



ESTUDO DE PROJETO DE COMPONENTE PARA CADEIRA OPERACIONAL EM TERMOPLÁSTICO RECICLÁVEL: AVALIAÇÃO À LUZ DAS TÉCNICAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ENXUTO

Fabrcio De Almeida Nasilowski

fabrcio.nasilowski@gmail.com

Guilherme Luiz Cassel

glcassel@terra.com.br

URI – Erechim, Avenida Sete de Setembro, Nº 1621, Bairro Centro, Erechim, RS, Brasil.

Resumo. De acordo com a metodologia Lean os princípios enxutos não devem somente ser aplicados na manufatura, mas também em outras áreas tais como Desenvolvimento de Produtos e de Pesquisa e Desenvolvimento das empresas, se tornando uma alternativa relevante para melhorar a sua competitividade nos mercados onde atuam. O processo de desenvolvimento de um produto consiste em diversas atividades realizadas por diferentes departamentos com objetivo de atender às demandas requisitadas pelo cliente, sendo possível de ser produzido. Este trabalho versará sobre Desenvolvimento de Produto Enxuto, a partir da comparação das etapas do desenvolvimento de um novo componente em uma empresa do segmento metal-mecânico produtora de mobiliários, que foi realizado em conjunto com a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI - Erechim, ambas localizadas no município de Erechim-RS. O produto em questão ainda é embrionário e, portanto, será desenvolvido integralmente em modelagem 3D, com auxílio de técnicas de Análise de Elementos Finitos (FEA) através do uso do software comercial ANSYS, de modo a mitigar riscos. Alguns testes físicos foram realizados com materiais poliméricos compostos, selecionados pela empresa para este novo produto, de modo a alimentar os modelos criados do protótipo e assim ser possível verificar o atendimento aos requisitos ainda no ambiente virtual, sem a necessidade de custos com a produção de moldes e protótipos, gerando desperdícios. A proposta futura da empresa é implementar integralmente a filosofia Lean utilizando a ferramenta de Desenvolvimento de Produto Enxuto com o objetivo final de reduzir o tempo e atividades de pessoas que não agregam valor ao projeto, auxiliando principalmente na velocidade de lançamento de novos produtos, mas também na redução de custos da empresa, onde este estudo pretende apresentar as lacunas entre a metodologia e o processo de desenvolvimento de produtos atual da empresa.

Palavras-chaves: Simulação por Elementos Finitos; Desenvolvimento de Produto Enxuto, Sustentabilidade, Materiais Poliméricos Compostos.

1. INTRODUÇÃO

O momento econômico que a indústria brasileira está enfrentando durante o triênio 2014-2017, com uma crise profunda e escassez de recursos financeiros, requer que as empresas façam uso de seus recursos de forma cada vez mais eficaz, otimizando seus processos de desenvolvimento de produtos, para que forneçam soluções melhores e assertivas em relação aos problemas que seus clientes desejam resolver.

Trabalhos recentes demonstram que as técnicas de Lean Manufacturing ainda são pouco exploradas no âmbito do Desenvolvimento de Produtos (COUTINHO, BOUZON, 2017), mas que neste processo podem ser obtidos ganhos da mesma ordem que os ocorridos na manufatura de produtos físicos utilizando-se de técnicas tais como Identificação das Perdas (ABREU; VACCARO, 2016) e Mapeamento do Fluxo de Valor (SALGADO et. al., 2009).

Com o crescimento global percebe-se que é de relevante importância a utilização dos materiais poliméricos, principalmente ao seu baixo custo, às suas boas propriedades mecânicas e também por ter um apelo pela possibilidade de reciclagem e/ou ser elaborado usando uma parcela de material reciclável. Nos últimos anos houve uma crescente demanda da utilização de materiais poliméricos na fabricação de peças e componentes, isto se deve às suas boas características de suas propriedades de isolamento elétrico, térmico, de sua baixa densidade, alta resistência a produtos químicos e facilidade para fabricação das peças técnicas. Muitas vezes esses materiais têm substituído materiais metálicos sem grande perda em sua eficiência estrutural (VASSOLER, 2007).

Na atualidade as empresas investem bastante em Softwares que utilizam os métodos numéricos para desenvolver e simular os modelos topológicos e paramétricos de seus respectivos produtos, com essas simulações é possível eliminar os produtos que são baseados em tentativa e erro que geram esforços e custos com protótipos, moldes e matrizes. Segundo Speck (2005), o maior desafio da indústria na atualidade é reduzir o tempo entre a concepção e o lançamento de um produto. Na maioria dos produtos o investimento em ferramental ou moldes e estampos, meios pelos quais eles

são fabricados em massa, é o mais pesado ciclo de desenvolvimento e a existência de protótipos minimiza os riscos na construção de ferramentas.

Um componente importante da simulação numérica é o modelo constitutivo do material que deve ser capaz de representar adequadamente a relação de tensão e deformação, taxa de deformação, temperatura, dentre outras características, na faixa de análise. Estes modelos, por sua vez, precisam da caracterização de parâmetros que os alimentem e devem ser obtidos de forma experimental para cada material. A regra, em geral, diz que quanto mais complexo o comportamento do material, mais sofisticado deve ser o modelo e, portanto, mais parâmetros constitutivos devem ser caracterizados (VASSOLER, 2007).

Identificar eventuais perdas e problemas em um projeto de desenvolvimento de novo produto pode gerar grande lucros e ganhos com eficiência e eficácia nos processos de fabricação do item. Se os projetos falham em atender às expectativas estabelecidas, fracassam com eles os esforços de todo um sistema proposto para resultar em um produto, seja este uma proposta técnica de engenharia ou uma estrutura de serviços. Onde houver o fracasso na condução do projeto, possivelmente haverá algum tipo de perda associada ao processo de gestão do projeto (ABREU e VACCARO, 2016).

2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O processo atual de fabricação do componente objeto deste estudo apresenta diversos problemas de qualidade em sua realização, o que acarreta despesas adicionais com o retrabalho para atendimento aos requisitos necessários. Para suplantar esta situação, a empresa deseja desenvolver um novo componente, substituindo seu método de fabricação e sua matéria-prima principal por uma vista pelo mercado com apelo amigável ao meio-ambiente.

Este desenvolvimento apresenta uma oportunidade no que tange à avaliação de um novo método de Desenvolvimento de Produtos pela empresa, pois é necessário ser mais assertivo no desenvolvimento reduzindo custos com desperdício de matéria-prima e com horas de trabalho de Engenharia e Produção com o processo atual de “tentativa e erro”, o que causa custos elevados com retrabalhos em moldes e gabaritos, e confecção de protótipos até o atendimento do objetivo final do componente.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o desenvolvimento de um produto denominado ‘Apoia Pé para Cadeira Operacional’, a ser desenvolvido em Termoplástico Reciclado, à luz das Técnicas de Desenvolvimento de Produto Enxuto.

Este estudo de caso foi realizado numa empresa do segmento metal-mecânico que produz uma ampla linha de mobiliários, juntamente com a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI - Erechim, ambas localizadas no município de Erechim-RS.

Como objetivos específicos deste trabalho podem-se citar:

- Apresentar um referencial teórico sobre as etapas principais de Desenvolvimento de Produto Enxuto (DPE);
- Descrever as etapas realizadas para o desenvolvimento do produto com softwares de CAD (desenho assistido por computador) e FEA (análise de elementos finitos) para o desenvolvimento Topológico e Paramétrico para a criação de um modelo inicial;
- Avaliar o atendimento aos requisitos de um Desenvolvimento de Produto Enxuto no caso apresentado, identificando as lacunas encontradas, para elaboração de uma proposta futura para a empresa estudada.

4. REVISÃO DE LITERATURA

A presente seção fala sobre aspectos relacionados à Manufatura Enxuta e desenvolvimento de técnicas específicas para desenvolvimento de produtos.

4.1 Lean Manufacturing

A Lean Manufacturing foi idealizada originalmente pela Toyota, deste fato derivando o nome Toyota Production System (TPS). O TPS apresentava uma metodologia que auxiliava na eliminação de desperdícios, permitindo que o sistema de produção focalizasse seus esforços no sentido de produzir apenas o que o cliente queria. O Programa de Veículos a Motor Internacional (IMVP – International Motor Vehicle Program), uma iniciativa do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT - Massachusetts Institute of Technology) chamou o conceito de Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta), o qual representou uma mudança radical a partir da produção em massa (WOMACK et al., 1992). A Lean Manufacturing, no entanto, transcendeu o espaço físico da fábrica, transformando-se em um novo modo de pensar, uma verdadeira Filosofia Lean. Muito da Lean Manufacturing depende do fluxo de informações entre o fabricante, o cliente e os fornecedores, e que quanto mais visível este fluxo de informação, mais o fabricante produz conforme o cliente realmente deseja (WOMACK et al., 1992).

Os princípios da produção enxuta, ou Lean Manufacturing (LM), foram desenvolvidos na década de 1960 pela Toyota como uma evolução do conceito de produção integrada e da estruturação das práticas de produção que eram

adotadas nas fábricas da Toyota. Essa filosofia e abordagem de gestão foram sintetizadas em cinco princípios: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição (Liker, 2004).

Os processos de engenharia, dentre outros, devem ser incessantemente melhorados, na busca por condições mais competitivas para a empresa. Isso permite que se tornem visíveis os erros que estão ocultos no fluxo de informações (MORGAN; LIKER, 2006). Sendo assim, é importante salientar que à medida em que as empresas ampliam seus investimentos em desenvolvimento do projeto e também em gabaritos e dispositivos nos processos de fabricação, mais qualidade será obtida e conseqüentemente poderão ser auferidos maiores lucros após o desenvolvimento de seus produtos com esta abordagem.

4.2 Desenvolvimento de Produtos Enxutos

De acordo com Laidens (2007), o desenvolvimento de produtos é um processo multidisciplinar, composto não apenas das áreas funcionais, como a engenharia, o marketing, produção, P&D (pesquisa e desenvolvimento), mas também envolve outros ambientes internos da empresa como por exemplo, recursos humanos, logística, financeiros, controle da qualidade, etc., assim como o externo (mercado e fornecedores). Desta forma, as diversas áreas percebem o produto sob aspectos não somente diferentes, mas também complementares.

Segundo Ward (2009), a qualidade medida em pesquisas sobre os defeitos dos produtos na sua vida inicial é devida parcialmente ao sistema de produção, que é fortemente afetado por decisões tomadas durante o desenvolvimento do produto. Mas a qualidade do produto na sua vida como um todo (durabilidade, manutenção fácil e até mesmo baixo custo) é quase inteiramente função do desenvolvimento.

Para Womack & Jones (2003), a aplicação dos cinco princípios enxutos nos processos e em toda a empresa conduzirá ao que eles chamam de estado "enxuto". Este estado enxuto é resultante da eliminação de desperdícios nas operações, de tal forma que os produtos possam ser desenvolvidos com uma mínima parcela dos custos totais de material, tempo e esforço humano.

Estes princípios são:

- Princípio do Valor: especificar de forma precisa o valor;
- Princípio do Fluxo do Valor: identificar o fluxo do valor;
- Princípio do Fluxo: fazer com que o valor identificado flua;
- Princípio do Sistema Puxado: deixar que o consumidor puxe o valor; e
- Princípio da Perfeição: esforço para a perfeição.

