

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

WILLIAN FREIRE HARSHE

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO NA RESISTÊNCIA
MECÂNICA EM CORPOS DE PROVA EM ACRILONITRILA BUTADIENO
ESTIRENO (ABS).

Joinville

2022

WILLIAN FREIRE HARSHE

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO NA RESISTÊNCIA
MECÂNICA EM CORPOS DE PROVA EM ACRILONITRILA BUTADIENO
ESTIRENO (ABS).

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Automotiva do
Centro Tecnológico de Joinville da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Carlos Maurício Sacchelli

Joinville

2022

WILLIAN FREIRE HARSHE

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO NA RESISTÊNCIA
MECÂNICA EM CORPOS DE PROVA EM ACRILONITRILA BUTADIENO
ESTIRENO (ABS).

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Prof. Carlos Maurício Sacchelli, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Wagner Maurício Pachekoski, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Sueli Fischer Beckert, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, força, e ter guiado os meus passos durante a minha jornada.

A minha família, em especial aos meus pais, pela educação, apoio e suporte prestados a mim durante toda a minha vida.

A minha namorada, por sempre estar ao meu lado, me apoiando nos momentos de dificuldades.

Ao professor orientador Dr. Carlos Maurício Sacchelli, pelo incentivo, e por todo o conhecimento passado durante os anos em que estive na universidade.

A todos os membros do Laboratório de Inovação e Desenvolvimento (LID), pela colaboração e conhecimento compartilhado.

Aos técnicos da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao técnico Rodrigo Voigt, que colaborou para o bom andamento deste trabalho.

A todos os professores da Universidade Federal de Santa Catarina, que me ajudaram, e colaboraram durante a minha graduação.

E por fim, à Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino gratuito e de qualidade.

RESUMO

A indústria de fabricação e transformação de materiais plásticos tem crescido ao longo dos anos, pelo fato de que os materiais poliméricos são leves, resistentes e de fácil fabricação quando comparados a outros materiais, como por exemplo, os aços. O processo de injeção é um dos processos de transformação de polímeros mais utilizado na indústria, sendo composto por uma máquina injetora e um molde de injeção para dar forma ao produto. O molde é a parte fundamental do processo e dependendo do produto a ser injetado, tem alta complexidade para ser desenvolvido, por isso um alto custo de fabricação. Durante o processo de injeção vários são os fatores que devem ser regulados, entre eles, pressão, temperatura, tempo de resfriamento, velocidade de injeção, dosagem, entre outros. Desta maneira, há uma grande necessidade em encontrar os parâmetros ideais para o processo de injeção, conciliando uma boa resistência, com o tempo e custo do produto final. Assim, o objetivo principal deste trabalho é analisar a influência nas propriedades mecânicas da variação de parâmetros de injeção em corpos de provas produzidos em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), utilizando o planejamento de experimentos. Concluído o trabalho, foi possível analisar as combinações de parâmetros que tiveram maior e menor resistência a tração e módulo de elasticidade, conhecendo-se o grau de relevância de cada efeito, concluindo que os parâmetros de injeção para os níveis máximos e mínimos escolhidos, não tiveram influência nas propriedades mecânicas dos corpos de prova.

Palavras-chave: Injeção plástica. Moldes de Injeção. Parâmetros de Injeção, ABS.

ABSTRACT

The manufacturing and processing industry of plastic materials has grown over the years, due to the fact that polymeric materials are lightweight, resistant, and easy to manufacture when compared to other materials, such as steel. The injection process is one of the most used polymer transformation processes in the industry, this process is composed of an injection machine and an injection mold to shape the product. The mold is a fundamental part of the process, and depending on the product to be injected it has a high complexity to be developed, which is why it has a high manufacturing cost. During the injection process, several factors must be regulated, including pressure, temperature, cooling time, injection speed, and dosage, among others. In this way, there is a great need to find the ideal parameters for the injection process, reconciling good resistance with the time and cost of the final product. Therefore, the main objective of this work is to analyze the influence on the mechanical properties of the variation of injection parameters, in samples produced in ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) using the experimental design. With the conclusion of work, it was possible to analyze the combinations of parameters that had greater and least tensile strength and elasticity modulus, knowing the degree of relevance of each effect, concluding that the injection parameters for the chosen maximums and minimums levels did not had an influence on the mechanical properties of the samples produced.

Keywords: Plastic Injection. Injection Molds. Injection Parameters. ABS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de Transformados Plásticos no Brasil em milhões de toneladas	14
Figura 2 – Processos produtivos de transformadas plásticas - % (2021).....	15
Figura 3 – Máquina Injetora Convencional.....	16
Figura 4 – Molde de Injeção Convencional – Modelo 3D	17
Figura 5 – Estrutura Química do ABS	20
Figura 6 – Máquina injetora.....	24
Figura 7 – Máquina de Ensaio de Tração	25
Figura 8 – Dimensões do corpo de prova	26
Figura 9 – Corpo de prova.....	26
Figura 10 – Análise de variância tensão à tração na ruptura	34
Figura 11 – Análise de variância para tensão à tração máxima	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultado de tensão à tração	28
Gráfico 2 – Resultados do módulo de elasticidade	29
Gráfico 3 – Resultados para a máxima tensão à tração.....	30
Gráfico 4 - Tensão x Deformação para a combinação 6	31
Gráfico 5 – Tensão x Deformação para a combinação 18	32
Gráfico 6 - Tensão x Deformação para a combinação 25	32
Gráfico 7 - Tensão x Deformação para a combinação 28	33
Gráfico 8 – Gráfico de Pareto para a Tensão à Tração na quebra.....	35
Gráfico 9 – Gráfico dos efeitos principais de cada parâmetro	36
Gráfico 10 - Gráfico de interações entre a pressão e temperatura.....	37
Gráfico 11 - Gráfico de interações entre a temperatura e a velocidade de injeção ...	38
Gráfico 12 – Gráfico de Pareto para a máxima tensão à tração.....	40
Gráfico 13 – Gráfico dos efeitos principais para a máxima tensão à tração.....	41
Gráfico 14 – Gráfico de interações entre a pressão e velocidade periférica	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do ABS segundo o fabricante.....	20
Tabela 2 – Combinação de parâmetros para cada rodada de injeção	23
Tabela 3 – Máximo e Mínimos dos Parâmetros de Injeção.....	23
Tabela 4 – Parâmetros fixos de injeção	24
Tabela 5 - Resultados do teste de tração.....	27
Tabela 6 – Melhor e pior combinação de parâmetros para tensão à tração na ruptura	28
Tabela 7 - Melhor e pior combinação de parâmetros para o módulo	30
Tabela 8 - Melhor e pior combinação de parâmetros para a tensão à tração máxima	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST – Associação Brasileira de Indústria do Plástico

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno

CP – Corpo de Prova

DOE – Desing of Experiments

SUMÁRIO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	15
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo Geral.....	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. MERCADO DE PLÁSTICOS	14
2.2. MOLDAGEM DE INJEÇÃO	15
2.3. MOLDES PARA INJEÇÃO	16
2.4. PARÂMETROS DO PROCESSO DE INJEÇÃO	18
2.1.1 Pressão de Injeção	18
2.1.2 Pressão de Recalque	18
2.1.3 Temperatura de Injeção	18
2.1.4 Tempo de Resfriamento.....	19
2.1.5 Velocidade Periférica da Rosca	19
2.1.6 Velocidade de Injeção	19
2.1.7 Temperatura do Molde.....	19
2.5. ABS	20
3. METODOLOGIA	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO	27
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4.2.1 Tensão à tração na ruptura	34
4.2.2 Tensão à tração máxima.....	39
5. CONCLUSÃO	43
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

A indústria do plástico tem sido importante em diversos aspectos ao longo dos anos. No Brasil, no ano de 2021, esse segmento, segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2021), alcançou o total de 7,1 milhões de toneladas de produção, tendo um faturamento de R\$127,5 bilhões.

O processo de injeção pode ser considerado o processo mais importante para a transformação de plástico, por conseguir produzir peças em grandes quantidades e com geometrias complexas (HARADA; UEKI, 2012).

O processo de injeção é composto por quatro fases: preenchimento, empacotamento, resfriamento e extração. Segundo Kitayama et al. (2016), durante o preenchimento, o plástico fundido preenche a cavidade do molde com a pressão da injeção, logo após, ocorre a fase do empacotamento, onde o plástico é pressionado por uma grande pressão para adquirir a forma desejada. Em seguida é realizada a solidificação do material através do resfriamento do molde, onde, finalmente a peça estará pronta para extração.

Para que a injeção ocorra de forma correta, os parâmetros regulados na máquina são combinados de forma que o processo ocorra no menor tempo, otimizando a produção, sem perder a qualidade da peça (VIEIRA et al., 2012). Ainda segundo Vieira (2012), os parâmetros de injeção tem grande influência nas propriedades de resistência da peça produzida, como por exemplo, tempo de resfriamento e o volume de injeção, que interferem diretamente nas propriedades mecânicas do produto final.

Ozcelik et al. (2010) concluiu que para materiais amorfos, como é o caso do ABS, a pressão e a temperatura do fundido foram fatores dominantes na tensão de escoamento e no módulo de elasticidade.

Segundo Sacchelli et al. (2005), através do delineamento de experimentos (DOE) é capaz de identificar a influência de uma variedade de parâmetros de injeção nas propriedades físicas da peça final, este método também pode ser utilizado para aumentar a produtividade e a qualidade deste processo.

Como são muitos os parâmetros de injeção, ainda existem divergências em relação a influência de diferentes combinações desses parâmetros no quesito resistência e otimização de processo. Por isso, o presente estudo busca fazer uma análise dos resultados obtidos durante o processo de injeção de corpos de prova produzidos em ABS, buscando comparar os resultados dos ensaios de tração para verificar a influência da pressão e temperatura de injeção, tempo de resfriamento, velocidade periférica da rosca, e velocidade de injeção na resistência dos corpos de prova.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da variação de parâmetros de injeção nas propriedades mecânicas em corpos de provas produzidos em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar um planejamento fatorial com 5 fatores, variando pressão, temperatura e velocidade de injeção, velocidade periférica da rosca e tempo de resfriamento;
- Injetar os corpos de prova de acordo com as combinações geradas no planejamento fatorial;
- Executar os testes de tração para coleta dos resultados;
- Analisar através do experimento fatorial, a influência dos parâmetros de injeção nas propriedades mecânicas dos corpos de prova.

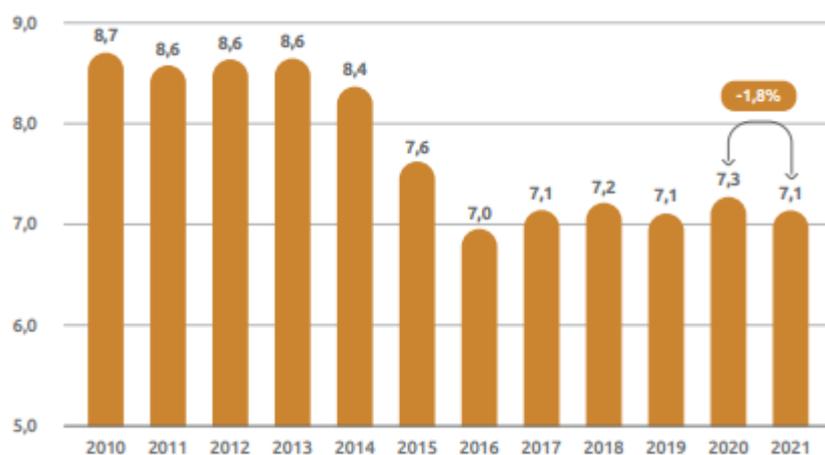
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos teóricos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

2.1. MERCADO DE PLÁSTICOS

O mercado de plástico é responsável por movimentar uma parcela importante da economia. No Brasil, no ano de 2021, esse mercado obteve um faturamento de R\$127,5 bilhões, gerando 336.748 empregos. O Brasil apresentou uma queda na produção de transformados plásticos desde 2014, como mostrado na Figura 1, em 2021 houve um decaimento de 1,8% quando comparado ao ano de 2020 (ABIPLAST, 2021).

