: cpaterniani@yahoo.com.br

Roberson José da Silva

Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 12228-900, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos/SP

E-mail: roberston123@gmail.com

Alexei Mikhailovich Essiptchouk

Doutorado em Física

Universidade Estadual Paulista – UNESP, 12245-000, Av. Eng. Francisco José Longo, 777 - Jardim São Dimas, São José dos Campos/SP

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 12228-900, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos/SP

E-mail: alexei.essiptchouk@gmail.com

Gilberto Petraconi Filho

Doutorado em Física

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 12228-900, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos/SP

E-mail: petrafilho@gmail.com

Maurício Ribeiro Baldan

Doutorado em Física

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 12227-010, Av. dos Astronautas,
1625-1917, Jardim da Granja, São José dos Campos – SP

E-mail : mrbaldan2@yahoo.com

Ademar José Potiens Júnior

Doutorado em Tecnologia Nuclear

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN, 05508-000, Avenida
Professor Lineu Prestes, 2242, São Paulo/SP

E-mail: apotiens@gmail.com

RESUMO

O uso de radioisótopos para as mais diversas finalidades tem se intensificado e destacado pelos benefícios que proporcionam. A geração de energia elétrica, a indústria, a agricultura, a medicina diagnóstica e terapêutica, são alguns exemplos. Porém, essas aplicações têm como desvantagem gerar rejeitos radioativos e estes requerem tratamento apropriado para deposição final. Neste âmbito, entre as tecnologias promissoras para o tratamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis, a utilização de plasma térmico para gerar uma descarga de arco transferido por meio de eletrodos de grafite se mostra uma tecnologia capaz de reduzir substancialmente a massa e o volume de rejeitos radioativos após expô-los a temperaturas superiores a 3.000°C. Os resultados obtidos se mostraram bastante satisfatórios, alcançando aproximadamente 100% de redução em 30 min de processo. Esforços futuros devem ser empregados para maior confiabilidade do sistema, eliminação de radionuclídeos voláteis no efluente gasoso e otimização completa da operação.

Palavras-chave: Tratamento, Plasma Térmico, Rejeito Radioativo.

ABSTRACT

The use of radioisotope for many different purposes has been intensified and highlighted by benefits that it provides. Electricity generation, industry, agriculture and medical diagnosis and therapy are examples of its applications. However, these applications have as disadvantages generate radioactive wastes that require suitable treatment for final disposal. In this scope, among the promising technologies for the treatment of compactable solid radioactive waste, thermal plasma technology using graphite electrodes to produce transferred electric arc allowed to substantially reduce the mass and volume of radioactive wastes after exposing them to temperatures above 3,000°C. The results were quite satisfactory, achieving about 100% reduction within 30 min of process. Future efforts should be studied for the system reliability, volatile radionuclides elimination in off-gas and complete optimization of operation.

Keywords: Treatment, Thermal Plasma, Radioactive Wastes.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico e científico na área nuclear, observado desde o começo do século XX, conduziu a uma ampla variedade de aplicações [1]. Estas instalações radioativas utilizam fontes de radiação ionizante em diversas áreas, tais como: medicina (radioterapia, medicina nuclear, etc.), indústria (gamagrafia industrial, medidores nucleares, traçadores radioativos, etc.), pesquisa (agricultura, alimentos, etc.), comércio (para-raios radioativos, fontes testes, etc.), entre outras [2]. Essas práticas tem como desvantagem a geração de rejeitos radioativos que requerem tratamentos adequados visando a proteção das pessoas e do ambiente [2].

De acordo com o glossário de gerenciamento de rejeitos radioativos publicado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), define rejeito radioativo como “qualquer material que contenha ou tenha sido contaminado com radionuclídeos em concentrações ou níveis de atividade maiores que os limites de isenção estabelecidos pela autoridade competente” [3].

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão responsável pelo recebimento, tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos. Dentre as etapas que compreendem a gerência dos rejeitos radioativos, o tratamento é a etapa em que um conjunto de operações altera as características físicas e químicas dos rejeitos de tal forma a aumentar a segurança e diminuir os custos das etapas seguintes da gestão, até a deposição final [3]. Um método importante de tratamento é a redução volumétrica, empregada com finalidade econômica que facilita o subsequente manuseio, transporte e armazenamento. Os métodos convencionais utilizados são compactação mecânica, incineração e evaporação que resulta num aumento da concentração de radionuclídeos [3,4].