De acordo com Morgan e Liker (2008), o modelo que está por trás do sucesso da Toyota é explicado por alguns dos executivos norte-americanos de desenvolvimento de produto da Toyota em apenas três palavras: "engenharia do bom senso". A Toyota utiliza o modelo sociotécnico (SST) que se tornou popular nas décadas de 1970 e 1980, para descrever seu modelo de desenvolvimento de produto. Segundo descrito pelos mesmos autores, o sistema sociotécnico significa que, para uma organização ser bem-sucedida, ela precisa encontrar a conjugação apropriada entre os sistemas social e técnico que se adapte ao objetivo organizacional e ao ambiente externo.



Elementos de um sistema alinhado que se apóiam mutuamente

FONTE: Morgan e Liker (2008)

Figura 1 - Abordagem sistêmica coerente para o desenvolvimento de produto.

Ainda segundo Morgan e Liker (2008), o desenvolvimento de produtos da Toyota tem evoluído como um sistema vivo e está baseado nos sistemas sociotécnicos que combinam três subsistemas principais: processos, pessoal,

ferramentas e tecnologias, e seus correspondentes princípios. De acordo com a Fig. 1, esses três subsistemas são inter-relacionados e interdependentes e influenciam a capacidade da organização de atingir seus objetivos externos.

Os três subsistemas, de acordo com Morgan e Liker (2008), que compreendem o modelo do Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto da Toyota, servirão de base para este projeto e são definidos com maior profundidade a seguir:

4.2.1 Subsistema Processo

Morgan e Liker (2008) destacam que o primeiro subsistema consiste em processos, conforme demonstra a Tab. 1, o qual, de acordo com o sistema sociotécnico, faz parte do sistema técnico e abrange todas as tarefas e sequências de tarefas exigidas para levar um produto desde o conceito até o começo da produção. Em termos de produção enxuta, é o que se busca quando se está “mapeando o fluxo de valores” desde a matéria-prima até os produtos finais. Praticamente, todas as empresas têm algum tipo de processo documentado para o desenvolvimento de produtos. O Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto, no entanto, interessa-se mais pelo processo prático – as atividades do dia a dia pelas quais a informação flui, os projetos evoluem, os testes são completados, protótipos construídos, até, enfim, emergir de tudo isso um produto acabado (PARIS, 2013).

Tabela 1 – Subsistema Processo.

PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
1	Identifique valor definido pelo cliente para separar valor agregado do desperdício.
2	Concentre esforços no início do processo de desenvolvimento de produto para explorar as alternativas.
3	Crie um nivelamento de fluxo do processo de desenvolvimento de produto.
4	Utilize padronização rigorosa para reduzir a variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis.

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

Morgan e Liker (2008) destacam ainda que é preciso que a liderança do programa comunique objetivos detalhados; comunique e operacionalize valor definido pelo cliente de forma eficiente por meio da organização do desenvolvimento de produto a fim de alinhar todos os objetivos, focar as energias no cliente e eliminar todo o desperdício do sistema, conforme Tab. 2.

Tabela 2 - Os desperdícios aplicados ao desenvolvimento de produto.

DESPERDÍCIOS	O QUE SÃO?	EXEMPLOS EM DP
Produção em excesso	Produzir mais, ou antes, que o processo seguinte necessita	Acúmulos, tarefas simultâneas não sincronizadas
Espera	Esperar por materiais, informações ou decisões;	Esperar por decisões, distribuição de informação
Transporte	Transferir materiais ou informação de um lugar para outro	Indefinição excessiva, distribuição de informação
Processamento	Realizar tarefa desnecessária ou processamento desnecessário em uma tarefa	Tarefas repetidas, tarefas redundantes, reinvenção, variação de processo – falta de padronização
Estoque	Acúmulos de material ou informação que não são utilizados	Acúmulo, utilização excessiva de sistema, variação de chegada
Movimentação	Excesso de movimentação ou atividade durante a execução da tarefa	Trajetos longos demais / reuniões redundantes/ revisões superficiais
Correção	Inspeção para detectar problemas de qualidade ou para consertar defeitos	Concretização da qualidade externamente, correção e retrabalho

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

Em resumo, afirmam Morgan e Liker (2008), esse princípio enfatiza a importância de um profundo entendimento de valor definido pelo cliente e que qualquer atividade que consome tempo e dinheiro, mas não agrega valor pela perspectiva do cliente, é desperdício puro.

4.2.2 Subsistema Pessoal

O subsistema pessoal, de acordo com Morgan e Liker (2008), envolve recrutamento, seleção e treinamento de engenheiros, estilos de liderança e padrões de estrutura e aprendizagem organizacionais. Esse subsistema e os seus princípios, conforme descritos na Tab. 3, abrangem o fator chamado cultura, que pode ser por demais abrangente na medida em que resume a linguagem, os símbolos, as convicções e os valores compartilhados da organização.

Tabela 3 – Subsistema Pessoal.

PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
5	Desenvolva um sistema de engenheiro-chefe para liderar o desenvolvimento do início ao fim.
6	Organize para balancear a competência funcional com a integração multifuncional.
7	Desenvolva a competência técnica superior em todos os engenheiros.
8	Integre plenamente os fornecedores ao sistema de desenvolvimento de produtos.
9	Consolide o aprendizado e a melhoria contínua.
10	Construa uma cultura de suporte á excelência e à melhoria ininterrupta.

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

Segundo Kamath e Liker (1994) *apud* Morgan e Liker (2008), no Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto, a Toyota usa uma estrutura de ligações para seus fornecedores, conforme exemplificado na Tab. 4, e seus fornecedores são apreciados em função de sua capacidade técnica, além da capacidade de produção de peças.

Tabela 4 - Maturidade dos fornecedores e das funções no desenvolvimento de produtos.

FUNÇÕES NO DESENVOLVIMENTO	MATURIDADE DOS FORNECEDORES			
	CONTRATUAL	CONSULTIVO	MADURO	PARCEIRO
Responsabilidade pelo projeto	Cliente	Design conjunto	Fornecedor	Fornecedor
Complexidade do produto	Peças simples	Montagem simples	Montagem complexa	Subsistema completo
Especificações fornecidas pelos clientes	Design completo	Especificações detalhadas	Especificações críticas	Conceito
Influência do fornecedor nas especificações	Nenhuma	Capacidades existentes	Negociar	Colaborar
Momento de envolvimento do fornecedor	Protótipo	Pós-conceito	Conceito	Pré-conceito
Responsabilidade pelo teste de componentes	Cliente	Input do fornecedor	Conjunta	Fornecedor
Capacidade de desenvolvimento do fornecedor	Poucas	Significativas	Forte	Automáticas

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

4.2.3 Subsistema Ferramentas e Tecnologias

De acordo com Morgan e Liker (2008), inclui todos os softwares que dão suporte ao trabalho do pessoal envolvido no projeto de desenvolvimento: desde CAD, tecnologia de máquinas e manufatura digital, até softwares de tecnologias de teste que tenham como finalidade a resolução de problemas, aprendizagem ou padronização das melhores práticas. Esse subsistema e seus princípios são demonstrados na Tab. 5.

Tabela 5 - Subsistema Ferramentas e Tecnologias.

PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
11	Adapte a tecnologia ao pessoal e ao processo.
12	Alinhe a organização mediante comunicação simples e visual.
13	Use ferramentas poderosas para a padronização e o aprendizado organizacional.

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

Segundo Morgan e Liker (2008), o aprendizado deve estender-se de programa em programa. A Toyota criou algumas ferramentas que padronizam a aprendizagem, o qual ocorre em um nível macro de aprendizagem, desde a maneira pela qual um processo de projeto é compartilhado entre gerentes de programas até as lições individuais no nível dos detalhados componentes técnicos capturados nas planilhas dos engenheiros.

Tabela 6 - Subsistemas e princípios do Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto.

SUBSISTEMAS	PRINCÍPIOS
PROCESSOS	1 – Identifique valor definido pelo cliente para separar valor agregado de desperdício.
	2 – Concentre esforços no início do processo de desenvolvimento de produto para explorar as alternativas.
	3 – Crie um nivelamento de fluxo do processo de desenvolvimento de produtos.
	4 – Utilize padronização rigorosa para reduzir a variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis.
PESSOAS	5 – Desenvolva um sistema de engenheiro-chefe para liderar o desenvolvimento do início ao fim.
	6 – Organize para balancear a competência funcional com a integração multifuncional.
	7 – Desenvolva a competência técnica superior em todos os engenheiros.
	8 – Integre plenamente os fornecedores ao sistema de desenvolvimento de produtos.
	9 – Consolide o aprendizado e a melhoria contínua.
FERRAMENTAS	10 – Construa uma cultura de suporte à excelência e à melhoria ininterrupta.
	11 – Adapte a tecnologia ao pessoal e ao processo.
	12 – Alinhe a organização mediante comunicação simples e visual.
	13 – Use ferramentas poderosas para a padronização e o aprendizado organizacional.

Adaptado Morgan e Liker, 2008.

Ainda que determinada ferramenta ou método de recursos humanos presente nos princípios possa ser individualmente valioso, a verdadeira força do desenvolvimento de produto enxuto é o trabalho harmonioso do sistema inteiro de ferramentas, processos e sistemas humanos mutualmente complementares (MORGAN e LIKER 2008).

Conforme abordado na revisão da literatura, o Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto propõe três subsistemas principais: processos, pessoas e ferramentas, constituindo-se assim de um sistema integrado cujos subsistemas interagem, sobrepõem-se, são interdependentes e funcionam em conjunto, influenciando a capacidade da organização de atingir seus objetivos. Observa-se, na Tab. 6, um resumo dos três subsistemas e seus correspondentes princípios.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizou-se o método experimental para um Desenvolvimento de Produto Enxuto de um apoio pé reciclável. Pode-se classificar esse trabalho, do ponto de vista de sua natureza como pesquisa aplicada, uma vez que tem como objetivo gerar conhecimentos novos e de interesse universal como pesquisa aplicada, pois, busca a solução de problemas específicos e interesses locais. Quanto aos seus objetivos, este trabalho é classificado como pesquisa exploratória, pois se utiliza de levantamento bibliográfico e pesquisa descritiva, pois, serão mostrados tabelas e métodos padronizados conforme Morgan e Liker (2008) e comparadas com tabelas criadas para o estudo de caso, pois, usará o método experimental e observacional.

Com relação aos procedimentos técnicos serão utilizados softwares de CAD (Desenho Assistido por Computador) e também FEA (Análise de Elementos Finitos).

Por se tratar de uma empresa de grande porte, o estudo terá sua amostragem especificamente ilustrativa e com seus dados principais reservados, a fim de contribuir para que novos produtos desenvolvidos sejam elaborados com as técnicas de custeio já implantadas. Nessa pesquisa a coleta de dados acontecerá por meio de dados bibliográficos e simulações numéricas. As primeiras informações serão os testes de pequenos corpos de provas de materiais recicláveis a fim de ver seus comportamentos em relação de tração, compressão, ductibilidade e flambagem. A segunda tratará do início dos primeiros modelos 3D e após será iniciado as simulações numéricas no software de FEA. A coleta de informações será feita nos laboratórios da Universidade. Após as análises numéricas serem resolvidas, os dados serão analisados com base em tabelas e gráficos, para que se possam interpretar os resultados obtidos de forma clara e objetiva para decidir qual é o modelo a ser utilizado.

