



Análise do comportamento mecânico do polímero ABS submetido a múltiplos ciclos de reciclagem por moldagem por injeção

Eduardo Nascimento Pires | eduardo.pires@ifsc.edu.br

Rodrigo Acácio Paggi | rodrigo.paggi@ifsc.edu.br

Ozéias Carlim do Prado | ozeias.carlim@ifsc.edu.br

Amanda Campos Morgenstern | amandaskrepec@icloud.com

Yara Smith Tesser | yaratessersmith@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar o comportamento do polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) submetido a múltiplos ciclos de moldagem por injeção, com foco na avaliação dos efeitos da reciclagem sobre suas propriedades mecânicas. O estudo contempla a análise da resistência à tração e resistência ao impacto como parâmetros indicativos de degradação térmica e mecânica. Diferentemente de abordagens que utilizam misturas com material virgem, este trabalho busca compreender o desempenho do ABS reciclado em sua forma pura, avaliando sua viabilidade para aplicações industriais de menor exigência estrutural. Os resultados preliminares permitiram identificar a condição de processamento mais adequada para os ciclos subsequentes e evidenciaram a importância do controle de temperatura e pressão no comportamento do material. A pesquisa contribui para o avanço de práticas de economia circular, reforçando a sustentabilidade e a eficiência no reaproveitamento de polímeros de engenharia.

Palavras-chave: moldagem por injeção; reciclagem; ABS.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão eficiente de resíduos sólidos tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias voltadas à economia circular, especialmente no contexto dos materiais poliméricos. Entre os diversos polímeros de engenharia, o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) destaca-se por sua ampla aplicação em setores como automotivo, eletroeletrônico e de bens de consumo, em virtude de sua combinação singular de propriedades mecânicas, térmicas e estéticas. Entretanto, o descarte e a reciclagem inadequados desse material configuram um desafio ambiental relevante, uma vez que o ABS, por ser um termoplástico de alto desempenho, apresenta resistência à degradação natural e acumula-se em aterros e no meio ambiente (García *et al.*, 2016).

A reciclagem mecânica surge, nesse cenário, como a principal alternativa para o reaproveitamento de resíduos plásticos, representando mais de 93% dos processos de reciclagem de polímeros no Brasil (ABIPLAST, 2024). Contudo, a reprocessabilidade do ABS é limitada pela degradação térmica e mecânica sofrida durante ciclos repetidos de extrusão e injeção, o que compromete suas propriedades e restringe sua utilização a aplicações de menor exigência técnica. Estudos anteriores têm demonstrado que a mistura de ABS reciclado com material virgem é uma prática recorrente para mitigar perdas de resistência à tração e ao impacto, além de melhorar a fluidez do fundido e a estabilidade dimensional das peças moldadas (Jung, 2025; Munshi *et al.*, 2025). Apesar disso, observa-se uma lacuna significativa na literatura quanto à avaliação do comportamento do ABS reciclado em sua forma pura, sem adição de polímero virgem, o que impede a compreensão integral de seu potencial de reutilização em sistemas produtivos sustentáveis.

Considerando que a moldagem por injeção é o principal processo de conformação de produtos em ABS, torna-se fundamental compreender os efeitos dos sucessivos ciclos de reprocessamento sobre suas propriedades mecânicas, reológicas e químicas. Durante esse processo, o material é submetido a elevadas temperaturas e taxas de cisalhamento, condições que favorecem a cisão de cadeias poliméricas e a oxidação, reduzindo o peso molecular e, conseqüentemente, a resistência mecânica. Ensaaios de tração e impacto permitem avaliar as alterações estruturais e funcionais decorrentes desses fenômenos.