Atualmente, quase 80% dos rejeitos encaminhados para armazenamento consistem de rejeitos sólidos compactáveis (materiais higiênicos, de segurança e de laboratório, como luvas, roupas especiais, fitas, tubos plásticos entre outros). Considerando este fato, é necessário desenvolver novas metodologias para tratar estes rejeitos, a fim de se obter alguma redução de volume. Neste âmbito, entre as tecnologias promissoras para tratamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis está à tecnologia de plasma térmico [5].

Neste contexto, este trabalho tem como foco principal o estudo e a adaptação de um sistema que utiliza plasma térmico para processamento de rejeitos radioativos sólidos

compactáveis, apresentando um processo completo para a redução volumétrica, que pode ser aplicada no gerenciamento de rejeitos radioativos.

O principal resultado do trabalho remete não somente ao estudo do processo de redução de massa e volume por plasma térmico, mas também despertar o interesse e a aplicabilidade da tecnologia de plasma na área nuclear para tratamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis. Especificamente, foi obtido a redução de massa e volume graduados em função da variação do tempo de processo, bem como a avaliação de sua capacidade de destruição e estudo do subproduto sólido, os quais são apresentados como resultado da aplicação do sistema de plasma térmico de arco elétrico transferido gerado por meio de eletrodos de grafite para tratamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada no desenvolvimento desse trabalho foram os rejeitos sólidos compactáveis simulados (R.C), tendo-se como padrão comparativo os rejeitos radioativos sólidos compactáveis destinados para tratamento no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN.

Os rejeitos simulados foram então transportados ao Laboratório de Plasmas e Processos - LPP do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. Em seguida, todos os materiais tiveram suas massas obtidas, homogenizados, separados em frações de aproximadamente 250 cm³ para processamento e inseridos no cadinho formado por composto de matriz de carbono reforçado com fibra de carbono (C/C) de 63 mm de diâmetro interno, 81 mm de altura e espessura da parede de 50 mm. Este tipo de cadinho foi utilizado por apresentar maior resistência ao processo comparado a outros materiais, mas ainda assim nas condições de ambientes oxidantes a elevadas temperaturas, sofre intensa degradação devido à elevada catalicidade de reações entre o carbono e o oxigênio.

Por fim, além do estudo de redução de massa e volume dos rejeitos, as amostras foram contaminadas com isótopos estáveis (0,5697g de cobalto, 0,7894g de césio e 5g de Pb), que servem como elementos traçadores para investigar e analisar o subproduto sólido do processo.

Um estudo prévio para avaliar a perda de massa da amostra de rejeito sólido compactável foi realizado por meio de um ensaio termogravimétrico utilizando um analisador térmico simultâneo STA 449 F3 Jupiter® do Laboratório de Plasmas e Processos (LPP) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Os ensaios foram

realizados com temperaturas variando na faixa de 25 até 750°C, taxas de aquecimentos de 10°C/min, vazão de ar sintético de 40 ml/min, massa inicial de amostra de 22,7 mg. Optou-se por realizar o processo a baixa taxa de aquecimento, de maneira a definir bem as etapas através das quais transcorre o processo, além do que, com baixas taxas de aquecimento minimiza-se a diferença entre a temperatura do sólido e a temperatura medida pelo sistema termogravimétrico [6], assegurando assim uma maior homogeneidade entre a temperatura da amostra e a temperatura no ambiente da termobalança.