5.1 Dados de Entrada para o Estudo

O material proposto para realização do projeto do apoio-pés é o polipropileno (PP) com 13% de carga mineral e o poliamida (PA) com 30% de fibra de vidro.

Para o ensaio de durabilidade na simulação numérica, para o Apoio Pés a norma ABNT NBR13962 2006 Cadeiras de Escritório diz: “A cadeira deve ser fixada pelas patas sobre a superfície de apoio. Em cadeiras com mecanismo de ajuste, colocá-los a meio curso. Uma força de 890 N +/- 44 N vertical para baixo, deve ser uniformemente aplicada ao longo dos 100 mm +/- 1 mm aparentemente mais vulneráveis da extensão do apoio-pés. A aplicação da força deve ser repetida por 50.000 ciclos”.

Exigências solicitadas pela empresa:

- O apoio pé tem que atender a norma: (ABNT NBR13962 2006);
- Coeficiente de segurança para as simulações de 1,5. Sendo assim, uma força maior de 50% aplicada;
- Fadiga Dinâmica no teste de simulação de 100.000 ciclos (simulação FEA);
- Funcionalidade: Botão com movimento giratório para travamento do apoio pé na coluna a gás.

As características técnicas do Poliamida 66 PT com 30% fibra de vidro segue na Tab. 7.

Tabela 7 - Características do Poliamida 66 PT 30% FV.

PROPRIEDADES	NORMA	ESPECIFICAÇÃO		APURADO
Aspecto Físico	IT-7-014	Granulado	Visual	OK
Ponto de fusão	IT-7-003	180 à 210	°C	199
Teor de umidade	IT-7-012	< 0,25	%	0,2
Asparência (Prensa)	IT-7-009	Aspera	Visual	OK
Impacto IZOD	IT-7-011	> 80	J/m	100
Índice de Fluidez	IT-7-010	06..14	g/10min	9,2
Teor de Cinzas	din 53480	20	%	21
Densidade	din 53479	1,14...1,17	g/cm ³	1,16

Na Tab. 8 mostra a ficha técnica do PA reciclado com 30% de fibra de vidro e na Tab. 9 ilustra a do PP CP141 reciclado com 13% de carga mineral, com todas as propriedades mecânicas dos materiais garantidas pelo fornecedor da matéria-prima para posterior injeção.

Tabela 8 - Ficha técnica do PA 66 reciclado com 30% FV.

Ficha técnica do produto:					
Descrição					
PA66 reciclado com 30% de fibra vidro para moldagem de injeção. Cor natural.					
Indicado em aplicações que requerem boa rigidez e resistência mecânica.					
ISO 1043 : PA66 GF30					
PROPRIEDADES		NORMA	UNIDADE	VALORES	
				DAM*	Cond**
Propriedades Físicas					
Densidade		ISO 1183	Kg/m ³	945	
Contração de Moldagem – Paralela/Normal		300/90/60***	ISO 294-4	%	0,2/0,7
Propriedades Mecânicas					
Módulo de Elasticidade		1mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	6650 4550
Resistência á tração no escoamento		5mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	126 84
Alongamento Nominal na Ruptura		5mm/min	ISO 527-2/1A		2,73 4,2
Módulo de flexão		2mm/min	ISO 178	MPa	5950 3850
Resistência a Flexão		2mm/min	ISO 178	MPa	192,5 119
Res. Impacto Charpy Com Entalhe		+23°C	ISO 179/1 eA	KJ/m ²	9,1 12,6
Propriedades Térmicas					
Temperatura de Fusão		10°C/min	ISO 11357-1-3	°C	182
Temperatura de Distorção		1.8 MPa	ISO 75/2 A f	°C	165
Temperatura de Distorção		0.45 MPa	ISO 75/2 B f	°C	175
Temperatura de amolecimento Vicat		50°C/h	ISO 306/B50 50N	°C	172
Propriedades de Flamabilidade					
Classificação de Flamabilidade		0.8mm	UL 94	class	VB
Flamabilidade ao Fio Incandescente		2mm	IEC 60695-2-1/2	°C/mm	490
Flamabilidade no interior do Automóvel		Burn rate@3mm	FMVSS302	mm/min	0
Propriedades Elétricas					
Resistividade de Volume		500V	IEC 60093	ohm · m	1E+13 1E+11
Resistividade de Superfície		500V	IEC 60093	ohm	1E+12 1E+10

*DAM = Dry As Moulded state **Cond = Condicionado conforme a ISO 1110 ***Melt Temp [°C] / Mold Temp [°C] / Cavity press [MPa]

Tabela 9 - Ficha técnica do PP CP141 com 13% de Carga Mineral.

Ficha técnica do produto:			
Descrição			
PP CP141 reciclado com 13% de carga mineral para moldagem de injeção.			
Copolímero Heterofásico			
PROPRIEDADES DE CONTROLE			
	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg)	D 1238	g/10 min	43
Propriedades Típicas:			
	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm ³	0,74
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	2462
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	39,46
Alongamento no Escoamento	D 638	%	0,54
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	58,1
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	100
Resistência ao Impacto Izod a -20°C	D 256	J/m	50
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	110
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	57
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	149

5.2 Determinação da densidade dos materiais

Para a realização dos ensaios nos laboratórios e simulação numérica gostaríamos de agradecer ao trabalho realizado por Régis Debastiani e Diógenes Dal Magro pelas realizações dos mesmos.

A densidade do material a ser analisado é um dado fundamental para utilizar na simulação numérica. Para obter os resultados mais próximos da realidade foram realizados alguns experimentos para obter esses valores. Essas propriedades foram embasadas no princípio desenvolvido por Arquimedes de que todo o corpo imerso em um fluido sofre ação de uma força (empuxo) verticalmente para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

Para obter a densidade dos materiais foi colocado um béquer contendo água sobre uma balança, que registra uma massa qualquer. O corpo de prova foi suspenso por um fio e mergulhado totalmente no líquido, sem que ele toca-se em nenhuma parede lateral e nem no fundo do recipiente. Com isso ocorre um aumento no valor da massa do conjunto, que passou a registrar um valor maior do que a anterior e esse acréscimo na massa registrada é proporcional à força de reação do empuxo sobre o prato da balança devida à massa de líquido deslocado.

A Fig. 2 mostra o arranjo experimental realizado para obter a densidade do material, onde se pode observar uma proveta graduada de 250 ml, apoiada em uma balança com precisão de 0,01 g e um braço móvel capaz de mergulhar gradativamente o corpo de prova no fluido. Para obter a massa dos corpos de prova foi utilizada uma segunda balança com precisão de 0,001 g conforme Fig. 3.

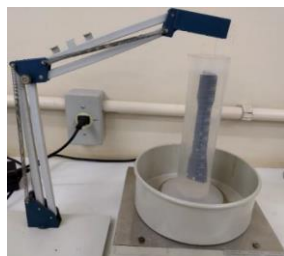


Figura 2 – Obtendo a densidade do material.



Figura 3 – Obtenção da massa do corpo de prova.

Foram realizados testes com três amostras da 1ª injeção, três amostras da 2ª injeção e três amostras da 3ª injeção ambos para polipropileno com 13% de carga mineral e poliamida com 30% de fibra de vidro, totalizando 18 experimentos.

Inicialmente foram obtidas as massas de cada corpo de prova (m_s), em seguida a proveta foi preenchida com 250 ml de água destilada a 22°C e a massa do conjunto foi anotada. Depois de obtidos esses valores, cada corpo de prova foi totalmente submerso no fluido, de forma que não tocasse as paredes do recipiente, possibilitando assim a obtenção da massa de fluido deslocado m_f .

Após a obtenção dos dados citados anteriormente é possível calcular a densidade do material utilizando a equação

$$\rho_s = \rho_l \times \frac{m_s}{m_l}$$

onde ρ_s representa a massa específica do sólido [kg/m³] e ρ_l é a massa específica do fluido utilizado [kg/m³].

Na Tab. 9 observam-se os valores encontrados com os materiais de polipropileno.

Tabela 10 - Resultados para o Polipropileno.

Amostra	PP 1° Injeção			PP 2° Injeção			PP 3° Injeção		
	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg /m ³)	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg /m ³)	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg /m ³)
CP01	7,562	8,245	1069,373	7,487	8,091	1059,885	7,557	8,042	1043,841
CP02	7,596	8,269	1067,673	7,598	8,226	1061,905	7,495	7,99	1045,56
CP03	7,578	8,243	1066,895	7,473	8,094	1062,369	7,467	7,95	1044,296

Na Tab. 11 observam-se os valores encontrados com os materiais de poliamida.

Tabela 11 – Resultados para a Poliamida.

Amostra	PA 1° Injeção			PA 2° Injeção			PA 3° Injeção		
	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg/m ³)	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg/m ³)	m _l (g)	m _s (g)	ρ _s (kg/m ³)
CP01	7,915	11,07	1371,79	7,935	11,108	1373,005	7,957	11,03	1359,557
CP02	7,923	11,066	1369,885	7,947	11,14	1374,894	7,952	11,05	1362,978
CP03	7,907	11,064	1372,397	7,944	11,147	1376,29	7,968	11,06	1361,386

Na sequência foi calculada a densidade média para todos os corpos de prova considerando o erro experimental. A Tab. 12 mostra esses resultados.

Tabela 12 - Massa específica média considerando erros experimentais.

Injeção	PP			PA		
	ρ _s médio	ρ _s maior	ρ _s menor	ρ _s médio	ρ _s maior	ρ _s menor
01	1067,979	1068,763	1067,2	1371,357	1372,779	1369,939
02	1061,388	1060,8	1061,961	1376,73	1372,875	1374,73
03	1044,564	1045,071	1044,066	1361,307	1360,591	1362,02

Com os valores das tabelas podem-se gerar dois gráficos para observar os comportamentos das densidades dos materiais a cada reaproveitamento em relação ao número de injeções a que foram submetidos. A Fig. 4 mostra o comportamento da densidade em relação ao Polipropileno e a Fig. 5 mostra o comportamento do material em Poliamida.

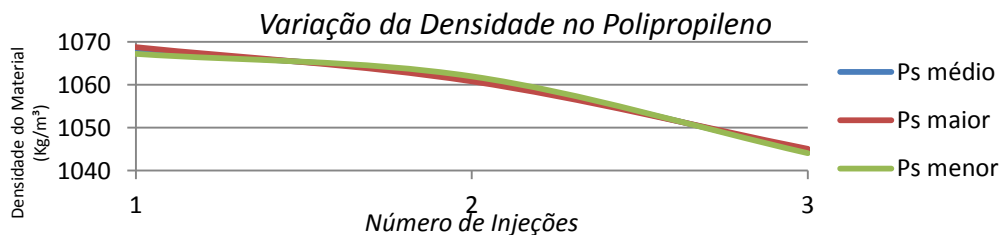


Figura 4 - Variação de densidade em relação ao número de injeções para o PP.