Destarte, o presente estudo tem como objetivo investigar o comportamento do ABS submetido a múltiplos ciclos de moldagem por injeção, sem adição de material virgem, buscando compreender a influência da reciclagem sobre suas propriedades mecânicas. A análise desses efeitos visa subsidiar estratégias que ampliem a viabilidade do uso de ABS reciclado em aplicações industriais, promovendo o uso racional de recursos e contribuindo para o avanço de práticas alinhadas aos princípios da economia circular. Diante de que apenas cerca de 25% dos resíduos plásticos no Brasil retornam à cadeia produtiva como resinas recicladas pós-consumo (ABIPLAST, 2024), a geração de conhecimento sobre a durabilidade e o desempenho de polímeros reciclados é essencial para fortalecer o setor de transformação plástica e reduzir o impacto ambiental associado a esse tipo de material.

2 METODOLOGIA

2.1 Determinação dos parâmetros otimizados de injeção

Antes do início dos ciclos de reciclagem, foram realizados testes preliminares de moldagem por injeção com o material virgem, visando determinar os parâmetros de processamento mais adequados ao estudo. Utilizou-se o polímero Terluran® GP-35 (ABS), cuja ficha técnica forneceu a faixa de operação recomendada para temperatura de injeção. O material foi previamente seco em estufa a 80 °C por 4 h para eliminar umidade residual e prevenir defeitos superficiais ou degradação durante o processamento, conforme procedimento padrão para termoplásticos higroscópicos.

Foram avaliadas quatro condições distintas de fluxo de injeção ($Q = 25, 40, 55$ e $70 \text{ cm}^3/\text{s}$), associadas a variações proporcionais de pressão de injeção (P_i), pressão de recalque (P_r) e contrapressão do fuso (C_p). Para cada condição, testaram-se três temperaturas de injeção (220 °C, 240 °C e 260 °C), dentro do intervalo operacional especificado pelo fabricante. Os demais parâmetros de processamento foram mantidos constantes, como a temperatura do molde, por exemplo, igual a 23°C. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração, sendo os resultados analisados quanto à homogeneidade, preenchimento do molde e integridade superficial. A partir dessas análises, definiu-se a condição padrão de referência para os ciclos de reproprocessamento subsequentes, avaliando o melhor equilíbrio entre fluidez, estabilidade térmica, desempenho mecânico e presença de defeitos.

A partir desses parâmetros, corpos de prova padronizados foram moldados e considerados como ciclo 0 (condição de referência). Em seguida, as amostras foram moídas para, posteriormente, serem reproprocessadas sucessivamente no equipamento de injeção, mantendo as mesmas condições operacionais em todos os ciclos para assegurar a comparabilidade dos resultados. Para cada reciclagem, foi estipulado a coleta de dez amostras para ensaio de tração e impacto. As amostras são coletadas após os primeiros cinco ciclos de injeção para que se garanta homogeneidade de massa plastificada e demais parâmetros de processamento.

2.2 Caracterização mecânica

As propriedades mecânicas do ABS foram avaliadas por meio de ensaios de tração e impacto, realizados a cada ciclo de reciclagem. O ensaio de tração foi conduzido conforme a norma ASTM D638, determinando os valores médios de resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura. Este ensaio permite quantificar as alterações estruturais relacionadas à degradação das cadeias poliméricas durante os ciclos de reproprocessamento. Os ensaios foram conduzidos em uma máquina de ensaios universais EMIC DL2000, disponível no Laboratório de Caracterização de Materiais do IFSC Caçador. Foi utilizada uma velocidade de deslocamento de 5 mm/min e uma célula de carga de 5 kN.

O ensaio de impacto será realizado segundo a norma ASTM D256, utilizando corpos de prova entalhados. O foco desta análise é a degradação da fase elastomérica de butadieno, cuja integridade influencia diretamente a capacidade do material de absorver energia sob impacto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação das condições de moldagem por injeção

Após a secagem em estufa, foram conduzidos experimentos sob quatro condições de processamento, com variação de quatro parâmetros: fluxo de injeção (Q), pressão de injeção (Pi), pressão de recalque (Pr) e contrapressão do fuso no momento da dosagem (Cp). A Tabela 1 ilustra as variações propostas.

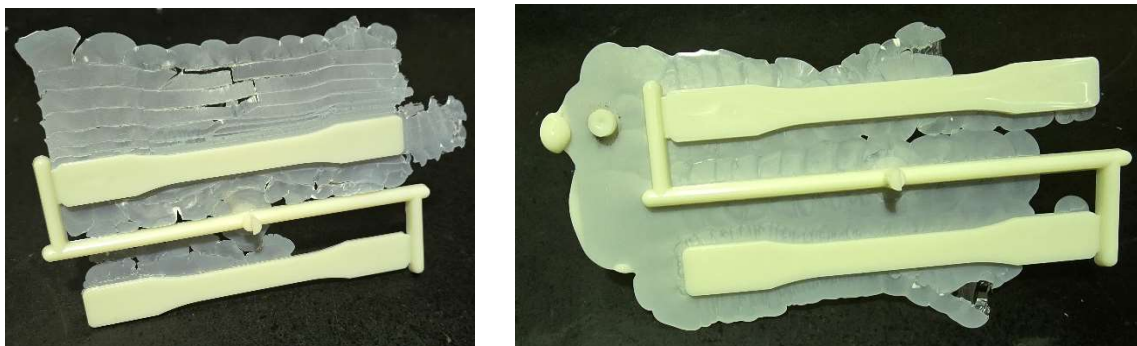
Tabela 1 – Formatação do texto

Condição	Q (cm ³ /s)	Pi (bar)	Pr (bar)	Cp (bar)
1	25	600	420	0
2	40	900	630	80
3	55	1200	840	160
4	70	1500	1050	240

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para cada condição de injeção, foram avaliadas três temperaturas de processamento — 220, 240 e 260 °C — conforme o intervalo recomendado pelo fabricante. Observou-se que, nas condições associadas a temperaturas e pressões elevadas, os corpos de prova apresentaram formação excessiva de rebarbas (Figura 1), mesmo quando aplicada a força máxima de fechamento disponível na máquina injetora. Tais parâmetros, embora úteis para avaliar o comportamento do material sob condições de maior severidade térmica e mecânica, não refletem um cenário de processamento industrial viável. Dessa forma, essas condições foram excluídas das etapas subsequentes de reprocessamento, a fim de assegurar a reprodutibilidade e a representatividade dos resultados obtidos.

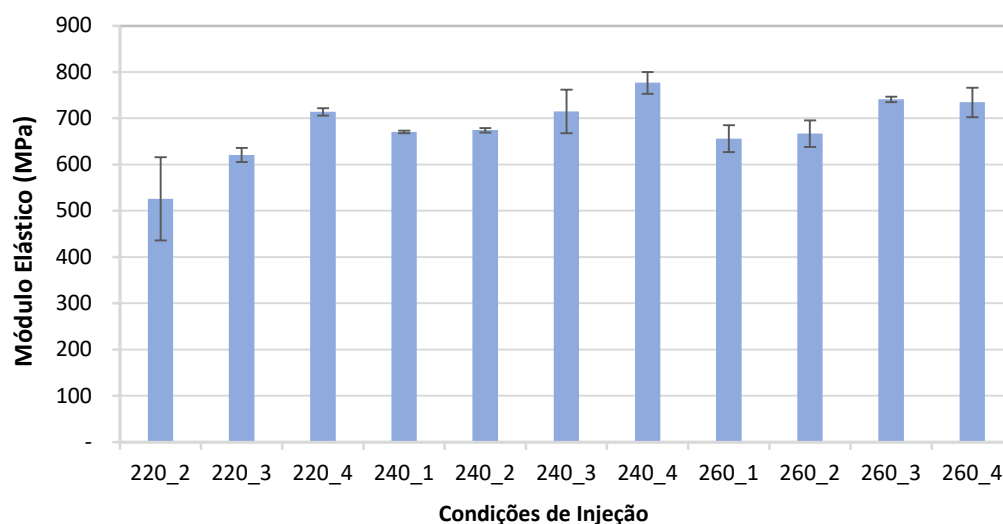
Figura 1 – Amostras obtidas com rebarbas em condições severas (alta temperatura e pressões)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Figura 2 nos mostra os resultados obtidos no ensaio de tração para o módulo elástico. Observou-se que há uma tendência de obter maiores valores de rigidez em amostras que são processadas com maiores pressões de injeção e recalque (condições 3 e 4). As amostras da condição 240_4 demonstraram os maiores valores de módulo, alcançando uma média de 777 MPa, com desvio padrão de 23,5 MPa.