Figura 1 – Produção de Transformados Plásticos no Brasil em milhões de toneladas

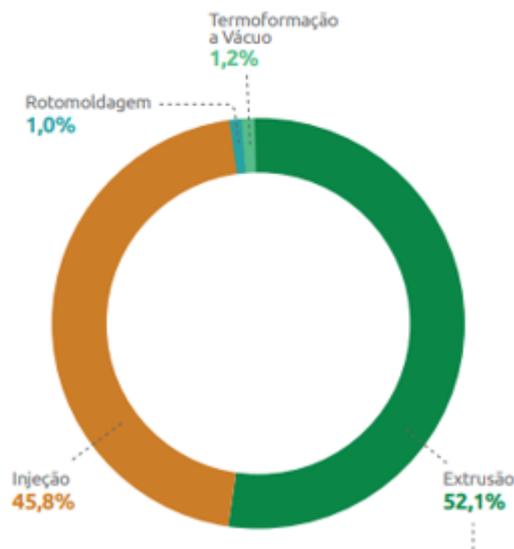


Fonte: ABIPLAST (2021).

Outro setor importante no mercado do plástico que deve ser considerado, é o de reciclagem de plásticos. No ano de 2020 o Brasil contabilizou 884 mil toneladas de resinas plásticas recicladas, gerando 13180 empregos, fazendo com que essa ação trouxesse retorno financeiro, bem como preservação ao meio ambiente (ABIPLAST, 2021).

Segundo a ABIPLAST (2020), nos processos de fabricação das indústrias de plásticos, a extrusão ocupa 52,1%, a injeção plástica está em segundo lugar com 45,8%, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Processos produtivos de transformadas plásticas - % (2021).



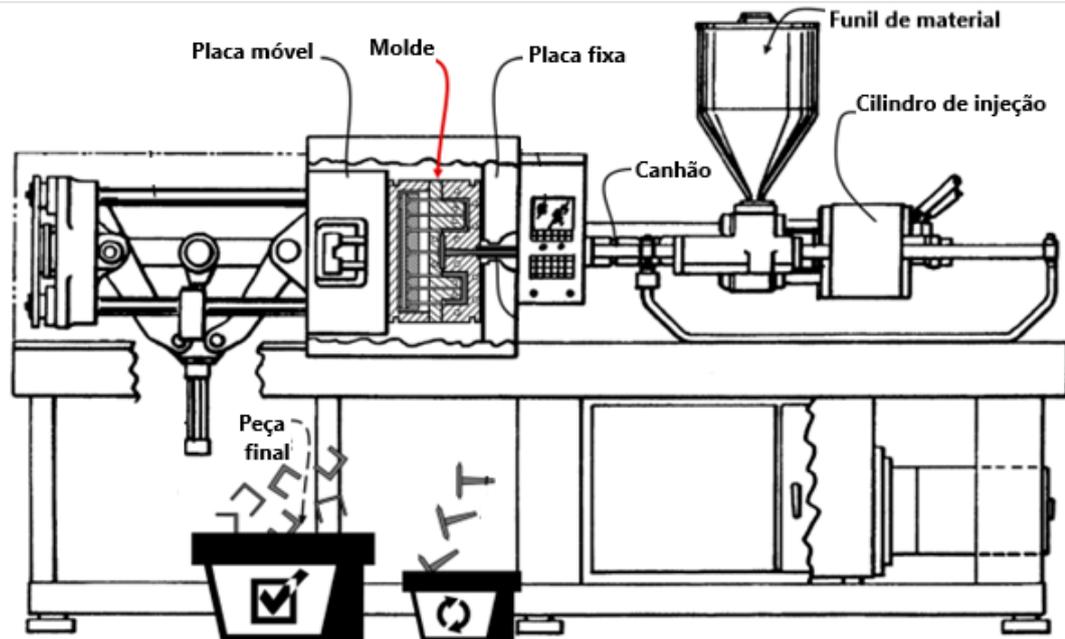
Fonte: ABIPLAST 2021.

2.2. MOLDAGEM DE INJEÇÃO

A moldagem por injeção é a técnica mais importante para a transformação de produtos plásticos nas mais variadas formas, permite produzir peças com geometrias complexas, em grandes quantidades, em um curto intervalo de tempo (HARADA; UEKI, 2012).

Segundo Harada e Ueki (2012), a moldagem por injeção, consiste em aquecer a matéria prima polimérica até um estado pastoso, relativamente fluído, que deve ser empurrado sob pressão para dentro da cavidade de um molde, onde a massa moldada vai se solidificar, dando origem à peça. O processo é mostrado na Figura 3, onde o material em estado sólido é fundido no canhão, e injetado para dentro da cavidade do molde usinado. No momento da injeção a placa móvel se move em direção a placa fixa, fechando o molde para que a cavidade tome a forma da peça desejada. Após a injeção e solidificação do polímero, o molde se abre dando origem a peça final.

Figura 3 – Máquina Injetora Convencional



Fonte: Adaptado de Kazmer (2016, p. 2).

2.3. MOLDES PARA INJEÇÃO

O molde de injeção é um sistema complexo que deve atender simultaneamente a muitas exigências propostas. Sua função primordial é conter o polímero fundido dentro da cavidade, para que a cavidade possa ser totalmente preenchida, dando assim forma a peça desejada, a Figura 4 ilustra de maneira simples um molde de injeção (KAZMER, 2016).

2.4. PARÂMETROS DO PROCESSO DE INJEÇÃO

Os parâmetros de injeção são determinantes desde o projeto do molde até a fase final de fabricação da peça, onde a resistência da peça está diretamente ligada aos parâmetros utilizados durante a fabricação (VIEIRA,2012). Segundo Vieira (2012), a temperatura do fundido, e a vazão de injeção são os parâmetros que mais influenciaram na resistência à tração das peças. Esta seção tem como objetivo apresentar os principais parâmetros utilizados neste trabalho para o processo de injeção plástica.

2.1.1 Pressão de Injeção

A pressão no processo de injeção, pode ser definida como a pressão exercida pelo pistão durante o preenchimento do molde, em outras palavras, é a pressão em que o material é pressionado para que ocorra o enchimento da cavidade (MANRICH, 2013). Segundo Harada (2004), a proporção exata da pressão e injeção a ser adotada depende da espessura de seção da moldagem e da facilidade de fluxo do material usado.

2.1.2 Pressão de Recalque

Pressão de recalque é “a pressão após a pressurização, normalmente a pressão de pressurização comuta para a de recalque, assumindo valores inferiores” (Manrich, 2013, p. 323). Sua função é manter compactada a massa fundida até que ela se solidifique (BUSATO, 2004).

2.1.3 Temperatura de Injeção

A temperatura de injeção está relacionada com a viscosidade do material, a medida em que há um aumento na temperatura, a viscosidade também aumenta, fazendo com que menos pressão seja necessária para atingir a velocidade de injeção necessária (HARADA, 2004). Segundo Vieira (2012), como referência inicial a temperatura de injeção e do fundido podem ser consideradas as mesmas.

2.1.4 Tempo de Resfriamento

É o tempo em que o material leva para resfriar, afetando a cristalinidade e/ou tamanho dos cristais do material, tendo importante influência nas propriedades mecânicas e óticas da peça final (VIEIRA, 2012).

2.1.5 Velocidade Periférica da Rosca

A Velocidade periférica da rosca é a sua velocidade de rotação. Controla a capacidade de plastificação (Harada, 2004). O aumento da velocidade de rotação da rosca gera um maior arraste de material, causando uma diminuição no tempo de dosagem, devido ao aumento na vazão (BUSATO, 2004; MANRICH, 2013).

2.1.6 Velocidade de Injeção

A velocidade de injeção é a velocidade em que a massa é injetada para dentro da cavidade, altas velocidades de injeção favorecem a redução de tensões internas e a obtenção de ciclos mais curtos, sendo apropriadas para peças de paredes finas. Peças de espessuras maiores exigem uma injeção mais lenta para evitar defeitos superficiais (HARADA, 2004)

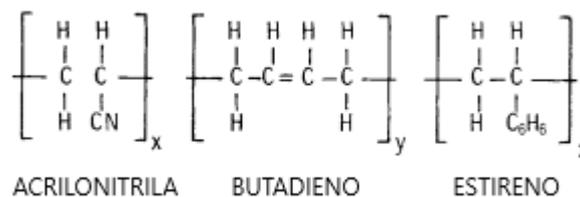
2.1.7 Temperatura do Molde

Segundo Harada (2004), moldes com temperaturas altas reduzem tensões internas, originam superfícies mais brilhantes e minimizam linhas de junção e marcas do fluxo do material. Infelizmente, altas temperaturas requerem ciclos maiores para que o plástico solidifique e possa ser retirado do molde. Temperaturas baixas permitem ciclos mais rápidos, mas têm a séria desvantagem de causar tensões internas, superfícies pouco brilhantes, além de salientar as linhas de junção.

2.5. ABS

O Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), é um copolímero formado pela combinação da acrilonitrila, do butadieno e do estireno, a sua estrutura química é representada na Figura 6 abaixo. É um material que possui boa resistência a impacto, e boa resistência térmica (HAPER; PETRIE, 2003).

Figura 5 – Estrutura Química do ABS



Fonte: Adaptado de Haper e Petrie (2003, p. 10)

A Tabela 1, mostra as propriedades mecânicas fornecidas pelo fabricante.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do ABS segundo o fabricante

Propriedades mecânicas	Valor	Unidade	Método de ensaio
Módulo de tração	2300	MPa	ISO 527-1/-2
Tensão no escoamento	45	MPa	ISO 527-1/-2
Deformação no escoamento	2.6	%	ISO 527-1/-2
Deformação nominal na ruptura	10	%	ISO 527-1/-2
Resistência ao impacto Charpy, +23°C	180	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Resistência ao impacto Charpy, -30°C	100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Res. impacto Charpy c/entalhe, +23°C	22	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Res. impacto Charpy c/entalhe, -30°C	8	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Fonte: Ineos Styrolution Infopoint (2018)

Segundo Simieli e Santos (2010), o ABS tem uma temperatura de transição vítrea baixa, fazendo com que tenha uma boa resistência ao impacto, junto com o aumento de ductilidade e resistência a fadiga. Também possui baixo coeficiente de expansão térmica, garantindo boa estabilidade dimensional e baixa contração.

Ainda segundo Simieli e Santos (2010), as propriedades do ABS aliadas ao alto brilho e baixa densidade tornam o material ideal para o uso de diversas aplicações tais como a fabricação de componentes automotivos.

