

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO OLIVEIRA BARROS

**MÉTODO AUXILIAR PARA SELECIONAR TERMOPLÁSTICOS:
ESTUDO DE CASO DE PEÇA EM PRODUÇÃO E APLICAÇÃO EM
PRODUTOS NOVOS**

MARÍLIA
2015

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO OLIVEIRA BARROS

**MÉTODO AUXILIAR PARA SELECIONAR TERMOPLÁSTICOS:
ESTUDO DE CASO DE PEÇA EM PRODUÇÃO E APLICAÇÃO EM
PRODUTOS NOVOS**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Rodrigo Fabiano Ravazi

MARÍLIA

2015

Barros, Leandro Oliveira

Método auxiliar para selecionar termoplásticos: Estudo de caso de peça produção e aplicação em produtos novos / Leandro Oliveira Barros; orientador: Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: [s.n.], 2015.

64 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2015.

1. Seleção de Termoplásticos 2. Materiais Termoplásticos 3. Propriedades dos Termoplásticos

CDD: 668.4



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

Leandro Oliveira Barros - 36393-6

TÍTULO "Método Auxiliar para Selecionar Termoplásticos: Estudo de Caso de Peça em Produção e Aplicação em Produtos Novos. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10,0

ORIENTADOR: Rodrigo Fabiano Ravazi
Rodrigo Fabiano Ravazi

1º EXAMINADOR: Ricardo José Sabatine
Ricardo José Sabatine

2º EXAMINADOR: Danilo Correa Silva
Danilo Correa Silva

Marília, 02 de dezembro de 2015.

“Dedico esse trabalho a Deus, aos meus pais e familiares pela força e apoio na concretização desse trabalho e realização deste sonho. Dedico também aos amigos que me motivaram nas horas difíceis para poder chegar até aqui, a eles deixo meus sinceros agradecimentos.”

AGRADECIMENTOS

Sempre em primeiro lugar agradeço a Deus, pois dele venho a benção e oportunidade para poder realizar este curso de graduação. Agradeço ainda pela saúde e sabedoria que me foi dada, quando me senti incapaz, quando achei que era impossível, Ele renovou minhas forças e me encaminhou para conseguir vencer esse desafio.

Agradeço aos meus pais José Leite e Maria de Fátima, pela educação que recebi e formação do meu caráter, bases para me tornar o homem que sou. Agradeço também as minhas irmãs: Lucilene e Vanessa, todos os meus sobrinhos, familiares e aos meus pais pela paciência e compreensão dos motivos de eu não ser tão presente na família durante esses cinco anos. Agradeço também a família Pereira, Kutí, Juninho, pela amizade e carinho e por todas as vezes que me incluíram como membro de sua família me tirando um pouco da rotina dos estudos para distrair a cabeça e me divertir.

Agradeço ao meu professor e orientador Rodrigo Ravazi, pela confiança no meu potencial e no meu trabalho e dedicação não só comigo, mas com todos os que ele compartilha seus conhecimentos, ideias e experiências sempre com muito carinho e atenção, saiba que você é um exemplo.

Agradeço a todos os docentes do curso de engenharia pelas excelentes aulas e pela dedicação com nosso curso, sempre dispostos ajudar compartilhando suas experiências e contribuindo para nos tornarmos excelentes profissionais.

Agradeço aos professores Ricardo Sabatine e Danilo Correa pela atenção dada ao meu trabalho, agregando excelentes ideias e considerações para continuidade em futuros trabalhos.

Muito obrigado a todos os colegas de sala: Thaise, Samanta, Thalita, Anelise, Adelié, Elson, Hiroito, Fernando, Natália, Zavaski, Marui, Jun, Kaiko, Maranhão, Thiago, Lucas Trindade, Lucas Marques, Rodrigo, Osmar, Kassio, Adriano, Alex, Jônatas, Fabrício, Diogo, Gabriel, Larissa, Isabela. Cada um de vocês teve sua participação nessa conquista, seja na forma dos trabalhos em grupos, nas explicações, nas conversas ou nas descontrações.

Agradeço de forma especial a minha sempre amiga, hoje namorada Leticia Akemi, pelo companheirismo, paciência, carinho e amor. Saiba que você foi essencial para a conclusão deste trabalho e deste curso.

Um grande abraço com carinho! Muito obrigado mesmo!

*“As pessoas não sabem o que querem,
até mostrarmos a elas”.*

Steve Jobs.

BARROS, Leandro Oliveira. Método auxiliar para selecionar termoplásticos: Estudo de caso de peça em produção e aplicação em produtos novos. 2015. 64 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

RESUMO

A forma como as empresas selecionam um material termoplástico para um produto novo nem sempre é eficaz. Elas utilizam como meio de seleção: catálogos, opiniões de fornecedores, tentativa e erro, históricos de produtos similares já produzidos, opinião de colegas experientes, material termoplástico que a máquina da empresa trabalha ou até mesmo por suas próprias experiências. O presente trabalho tem por objetivo propor um método simples que oriente na seleção de materiais termoplásticos em produtos novos e verificação da correta utilização desses materiais em produtos em produção. Essa seleção será baseada nas principais funções que se deseja para o produto e nas propriedades dos materiais termoplásticos, onde, através de referências bibliográficas, serão avaliados os dez termoplásticos mais utilizados pelas indústrias. Este trabalho apresenta estudo de caso real da seleção de termoplástico de uma peça em produção e seleção de material de uma peça em desenvolvimento, mostrando que o método tem potencial para orientar na seleção inicial de termoplásticos. Esse método de seleção visa atingir empresas de pequeno porte, que desenvolvem e fabricam produtos simples e não têm recursos disponíveis para utilizar softwares caros que selecionam o material mais adequado.

Palavras-chave: Seleção de Termoplásticos. Materiais Termoplásticos. