

RESÍDUOS METÁLICOS DE ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS DE POLIÉSTER: RESISTÊNCIA MECÂNICA E FLAMABILIDADE*

Gabriel da Cruz Oliveira¹

Lucas Rezende Almeida²

Willian Rayol da Silva³

Bruno Henrique Alves Mendes⁴

Brenda Thayssa Figueira Daniel⁵

Denilson da Silva Costa⁶

Deibson Silva da Costa⁷

Resumo

Manufaturaram-se compósitos de resina poliéster utilizando resíduo de alumínio para avaliar o comportamento desse material por meio de caracterização física, mecânica e de flamabilidade. Confeccionaram-se placas utilizando o método *hand lay-up* para composições em peso de 0 %, 10%, 20 % e 30 % de particulado da fase dispersa, que foi beneficiada em uma peneira de 100 mesh. A resina utilizada foi a poliéster insaturado isoftálica, e na reação, empregou-se o acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e o iniciador MEK-P (1 % v/v). Realizaram-se ensaios para caracterização física de acordo com a norma NBR 12766, caracterização mecânica segundo a norma ASTM D 3039 e de resistência à chama de acordo com a norma ASTM D 635. Os ensaios físicos estabeleceram valores variantes com base na proporção de partículas de alumínio na matriz. A tensão de resistência mecânica apontou valores inversamente proporcionais ao aumento da carga na matriz, sendo comparada com outras literaturas a fim de estabelecer a variação da resistência a tração de acordo com as frações. O compósito mostrou características de retardância à chama no ensaio de análise térmica, tendo uma redução de 95,53 % comparada à resolução CONTRAN 675, possibilitando sua utilização como material resistente à queima.

Palavras-chave: Compósitos; Alumínio; Resíduo; Caracterização.

METAL WASTE OF ALUMINUM IN POLYESTER COMPOSITES: MECHANICAL STRENGTH AND FLAMMABILITY

Abstract

Polyester resin composites were fabricated using aluminum residue to evaluate the behavior of this material to physical, mechanical and flammability characterization. Plates were made using the *hand lay-up* method for compositions in weight of 0 %, 10 %, 20 % and 30 % particulate of the dispersed phase, which was beneficiated in a 100 mesh sieve. The resin used was the isophthalic unsaturated polyester, and in the reaction, the cobalto (1,5 % v/v) accelerator and the iniciador MEK-P (1 % v/v). Tests were carried out for physical characterization according to NBR 12766, mechanical characterization according to ASTM D 3039 and flame resistance in accordance with ASTM D 635. The physical tests established variant values based on the proportion of aluminum particles in the matrix. The tensile strength showed values as inversely proportional to the increase of the load in the matrix, being compared with other literature in order to establish the variation of tensile strength according to the fractions. The composite showed characteristics of flame retardancy in the termal analysis test, having a reduction of 95.53 % compared to the resolution CONTRAN 675, allowing its use as a material resistant to burning.

Keywords: Composites; Aluminum; Residue; Characterization.

- ¹ Graduando do curso de Engenharia de Materiais, faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua- PA, Brasil: gdco.cruz@gmail.com.
- ² Graduando do curso de Engenharia de Materiais, faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua- PA, Brasil: lucasreezende@gmail.com.
- ³ Graduando do curso de Engenharia de Materiais, faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua- PA, Brasil: rayolwillian@gmail.com.
- ⁴ Mestrado em Engenharia Química- PPGEQ/ITEC, Graduado em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém- PA, Brasil: bbmendes15@gmail.com.
- ⁵ Mestrada em Engenharia Mecânica- PPGEM, Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais- GPEMAT, Graduada em Bacharelado em Ciência e Tecnologia- Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil: brendadaniell@yahoo.com.br.
- ⁶ Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de minas, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá – PA, Brasil: denilson@unifesspa.edu.br.
- ⁷ Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua- PA, Brasil: deibsonsc@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO

O consumo excessivo das grandes industriais nos últimos anos ocasiona um enorme volume de resíduos sólidos que são descartados diariamente, principalmente pela indústria de materiais. Um desses é o alumínio, que por sua vez, agrega-se a uma diversa gama de aplicações. Sua obtenção parte da mineração da bauxita, um minério que pode ser encontrado em vários grupos climáticos, sendo o Brasil um dos centros das maiores reservas desse minério ⁽¹⁾.

Dessa forma, diante da grande produção do óxido de alumínio, fazem-se necessários variados métodos de reaproveitamento, principalmente na obtenção de novos materiais. O alumínio como resíduo agrega valores fundamentais que possibilita sua utilização como reforço em matriz polimérica.