Mesmo com a grande utilização do ABS no processo de injeção, principalmente na indústria automotiva, ainda há poucos estudos direcionados aos parâmetros de injeção e sua influência nas propriedades mecânicas das peças fabricadas. Devido a isso, esse material foi o escolhido para estudo no presente trabalho, buscando analisar a influência dos parâmetros de injeção nas propriedades mecânicas de peças fabricadas em ABS.

3. METODOLOGIA

Neste estudo avaliou-se a resistência a tração de corpos de prova injetados em ABS. Segundo Vieira (2012) e Ozcelik et al. (2010), os parâmetros que interferem na temperatura do fundido, no tempo de resfriamento, e na velocidade de injeção são parâmetros que tiveram grande destaque na resistência mecânica das peças fabricadas. Desta maneira, foram escolhidos cinco parâmetros considerados influentes pelos autores, sendo eles, pressão de injeção, temperatura de injeção, velocidade de injeção, velocidade periférica da rosca e tempo de resfriamento.

O material escolhido para análise neste trabalho foi o ABS TERLURAN GP-22. Visto que, o ABS é um material com alta rigidez e absorção ao impacto, considerou-se importante o estudo da resistência mecânica deste material.

Foi realizado um planejamento fatorial, de ordem 2^5 , resultando em 32 combinações de parâmetros. Para combinação foram injetados 5 ciclos, desconsiderando o primeiro e o último ciclo, o que resultou em 3 ciclos para estudo. Como o molde utilizado possui duas cavidades, para cada combinação foi gerado um total de 6 CP, resultando assim em 192 CP no total. A análise foi auxiliada pelo software Minitab, a Tabela 2 apresenta as combinações de cada rodada. Na Tabela 2, o +1 representa o máximo valor do parâmetro em análise, e o -1 o valor mínimo.

A ordem do ensaio foi realizada de acordo com a Tabela 2, porém foram realizadas primeiro as combinações com a menor temperatura de injeção, seguindo das combinações com a maior temperatura de injeção, devido ao fato de que aquecer e resfriar o canhão da máquina é um processo demorado, portanto foi estabilizado primeiramente na temperatura mínima, e depois na máxima.

Os parâmetros escolhidos, foram pegos com base no estudo realizado por Sacchelli et al. (2005), que variou a pressão de injeção, tempo de resfriamento, temperatura de injeção, velocidade periférica da rosca e velocidade de injeção, porém utilizando o material polipropileno. Foram escolhidos os mesmos parâmetros para analisar a influência destes em peças fabricadas em ABS.

Tabela 2 – Combinação de parâmetros para cada rodada de injeção

	1	2	3	4	5
	Pressão	Temperatura	Velocidade de injeção	Tempo de resfriamento	Velocidade perifér
1	-1	1	-1	-1	-1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	-1
4	1	-1	-1	-1	-1
5	1	-1	1	-1	1
6	-1	1	-1	1	-1
7	-1	-1	1	-1	-1
8	1	-1	1	-1	-1
9	1	-1	-1	-1	1
10	-1	1	1	-1	-1
11	1	-1	1	1	1
12	-1	1	1	-1	1
13	-1	1	1	1	1
14	1	1	1	-1	-1
15	-1	1	-1	1	1
16	-1	-1	1	1	-1
17	1	1	-1	1	1
18	1	-1	-1	1	1
19	1	-1	-1	1	-1
20	-1	-1	-1	1	1
21	1	1	-1	1	-1
22	-1	-1	1	-1	1
23	-1	-1	-1	-1	-1
24	1	-1	1	1	-1
25	1	1	1	-1	1
26	-1	1	-1	-1	1
27	-1	1	1	1	-1
28	1	1	-1	-1	1
29	-1	-1	-1	1	-1
30	-1	-1	-1	-1	1
31	-1	-1	1	1	1
32	1	1	-1	-1	-1

Fonte: Autor (2022)

Os valores de máximo e mínimo para os parâmetros analisados estão representados na Tabela 3. Vale salientar que para encontrar os valores máximos e mínimos da máquina, foi realizado um pré-teste, onde foi testado os parâmetros mínimos para que a cavidade do molde fosse completada totalmente, sem rechupes. Os valores máximos foram encontrados de forma que não houvesse rebarbas na peça, estabelecendo assim os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Máximo e Mínimos dos Parâmetros de Injeção

	Pressão (bar)	Temperatura (°C)	Velocidade de injeção (cm ³ /s)	Tempo de Resfriamento (s)	Velocidade Periférica da Rosca (m/min)
Mín (-1)	800	220	12	15	22
Máx (1)	820	235	21.2	18	40

Fonte: Autor(2022)

A Tabela 4 mostra os parâmetros fixo de injeção durante a fabricação dos CP. Estes valores foram selecionados com base no pré-teste mencionado, e com a capacidade da máquina utilizada para fabricação dos corpos de prova.

Tabela 4 – Parâmetros fixos de injeção

Dosagem (cm ³)	31.809
Volume de comutação (cm ³)	3.5
Pressão de recalque (Bar)	25
Velocidade de recalque (cm ³ /s)	7.1
Contrapressão (Bar)	40
Descompressão (cm ³)	3.534

Fonte: Autor (2022)

Para a injeção dos CP utilizou-se uma injetora ARBURG ALLROUNDER 320C Golden, mostrada na Figura 6.

Figura 6 – Máquina injetora



Fonte: Autor (2022)

A máquina de tração utilizada nos ensaios foi a INSTRON EMIC 23-100, mostrada na Figura 7 disponível no laboratório de materiais da UFSC, com a célula de carga de 10KN, pinça de 5KN, e velocidade de 5mm/min.

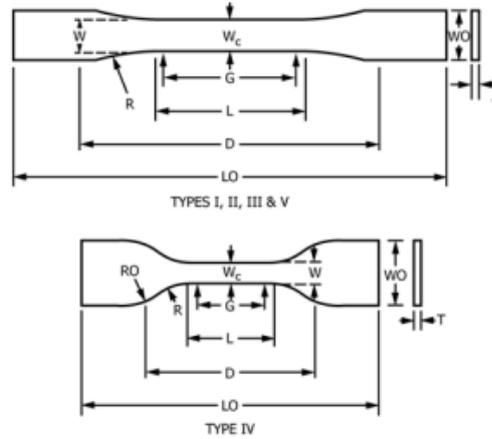
Figura 7 – Máquina de Ensaio de Tração



Fonte: Autor (2022)

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D638-14. É importante mencionar que a cavidade do molde foi fabricada de acordo com a mesma norma, fazendo com que os CP tenham as dimensões normatizadas de acordo com o tipo I. As dimensões do corpo de prova são mostradas na Figura 8. A Figura 9 mostra um exemplo de corpo de prova utilizado.

Figura 8 – Dimensões do corpo de prova



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)⁴

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}		
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}	
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C	
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)	
LO —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)	
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C	
G —Gage length ^J	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)	
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C	
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)

Fonte: Autor (2022)

Figura 9 – Corpo de prova



Fonte: Autor (2022)

Como mencionado anteriormente, buscou-se durante os testes iniciais, peças com as melhores condições, sem rechupes e rebarbas, como mostra a Figura 9.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado o resultado do DOE completo realizado.

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO

A média e o desvio padrão dos resultados obtidos no ensaio de tração dos 6CP para cada combinação é mostrado na Tabela 5.

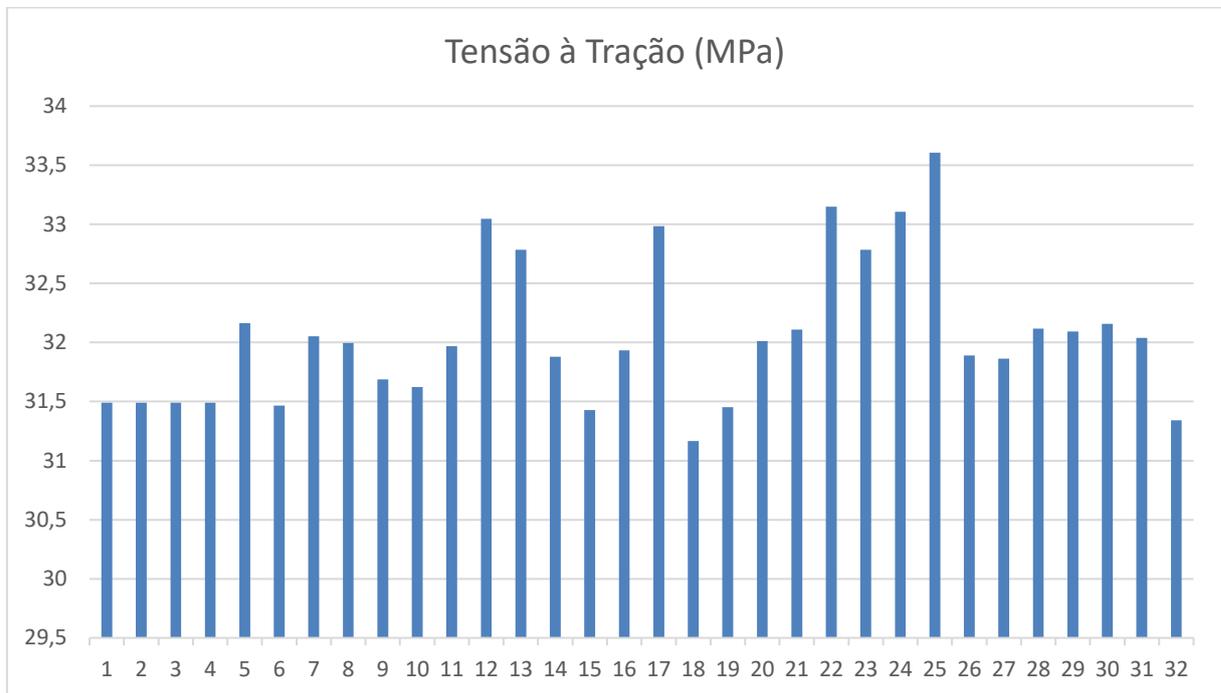
Tabela 5 - Resultados do teste de tração

	1	2	3	4	5	6
	Tensão à Tração Ruptura (Mpa)	Desvio padrão (Tensão)	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Desvio Padrão (Módulo)	Tensão à tração Máxima (MPa)	Desvio Padrão
1	31,492	0,261	1537,303	6,491	37,235	0,604
2	31,573	0,590	1496,707	30,285	36,683	0,475
3	32,577	0,951	1512,355	28,288	37,678	0,675
4	31,202	0,516	1516,552	24,112	37,587	0,945
5	32,163	0,510	1528,087	6,654	38,575	0,665
6	31,467	0,934	1511,590	25,077	36,443	0,897
7	32,052	0,666	1520,415	13,197	37,618	0,480
8	31,997	0,868	1511,075	11,137	37,055	0,296
9	31,688	0,715	1523,437	9,853	37,320	0,450
10	31,623	1,029	1525,063	32,000	37,110	0,783
11	31,970	0,706	1514,787	14,882	37,643	1,278
12	33,047	1,291	1505,157	15,092	37,735	1,064
13	32,783	1,281	1520,222	22,097	36,565	0,506
14	31,878	1,165	1508,555	9,220	37,555	0,657
15	31,428	0,752	1529,122	14,202	37,562	0,473
16	31,933	1,072	1509,947	13,263	37,080	0,701
17	32,983	0,545	1530,873	23,884	38,282	0,557
18	31,165	0,762	1523,380	16,697	37,327	0,872
19	31,453	0,367	1514,197	24,225	37,828	0,782
20	32,012	0,749	1498,387	25,369	37,375	1,015
21	32,110	0,595	1521,002	20,987	37,482	0,647
22	33,148	1,160	1522,300	25,115	37,880	0,709
23	32,783	0,536	1526,585	18,134	37,678	0,652
24	33,107	0,661	1499,530	11,735	37,615	0,501
25	33,605	1,441	1542,868	10,942	38,863	0,945
26	31,892	0,684	1512,813	19,789	37,463	0,880
27	31,863	0,683	1490,907	35,483	36,657	0,884
28	32,117	0,720	1528,625	23,152	37,230	0,620
29	32,092	0,744	1526,803	10,651	38,037	0,988
30	32,158	0,948	1517,453	12,895	37,567	0,602
31	32,038	0,546	1501,757	20,564	36,815	0,631
32	31,342	1,118	1542,567	13,504	37,127	1,117

Fonte: Autor (2022)

Visando uma melhor análise dos valores de Resistência a Tração e o Módulo de Elasticidade, foi gerado o Gráfico 1, com as combinações para a tensão à tração na ruptura, o Gráfico 2 para o Módulo de Elasticidade, e o Gráfico 3 para máxima tensão a tração.