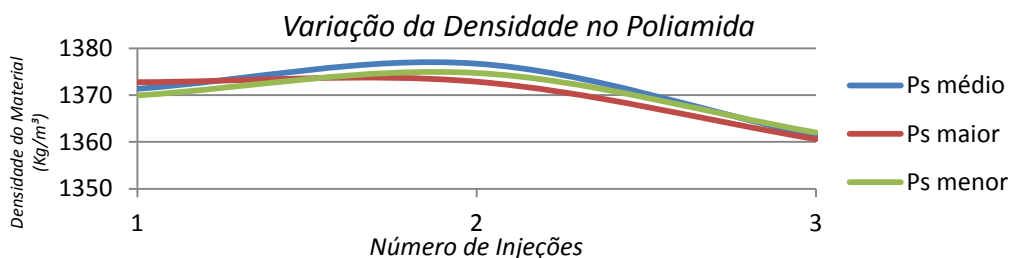


Figura 5 - Variação de densidade em relação ao número de injeções para o PA.

Para dar seguimento nos estudos foi adotada para o Polipropileno a densidade média de 1057,97 kg/m³ e para a Poliamida foi adotado 1369,13 kg/m³.

Com os testes realizados nos corpos de prova de polipropileno percebeu-se que com o aumento de números de injeções sua densidade vai diminuindo respectivamente e já no poliamida a densidade do material na segunda injeção é superior a da primeira, porém na terceira injeção a densidade começa a diminuir.

A diminuição da densidade em relação ao número de injeções é um fator muito importante para ser levado em consideração, pois pode haver uma diminuição da compactação desse material no momento da fabricação o deixando mais frágil, podendo haver uma alteração no resultado final em matéria de resistência da peça.

5.3 Ensaio de Tração

Foram desenvolvidos novos corpos de provas para realizar os ensaios de tração. Na Fig. 6 pode-se ver a imagem dos corpos de prova fornecidos e na Fig. 7 verificam-se suas respectivas dimensões que seguem a norma ASTM D638.



Figura 6 - Corpos de Prova.

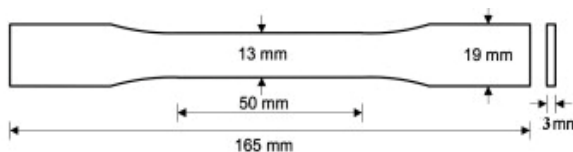


Figura 7 - Dimensões do corpo de prova segundo norma ASTM D638.

A seguir na Tab. 13 mostra as características e também a quantidade de amostras dos corpos de prova.

Tabela 13 - Tabela de Amostras dos corpos de prova para ensaios de tração.

Material	Quantidade
PP	10 pçs
PP 1ª MOAGEM	10 pçs
PP 2ª MOAGEM	10 pçs
PA 30% FV	10 pçs
PA 30% FV 1ª MOAGEM	10 pçs
PA 30% FV 2ª MOAGEM	10 pçs

Como ilustra a Fig. 8 os ensaios de tração foram realizados na máquina universal SHIMADZU Autograph AGX localizada laboratório de ensaios mecânicos do Campus 2 da URI Erechim com carga máxima de 300 kN e velocidade de ensaio de mm/min, conforme norma NBR 9622. Para realizar o ensaio de tração no equipamento, o corpo de prova é preso por duas pinças na parte superior e duas pinças na parte inferior onde o equipamento estica a peça até seu ponto de quebra conforme ilustra a Fig. 9.



Figura 8 - Máquina de ensaio de tração.



Figura 9 - Ruptura do material.

Para a obtenção do módulo de elasticidade, tensão de escoamento, tensão máxima e deformação dos materiais, foram ensaiados 4 corpos de prova para cada tipo de material. Os resultados obtidos para a poliamida com 30% de fibra

de vidro (1ª, 2ª e 3ª injeção) podem ser observados na Tab.14, 15 e 16 com seus respectivos gráficos ilustrados na Fig. 10, 11 e 12.

Tabela 14 - Resultados para a poliamida com 30% de fibra de vidro 1ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 10 - 30 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	Mpa	MPa	Mpa	%
CP01	5936,05	58,60	96,58	5,13
CP02	6449,73	61,80	101,26	4,92
CP03	6568,50	64,13	101,27	4,33
CP04	6294,14	62,46	100,74	4,43
Média	6312,11	61,75	99,96	4,70
Desvio Padrão	274,724	2,317	2,268	0,385
Faixa	632,450	5,530	4,685	0,800
Variação	0,0435	0,0375	0,023	0,082

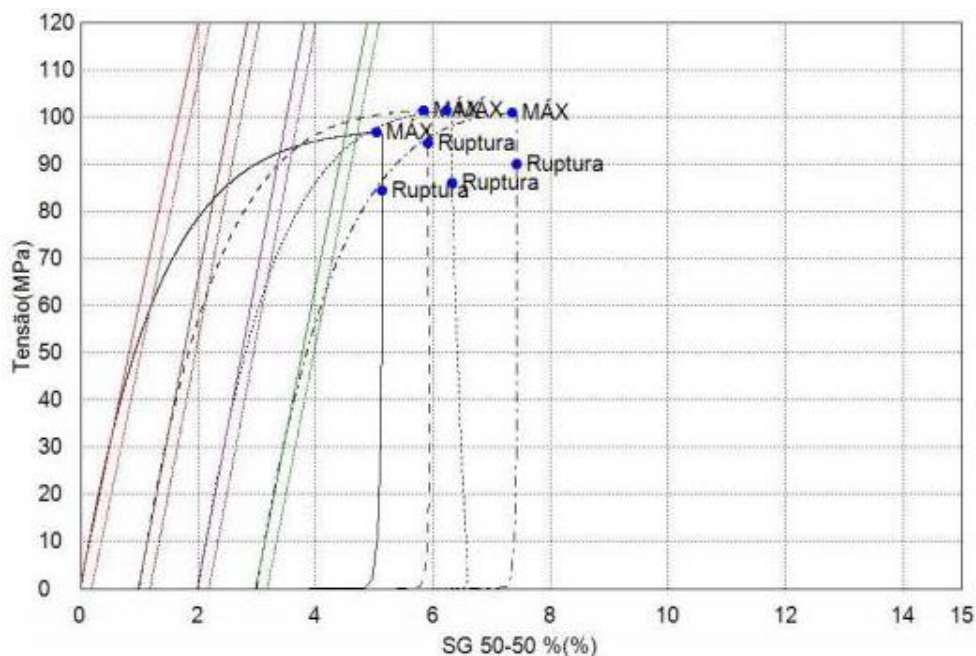


Figura 10 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 1ª Injeção.

Tabela 15 - Resultados para a poliamida com 30% de fibra de vidro 2ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 10 - 30 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	MPa	MPa	Mpa	%
CP01	5511,37	53,18	90,69	6,07
CP02	5223,51	54,36	90,55	5,98
CP03	5361,48	53,18	88,57	5,76
CP04	5645,03	55,40	91,44	5,77
Média	5435,35	54,03	90,31	5,89
Desvio Padrão	182,645	1,070	1,226	0,155
Faixa	421,520	2,223	2,871	0,310
Variação	0,0336	0,0198	0,014	0,026

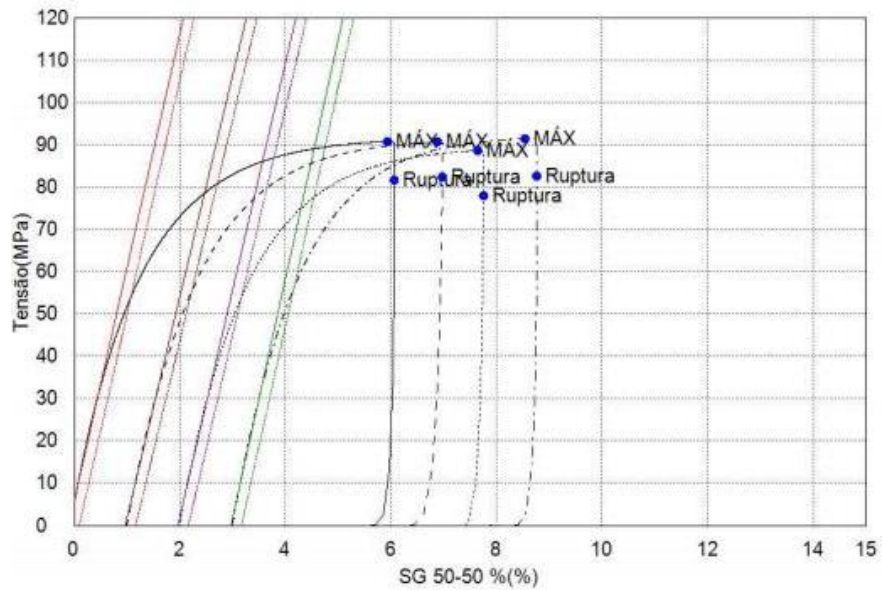


Figura 11 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 2ª Injeção.

Tabela 16 - Resultados para a poliamida com 30% de fibra de vidro 3ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 10 - 30 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	MPa	MPa	Mpa	%
CP01	4504,70	48,41	83,99	7,32
CP02	4648,95	47,65	83,63	7,30
CP03	4783,96	49,74	85,94	7,71
CP04	4995,57	50,49	84,98	6,79
Média	4733,30	49,07	84,63	7,28
Desvio Padrão	208,746	1,282	1,039	0,378
Faixa	490,870	2,843	2,305	0,922
Variação	0,0441	0,0261	0,012	0,052

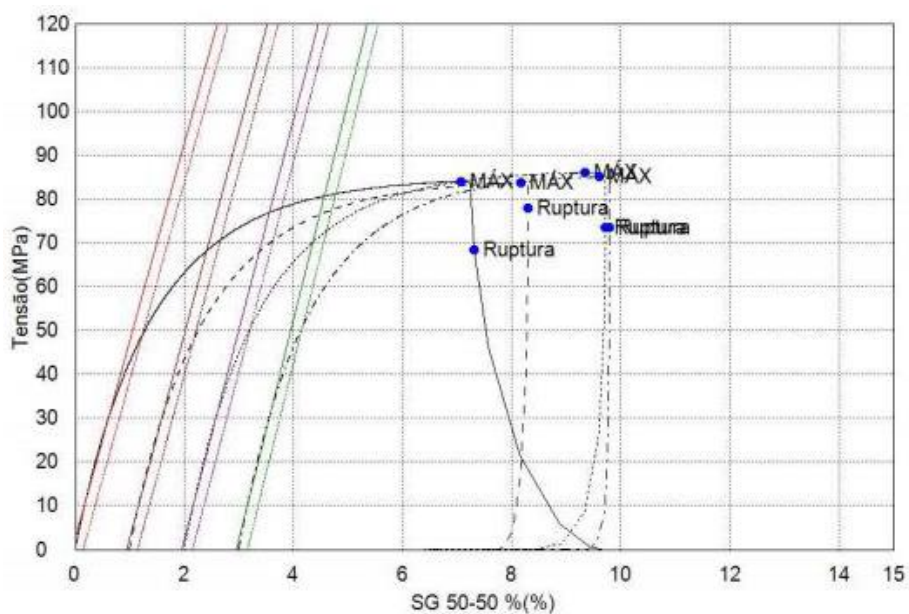


Figura 12 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 3ª Injeção.

Os comportamentos dos ensaios foram dentro das expectativas, pois seguem o que regem as literaturas que falam a respeito. Os corpos de prova ensaiados podem ser observados na Fig. 13, 14 e 15.



Figura 13 - Corpo de prova de poliamida 1ª injeção.



Figura 14 - Corpo de prova de poliamida 2ª injeção.



Figura 15 - Corpo de prova de poliamida 3ª injeção.