Figura 2 – Resultados de módulo elásticos obtidos do ensaio de tração para diferentes condições de moldagem por injeção.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se que não foram obtidos resultados para a condição 220_1 (220 °C associada à condição 1 da Tabela 1). A temperatura reduzida de processamento (220 °C) resultou em elevada viscosidade do fundido, dificultando o escoamento do material no interior do molde. Aliada à baixa pressão de injeção dessa condição, essa combinação impediu o

completo preenchimento do molde, inviabilizando a confecção adequada dos corpos de prova e, conseqüentemente, a realização dos ensaios de tração correspondentes.

Os valores de tensão na ruptura obtidos nos ensaios de tração estão apresentados na Figura 3. Observa-se que as amostras moldadas na condição 4 apresentaram os maiores valores médios de tensão na ruptura para todas as temperaturas testadas. Entretanto, considerando-se os desvios-padrão associados, não é possível afirmar estatisticamente que essa condição represente o melhor desempenho mecânico. Além disso, todas as amostras processadas na condição 4 exibiram formação acentuada de rebarbas, indicando excesso de pressão e instabilidade de preenchimento. Nas amostras da condição 3, também foram observadas rebarbas nas temperaturas de 240 °C e 260 °C, ainda que em menor intensidade.

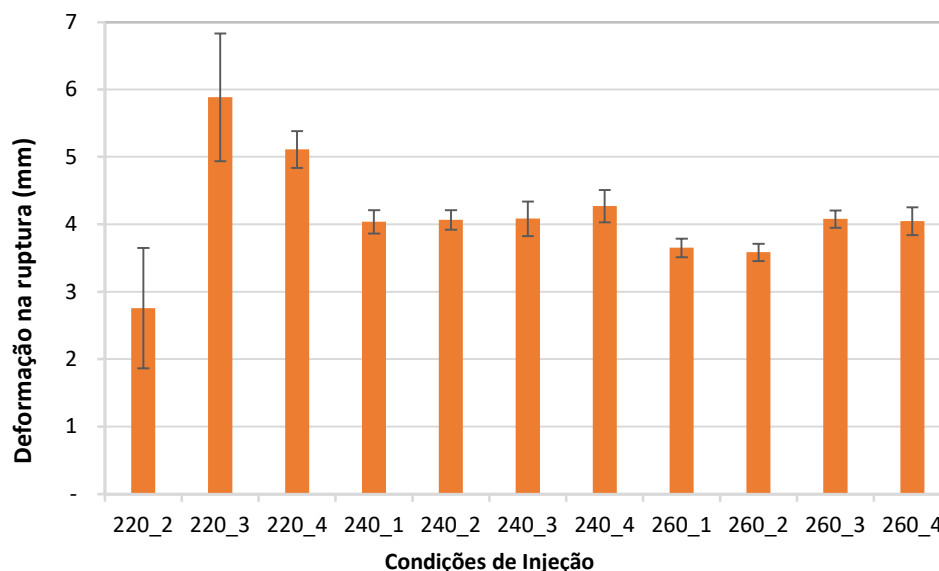
Figura 3 - Resultados de módulo elásticos obtidos do ensaio de tração para diferentes condições de moldagem por injeção.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A deformação na ruptura no ensaio de tração foi avaliada. A Figura 4 indica uma grande variação no grupo de amostras com nível baixo de temperatura (220°C). Isto pode ser atribuído a baixa pressão de injeção (600 bar) combinada à temperatura reduzida (220 °C), que resultou em escoamento limitado do material e preenchimento incompleto do molde. Para as demais temperaturas, houve baixa variação para esta característica.