Os compósitos englobam uma classe de materiais que ganha importância tecnológica a cada dia, essencialmente por viabilizar melhores propriedades para os mesmos. O conceito classifica duas fases de uma proporção significativa das propriedades de um material multifásico, onde se tem a matriz e a fase dispersa ⁽²⁾.

A resina poliéster se atribue a características que permite a compatibilidade dessa matriz a variados tipos de particulados. Predominantemente, os poliésteres são líquidos viscosos que quando reforçados com cargas desempenham um papel fundamental na manufatura do material, incluídas com o intuito de aumentar a rigidez e dureza do produto final. O particulado seja um material inorgânico como exemplo, deve ser incorporado de modo que exista a cobertura com a resina poliéster, de maneira que os átomos de sílicone polares possam interagir com os grupos da cadeia do material de reforço ⁽³⁾.

Tais aspectos definem essa resina como importante para a confecção dos materiais compósitos, levando a consideração dos reagentes que proporcionam a condição de cura. Esses reagentes são empregados como acelerador e catalisador que reagem com o polímero e permite que ele se solidifique.

O artigo mostra a caracterização física, mecânica e resistência a chama dos compósitos poliméricos de resíduo de alumínio, avaliando o comportamento do material na distribuição das partículas em meio a fase dispersa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Confeccionaram-se placas de compósitos de poliéster insaturado através do método manual de *Hand Lay-up* para composições em termos percentuais de 0 %, 10 %, 20 % e 30 % de resíduo de alumínio.

A princípio, o resíduo passou por uma peneira de 100 mesh da série Tyler. O material foi aquecido na estufa marcando 100° C para a retirada do excesso de umidade, por um tempo de aproximadamente 24 horas, etapa essa posterior à determinação das massas.

Ocorreu a homogeneização da resina poliéster com carga de resíduo de alumínio através de uma mistura manual para melhor distribuição e linearidade das partículas. Para a reação, utilizou-se o agente de cura, o iniciador MEK-P (Butanox) na proporção 1 % (v/v), e o acelerador de cobalto na proporção 1,5 % (v/v).

Após determinado tempo de mistura depois da adição do cobalto, o material com viscosidade alta foi despejado em um molde metálico linear de formato retangular. Posteriormente, submetido a uma compressão de 25 kN por 20 minutos em um prensador manual. Por fim, para manter o formato linear das placas

adicionou cargas sobre elas até o tempo de reação final, ademais foram cortadas de acordo com as normas para os ensaios físicos, de tração e flamabilidade.

A Figura 1 apresenta o processo de fabricação do compósito desde a confecção do resíduo, obtido de empresas oriundas do estado do Pará, até a seleção do material final, envolvendo estocagem e geometria necessária para os parâmetros exigidos na realização dos ensaios.

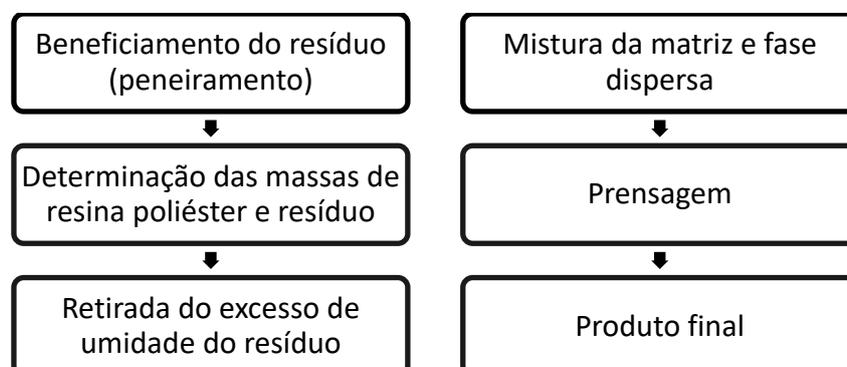


Figura 1. Fluxograma de fabricação dos compósitos de matriz polimérica

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios Físicos

Os ensaios físicos foram realizados com base na norma NBR 12766 ⁽⁴⁾. A Tabela 1 mostra os valores de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA) do compósito polimérico com carga de alumínio.