2.1 SISTEMA EXPERIMENTAL

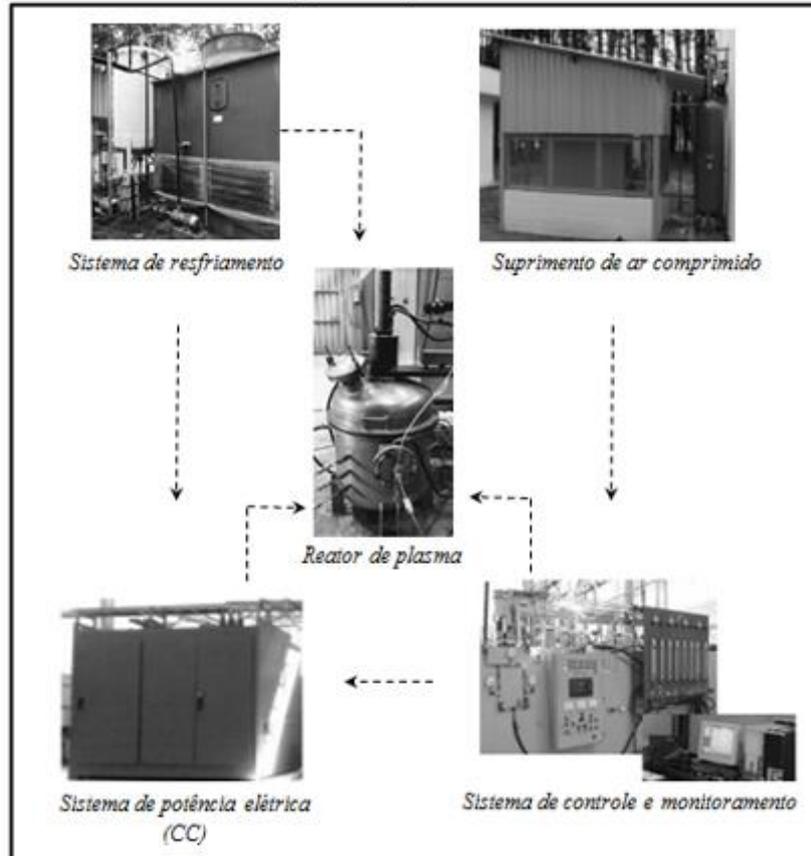
Na Figura 1 é apresentada a disposição do sistema experimental (1) que utiliza plasma térmico (arco transferido) para o processamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis do Laboratório de Plasmas e Processos - LPP do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, em detalhe na fotografia do lado direito (2) o eletrodo de grafite em operação.

Figura 1: Sistema experimental do processo de rejeitos a plasma térmico.



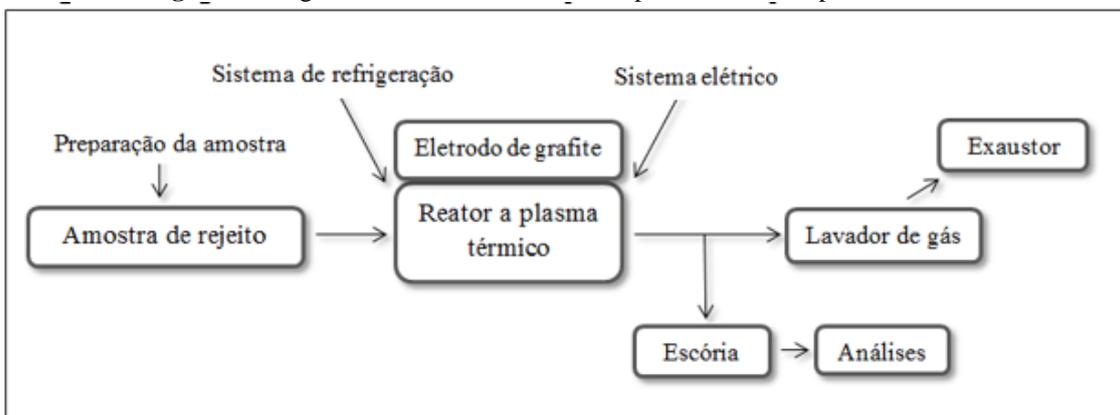
A infraestrutura básica do laboratório apresentada na Figura 2 alicerça toda montagem e operação do reator, o qual é composto pelo sistema de refrigeração que serve para manter a temperatura da parede do reator, da fonte de potência e do eletrodo resfriados, além do sistema de potência elétrica e controle com o propósito de manter adequadamente o funcionamento durante operação.

