



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

Nome do(a) Bolsista: Julio Harada

Código do Projeto vinculado: 2020.06.IPEN.42.PD

DESCRIÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto

Reciclagem e Processamento de Plásticos por Radiação Ionizante e Não Ionizante

Prazo Execução (meses): 18

Objetivo Geral

Estudar o uso do processo de irradiação usando radiação ionizante (gama) e radiação não ionizante (micro-ondas) no polipropileno reciclado (PP rec).

Objetivos Específicos

- Estudar o efeito da radiação ionizante e não ionizante nas diferentes amostras de PP rec com diferentes doses.
- Analisar os resultados obtidos e determinar os melhores parâmetros dos processos de irradiações.
- Classificar as amostras irradiadas de PP rec de acordo com o tamanho das partículas obtidas.
- Caracterizar as amostras irradiadas de PP rec.
- Estudar a reutilização dos plásticos estudados, PP rec, após a aplicação das irradiações.

Palavras-chave

1 - Polipropileno reciclado (PP rec),

2 -Radiação não ionizante,

3 -Radiação ionizante,

4 - Plásticos.

5 -

Metas Físicas

1 - Levantamento bibliográfico;

2 - Obtenção das amostras;

3 - Utilização da radiação gama em corpos de prova e grãos;

4 - Caracterização dos materiais irradiados e não irradiados.

5 -Análise dos resultados das caracterizações realizadas e elaboração do relatório final.



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOUTORADO – EDITAL 6

Justificativa Resumida:

METODOLOGIA

- Pesquisa e atualização das referências bibliográficas.
- Seleção e processamento do PP rec.
- Analisar as amostras adequadas para injeção obtidas a partir de refugos industriais e resíduos de coleta seletiva (RSU).
- As amostras (corpos de prova) serão caracterizadas antes e depois de submetidas ao processo de irradiação em diferentes doses de radiação.
- Caracterização das amostras de "grãos" e dos corpos de prova do PP rec irradiados e não irradiados:
 - a) Grãos
 - Índice de fluidez (MFI) (ou índice de viscosidade);
 - Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR);
 - Calorimetria exploratória diferencial (DSC);
 - Análise termogravimétrica (TGA);
 - b) Corpos de prova
 - Resistência à tração e alongamento;
 - Resistência ao impacto;
 - Dureza superficial;
 - Difração de raios X (DRX);
 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV);
 - Temperatura de amolecimento Vicat;
 - Temperatura de deflexão térmica (HDT);
 - Temperatura de fusão (Tf).
- Irradiação das amostras
 - As amostras de PP rec, em grãos, corpos de prova injetados e bandejas serão irradiadas com radiação ionizante (gama), provenientes de um irradiador multipropósito de ^{60}Co com taxa de dose fixa em diferentes doses. Também serão irradiadas com radiação não ionizante (micro-ondas), cujas doses serão determinadas de acordo com os resultados obtidos da pesquisa bibliográfica.
 - Após as análises dos resultados serão verificadas as eficiências dos processos de irradiação.
 - Estudar a viabilidade de reutilização destes plásticos (polímeros) reciclados após os processos de irradiação (ionizante e não ionizante).

CRONOGRAMA FÍSICO

META FÍSICA 1 – Levantamento bibliográfico

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Pesquisa e atualização bibliográfica	Lista da bibliografia consultada	01	18



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

META FÍSICA: 2 - Obtenção das amostras

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Coletar grãos do PP reciclado indicado para injeção e confecção de bandejas agrícolas	Fotos de granulos e bandejas	01	04
Injeção dos corpos de prova	Fotos de corpos de prova injetados	02	04

META FÍSICA: 3 - Utilização da radiação gama em corpos de prova e grãos

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Irradiar corpos de prova e grãos com radiação ionizante	Relatórios parciais com resultados	04	09
Irradiar corpos de prova e grãos com radiação não ionizante	Relatórios parciais com resultados	04	09
Irradiar bandejas com radiação não ionizante	Relatórios parciais com resultados	04	09

META FÍSICA: 4 - Caracterização dos materiais irradiados e não irradiados.

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Ensaio de Índice de fluidez (MFI); ensaio de resistência à tração e alongamento; termogravimetria (TGA); difração de raios X (DRX)	Relatórios parciais com resultados	04	10
Ensaio de resistência ao impacto; ensaio de temperatura de amolecimento Vicat	Relatórios parciais com resultados	06	12
Ensaio de temperatura de deflexão térmica (HDT); ensaio de temperatura de fusão(Tf)	Relatórios parciais com resultados	08	13
Ensaio de dureza; calorimetria exploratória diferencial (DSC)	Relatórios parciais com resultados	10	14
Microscopia eletrônica de varredura (MEV).	Relatórios parciais com resultados	13	14

META FÍSICA: 5 - Análise dos resultados das caracterizações realizadas e elaboração do relatório final