Gráfico 1 – Resultado de tensão à tração



Fonte: Autor (2022)

Com um valor de tensão de 33,605 MPa, a amostra de número 25 foi a que apresentou a maior resistência. Já a amostra 18, com uma tensão de 31,165 MPa, foi a que teve menor resistência. A amostra 25 resultou em uma tensão 7.26% maior em relação à 18.

De acordo com a Tabela 6, é possível identificar qual combinação de parâmetros foi a mais resistente e a menos resistente.

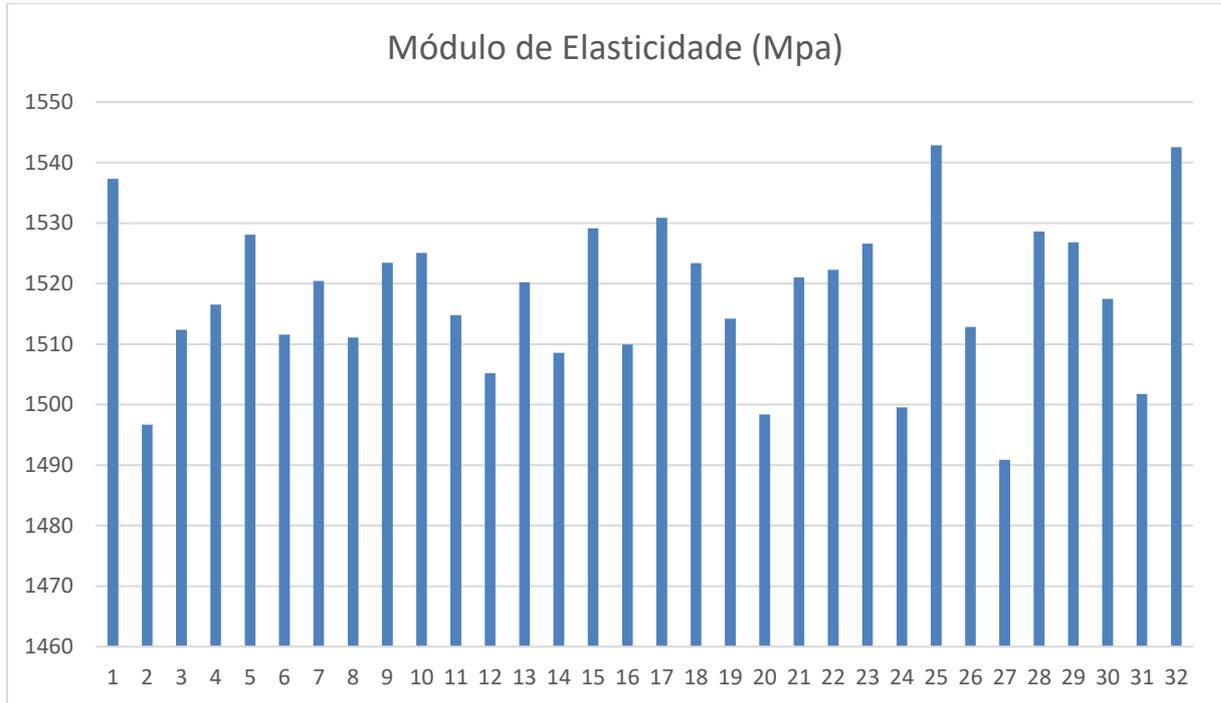
Tabela 6 – Melhor e pior combinação de parâmetros para tensão à tração na ruptura

	Pressão (Bar)	Temp. (°C)	Vel. de injeção (cm ³ /s)	Tempo de resf. (s)	Vel. periférica (m/min)
Combinação 18 (Menor valor)	820	220	12	18	40
Combinação 25 (Maior valor)	820	235	21,2	15	40

Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 2 apresenta os valores para o Módulo de Elasticidade.

Gráfico 2 – Resultados do módulo de elasticidade



Fonte: Autor (2022)

Para o módulo de elasticidade, a combinação 25 também foi a que apresentou maior valor (1542,87 MPa), porém, a combinação 27 apresentou o menor módulo (1490,91 MPa). A combinação 27 apresentou uma diferença percentual de 3.37% (51,96 MPa) em relação à amostra 25.

A diferença nos valores de máximo e mínimo do módulo de elasticidade é menor do que o erro ($\pm 150,511$), portanto pode-se considerar que o módulo não variou de acordo com a variação dos parâmetros. Esse fato já era esperado, devido ao módulo de elasticidade ser uma propriedade do material, ou seja, o mesmo não tende a variar independente da geometria da peça, a não ser que o material sofra alguma alteração em sua estrutura, o que não acontece no processo de injeção. A Tabela 7 apresenta os parâmetros combinados que resultaram o maior e menor módulo de elasticidade.

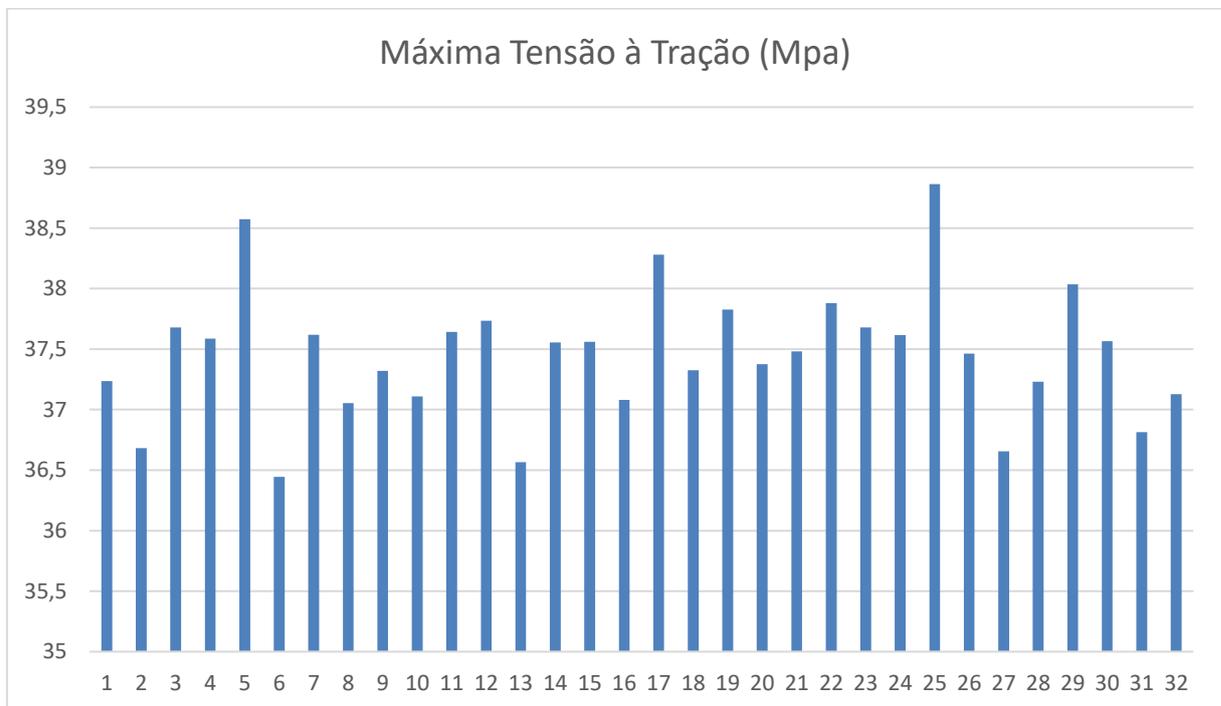
Tabela 7 - Melhor e pior combinação de parâmetros para o módulo

	Pressão (Bar)	Temp. (°C)	Vel. de injeção (cm ³ /s)	Tempo de resf. (s)	Vel. periférica (m/min)
Combinação 27 (Menor valor)	800	235	21,2	18	22
Combinação 25 (Maior valor)	820	235	21,2	15	40

Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 3 mostra os resultados para a máxima tensão à tração.

Gráfico 3 – Resultados para a máxima tensão à tração



Fonte: Autor (2022)

Através do Gráfico 3 pode-se afirmar que a combinação 25 também foi a que gerou o maior resultado para máxima tensão (38,863 MPa), já a combinação 6 resultou na menor tensão máxima (36,443 MPa). A diferença percentual entre a maior e menor tensão máxima foi de 6,23% (2,42 MPa).

A Tabela mostra os parâmetros combinados que geraram a maior e a menor tensão máxima.