Tabela 1. Resultados dos ensaios físicos

RESÍDUO/PROPORÇÃO	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)
Resina Plena	0,28 ± 0,05	0,34 ± 0,06	1,22 ± 0,0006
Al 10 %	0,47 ± 0,04	0,69 ± 0,06	1,47 ± 0,0044
Al 20 %	0,38 ± 0,04	0,68 ± 0,08	1,79 ± 0,0102
Al 30 %	0,36 ± 0,04	0,74 ± 0,09	2,06 ± 0,0026

Observa-se que com o aumento da quantidade de particulado de alumínio (Al) na matriz poliéster a absorção de água (AA) diminui gradativamente. Nos aspectos físicos, comumente a fase dispersa tende a absorver certa quantidade de água de acordo com a presença de falhas, geralmente em materiais cerâmicos. Porém, nota-se que o alumínio possui baixa absorção. Esse fenômeno está associado à própria natureza física do Al, caracterizado por ser um material hidrofóbico ⁽¹⁾.

Os resultados são comparados com outras literaturas a fim de estabelecer o grau de absorção conforme as proporções. A Figura 2 mostra a relação do

acréscimo das frações de resíduos diferentes em relação as suas propriedades físicas de absorção de água.

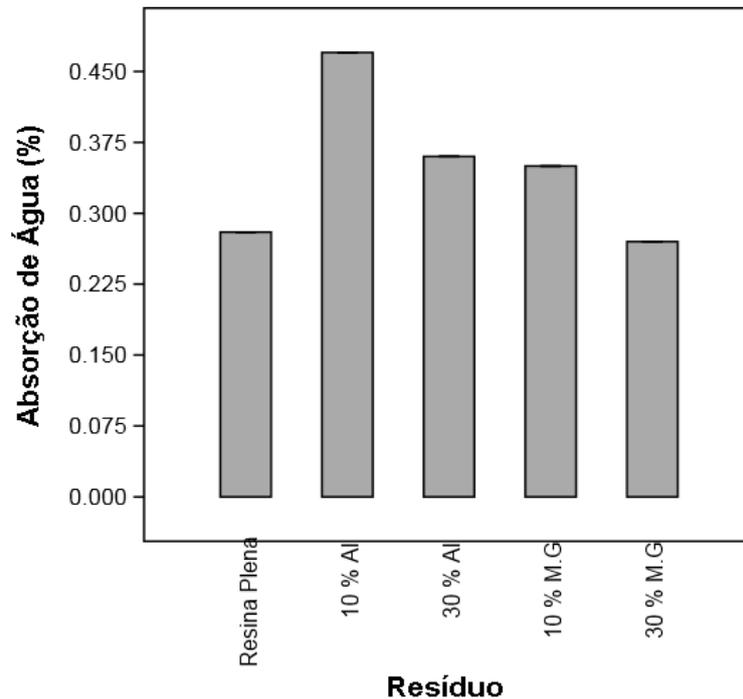


Figura 2. Comparativo com frações de outros materiais em função da absorção de água

Constata-se na Figura 2 que absorção do resíduo de Mármore e Granito (M.G) também diminui com o aumento da fração. O autor afirma que esse decréscimo pode está relacionado à quantidade de resina que não se impregnou de maneira absoluta em toda a massa de resíduo, gerando um compósito com alto grau de poros e portando com maior capacidade de absorver água ⁽⁸⁾.

A resina plena demonstra baixo índice de absorção devido suas macromoléculas e logicamente por apresentar interfaces com pequeno volume de poros. Portanto, o preenchimento da fase dispersa propôs efeito significativo. Segundo Fang *et al.* (2013) a absorção de água nos compósitos ocorre através da presença de poros e da área de interação das fases, indicando a compatibilidade entre os componentes.

Houve um pequeno aumento na porosidade aparente referente à relação da composição de 10 % e 30 % de Al, podendo ser associado à presença de vazios internos provenientes da dificuldade de percolação dos fluídos e molhabilidade. Além disso, o comportamento e o tamanho da partícula podem acarretar na incompatibilidade de fases ⁽²⁾. Contudo, segundo a probabilidade de significância todas as frações, exceto o desempenho da matriz plena, tiveram porosidades estatisticamente iguais.

A massa específica aparente (MEA) aumentou de maneira proporcional à quantidade de carga na matriz polimérica. Esse aspecto pode ser explicado pela regra da mistura, descrevendo que as propriedades são dependentes das frações volumétricas das fases ⁽⁵⁾.

3.2 Ensaio de Tração

Os compósitos poliméricos reforçados com resíduo de alumínio foram analisados quanto a sua resistência mecânica através do ensaio de tração. Obtiveram-se valores da tensão de resistência conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do ensaio de resistência à tração

RESÍDUO/PROPORÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (Mpa)
Resina Plena	21,34 ± 7,06
Al 10 %	25,47 ± 4,76
Al 20 %	21,48 ± 3,41
Al 30 %	18,82 ± 1,07

Verifica-se que os valores para a tensão de resistência diminuíram conforme o acréscimo das proporções. A Tabela 2 mostra que o compósito de 10 % teve a maior resistência mecânica.