Na sequência foram ensaiados os corpos de prova de polipropileno (1ª, 2ª e 3ª injeção) e os resultados obtidos podem ser observados na Tab.17, 18 e 19 com seus respectivos gráficos ilustrados nas Fig. 16, 17 e 18. Nestes ensaios foi necessário aumentar a velocidade da máquina para 20 mm/min em decorrência do elevado tempo de ensaio ocasionado pela alta deformação sofrida pelo material, onde apenas o primeiro corpo de prova de 1ª injeção utilizou o valor de 5 mm/min.

Tabela 17 - Resultados para o polipropileno 1ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 2 - 10 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	MPa	MPa	MPa	%
CP01	821,25	10,99	17,22	16,32
CP02	1078,29	11,63	18,83	15,17
CP03	1089,95	11,53	18,78	16,88
CP04	1139,21	11,62	18,94	15,95
Média	1032,18	11,44	18,44	16,08
Desvio Padrão	143,074	0,304	0,815	0,719
Faixa	317,960	0,636	1,714	1,712
Varição	0,1386	0,0266	0,044	0,045

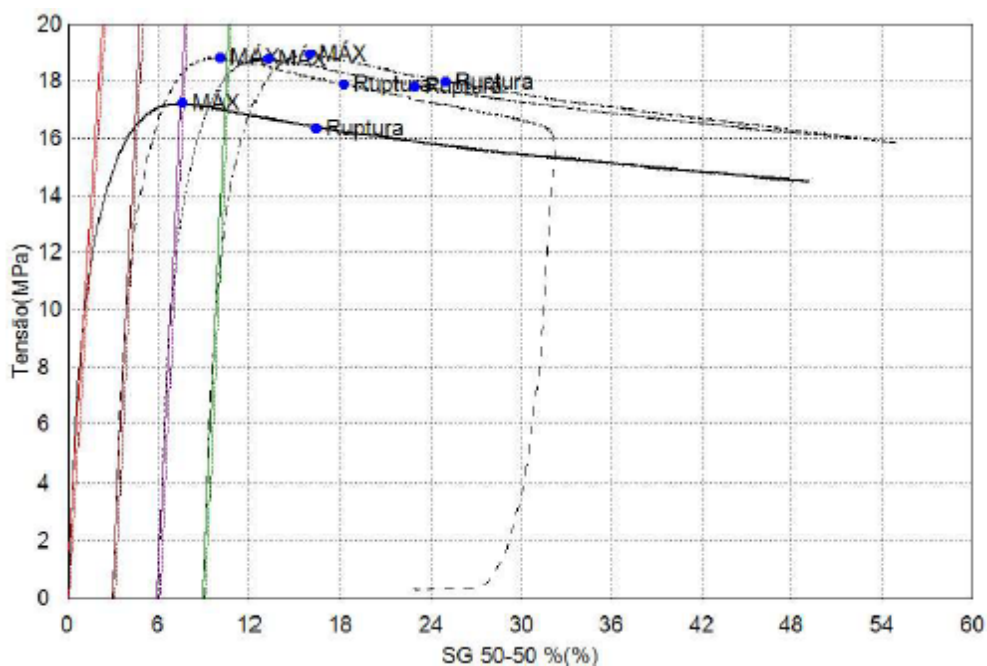


Figura 16 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 1ª Injeção.

Tabela 18 - Resultados para o polipropileno 2ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 2 - 10 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	MPa	MPa	MPa	%
CP01	997,32	11,32	18,53	16,55
CP02	1089,68	11,51	18,82	16,06
CP03	983,30	11,30	17,59	18,19
CP04	1093,17	11,63	18,94	15,73
Média	1040,87	11,44	18,47	16,63
Desvio Padrão	58,677	0,158	0,610	1,093
Faixa	109,870	0,334	1,348	2,464
Variação	0,0564	0,0138	0,033	0,066

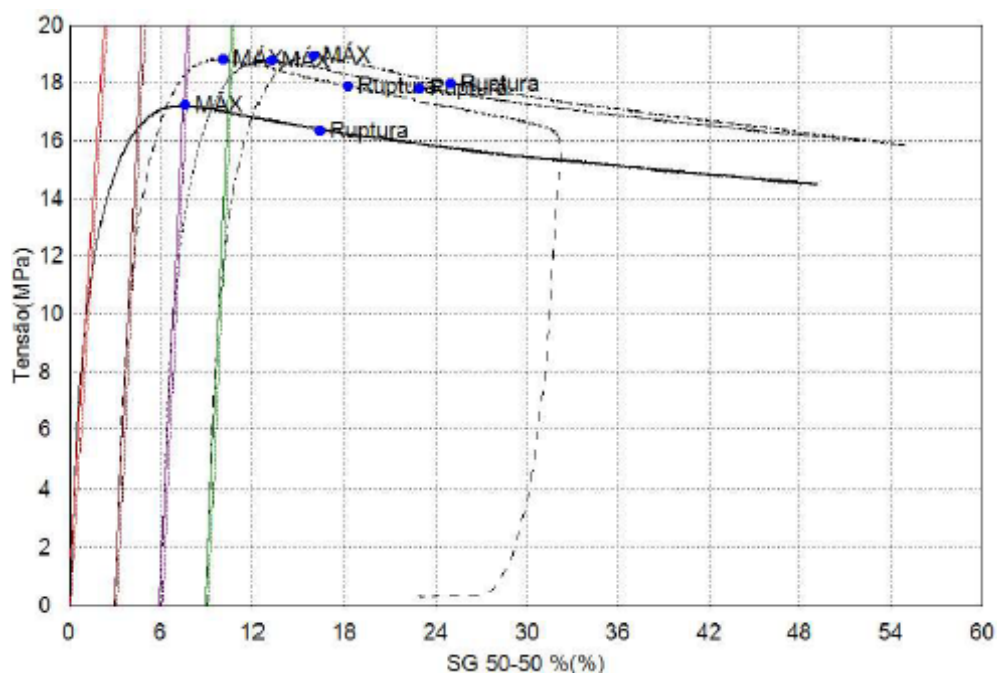


Figura 17 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 2ª Injeção.

Tabela 19 - Resultados para o polipropileno 3ª injeção.

Nome	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Máxima tensão	Deformação
Parâmetros	Tensão 2 - 10 MPa	0,20%	Cálculo de áreas completas	Nível (% Máx) 95
Unidade	MPa	MPa	Mpa	%
CP01	1003,76	11,23	18,28	16,09
CP02	966,79	11,30	18,72	15,76
CP03	1067,60	11,61	18,52	15,70
CP04	1063,51	11,68	19,23	14,74
Média	1025,42	11,46	18,69	15,57
Desvio Padrão	48,774	0,227	0,405	0,581
Faixa	100,811	0,457	0,949	1,350
Variação	0,0476	0,0198	0,022	0,037

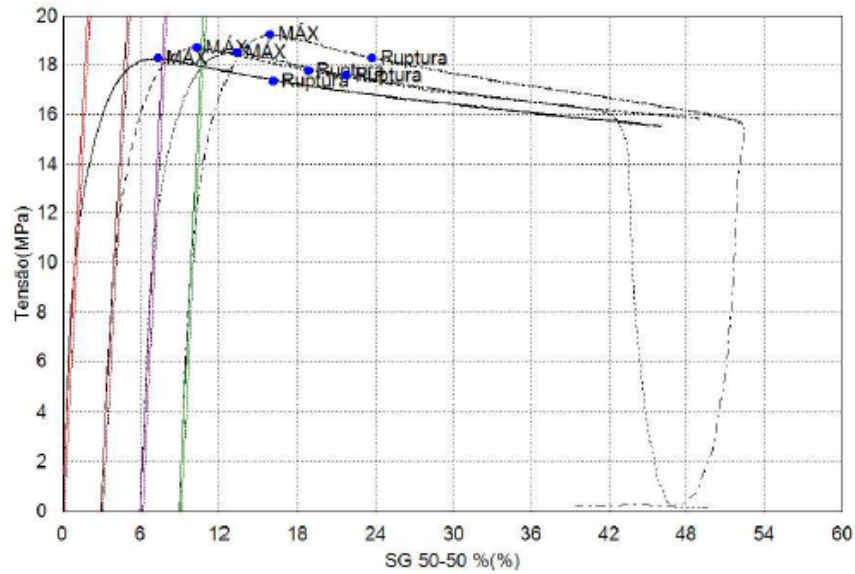


Figura 18 – Gráfico da tensão de escoamento e ruptura na 3ª Injeção.

Observa-se que o polipropileno apresentou valores parecidos para os três ensaios. Nos ensaios de polipropileno não foi possível levar todos os corpos de prova a ruptura devido às suas altas taxas de deformações que ultrapassaram a capacidade da máquina de ensaio, onde apenas alguns corpos de prova que romperam, mais foi devido a algumas falhas no corpo de prova tendo porosidades do material conforme mostra Fig. 19.

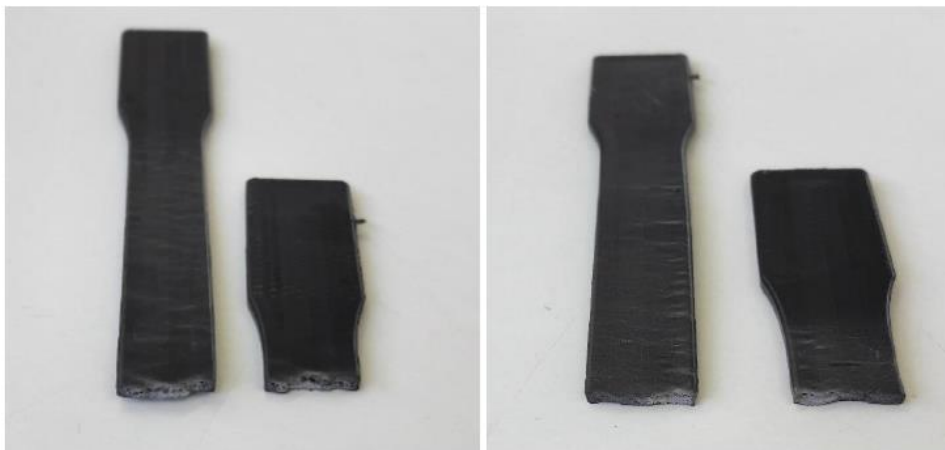


Figura 19 – Porosidade no corpo de prova de polipropileno.

Os corpos de prova de polipropileno ensaiados podem ser observados na Fig. 20, 21 e 22.



Figura 20 - Corpo de prova de polipropileno 1ª injeção.



Figura 21 - Corpo de prova de polipropileno 2ª injeção.



Figura 22 - Corpo de prova de polipropileno 3ª injeção.

6. MODELAGEM COMPUTACIONAL

6.1 Metodologia Numérica

O método de elementos finitos é formatado pelo conceito de discretização, que consiste na subdivisão do domínio em pequenos fragmentos, chamados de elementos. Com isso uma análise complexa é realizada a partir da soma de diversas análises mais simples, onde a resolução do problema se dá a partir de cada elemento através de interpolações. Isso reduz o modelo matemático a uma série de equações diferenciais ordinárias que ditam o comportamento da estrutura em questão. Devido à complexidade e a quantidade de cálculos necessários para a solução de um problema deste tipo são utilizados softwares de simulação numérica.

O ANSYS é um software de elementos finitos que pode ser utilizado nos mais diversos problemas de engenharia. Ele possui capacidade de executar diferentes tipos de análises, sendo uma delas a análise estática. A análise estática tem por objetivo mensurar a magnitude dos esforços internos e os deslocamentos em um sistema estrutural quando submetido a uma carga estática que pode ser linear ou não.