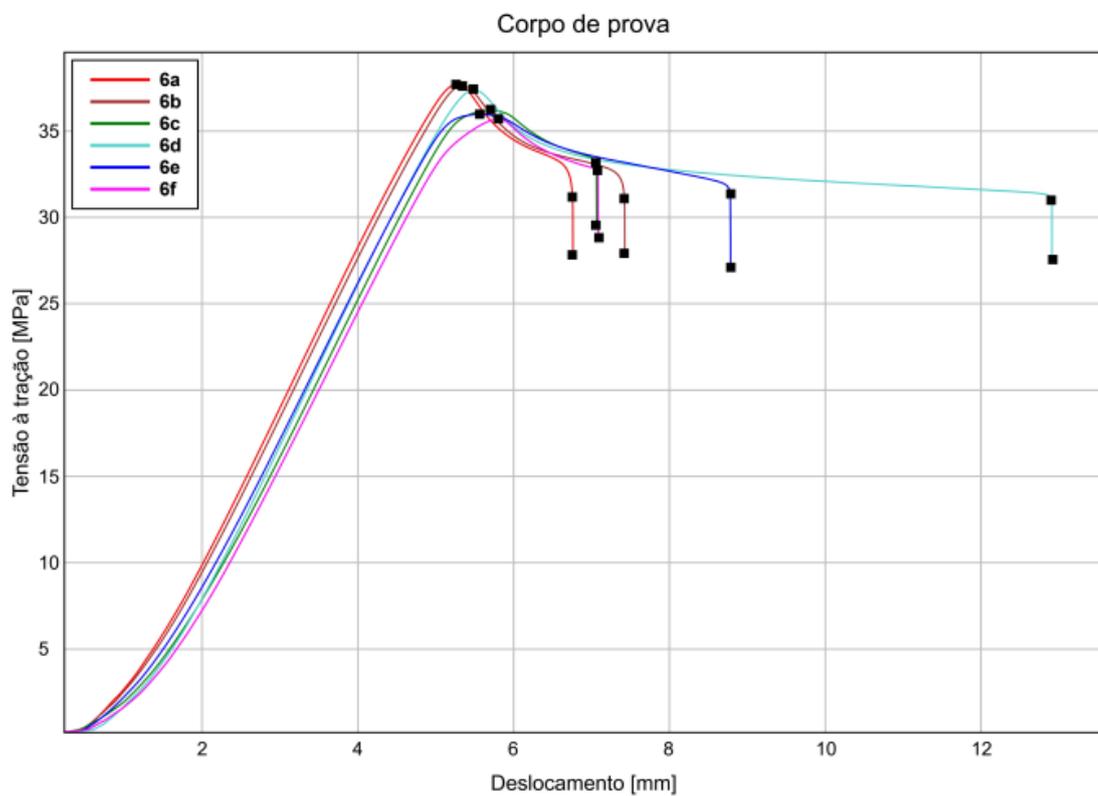
Tabela 8 - Melhor e pior combinação de parâmetros para a tensão à tração máxima

	Pressão (Bar)	Temp. (°C)	Vel. de injeção (cm ³ /s)	Tempo de resf. (s)	Vel. periférica (m/min)
Combinação 6 (Menor valor)	800	235	12	18	22
Combinação 25 (Maior valor)	820	235	21,2	15	40

Fonte: Autor (2022)

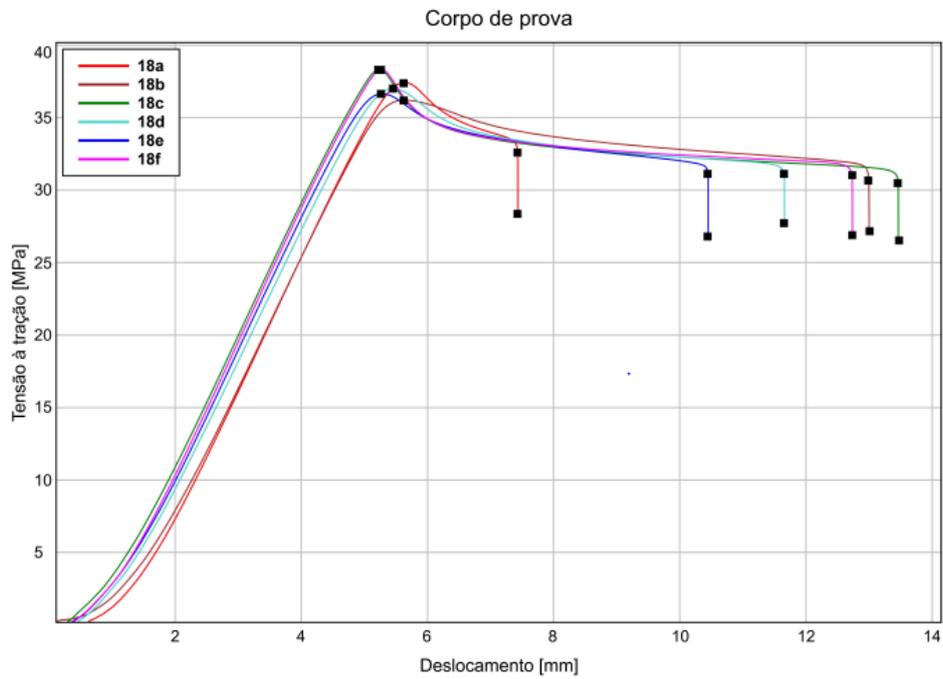
Como complemento de análise, foram gerados os Gráficos 4, 5, 6, e 7 com as curvas tensão x deformação para as combinações 6, 18, 25 e 27 respectivamente.

Gráfico 4 - Tensão x Deformação para a combinação 6



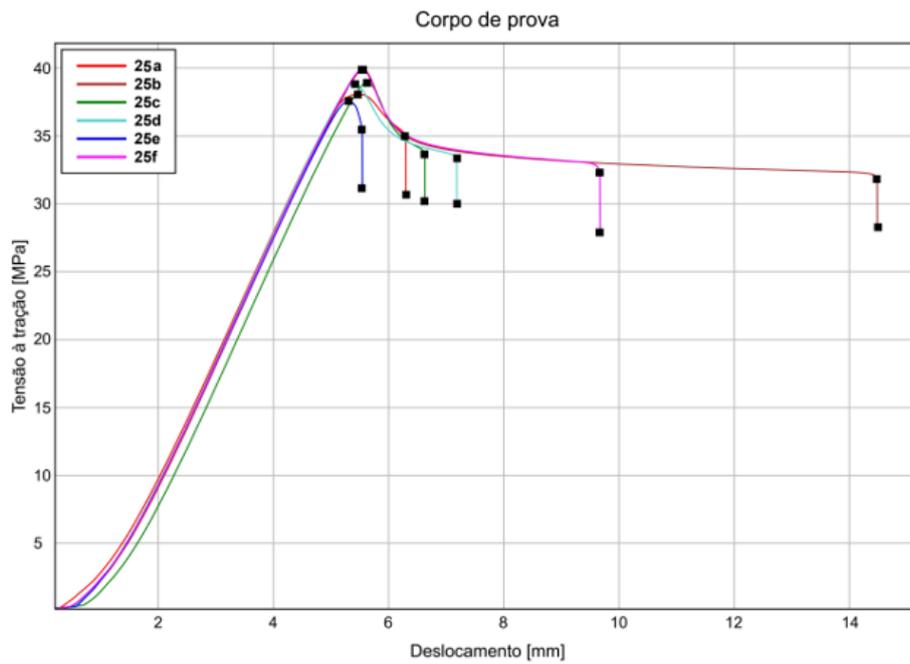
Fonte: Autor (2022)

Gráfico 5 – Tensão x Deformação para a combinação 18



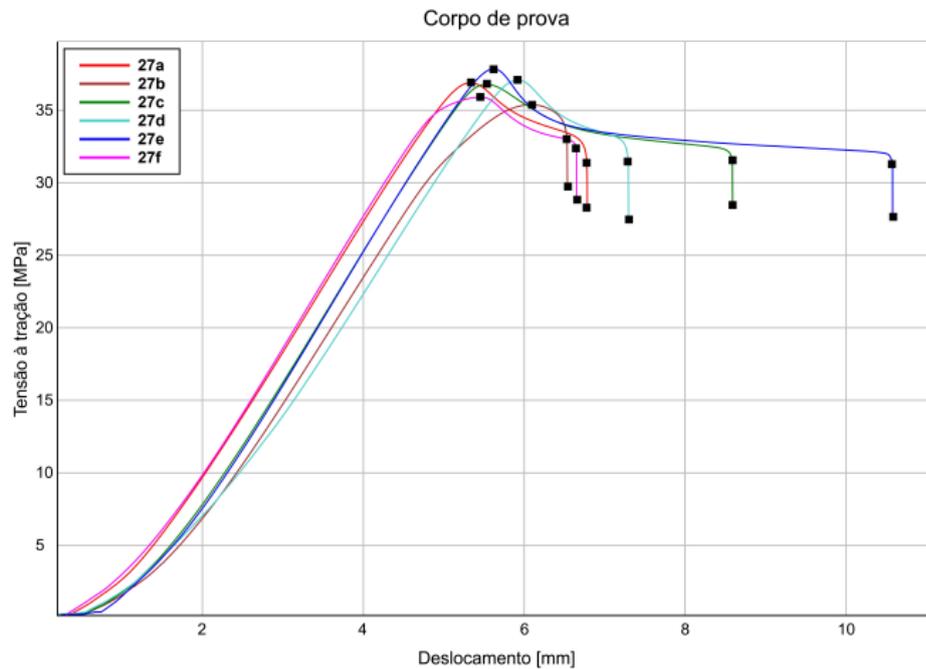
Fonte: Autor (2022)

Gráfico 6 - Tensão x Deformação para a combinação 25



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 7 - Tensão x Deformação para a combinação 28



Fonte: Autor (2022)

Os Gráficos 4, 5, 6, e 7 acima representam as curvas de tensão x deformação para cada corpo de prova. Durante os testes, as combinações foram nomeadas de “a” a “f”, como mostra a legenda do gráfico. É importante ressaltar que as deformações dos CP não foram mencionadas na análise pelo fato de que a máquina utilizada no ensaio de tração não possui o extensômetro entre as garras.

É possível visualizar nos gráficos de Tensão x Deformação, que os valores de tensão máxima para os 6 CP ficaram bem próximos, o mesmo acontece na tensão de ruptura. A deformação plástica apresentou alguma divergência entre as amostras.

Durante os ensaios, não houve o empescoçamento dos corpos de prova, representando um comportamento frágil do material ABS.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi feita através do DOE completo com o auxílio do software Minitab, os fatores estão representados na Tabela 3. A variável de saída analisada foi tensão à tração na quebra e tensão à tração máxima, o módulo de elasticidade

(Young) não foi analisado pelo fato de que o mesmo é uma propriedade do material, como foi explicado anteriormente.

4.2.1 Tensão à tração na ruptura

Para a análise inicial, os valores obtidos no teste de tração para cada combinação foram passados para o software Minitab, para cada um dos 192CP. Em seguida, foi realizada a análise do experimento fatorial, onde através da análise das variâncias (Figura 10) e com o gráfico de Pareto (Gráfico 8), foi possível verificar a influência de cada parâmetro na tensão à tração. Toda a análise fatorial foi feita com um nível de confiança de 95%.