Por meio da análise de variância (ANOVA) e método de Tukey se estabeleceram comparações das frações, de modo a avaliar as diferenças significativas entre cada uma delas. Utilizando o *software* Past 3.0 se obteve os valores gerados pelo menu ANOVA para o ensaio de tração, mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Dados gerados pela ANOVA para ensaio de tração

FONTE DE VARIAÇÃO	SQ	GL	MQ	F	VALOR-P	F CRÍTICO
Entre grupos	134,56	2	67,28	5,679	0,01458	0,01557
Dentro dos grupos	177,71	15	11,84			
Total	312,27	17				

De acordo com os dados mostrados na tabela, pode-se determinar que a probabilidade de significância (Valor-P) é menor que 0,05, logo, a adição de resíduo tem efeito significativo com 95 % de confiança. Esse aspecto afirma que ao menos uma proporção é diferente das outras, portanto, foi realizado o método de Tukey para justamente analisar quais frações são estatisticamente diferentes. Os dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Comparação das frações utilizando o método Tukey's pairwise

	0 % Al	10 % Al	20 % Al	30 % Al
0 % Al		0,13	0,93	0,81
10 % Al			0,34	0,02
20 % Al				0,47
30 % Al				

Com base no teste de Tukey's as frações de 20 % e 30 % de Al são estatisticamente iguais. A Tabela 4 mostra o destaque para fração de 30 % devido ser diferente do menor valor para quantidade de particulado.

A Figura 3 apresenta as frações com relação à resistência mecânica para o ensaio de tração. Mostrou-se que em termos estatísticos gradativamente o valor da tensão diminui conforme o aumento do resíduo.

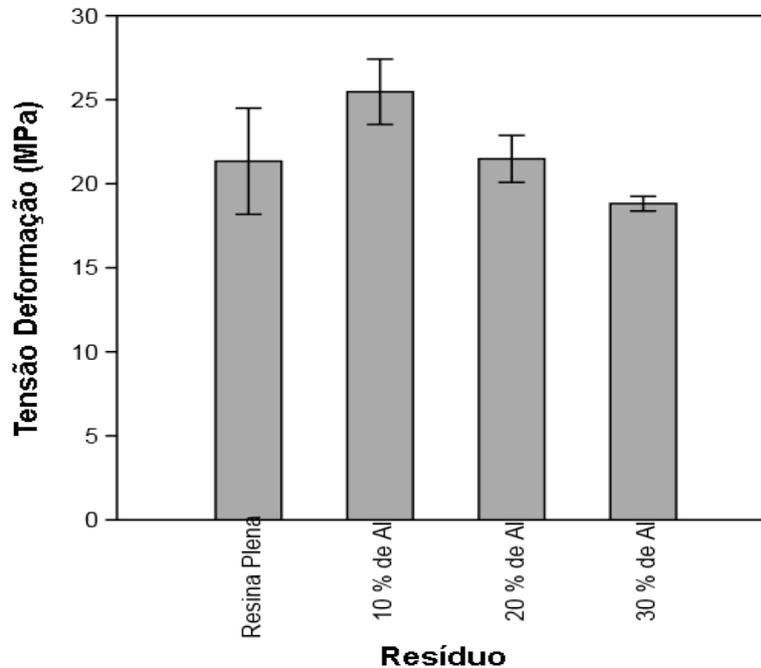


Figura 3. Gráfico das frações de Al em função da resistência mecânica.

O valor da tensão de deformação para a proporção de 10 % de Al, que teve a maior resistência pode ser comparado com o compósito de mármore e granito formulado por outra literatura conforme a tabela 5.

Tabela 5. Comparativo da fração de 10 % de Al com o aditivo mármore e granito

RESÍDUO/PROPORÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)	FONTE
Alumínio 10 %	25,47 ± 4,76	Este trabalho
Mármore e Granito 10 %	18,07 ± 3,58	Rodrigues, D. N. (2016)

O compósito de alumínio mostrou vantagem quando relacionado ao compósito de Mármore e Granito, caracterizando uma redução de aproximadamente 29,05 %. Observa-se que foi utilizada a mesma proporção no comparativo. Esse fator também pode ser explicado devido à quantidade de resíduo de Al ser disposta em pequena quantidade, promovendo uma melhor percolação da fase dispersa dentro da matriz.

3.3 Ensaio de Flamabilidade

A Tabela 6 mostra a taxa de queima do compósito por minuto das proporções de partículas de Al e também da resina plena. O ensaio foi realizado com base na norma ASTM D 635 ⁽⁶⁾.