Figura 2: Diagrama esquemático dos sistemas para ensaios de processamento de rejeitos a plasma



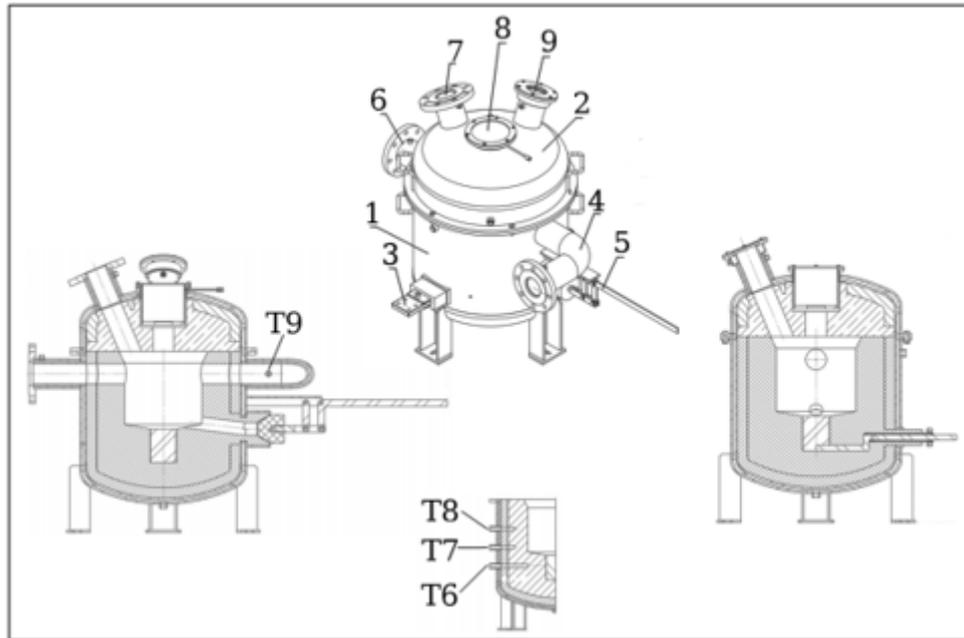
O sistema de ensaios de tratamento a plasma térmico basicamente é composto segundo o diagrama de blocos da Figura 3, onde a seção principal é o reator de processo. Dentre os diversos fatores que influenciam o tratamento, observa-se as principais etapas do processamento, saída dos subprodutos, tais como a escória e o gás e a etapa de preparação das amostras que antecede o tratamento.

Figura 3: Diagrama de blocos do sistema de processamento a plasma térmico.



O reator possui geometria cilíndrica e câmara interna de reação com volume útil de 27 litros apresentado em detalhe na Figura 4.

Figura 4: Desenhos esquemáticos, vista externa e interna, do reator de processo.



A tampa (2) na parte superior do reator é móvel e possui um flange central (8) onde é feito o acoplamento do eletrodo de grafite, um visor com uma janela de vidro borossilicato (9) e outro flange (7) para caso seja necessário acoplar algum equipamento. O anodo é localizado no fundo do reator o qual permite a operação em regime de arco transferido. Sobre o fundo do reator é mantida uma camada de metal (sucata) que é fundida durante a operação formando um banho metálico líquido, que protege o fundo do reator do contato direto com o arco elétrico [7]. A exaustão dos gases de processo é feita através do flange (4). Um sistema de vazamento de escória (5) no fundo do reator permite o descarregamento de material fundido caso seja necessário. O reator foi fabricado em aço inoxidável e com paredes duplas refrigeradas com água, além de possuir revestimento interno de material refratário que constituem as paredes da câmara de reação. Na Figura 4 ainda estão indicados vários pontos de medição de temperatura (T6, T7, T8 e T9) no reator para o controle do processo. Todas as partes de união como corpo principal e tampa do reator, flanges incluso o acoplamento da tocha, são vedadas com manta cerâmica para alta temperatura [7].

O eletrodo de grafite é montado em um braço mecânico (elevador) que possibilita a sua movimentação vertical e ajuste do comprimento de arco elétrico, controlado por meio de um inversor de frequência. Este mecanismo possibilita a fácil introdução do

eletrodo no reator pelo flange (8) e também possui articulação para movimentação horizontal.