Figura 10 – Análise de variância tensão à tração na ruptura

Análise de Variância

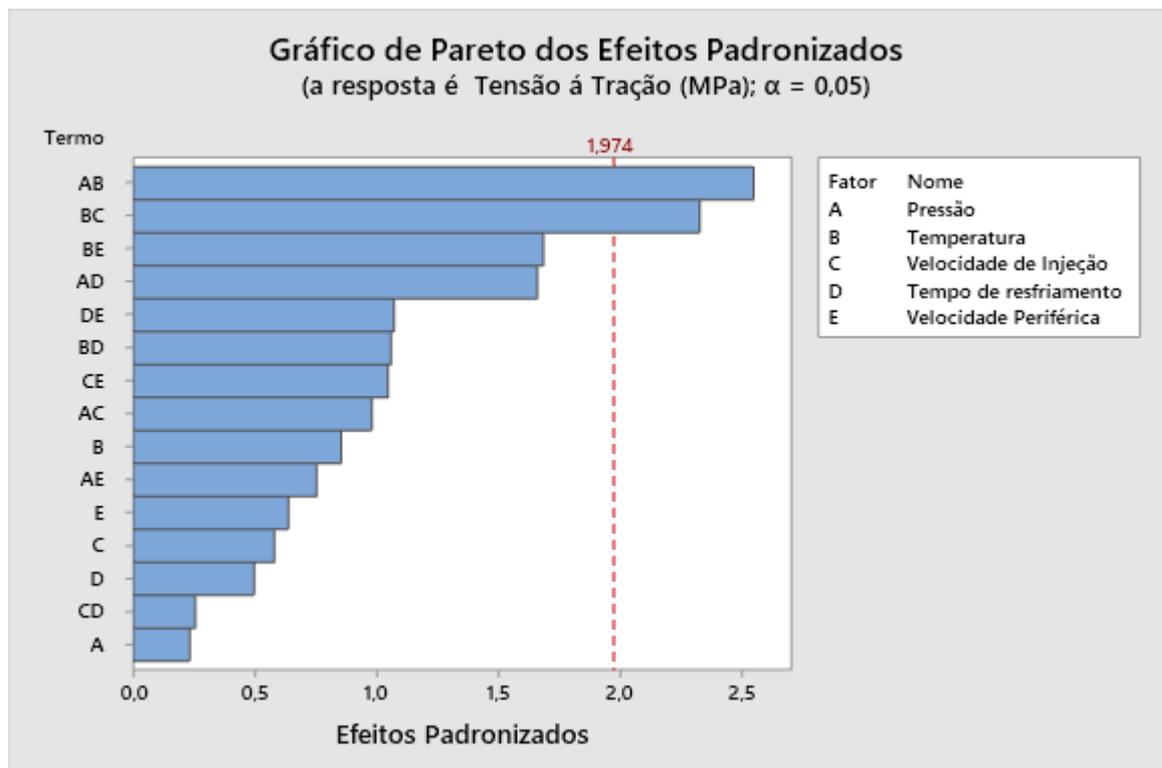
Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	15	22,783	1,51886	1,62	0,073
Linear	5	1,670	0,33406	0,36	0,878
Pressão	1	0,051	0,05103	0,05	0,816
Temperatura	1	0,688	0,68760	0,73	0,393
Velocidade de Injeção	1	0,316	0,31606	0,34	0,562
Tempo de resfriamento	1	0,233	0,23310	0,25	0,619
Velocidade Periférica	1	0,383	0,38253	0,41	0,524
Interações de 2 fatores	10	21,113	2,11125	2,25	0,017
Pressão*Temperatura	1	6,103	6,10257	6,50	0,012
Pressão*Velocidade de Injeção	1	0,903	0,90338	0,96	0,328
Pressão*Tempo de resfriamento	1	2,592	2,59238	2,76	0,098
Pressão*Velocidade Periférica	1	0,534	0,53446	0,57	0,451
Temperatura*Velocidade de Injeção	1	5,086	5,08626	5,42	0,021
Temperatura*Tempo de resfriamento	1	1,055	1,05465	1,12	0,290
Temperatura*Velocidade Periférica	1	2,667	2,66728	2,84	0,094
Velocidade de Injeção*Tempo de resfriamento	1	0,062	0,06199	0,07	0,797
Velocidade de Injeção*Velocidade Periférica	1	1,031	1,03107	1,10	0,296
Tempo de resfriamento*Velocidade Periférica	1	1,079	1,07850	1,15	0,285
Erro	176	165,129	0,93823		
Falta de ajuste	16	46,976	2,93599	3,98	0,000
Erro Puro	160	118,153	0,73846		
Total	191	187,912			

Fonte: Autor (2022)

Para analisar a relevância dos parâmetros ou das interações utiliza-se o “Valor-P” presente na última coluna da Figura 10. Para um nível de confiança de 95%, o alfa é 0,05, então, o parâmetro isolado, ou a interação, que apresentar um valor-p menor do que 0,05 é considerado relevante.

Seguindo essa metodologia, as interações entre pressão/temperatura, e temperatura/velocidade de injeção são relevantes e devem ser levadas em consideração. A análise se confirma com o gráfico de Pareto (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Gráfico de Pareto para a Tensão à Tração na quebra

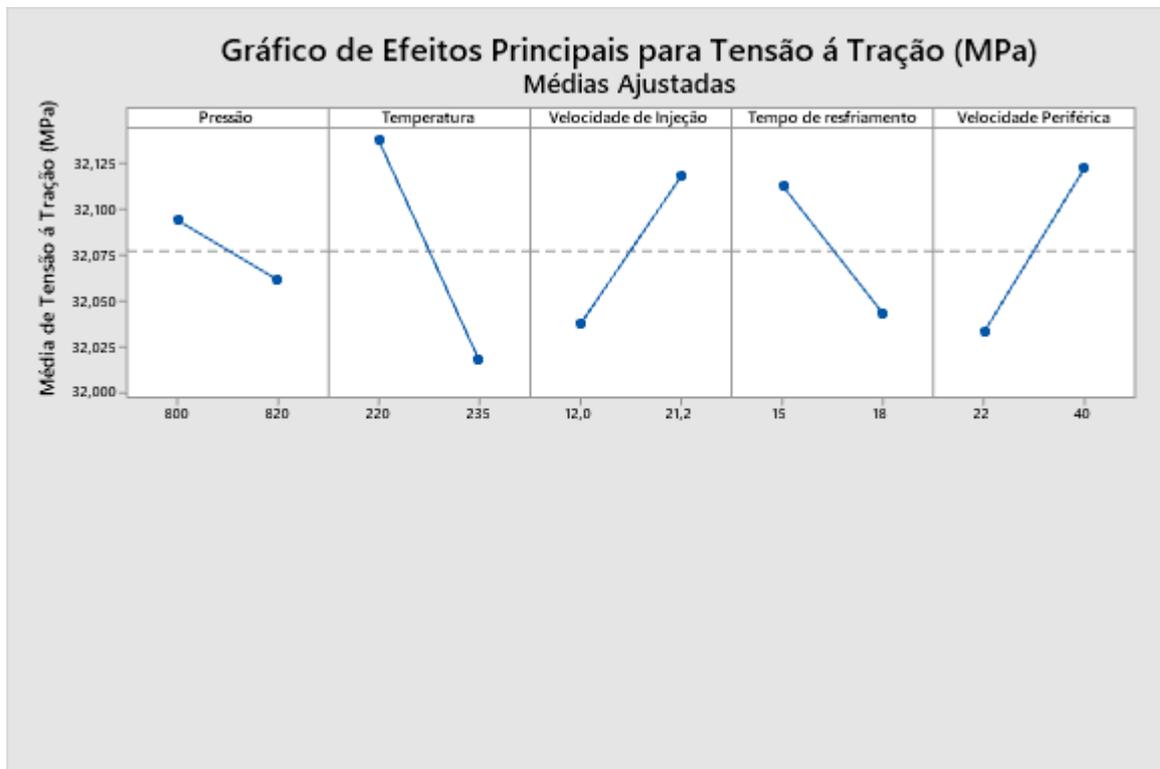


Fonte: Autor (2022)

O gráfico de Pareto apresenta o valor absoluto dos efeitos, onde a linha pontilhada na vertical mostra o valor mínimo para que o efeito seja estaticamente considerado, no caso do Gráfico 8, o valor é de 1,974. Portanto os efeitos que representaram maior influência em relação a tensão foram as combinações AB (pressão e temperatura), e BC (temperatura e velocidade de injeção).

No Gráfico 9 é apresentado os gráficos de efeitos principais para cada parâmetro.

Gráfico 9 – Gráfico dos efeitos principais de cada parâmetro



Fonte: Autor (2022)

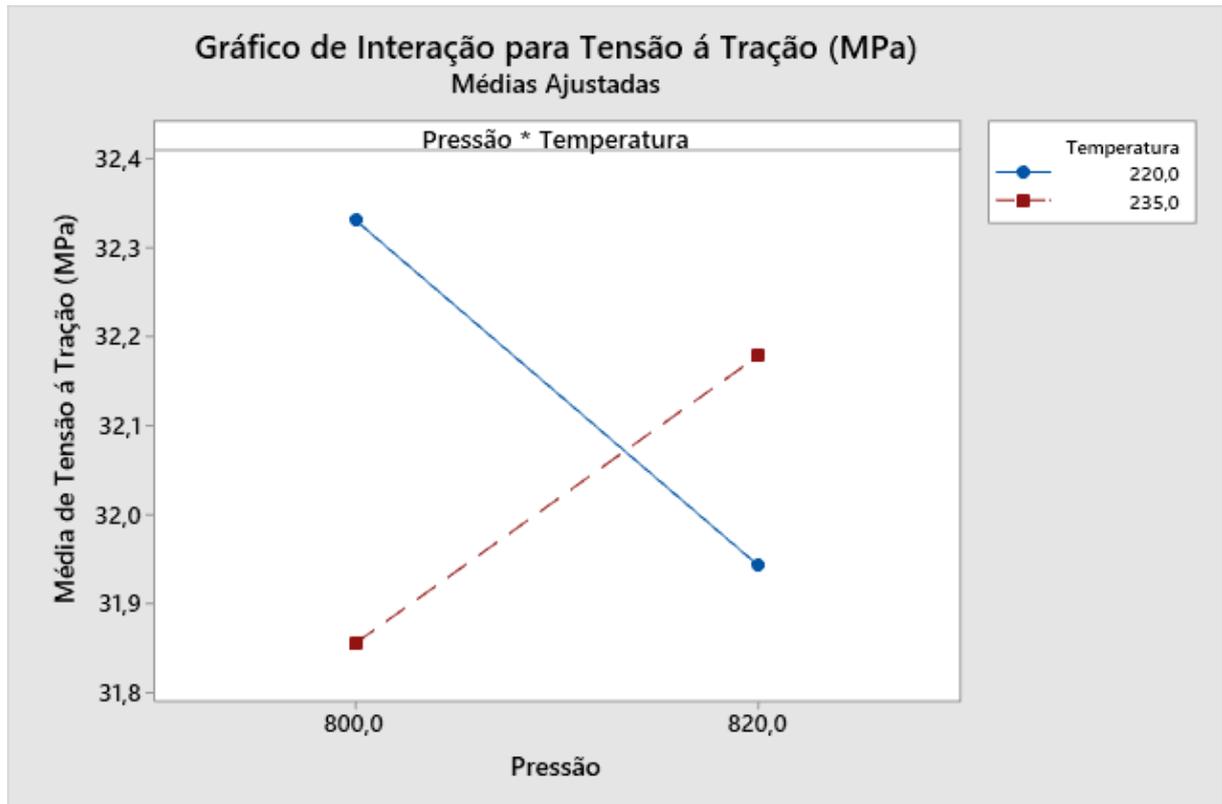
A linha pontilhada no Gráfico 9, representa a média ajustada dos ensaios realizados (32,077 MPa), o erro é de $\pm 0,969$ MPa.

Mesmo os extremos dos efeitos mostrados no Gráfico 9 parecerem muito distantes, como no caso da temperatura, fica claro que quando analisados isoladamente os efeitos não são relevantes, a escala a direita mostra o valor máximo das médias em 32,125MPa, e o valor mínimo em 32MPa, sendo a diferença entre os extremos muito pequena, menor do que o erro, comprovando que a influência dos parâmetros de forma isolada, mesmo tendo uma diferença estatística, não é relevante para a tensão à tração.

Para analisar as interações AB, e BC, apresentadas no Gráfico 8, utilizou-se o gráfico de interações, que mostra a média ajustada das interações dos efeitos combinados.