Inicialmente são inseridas as propriedades dos materiais que serão utilizados na simulação. Sendo neste caso a densidade, coeficiente de Poisson e módulo de Young (a partir destes o próprio software calcula o módulo de Bulk e o módulo de Shear), a tensão de escoamento e a tensão de ruptura. Em seguida a geometria é importada e são demarcados os 100 mm mais solicitados (conforme norma) utilizando o Space Claim (editor de geometria do ANSYS). Posteriormente são inseridos os dados referentes malha e a mesma é gerada. Em seguida são inseridas a área de fixação e a área da aplicação da carga, bem como sua intensidade e direção.

6.2 Teste de Independência de Malha

Na parte referente a malha são alterados apenas alguns parâmetros na aba “SIZING” onde em “Size function” é atribuído a condição de crescimento de malha por proximidade e curvatura, em “relevance center” e “span angle center” a opção Fine é selecionada e em “Max face size” é atribuído um valor máximo para o tamanho da face do elemento de 5 mm. Em todos os outros itens são utilizadas as configurações padrões. Para a utilização de 5 mm em “Max face size” foram realizados ensaios prévios utilizando 9, 5 e 2 mm sendo que houve pouca ou nenhuma alteração entre as simulações realizadas utilizando 5 e 2 mm, a partir disso adota-se 5 mm como valor padrão para as simulações. A malha foi desenvolvida utilizando os parâmetros citados anteriormente, gerando em torno de 3003734 nós e 1954044 elementos. Feito isso são selecionados os resultados a serem observados que neste caso são a deformação e a tensão equivalente de von Mises. Para finalizar é iniciada a simulação para a posterior observação dos resultados.

Na Fig. 23 podem-se observar os dados da malha computacional.

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> + Display </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Inflation </div>															
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> + Defaults </div>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Use Automatic Inflation</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Inflation Option</td> <td>Smooth Transition</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Transition Ratio</td> <td>0,272</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Maximum Layers</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Growth Rate</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Inflation Algorithm</td> <td>Pre</td> </tr> <tr> <td>View Advanced Options</td> <td>No</td> </tr> </table>		Use Automatic Inflation	None	Inflation Option	Smooth Transition	<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272	<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5	<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2	Inflation Algorithm	Pre	View Advanced Options	No
Use Automatic Inflation	None																
Inflation Option	Smooth Transition																
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272																
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5																
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2																
Inflation Algorithm	Pre																
View Advanced Options	No																
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Sizing </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Advanced </div>															
Size Function	Proximity and Curvature	Number of CPUs for P...	Program Controlled														
Relevance Center	Fine	Straight Sided Elements	No														
Initial Size Seed	Active Assembly	Number of Retries	0														
Transition	Fast	Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced														
Span Angle Center	Fine	Mesh Morphing	Disabled														
<input type="checkbox"/> Curvature Normal A...	Default (18,0 °)	Triangle Surface Mesher	Program Controlled														
<input type="checkbox"/> Num Cells Across G...	Default (3)	Topology Checking	No														
Proximity Size Functio...	Faces and Edges	Pinch Tolerance	Default (8,5676e-002 mm)														
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (9,5195e-002 mm)	Generate Pinch on Ref...	No														
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (9,5195e-002 mm)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Statistics </div>															
<input type="checkbox"/> Max Face Size	5,0 mm	<input type="checkbox"/> Nodes	3003734														
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (19,0390 mm)	<input type="checkbox"/> Elements	1954044														
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,850)																
Automatic Mesh Base...	On																
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (4,7598e-002 mm)																
Minimum Edge Length	0,149460 mm																
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Quality </div>																	
Check Mesh Quality	Yes, Errors																
Error Limits	Standard Mechanical																
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																
Smoothing	Medium																
Mesh Metric	None																

Figura 23 - Dados da malha computacional da geometria do apoio pés.

Na Fig. 24 pode-se observar a malha computacional da geometria do apoio pés e na Fig. 25 pode-se verificar o local e a força aplicada nos 100 mm na parte mais frágil da peça e o valor da força aplicada é de 1401 N, valor este 50% maior que o exigido pela norma.



Figura 24 – Malha computacional da geometria do apoio pés.

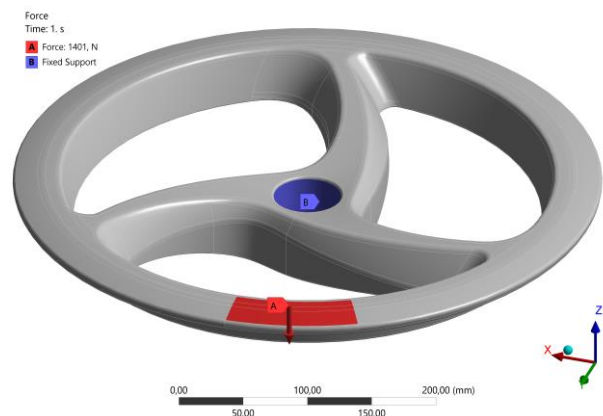


Figura 25 – Local e força aplicada na geometria do apoio pés.

6.3 Simulações

Após a realização dos ensaios e a obtenção das densidades começaram as simulações utilizando uma nova geometria a cada resultado ainda não desejado. Na Fig. 26 pode-se observar a primeira geometria que foi analisada.

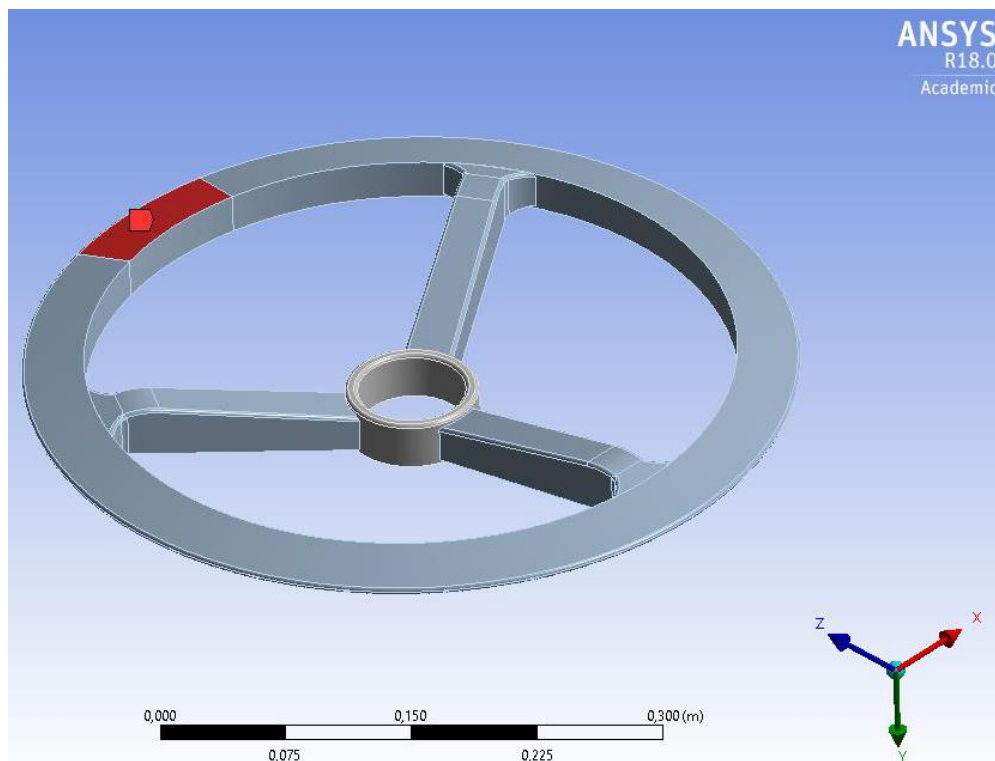


Figura 26 - Primeira geometria do apoio pé a ser simulada.

Adotou-se para análise a Lei de Hooke utilizado um coeficiente de segurança igual a 1,5 o que fez com que o valor da força aplicada do apoio-pés indicada pela NBR 13962 2006 passasse de 934 N para 1401 N.

Na Fig. 27 e 28 apresentam os resultados da simulação feita com Polipropileno, na primeira imagem apresenta uma deformação total do apoio pés com valores bastante elevados, chegando quase a 187 mm e na segunda imagem o resultado apresentado é a tensão equivalente de von Mises, onde é possível observar que a máxima tensão atinge valores elevados na região próxima ao centro da peça, atingindo um valor de 177,6 Mpa. Na Fig. 29 e 30 apresentam os resultados da simulação feita com Poliamida, na primeira imagem nota-se uma deformação de 67 mm e na segunda imagem o resultado apresentado da tensão equivalente de von Mises de 274,5 Mpa.

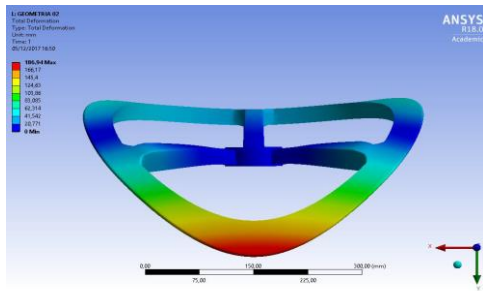


Figura 27 - Deformação total para o polipropileno

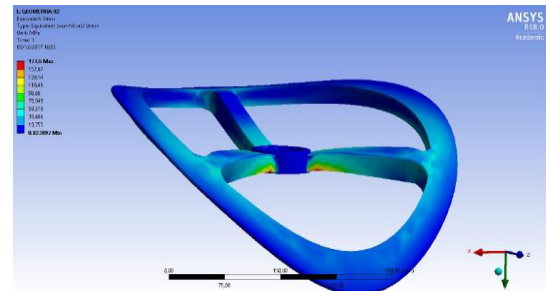


Figura 28 - Tensão equivalente de von Mises para o polipropileno.

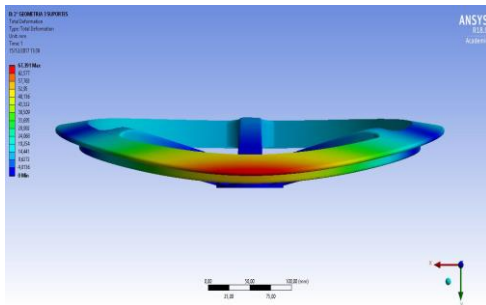


Figura 29 - Deformação total para a poliamida

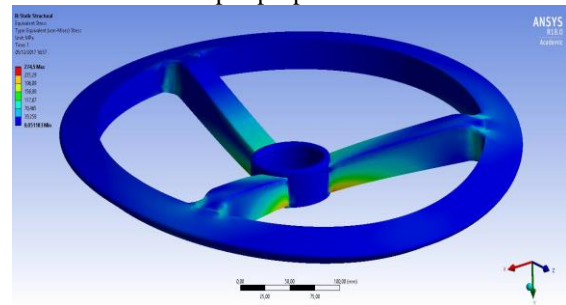


Figura 30 - Tensão equivalente de von Mises para a poliamida

Como podem ser observadas as tensões máximas e as deformações encontradas apresentam valores muito elevados, sendo que a tensão máxima atingida ultrapassa não só o limite de escoamento como também a máxima tensão admissível indicando a ocorrência de quebra nessas regiões, mostrando que a uma necessidade de alterações na geometria da peça a fim de evitar tensões acima do limite de escoamento e deformações excessivas que rompem a peça.