Figura 4 - Resultados de módulo elásticos obtidos do ensaio de tração para diferentes condições de moldagem por injeção.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise dos resultados indicou que a condição 240_2 foi a mais adequada para a condução dos ciclos de reciclagem por moldagem por injeção. Embora não tenha apresentado os maiores valores de tensão de ruptura, módulo elástico ou deformação na ruptura, essa condição proporcionou o melhor equilíbrio entre desempenho mecânico e qualidade das peças moldadas, resultando em corpos de prova isentos de defeitos superficiais, como rebarbas e falhas de preenchimento.

4 CONCLUSÃO

Durante a execução experimental, não foi possível realizar os múltiplos ciclos de reprocessamento planejados, uma vez que o moinho utilizado para a fragmentação das amostras apresentou falha mecânica logo após a primeira etapa de moagem. Essa ocorrência inviabilizou a obtenção do material moído necessário para a realização dos ciclos subsequentes de moldagem por injeção.

Diante dessa limitação, foi desenvolvido um novo projeto de moinho, concebido para atender aos requisitos específicos de moagem de polímeros de engenharia como o ABS, com foco em maior robustez estrutural e eficiência de corte. O equipamento encontra-se em fase de montagem, e sua conclusão permitirá a continuidade das etapas experimentais previstas, incluindo os ciclos múltiplos de injeção e as análises complementares de propriedades mecânicas, reológicas e químicas.

A implementação desse novo moinho representa não apenas a retomada do experimento, mas também uma oportunidade de aprimoramento da infraestrutura laboratorial, fortalecendo a capacidade do grupo para conduzir estudos futuros sobre reciclagem de

polímeros de engenharia e a otimização de processos de reprocessamento em escala laboratorial.

Apesar das limitações experimentais, os testes preliminares permitiram avaliar o comportamento do ABS sob diferentes condições de moldagem por injeção, contemplando variações de vazão, pressão e temperatura. A análise dos corpos de prova produzidos nessas condições possibilitou identificar o conjunto de parâmetros mais adequados ao material — com destaque para a combinação de $Q = 40 \text{ cm}^3/\text{s}$, $P_i = 900 \text{ bar}$, $P_r = 630 \text{ bar}$, $C_p = 80 \text{ bar}$ e $T = 240 \text{ }^\circ\text{C}$ — que apresentou o melhor equilíbrio entre fluidez, desempenho mecânico e aspectos superficiais de qualidade. Esses resultados fornecem uma base sólida para a continuidade do estudo, assegurando que os ciclos subsequentes de reprocessamento sejam conduzidos em condições otimizadas e reproduzíveis, contribuindo para o avanço da pesquisa sobre a reciclabilidade do ABS em sistemas de economia circular.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **PERFIL 2023**. São Paulo. ABIPLAST, 2024. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2024/08/Preview-2023Abiplast_Web.pdf
Acesso em 30 set. 2025.

GARCÍA, M.G.T, Recycling of Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Using Injection Moulding Machine. **Procedia Technology**, v. 22, p. 399 – 406, 2016.

MUNSHI, M.; KULKARNI, R. A comprehensive study on restoring properties in expired/aged ABS materials. **Journal of Materials Science: Materials in Engineering**, [S.l.]: SpringerOpen, v. 20, art. 48, p. 1-23, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40712-025-00260-5>.

JUNG, S.M., Recent progress in sustainable recycling of waste ABS. **Sustainability**, Basel: MDPI, v. 17, n. 19, art. 8742, p. 1-24, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17198742>.