O reator é ligado a um sistema simples de lavagem de gases (lavador de gases) por meio de uma tubulação de aço inoxidável de 8 cm. O lavador de gases possui geometria cilíndrica com dimensões de 0,49 m de diâmetro por 1,20 m de altura, onde os gases de processo são conduzidos em contra fluxo com água de lavagem aspergida por um chuveiro interno no topo do lavador. A água de lavagem flui por gravidade através de uma camada de enchimento, constituída de diversas peças tubulares de cerâmica, enquanto o gás flui por convecção forçada promovida por um ventilador centrifugo instalado na exaustão do lavador de gases. As diversas cavidades formadas na camada de enchimento aumentam o tempo de residência dos gases e a eficiência de retenção de particulado. Por fim os gases são exauridos para o exterior do laboratório através de uma chaminé. A velocidade do ventilador centrifugo é controlada por um inversor de frequência e tomada como parâmetro para o controle da pressão interna do reator. Os ensaios foram realizados mantendo-se sempre valores de pressão interna do reator levemente abaixo do valor de pressão atmosférica, entre 10,0 e 20,0 mm de coluna de água.

No procedimento de ignição do arco elétrico, inicialmente o eletrodo é posicionado a 3 cm da parede do cadinho, em seguida a fonte de potencia elétrica é acionada de forma a estabelecer a descarga (ignição). Após a ignição, o comprimento do arco elétrico é ajustado de acordo com o regime de operação desejado. O sistema de aquisição de dados somente é ligado aos pontos de medição e acionados após a ignição e estabelecimento da condição normal de operação com corrente de aproximadamente 100 amperes e tensão 100 volts.

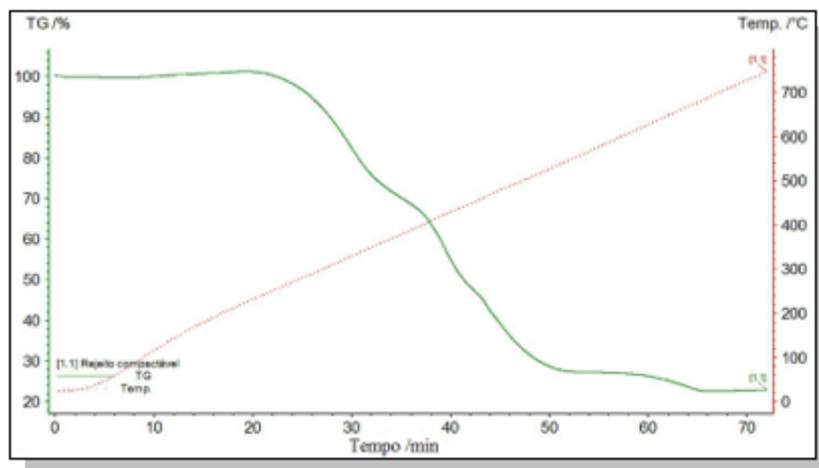
Parâmetros de operação do sistema de processamento por plasma térmico de arco transferido dos rejeitos sólidos compactáveis:

- Potência média de processo - 10 kW;
- Fluxo de água de resfriamento do reator - 900 litros/hora;
- Fluxo de ar comprimido - 120 litros/hora;
- Fluxo de água do lavador de gases - 60 litros/hora;
- Velocidade do ventilador centrífugo - 18 m/s;
- Tempo máximo de processamento - 30 min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

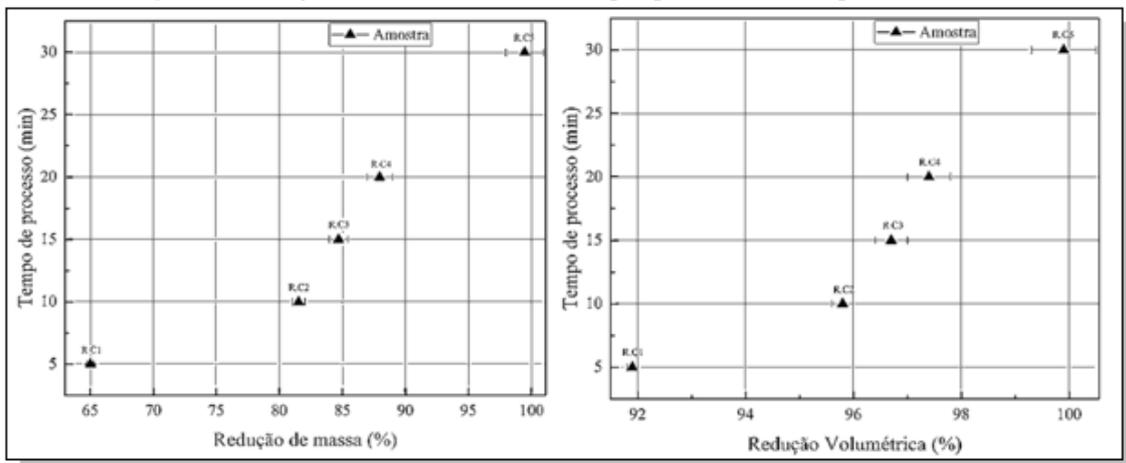
Apresentando como ponto de partida para o processamento das amostras, as curvas termogravimétricas da amostra de rejeito sólido compactável estão representadas na Figura 5, onde a porcentagem da perda de massa em relação à massa inicial está no eixo das ordenadas em função do tempo e temperatura. Observa-se que a maior perda de massa ocorre entre 200°C e 450°C, indicando a eliminação da parte orgânica, visto que a perda de massa total foi aproximadamente de 80%. Isto demonstra a potencialidade de redução de massa a tratamento térmico a plasma para rejeitos radioativos compactáveis.