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Preparação de tabelas e gráficos das caracterizações realizadas	Relatórios com resultados	05	17
Discussão dos resultados obtidos	Relatórios com resultados	05	17
Confecção do relatório final	Relatório final com resultados	15	17
Entrega do relatório final	Relatório final com resultados	18	18



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

Resultados Esperados

- 1 –Espera-se que o PP reciclado após sua caracterização e verificação de suas propriedades possa ser utilizado como aditivos e como carga em outros plásticos virgens com a finalidade de melhorar suas propriedades e reutilizá-lo para outras aplicações.
- 2 –Publicações de trabalhos científicos.
- 3 –Depósito de patente.
- 4 – Apresentar trabalhos em seminários e congressos nacionais e internacionais.
- 5 –Espera-se que a radiação ionizante e não ionizante no PP rec possa influenciar na economia circular e no meio ambiente de forma positiva.

Grau de Inovação (se houver):

PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS OU TECNOLÓGICAS DA PROPOSTA

Contribuir com programas de gerenciamento, tratamento e descartes adequados de plásticos oriundos de lixo industrial e urbano.

Promover o desenvolvimento sustentável e o crescimento econômico, minimizando a contaminação ambiental.

Avaliar o impacto ambiental do reaproveitamento de plásticos tratados com radiação ionizante e não ionizante.

Bibliografia:

1. HANDL, G. Declaration of the United Nations conference on the human environment (stockholm declaration), Stockholm, 1972, The rio declaration on environment and development, Rio de Janeiro, 1992. United Nations, 2012.
2. GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. Plastics and the circular economy. STAP, 2018.
3. PIVA, A. M.; WIEBECK, H. Reciclagem do plástico. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2004.
4. ROSÁRIO, S. C. Estudo do efeito da radiação ionizante por feixe de elétrons sobre o polietileno de ultra alto peso molecular virgem e reciclado de uso industrial. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
5. SANTOS, A. C. Estudo da reciclagem do poli(tereftalato de etileno) – PET pós-consumo e de suas propriedades, quando submetido à radiação ionizante. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
6. LAKSHMANAN, A.; CHAKRABORTY, S. K. Recycling of Polytetrafluoroethylene (PTFE) Scrap Materials. Intech, p.23, 2015.
7. VENKATESWARLU, G.; SHARADA, R.; BHAGVANTH RAO, M. Polytetrafluoroethylene (PTFE) based composites. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, v. 6, n. 10, p. 508- 517, 2014.
8. EHRIG, R. J. Plastics Recycling Products, and Processes. New York, N.Y.: Hanser Publishers, 1992.
9. MANO, E. B. Introdução a polímeros. 1. ed. São Paulo, S.P.: Edgard Blucher, 1999.
10. RHODIA STER. Manual Técnico-RHOPET. São Paulo, 1998.
11. FREITAS, P. Incorporação de nanopartículas de prata pelo processo de irradiação em cateter venoso central (CVC) de poliuretano revestido com óxido de titânio para atividade antibacteriana. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
12. LAPPAN, U.; GEIBLER, U.; SCHELER, U. The Influence of the Irradiation Temperature on the Ratio of Chain Scission to Branching Reactions in Electron Beam Irradiated

Polytetrafluoroethylene (PTFE). *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 292, n. 5, p. 641–645, 2007.

13. BRANDRUP, J. Prerequisites for successful recycling of polymer waste. *Makromol. Chem., Macromol. Symp.* v. 57, p. 57-74, 1992.

14. RAGHVENDRA, M. K.; SABU, T.; NANDAKUMAR, K. Micro and nano fibrillar composites (MFCs and NFCs) from polymer blends, Elsevier, New York: Oxford, 2017. Cap. 11, Recycling of polymer-polymer composites. p. 263–277.

15. HAMAD, K.; KASEEM, M.; DERI, F. Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, v. 98, n. 12, p. 2801–2812, 2013.

16. JEON, J.Y.; KIM, H.Y. Microwave Irradiation Effect on Diffusion of Organic Molecules in Polymer. *European Polymer Journal*, v. 36, p. 895-899, 2000.

17. RAKHMANKULOV, D.L.; SHAVSHUKOVA, S.YU; LATYPOVA, F.N.; ZORIN, V.V. Laboratory and Industrial Applications of Microwave Techniques. *Russian Journal of Applied Chemistry*, v. 75, n. 9, p.1377-1383, 2002.

18. MOTASEMI, F.; ANI, F.N. A Review on Microwave-Assisted Production of Biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 4719-4733, 2012.

19. ZHOU, J.; SHI, C.; MEI, B.; YUAN, R.; FU, Z. Research on the Technology and the Mechanical Properties of the Microwave Processing of Polymer. *J. Materials Processing Technology*, v. 137, p. 156-158, 2003.

20. HAQUE, K.E. Microwave energy for mineral treatment process – a brief review. *Int. J. Miner. Process*, v. 57, p.1-24, 1999.

21. CLARK, D.E.; FOLZ, D.C.; WEST, J.K. “Processing materials with microwave energy” *Materials Science and Engineering A* 287, p.153-158 (2000).