Na sequencia foi desenvolvido vários modelos de aros e simulados, na sexta geometria analisada foram criadas nervuras centrais nas hastes e também as mesmas foram deslocadas do centro do apoia pés para dar mais resistência à peça. Na Fig. 31 e 32 podemos verificar os resultados da simulação feita com Polipropileno, na primeira imagem apresenta uma deformação de 115 mm e na segunda imagem apresenta uma tensão equivalente de von Mises 103,7 Mpa. Na Fig. 33 e 34 apresentam os resultados com material de Poliamida, na primeira imagem nota-se uma deformação de 18,88 mm e na segunda imagem o resultado apresentado da tensão equivalente de von Mises de 95,5 Mpa.

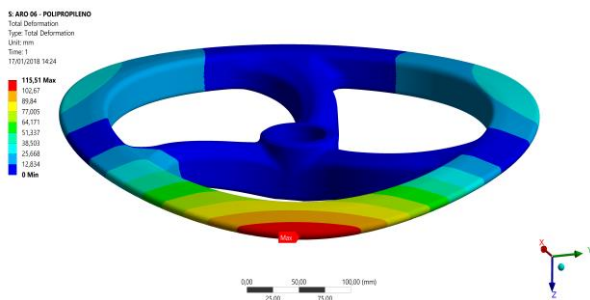


Figura 31 - Deformação total para o polipropileno

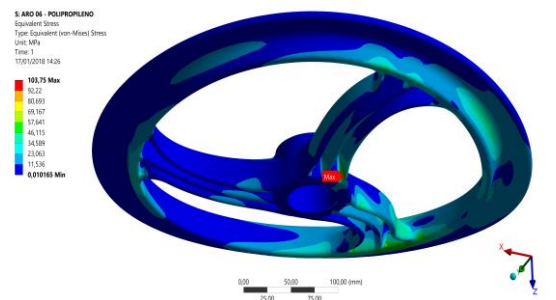


Figura 32 - Tensão equivalente de von Mises para o polipropileno.

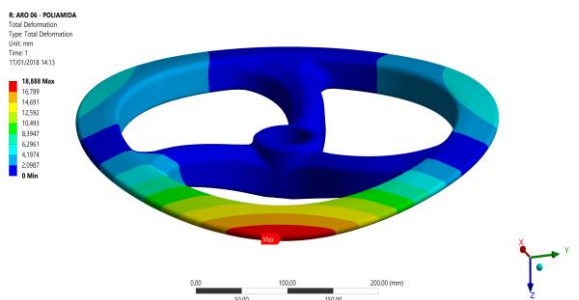


Figura 33 - Deformação total para a poliamida

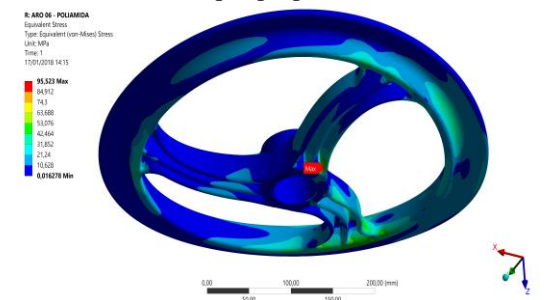


Figura 34 - Tensão equivalente de von Mises para a poliamida

Após mais algumas alterações de geometrias e novas simulações, chegou-se a uma ultima geometria que foi aprovada para ser fabricada. Pode-se observar na Fig. 35 sua respectiva geometria toda trabalha com design inovador e arrojado.

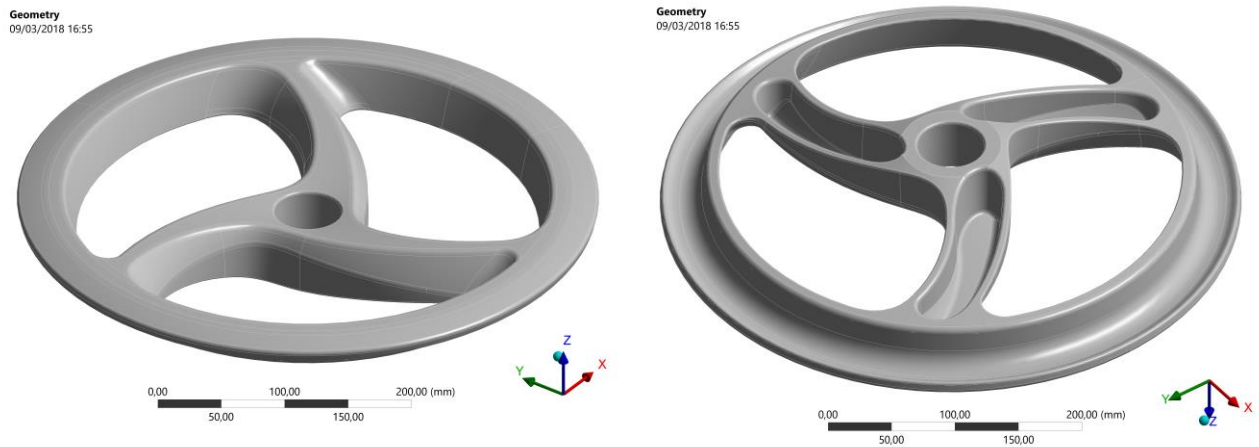


Figura 35 – Geometria e Design aprovado do apoia pés

Na Fig. 36 e 37 podemos verificar os resultados de Polipropileno, na primeira imagem apresenta uma deformação de 67 mm e na segunda imagem apresenta uma tensão equivalente de von Mises 49,8 Mpa. Já nas Fig. 38 e 39 apresentam os resultados com material de Poliamida, na primeira imagem nota-se uma deformação de 10,9 mm e na segunda imagem o resultado apresentado da tensão equivalente de von Mises de 49,8 Mpa.

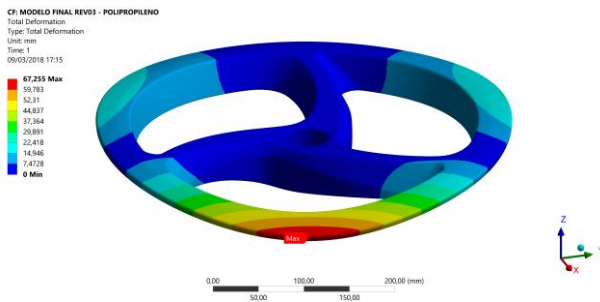


Figura 36 - Deformação total para o polipropileno

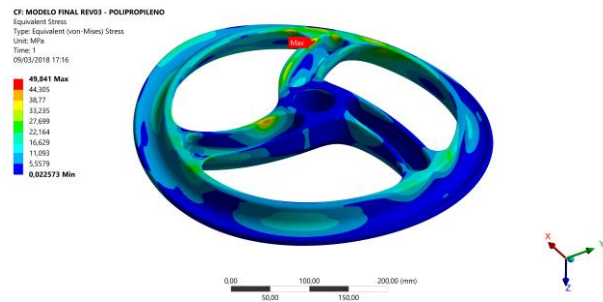


Figura 37 - Tensão equivalente de von Mises para o polipropileno.

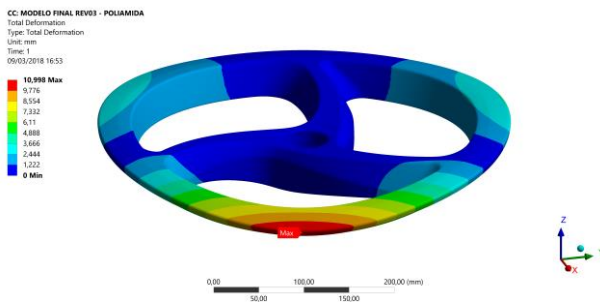


Figura 38 - Deformação total para a poliamida

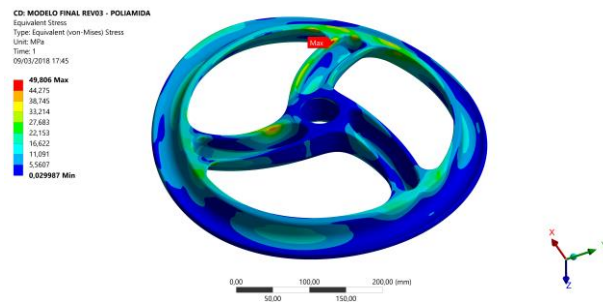


Figura 39 - Tensão equivalente de von Mises para a poliamida

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No decorrer do trabalho, é possível verificar que as práticas de Desenvolvimento de Produto Enxuto auxiliam no sentido de priorizar as atividades que agregam valor no Desenvolvimento de Produtos atuando na eliminação de desperdícios, podendo ser aplicada em muitas empresas propiciando ao processo de desenvolvimento de produtos mais agilidade, melhor qualidade e com custos menores. Um sumário com estas práticas é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Práticas para o pensamento enxuto.

PRÁTICAS	ABORDAGEM
VALOR	Preço adequado
	Momento certo
	Capacidade definida pelo cliente
FLUXO DE VALOR	Atividades Específicas
	Projetar, produzir e oferecer produtos específicos
	Do desenvolvimento a entrega do produto
FLUXO	Tarefas sem interrupções
	Eliminação de refugos ao longo do fluxo
	Progressão das tarefas
PRODUÇÃO PUXADA	Cliente sinaliza necessidades
	Nada é produzido sem a necessidade do cliente
PERFEIÇÃO	Eliminação total dos desperdícios
	Todas as atividades devem criar valor

FONTE: Paris (2013).

Ao desenvolver esse estudo, observou-se que alguns princípios do Desenvolvimento de Produto Enxuto foram atendidos, enquanto que outros foram parcialmente ou não foram atendidos, conforme demonstrado na Tab. 21. A seguir são apresentadas informações mais detalhadas de cada princípio conforme observado pelo Coordenador de Projeto ao longo desta atividade.

Tabela 21 – Resultados da Observação do Desenvolvimento de Produto Enxuto

SUBSISTEMAS	PRINCÍPIOS	Resultados		
		Atendido	Parcial. Atendido	Não Atendido
PROCESSOS	1- Valor Agregado / Desperdício	x		
	2- Desenvolvimentos / Alternativas	x		
	3 - Fluxos de Processo / Nivelamento	x		
	4 - Reduzir Variação / Flexibilidade nos Resultados Previsíveis	x		
PESSOAS	5 - Engenheiro "Chefe"	x		
	6 - Competência Funcional / Integração Multifuncional	x		
	7 - Competência técnica superior para todos os Engenheiros		x	
	8 - Fornecedores / Produto			x
	9 - Aprendizado e Melhoria Continua	x		
	10 - Cultura a excelência e melhoria ininterrupta		x	
FERRAMENTAS	11 - Tecnologia para pessoal e processo		x	
	12 - Comunicação simples e visual para todos			x
	13 - Ferramentas para padronização e aprendizado organizacional	x		

FONTE: Elaborado pelos autores.