Tabela 6. Resultados do ensaio de chamas

RESÍDUO/PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	22,60 ± 1,52
Al 10 %	18,74 ± 1,40
Al 20 %	17,35 ± 0,27
Al 30 %	11,17 ± 0,49

De acordo com a Tabela 6 a taxa de queima do material diminui conforme o preenchimento do resíduo na matriz. Estatisticamente as proporções de 10 % a 30 % são diferentes e mostraram que a maior proporção propõe o melhor resultado. Assim, nota-se que com o aumento da quantidade do resíduo de Al melhor o desempenho do material com relação à resistência a chamas devido menor tempo de queima. Fisicamente esse fator pode ser explicado pela redução da resina poliéster, de modo a admitir que seja um material tipicamente inflamável.

Para estabelecer que o material apresente um expressivo efeito retardante de chamas os resultados foram comparados com as normas CONTRAN nº 675 ⁽⁷⁾ e a norma ASTM D 635 mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Comparação dos resultados obtidos com parâmetros exigidos

PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
30 %	11,17

A Tabela 7 compara as normas com a proporção de 30 % de Al, estabelecido como melhor resultado. Observa-se que os valores são promissores, avaliando uma margem de erro considerável. A redução comparada à norma CONTRAN 675 teve uma taxa de 95,53 % e 72,08 % para a norma ASTM D 635.

Realizou-se um comparativo com uma fase dispersa também metálica na mesma proporção com o resíduo de Cobre. A relação é apresentada na tabela 8.

Tabela 8. Comparação da melhor taxa obtida com compósito de cobre

PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)	FONTE
Alumínio 30 %	11,17	Este trabalho
Cobre 30 %	14,81	Banna, W. R. (2017)

Nota-se que mesmo se tratando de duas cargas metálicas, o resíduo de alumínio ainda apresentou menor taxa de queima. O comportamento do reforço na matriz polimérica pode ser explicado na relação da geometria da partícula de Al com a percolação das fases dentro da estrutura do compósito. Além disso, a confluência das moléculas do polímero com o alumínio tende ser melhor, de modo a diminuir ao máximo a quantidade de resina.

4 CONCLUSÃO

O compósito polimérico com carga metálica de alumínio apresentou uma baixa absorção de água em relação ao aumento das partículas dispersas dentro da matriz. Caracterizou-se que esse fator está associado à natureza física do alumínio e por ter comportamento hidrofóbico. A porosidade teve um acréscimo considerável devido à presença de vazios de acordo com o preenchimento do resíduo, proveniente da dificuldade de percolação dos fluídos e molhabilidade.

Nas análises dos resultados da caracterização mecânica a fração de 10 % teve melhor desempenho quando comparada ao material de poliéster insaturado com mármore e granito, admitindo uma redução de aproximadamente 29,05 %.

Ademais, o compósito a base de alumínio mostrou características de retardância à chama, agregando baixa taxa de queima proporcional ao aumento de particulado. Mostrou-se uma margem de erro considerável quando houve um comparativo com as normas do CONTRAN 675 e ASTM D 635, além disso, a maior fração apresentou valor considerável comparada ao resíduo de cobre na mesma proporção. Tais aspectos podem indicar a possibilidade desse compósito ser utilizado em diversos setores que exige materiais com boas propriedades térmicas. Porém, outros testes precisam ser realizados.

REFERÊNCIAS

- 1 ABAL Fundamentos do Alumínio e suas aplicações. São Paulo, Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), 2004.
- 2 CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- 3 FRADOS, J.; *Plastics Engineering Handbook*, 4º edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1976.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)- NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água aparente." 1992. 2p.
- 5 GHESQUIERE, A; BAUWENS, J C. – *J Appl. Polym. Sei.*, 20, 891-901 (1976).
- 6 ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position" *Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, 2010.
- 7 Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº. 675- "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." *Diário Oficial da União*, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.
- 8 RODRIGUES, D. N. Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco. Tese (Mestrado em Engenharia de Processos)- Faculdade de Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, p 39. 2016.

- 9 BANNA, W. R. Influência do resíduo de flotação de minério de cobre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz termofixa e fibras de bananeira (*Musa Sapientum, Musacae*). Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais)- Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, p.137. 2017.
- 10 FANG, H.; ZHANG, Y.; LIU, .; CHI, Z.; XU, J. Synergistic effect of La₂O₃ on the flame retardant properties and the degradation mechanism of a novel PP/IFR system. *Polymer Degradation and Stability*, v. 97, p. 707-717, 2012..