O gráfico de interação entre a pressão e temperatura, representada pela sigla AB é mostrada no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Gráfico de interações entre a pressão e temperatura

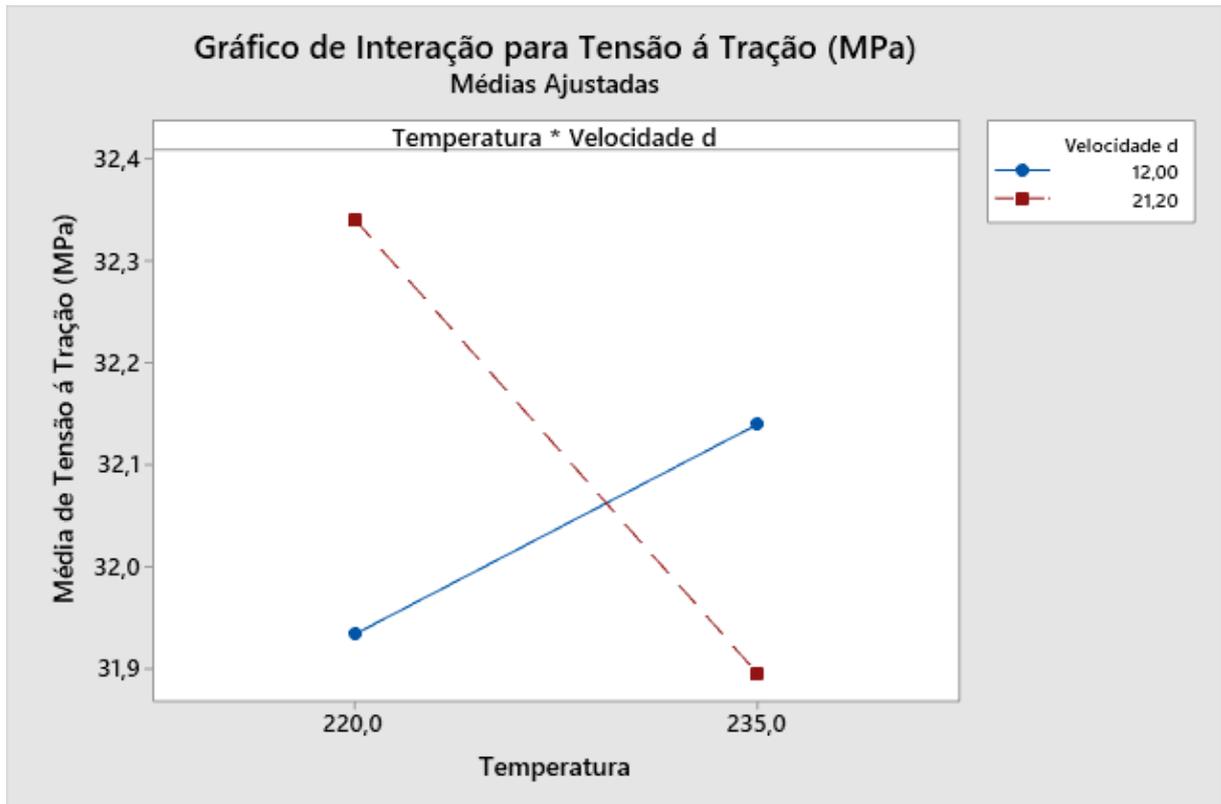


Fonte: Autor(2022)

No Gráfico 10, a linha pontilhada representa a maior temperatura (235°C). Nesta interação, a interação de maior resistência (32,33MPa) ficou na combinação da menor temperatura com a menor pressão. Já a interação de menor resistência (31,85MPa) ficou bem evidente, sendo a combinação entre a maior temperatura com a menor pressão.

A interação entre a temperatura e a velocidade de injeção representada pela sigla BC no Gráfico 8, foi mostrada no Gráfico 11, sendo esta, a última interação relevante para análise segundo o gráfico de Pareto (Gráfico 8).

Gráfico 11 - Gráfico de interações entre a temperatura e a velocidade de injeção



Fonte: Autor (2022)

Através do Gráfico 11, é possível fazer as seguintes observações:

- A maior velocidade de injeção, combinada com a menor temperatura apresentou uma maior resistência de 32,34 MPa.
- A menor resistência (31,89MPa) foi na combinação entre a maior velocidade de injeção e maior temperatura.

Através da análise estatística é possível afirmar que houve uma influência dos parâmetros na tensão à tração, porém, quando analisamos na prática, fica visível que as diferenças entre maior e menor tensão, tanto nas interações da pressão com a temperatura, e temperatura com a velocidade de injeção, foram muito pequenas, sendo menores que o erro, portanto não são consideradas relevantes.

4.2.2 Tensão à tração máxima

Para a tensão à tração máxima, obteve-se uma média de 37,458 MPa, com erro de $\pm 0,844$ MPa. A análise estatística foi a mesma realizada na tensão na ruptura, inicialmente foi analisado a variância como mostra a Figura 11, em seguida foi gerado o gráfico de Pareto (Gráfico 12).

Figura 11 – Análise de variância para tensão à tração máxima

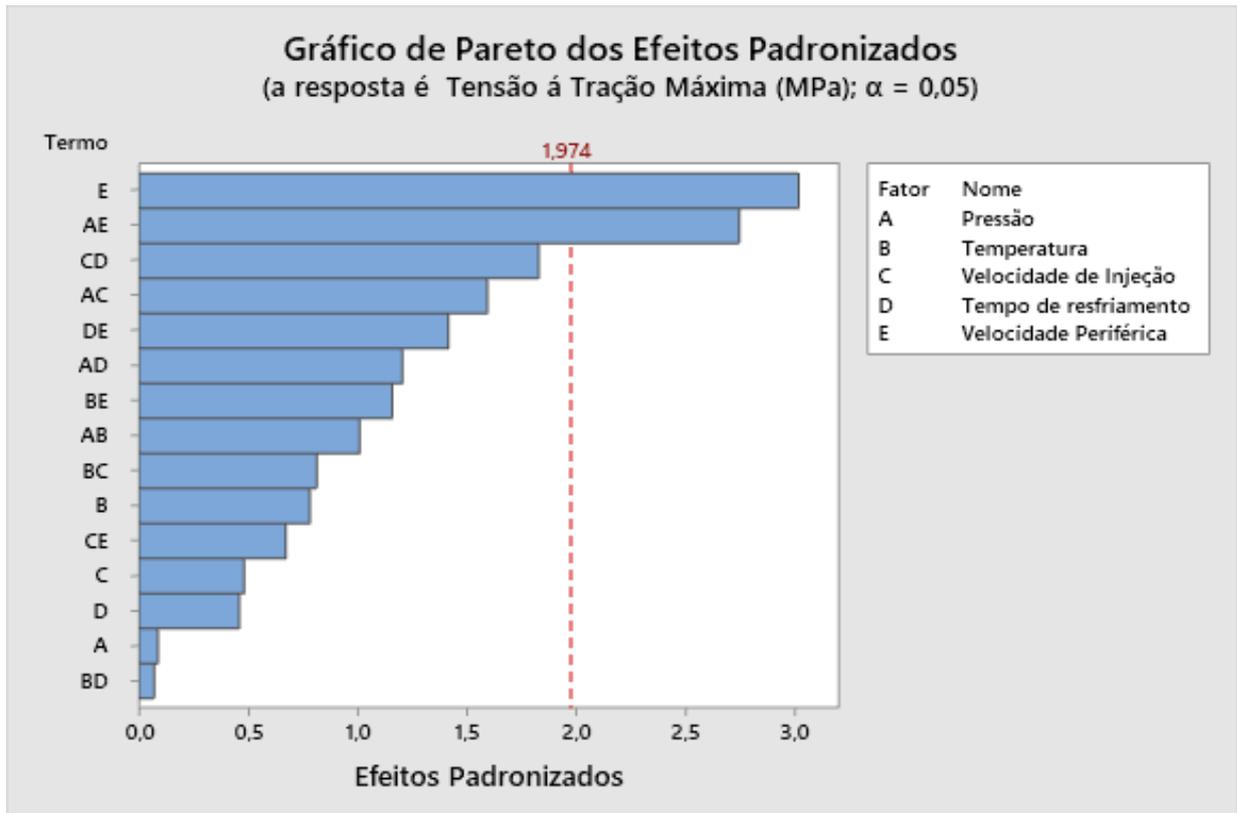
Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	15	21,790	1,45264	2,04	0,015
Linear	5	7,256	1,45130	2,04	0,076
Pressão	1	0,006	0,00563	0,01	0,929
Temperatura	1	0,437	0,43701	0,61	0,435
Velocidade de Injeção	1	0,166	0,16567	0,23	0,630
Tempo de resfriamento	1	0,151	0,15075	0,21	0,646
Velocidade Periférica	1	6,497	6,49741	9,12	0,003
Interações de 2 fatores	10	14,533	1,45332	2,04	0,032
Pressão*Temperatura	1	0,728	0,72767	1,02	0,314
Pressão*Velocidade de Injeção	1	1,814	1,81352	2,54	0,112
Pressão*Tempo de resfriamento	1	1,038	1,03841	1,46	0,229
Pressão*Velocidade Periférica	1	5,380	5,38010	7,55	0,007
Temperatura*Velocidade de Injeção	1	0,474	0,47402	0,67	0,416
Temperatura*Tempo de resfriamento	1	0,004	0,00367	0,01	0,943
Temperatura*Velocidade Periférica	1	0,961	0,96050	1,35	0,247
Velocidade de Injeção*Tempo de resfriamento	1	2,385	2,38521	3,35	0,069
Velocidade de Injeção*Velocidade Periférica	1	0,322	0,32177	0,45	0,502
Tempo de resfriamento*Velocidade Periférica	1	1,428	1,42830	2,00	0,159
Erro	176	125,416	0,71259		
Falta de ajuste	16	32,346	2,02161	3,48	0,000
Erro Puro	160	93,071	0,58169		
Total	191	147,206			

Fonte: Autor (2022)

O valor-p para a velocidade periférica, e a interação entre pressão/velocidade periférica ficou abaixo do valor alfa de 0,05, indicando que estatisticamente esses efeitos são importantes, a hipótese se confirma no Gráfico 12.