Figura 5: Análise termogravimétrica de rejeito sólido compactável.



O resultado da redução de massa e volume em função do tempo de processamento das amostras de rejeito sólido compactável estão apresentados na Figura 6.

Figura 6: Redução de massa e volumétrica após processamento a plasma térmico.



Devido à perda de massa do cadinho, as medidas em todas as amostras forneceram resultados com variação de 2%. Deste modo, foi possível observar nos gráficos a eficiência experimental obtida utilizando o reator de processamento a plasma térmico.

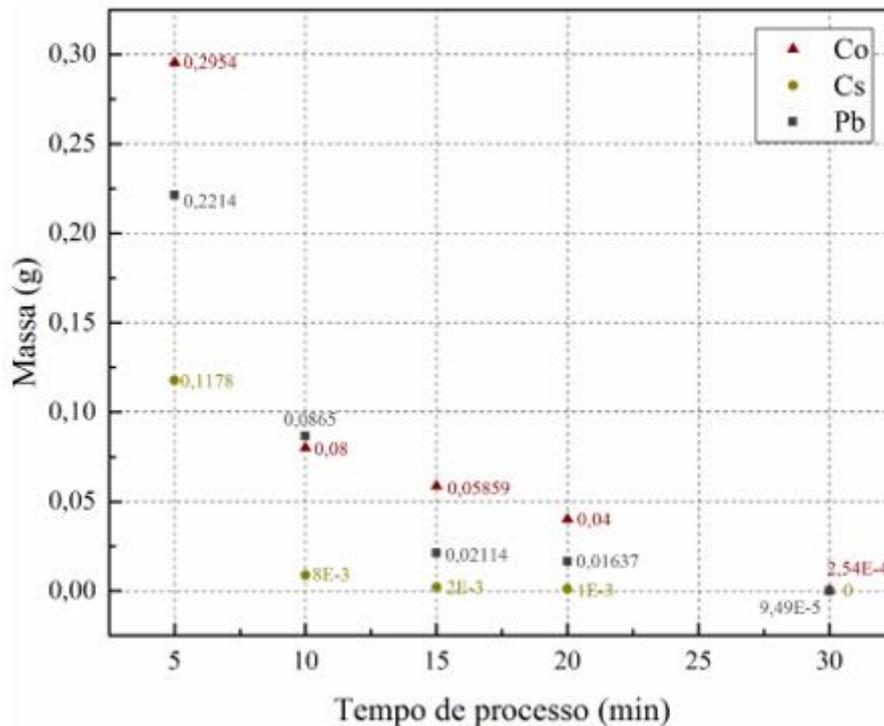
Por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X, na Tabela 1 estão apontadas as concentrações de carbono e dos elementos traçadores para cada escória do processo de acordo com o tempo de tratamento a plasma térmico.

Tabela 1: Concentração em massa de carbono e dos elementos traçadores nas escórias de rejeitos compactáveis após o processamento a plasma térmico.

Amostra	Tempo (min)	Concentração em massa (%)			
		C	Co	Cs	Pb
R.C1	5	85	4,39	1,75	3,29
R.C2	10	88	2,18	0,243	2,37
R.C3	15	90	2,1	0,0736	0,758
R.C4	20	94	1,69	0,0472	0,709
R.C5	30	99	0,0541	0	0,0202

Através dos dados da tabela 1, relacionando a massa total da escória com as respectivas concentrações foi possível determinar a massa em gramas dos elementos traçadores nas escórias indicadas na Figura 7.