Neste primeiro parágrafo são apresentadas as observações do Subsistema Processos. No que se refere aos princípios de Desenvolvimento de Produto Enxuto, a empresa no princípio nº 1 observou que o cliente é sempre o ponto de partida num sistema enxuto, e que os desperdícios na produção dos apoias pés atuais não agregam valor para o cliente. No princípio nº 2 a empresa notou que a maior oportunidade de explorar alternativas está no Desenvolvimento do Produto, pois resolver os problemas na fase do projeto permite à empresa explorar soluções potenciais em seus equipamentos e processos. Para com o princípio nº 3 a empresa percebeu que em um sistema de Desenvolvimento de Produto Enxuto o projeto é uma oficina de trabalho de conhecimentos funcionais que pode ser melhorado continuamente utilizando métodos e processos já existentes na companhia, assim, eliminando desperdícios e sincronizando atividades já existentes para diminuir o custo do produto. No princípio nº 4 a companhia traçou uma padronização do desenvolvimento do projeto em questão, e foram definidos os processos pelos quais o produto será desenvolvido, elaborando um padrão de equipes e programação da produção.

A seguir são apresentados os resultados obtidos no Subsistema Pessoas. Na abordagem do princípio nº 5 coube ao autor principal ser responsável pelo sincronismo do projeto em si, trabalhando de forma em que os resultados passassem para os departamentos envolvidos para serem avaliados. Para o princípio nº 6 eram estruturadas reuniões com os especialistas dos setores envolvidos para tentar obter um equilíbrio entre a funcionalidade do produto e concretizar a integração entre essas pessoas e seus departamentos, por muitas vezes gerando discussões relevantes para que o projeto alcance seus objetivos. No princípio nº 7, por se tratar de um produto muito complexo, houveram diversos

questionamentos sobre sua forma de execução, bem como foram necessárias muitas horas de projetos e de simulações até ser atingido a melhor forma e projeto a peça, porém ainda não havia sido o tempo suficiente a ponto de chegar num resultado satisfatório até a elaboração deste artigo.

Em relação ao princípio nº 8, por se tratar de um desenvolvimento onde uma das justificativas é a utilização de um material produzido totalmente de plástico reciclável, é necessário desenvolver uma metodologia objetivando uma maneira de controlar com o fornecedor quais são realmente os materiais contidos nos pellets, para que o resultado final quando o produto estiver em produção não seja prejudicado. Já no princípio nº 9 a empresa busca e focaliza no aprendizado contínuo, percebido nas reuniões as quais o foco era sempre propagar o conhecimento de setor para setor buscando aperfeiçoar ainda mais seus produtos. Já com o princípio nº 10 nota-se que a cultura é a maneira de como se realiza um trabalho e como as pessoas pensam e agem a respeito dos produtos da empresa, onde o melhoramento por meio de kaizen todos os dias houve uma pequena restrição das pessoas, por se tratarem de funcionários mais antigos e por realizarem o seu trabalho sempre do mesmo modo, por vezes não demonstram facilidade na mudança na hora de realizarem certas tarefas, mas que podem ser tratadas com mais suavidade por se tratar de uma mudança cultural importante para o sucesso da metodologia.

Por fim, são relatadas as observações referentes aos princípios envolvendo o subsistema Ferramentas. Para o princípio nº 11 a empresa buscou tecnologia de ponta como o desenvolvimento do apoio pés utilizando o Software da Siemens (NX) para cada 3D e o Software ANSYS, sendo este um dos melhores softwares de FEA existente no mercado atualmente. No entanto, esses dois softwares não são aplicáveis no que se diz a respeito aos aspectos de processamento do componente, tais como preenchimento e recalque da peça, onde se faz necessária a inclusão da análise de balanceamento de canais para não ocorrer deformação do produto, analisar possíveis defeitos da peça como presença de linhas de solda, aprisionamento de ar, degradação de matéria-prima, mal preenchimento, dentre outros. Já no princípio nº 12, por não ter ainda finalizado o projeto, ainda não ocorreu uma forma de organização mediante a comunicação simples e visual. Com o princípio nº 13 a empresa investe em sistemas de padronização e controles tais como PROBUS e NUMERICOM para tentar deixar o processo mais confiável possível, também são criados PTP's (Padrões Técnicos de Processos) e desenhos técnicos dos produtos distribuídos por toda a fábrica para tentar sanar qualquer eventualidade de erros durante o desenvolvimento de seus produtos.

Sendo o objetivo desta pesquisa de avaliar o desenvolvimento de um produto à luz das técnicas do Desenvolvimento de Produto Enxuto, os resultados atingidos por meio da leitura dos dados apresentados evidenciam um alinhamento entre os três subsistemas propostos (processos, pessoas e ferramentas) com as práticas de Desenvolvimento de Produtos da Enxuto, conforme enfatizam Morgan e Liker (2008) e Paris (2013).

A partir da realização desse trabalho é reforçada a ideia de que a metodologia de Desenvolvimento de Produto Enxuto pode ser utilizada tanto para esse desenvolvimento tanto para outros produtos que serão desenvolvidos pela empresa. Também se constatou que essa metodologia pode ser implementada tanto em grandes como em médias e pequenas empresas independente das práticas de produção. Observa-se também que através do Desenvolvimento de Produto Enxuto, que esse método é adequado para estabelecer o que os clientes necessitam e valorizam, envolvendo muita tecnologia, processos adequados, pessoas proativas e com experiências no assunto, todos buscando a constante eliminação do desperdício.

Com as avaliações das simulações pode-se constatar que a exigência solicitada pela empresa em que o apoio pé obrigatoriamente teria que atender a norma ABNT NBR13962 2006 ainda não foram as esperadas, mesmo retirando o coeficiente de segurança que era de 1.5, sendo assim, a peça será novamente passada por uma mudança de design e estrutural para ser testada novamente. O grande benefício é que até este momento não houve investimento na construção de ferramentas nem na elaboração de protótipos físicos, o que aumentaria os custos do projeto. Como a peça ainda não passou nos testes de esforços não houve também um estudo para desenvolver o botão com movimento giratório para travamento do apoio pé na coluna a gás.

Para trabalhos futuros pode-se dar sequência na forma de geometria da peça para que fosse desenvolvida de acordo com os requisitos da Norma e também desenvolver o sistema de fixação do mesmo na coluna a gás.

8. CONCLUSÃO

Este estudo analisou o Desenvolvimento de Produtos Enxuto por meio de estudo de apoio pés termoplástico reciclável, pesquisa realizada em uma empresa metal-mecânica e na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI - Erechim, ambas localizadas no município de Erechim. A análise comparativa entre a literatura e as práticas estabelecidas, a partir do estudo proposto, permitiu constatar que o Desenvolvimento de Produto Enxuto pode sim ser integrado entre a Engenharia de Produtos e com as práticas de manufatura, desta forma reforçando a ideia de Morgan e Liker (2008) de que os conceitos do Desenvolvimento de Produto Enxuto podem ser utilizados em outras empresas que não sejam do ramo automobilístico.

Neste trabalho, em relação aos resultados obtidos, verifica-se que os valores encontrados nas simulações em relação ao material de Polipropileno ainda não atingiram os valores esperados, pois através dos ensaios realizados de tração observa-se que o valor máximo de tensão que o material de polipropileno em sua pior hipótese que seria a 3º injeção do mesmo material pode suportar em sua Máxima Tensão em média de 18,6873 Mpa e uma Tensão de Escoamento de 11,4552 Mpa, entretanto para o material de Poliamida em sua pior hipótese atente as expectativas, pois a média de

Máxima Tensão é de 84,6336 Mpa e uma Tensão de Escoamento média de 49,0700 Mpa. Como nas simulações foi adotado um coeficiente de segurança de 1,5 que não foi atendido, será necessário o desenvolvimento de mais algumas geometrias e design antes de fabricar o molde. Após os ensaios atingirem os resultados esperados e for desenvolvido o molde, serão injetadas peças de polipropileno que serão submetidas aos testes práticos solicitados pela norma no laboratório de qualidade da empresa, de modo a verificar se as peças suportam as especificações solicitadas pela norma.

No pensamento enxuto, pode-se observar com o desenvolvimento desse estudo, houve uma atuação de diversas equipes da empresa e também da Universidade para alinharmos o estudo em questão. Com a metodologia de Desenvolvimento de Produto Enxuto pode-se observar que até o momento também não houve nenhum gasto com moldes, com gabaritos, com usinagens e nem com matérias primas e o produto acredita-se estar com 90% de confiabilidade. Percebe-se também que houveram muitas reuniões e muitas horas de simulações e desenvolvimento do modelo 3D nos softwares, porém sem nenhum tipo de desperdício de matéria prima.

O resultado desse estudo até o momento está sendo satisfatório, pois existe o entendimento que o tempo utilizado para realizar as simulações e reuniões será mais breve em relação ao desenvolvimento por “achismo”, sendo que por se tratar de uma peça de geometria complexa, o seu desenvolvimento pode causar retrabalhos desnecessários, com seus desperdícios, e portanto, custos indesejados associados.

9. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Apresenta-se como sugestão para estudos futuros:

- Ampliar a pesquisa para outras empresas do segmento metal-mecânico, bem como também utilizar o método numa empresa de pequeno porte.
- Analisar possibilidade de se utilizar os conceitos de integração dos subsistemas do Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto Enxuto em outras áreas de uma organização.
- Realização de estudo para analisar se as pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto acreditam na metodologia utilizada.

10. REFERÊNCIAS

- Abreu, Q. L. e Vaccaro G. L. R., 2016. “**Perdas na gestão do projeto do produto: Um estudo pelo prisma do mecanismo da função produção.**” Revista Espacios, vol. 38, p.27.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR13962 2006 Cadeiras Escritório.
- Coutinho, R. M, Bouzon, M. **O estado da arte dos paradigmas lean e green aplicados ao desenvolvimento de produtos: uma revisão sistemática de literatura.** XXXVII Encontro Nacional De Engenharia de Produção, Joinville - SC, Outubro de 2017.
- Kamath, R.R.; Liker, J.K. **A Second Look at Japanese Product Development.** Harvard Business Review: Nov.-Dec. Vol. 72. Nº 6, 1994.
- Laidens, G. **Modelo conceitual de integração de ferramentas no processo de desenvolvimento de produtos alimentícios utilizando os princípios da gestão do conhecimento.** 2007. 132f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest Manufacturer.* New York: McGraw-Hill.
- Morgan, J., Liker, J. K. *Toyota's product development system: integrating people, process and technology.* New York: Productivity Press, 2006.
- Morgan, J., Liker, J. K. *Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto: integrando pessoas, processo e tecnologia.* Porto Alegre: Bookman, 2008.
- Paris, A. “Sistema toyota de desenvolvimento de produtos: uma análise em empresas moveleiras no polo de Bento Gonçalves”. Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Caxias do Sul – UCS, Dissertação de Mestrado, 2013.
- Salgado et. Al., **Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos.** Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, p. 344-356, Julho-Setembro, 2009.
- Speck, H. J. “**Proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (cad) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte.**” Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Tese de Doutorado, 2005.
- Vassoler, J. M. “**Modelos Constitutivos Variacionais de Viscoelasticidade e Viscoplasticidade para Materiais Termoplásticos Submetidos a Deformações Finitas.**” Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, Dissertação, 2007.
- Ward, A. C.. *Lean Product and Process Development,* Cambridge, Lean Enterprise Institute, Inc, 2009.
- Womack, J. Jones, D. *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation.* Free Press: New York, 2003.
- Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D. **A máquina que mudou o mundo.** RJ: Campus, 1992.

11. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso neste artigo.