22. DOUCET, J. Pyrowave's plastic depolymerization machines using microwaves. Disponível em: <https://challenges.openideo.com/challenge/circular-design/ideas/pyrowavedistributed-microwave-depolymerization-units>. Acesso em: 23/09/2020.

23. Catalytic Microwave Depolymerization. Disponível em: <https://thecif.ca/chemicalrecycling-and-what-it-means-for-ontario-blue-box-programs/>. Acesso em: 23/09/2020.

24. FLAHERTY, N. Microwaves recycle plastic as a battery anode April 23, 2020//By Disponível em: <https://www.eenewspower.com/news/microwaves-recycle-plastic-battery-anode>. Acesso em: 23/09/2020.

25. KU, H.S.; SIORES, E.; TAUBE, A.; BALL, J.A.R. Productivity improvement through the use of industrial microwave Technologies. *Computer & Industrial Engineering*, v. 42, p. 281-290, 2002.

26. RUSEN, E.; MOCANU, A.; RIZEA, F.; DIACON, A.; CALINESCU, I.; MITITEANU, L.; DUMITRESCU, D.; POPA, A. M. Post-consumer PET Bottles Recycling II. PET Depolymerization using Microwaves (2013). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260073837_Postconsumer_PET_Bottles_Recycling_II_PET_depolymerization_using_microwaves. Acesso em: 21 de Set. 2020.

27. TAYONE, R.F.; SILAGAN, M.S.; IGDON, E.R.M.B.; ORTIZ, E.E.R.R; ONG, K.P. Microwave-Assisted Depolymerization of Post-Consumer Pet Bottles For the Production of Rigid Thermal Insulating Polyurethane Foams . *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, v. 4, n. 2, 2016

28. IKENAGAA, K.; INOUEA, T.; KUSAKABEA, K. Hydrolysis of PET by Combining Direct Microwave Heating with High Pressure. 4th International Conference on Process Engineering and Advanced Materials, 2016

29. PARROTT, M. Chemical Recycling of Polyethylene Terephthalate by Microwave Irradiation, Patent: WO 2017/087752 A1, 2017

30. GHOSH, S.; MAKEEV, M. A.; QI, Z.; WANG, H.; RAJPUT, N. N.; MARTHA, S. K.; POL,V. G. Rapid Upcycling of Waste Polyethylene Terephthalate to Energy Storing



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOUTORADO – EDITAL 6

- Disodium Terephthalate Flowers with DFT Calculations. ACS Sustainable Chem. Eng., v. 8, n. 16, p. 6252–6262, 2020
31. DEMETO: modular, scalable and high-performance DE-polymerization by Microwave Technology, 2017. Disponível em: <https://demeto.prezly.com/launch-of-the-new-europeanproject-on-chemical-recycling-demeto#>. Acesso em: 21/09/2020
32. PURDUE UNIVERSITY. Microwaves power new technology for batteries, energy. Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/04/200422091144.htm>, Acesso em: 21/09/2020.
33. MYREN, T. H. T.; STINSON, T. A.; MAST, Z. J., HUNTZINGER, C. G.; LUCA, O. R.. Chemical and Electrochemical Recycling of End-Use Poly(ethylene terephthalate) (PET) Plastics in Batch, Microwave and Electrochemical Reactors. Molecules, v. 25, n. 12, p. 2742, 2020.
34. MOREIRA, E. M.; CARDOSO, M. J. B.; ARAUJO, S. G.; TAKAHASHI, J.; ALENCAR, M. S. Method and Apparatus for Microwave Assisted Processing of Feedstocks, US Patent -US2008/0264934 A1, 2008.
35. LANDINI, L.; ARAÚJO, S. G.; LUGÃO, A. B.; WIEBECK, H. Preliminary analysis to BIIR recovery using the microwave process. European Polymer Journal, v. 43, p. 2725– 2731, 2007.
36. Tecnologia de refino de combustível veicular utilizando micro-ondas, Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=38&campo=13266 (2019), Acesso em: 10 fev. 2020.
37. HAHLADAKIS, J. N., VELIS, C. A., WEBER, R., IACOVIDOU, E., PURNELL, P. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. Journal of Hazardous Materials, v. 344, p. 179-199, 2018.
38. ERIKSEN, M. K.; PIVNENKO, K.; OLSSON, M. E.; ASTRUP, T. F. Contamination in plastic recycling: Influence of metals on the quality of reprocessed plastic. Waste Management, v.79, p. 595-606, 2018.
39. BOSTELMANN, E. Avaliação da concentração de metais em amostras de sedimento do reservatório Billings, Braço Rio Grande, São Paulo, Brasil. 2006. 130 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
40. MOREIRA E. G. Preparo e Caracterização de um Material de Referência de Mexilhão Perna Perna (Linnaeus, 1758). 2010. 240 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
41. SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Principles of Instrumental Analysis. 6. ed. California: Thomson Brooks/Cole, 2007.