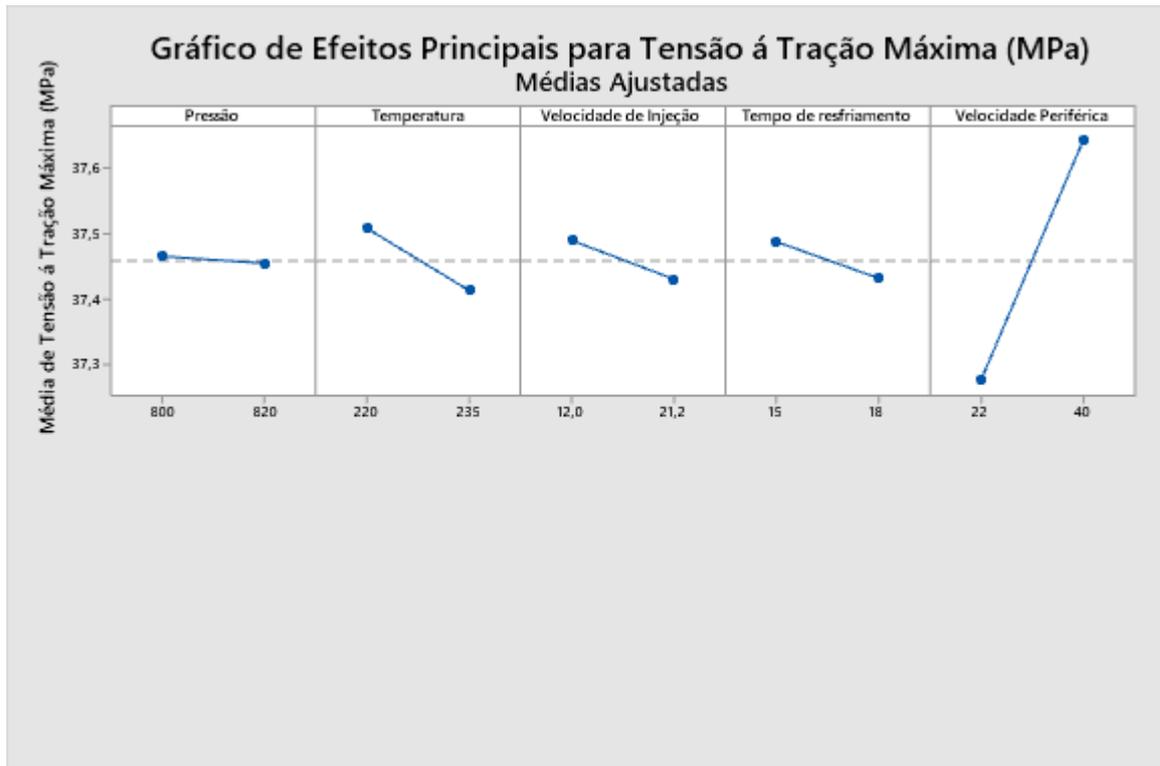
Gráfico 12 – Gráfico de Pareto para a máxima tensão à tração



Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 12 confirma a relevância da velocidade periférica da rosca, e da sua interação com a pressão, representada pela sigla AE. Para análise da relevância dos parâmetros de forma isolada foi gerado o gráfico dos efeitos principais mostrado no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Gráfico dos efeitos principais para a máxima tensão à tração

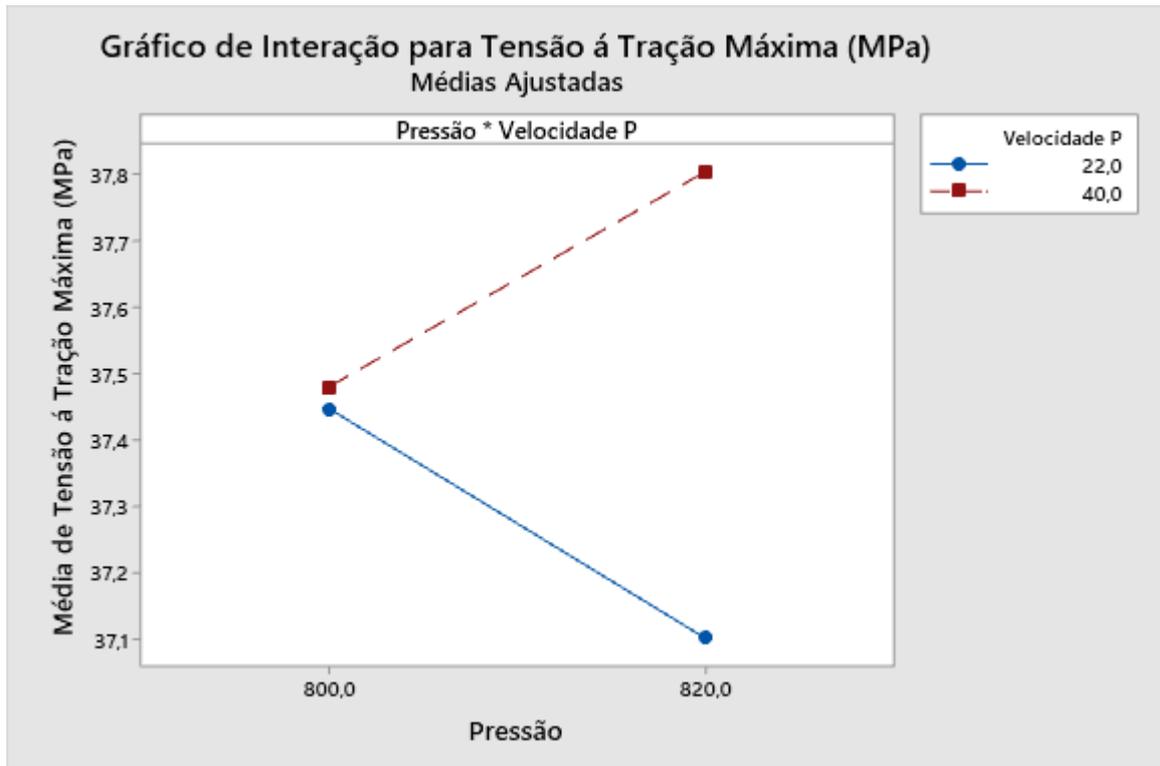


Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 13 deixa evidente que para a máxima tensão à tração, a velocidade periférica da rosca, foi um efeito que teve influência estatisticamente. Porém, quando analisamos os extremos, é possível identificar que o valor da média para a menor velocidade periférica foi de 37,275 MPa, e para a maior foi de 37,642 MPa, sendo essa diferença menor do que erro, portanto, analisando tecnicamente, esse parâmetro não teve influência, visto que a sua influência mostrada no Gráfico 13, não é relevante na prática.

Para analisar a interação entre a pressão e velocidade periférica representada pela sigla AE, utilizou-se o gráfico de interações mostrado no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Gráfico de interações entre a pressão e velocidade periférica



Fonte: Autor (2022)

Através do Gráfico 14, é possível fazer as seguintes observações:

- A maior velocidade periférica, combinada com a maior pressão apresentou uma maior resistência de 37,80 MPa.
- A menor resistência (37,10MPa) foi na combinação entre a menor velocidade periférica e maior pressão.

Mesmo a diferença entre as tensões na interação ser um pouco maior, de aproximadamente 0,70 MPa entre a mínima e a máxima, esse valor ainda é menor do que o erro, levando a conclusão de que esses parâmetros também não são relevantes para os resultados quando analisados de forma técnica.

Portanto, os resultados apresentados nesse capítulo leva a conclusão de que para os intervalos escolhidos, os efeitos não influenciaram na tensão à tração máxima.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise da influência dos parâmetros de injeção na resistência mecânica das peças fabricadas, onde foi possível, verificar quais combinações apresentaram maior e menor tensão à tração, e módulo de elasticidade.

Para o módulo de elasticidade, foi possível afirmar, como já era esperado, que os parâmetros não foram influentes, nota-se uma diferença percentual de 3.37% entre o maior e o menor valor.

Os resultados estatísticos mostraram uma certa influência dos parâmetros para tensão à tração na ruptura, tendo como efeitos relevantes, as interações da pressão com a temperatura, e temperatura com a velocidade de injeção. Porém, tecnicamente essas influências não são consideradas relevantes, visto que a diferença entre elas é menor do que o erro.

Para a tensão à tração máxima, a velocidade periférica e a interação entre pressão e velocidade periférica se mostraram influentes pelos métodos estatísticos, porém como as diferenças foram menores que o erro, a influência não é considerada relevante.

Possivelmente, os parâmetros não foram influentes pelo fato de que os valores entre os máximos e mínimos dos fatores foram muito próximos, fazendo com que essa variação não causasse uma alteração relevante nas propriedades mecânicas dos CP.

Desta forma, é possível concluir os parâmetros de injeção dentre os limites de máximo e mínimo estabelecidos, não influenciaram nas propriedades mecânicas da peça final, o DOE foi uma ferramenta muito útil para este tipo de experimento. Através deste método de análise é possível encontrar parâmetros ideias para fabricação de peças em escala, casando uma boa resistência, com tempo de ciclo e quantidade de material a ser injetado.

Uma observação interessante que vale a pena ser mencionada, foi a eficiência da ferramenta estatística utilizada para análise das influências dos parâmetros, que mesmo essas influências sendo pequenas, ficaram evidentes nos gráficos apresentados, mostrando que a análise estatística é uma ferramenta muito útil para complementar as análises práticas.

Por fim, como dica para futuros trabalhos, é importante considerar um intervalo mais amplo dos fatores a serem analisados durante o estudo. Vale salientar que seria interessante analisar a massa dos corpos de prova fabricados utilizando os mesmos níveis dos parâmetros, para verificar se há alteração no peso dos corpos de prova quando o intervalo dos níveis dos fatores é pequeno.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como os parâmetros não foram influentes para os níveis escolhidos neste trabalho, e a ferramenta estatística utilizada se mostrou muito eficiente para indicar as variações decorrentes dos parâmetros de injeção. Recomenda-se para futuros estudos:

- Realizar um experimento fatorial fracionado com os cinco fatores utilizados neste trabalho, porém com um intervalo maior entre os máximos e mínimos dos fatores escolhidos;
- Avaliar a massa dos corpos de prova fabricados com as mesmas combinações utilizadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D638 14: Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Material**. Nova York, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. Perfil 2021. São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2021/> Acesso em: 15 out. 2022.

BUSATO, Fábio André. **Parâmetros de moldagem por injeção de termoplásticos em moldes fabricados por estereolitografia com resina somos 7110**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87832/213444.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 Nov. 2022.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. São Paulo: Artliber, 2004.

HARADA, J.; UEKI, M. M. **Injeção de termoplásticos: produtividade com qualidade**. Artliber, São Paulo, v. 220, n. x, p. 10-11, 2012.

HARPER, C.; PETRIE, E. **Plastics materials and processes: a concise encyclopedia**. John Wiley and Sons, Hoboken, 2003. 3.1.2

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7.ed. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015. 637 . p. 63.

KAZMER, D. **Injection mold design engineering**. 2. ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2016.

KITAYAMA, S. et al. Multi-objective optimization of injection molding process parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-8904-x> Acesso em: 15 out. 2022.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

MIRANDA, D. A. **Estudo experimental e de simulação computacional para análise e melhoria da eficiência de um molde de injeção de termoplásticos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas) - Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2017.

OZCELIK, B.; OZBAY, A.; DEMIRBAS, E. **Influence of injection parameters and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding.** International Communications in Heat and Mass Transfer, Elsevier Ltd, v. 37, n. 9, p. 1359–1365, nov. 2010. ISSN 07351933. Disponível em:<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735193310001636>>. Acesso em 20 de Nov. 2022.

SACCHELLI, C. M.; MORGENSTERN, E. ; GODOY, V. ; BASTIANELLO, S. F. ; MARTINS, Adilson ; OLIVEIRA, J.p. . **Influence of Injection Parameter in Mechanical Properties of the Polypropylene - PP.** In: 21 Annual Meeting of the Polymer Processing Society, 2005, LEIPZIG, 2005.

SIMIELLI, Edson Roberto; SANTOS, Paulo Aparecido dos. **Plásticos de Engenharia: principais tipos e sua moldagem por injeção.** São Paulo: 2010.

VIEIRA, L. F. et al. **Influência de parâmetros de processamento e geometria em propriedades mecânicas de peças de PS, PC e PLA moldadas por injeção.** 2013. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.