Figura 7: Determinação de massa dos elementos traçadores das escórias de acordo com o tempo de processo.



A análise dos resultados obtidos por meio do gráfico mostra que o tratamento a plasma térmico de arco transferido atinge temperaturas superiores quando comparado com a temperatura de vaporização dos isótopos estáveis de cobalto, céscio e chumbo, diante disso é possível concluir que no centro do arco elétrico atinge temperaturas superiores a 3.000°C, a qual está acima da temperatura de vaporização do cobalto [8]. A vaporização completa dos elementos não ocorre, já que o arco elétrico pode se manter fixo em apenas um ponto, e sendo assim a região ao redor é aquecida apenas por dissipação de calor para as paredes do cadinho, alcançando uma temperatura menor em relação ao centro do arco elétrico [9, 10].

Em consequência da caracterização da escória, apesar do seu alto potencial de destruição o tratamento a plasma térmico de arco transferido revela a geração de rejeito gasoso. Tal fato se apresenta como futuro desafio para melhoria do processo de tratamento de rejeitos sólidos compactáveis, sendo necessário instalação de um subsistema capaz de reter os contaminantes presentes no gás de exaustão, como por exemplo, a utilização de filtros HEPA com resistência a temperatura acima de 250°C, visto que o gás de saída do processo atinge temperaturas em torno de 210°C.

4 CONCLUSÃO

Os experimentos de tratamento térmico a plasma de amostras simuladas de rejeitos sólidos compactáveis, mostraram que o processamento a plasma é uma tecnologia inovadora e potente para o tratamento desses materiais. Pode-se concluir que grandes volumes de rejeitos podem ser tratados termicamente a plasma pelo emprego de eletrodo de grafite na geração de arco transferido. Em 30 minutos de processamento a redução volumétrica foi de 99%, isto é de 250 cm³ para 2 cm³. Estes resultados promissores potencializam e justificam a aplicabilidade da tecnologia de plasma térmico na área nuclear para tratamento de rejeitos radioativos sólidos compactáveis. Este trabalho experimental, permite ressaltar que para a otimização completa do processo o sistema de processamento a plasma térmico está de acordo com normas técnicas para operação segura e duradoura para instalações nucleares. Vale ressaltar que se torna fundamental para trabalhos futuros relacionados ao emprego de tochas de arco não transferido o aprofundamento na medição de radionuclídeos e tratamento dos resíduos secundários como acoplar um sistema a plasma para tratamento do efluente gasoso.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico que apoiou este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] TZENG, C. C.; KUO, Y. Y.; HUANG, T. F.; LIN, D. L.; YUN, Y. J. Treatment of radioactive wastes by plasma incineration and vitrification for final disposal. **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 58, n. 1-3, p. 207-220, 1998.
- [2] NERI, E. P. M.; DA SILVA, F. C. A. Ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado indevidamente. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, Vol. 6, n. 2B, 2018.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Radioactive Waste Management Glossary**, IAEA, Vienna (2003).
- [4] FILIUS, K. D.; WHITWORTH, C.G. Emissions characterization and off-gas system development for processing simulated mixed waste in a plasma centrifugal furnace. **Hazardous waste and hazardous materials**, Vol.13, n. 1, p. 143-152, 1996.
- [5] PRADO, Eduardo SP et al. Thermal plasma technology for radioactive waste treatment: a review. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 325, n. 2, p. 331-342, 2020.
- [6] SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. Em: Anais do **3. Encontro de Energia no Meio Rural**. 2000.
- [7] PRADO, E. S. P. et al. Experimental study on treatment of simulated radioactive waste by thermal plasma: Temporal evaluation of stable Co and Cs. **Annals of Nuclear Energy**, p. 108433, 2021.
- [8] GHUILOUFI, I. Simulation of radioelement volatility during the vitrification of radioactive wastes by arc plasma. **Journal of hazardous materials**, Vol. 163, n. 1, p. 136-142, 2009.
- [9] ALVES JUNIOR, C. Nitretação a plasma: fundamentos e aplicações. Natal: **EDUFRN**, 2001.
- [10] PRADO, E. S. P. et al. Use of plasma reactor to viabilise the volumetric reduction of radioactive wastes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 168, p. 108625, 2020.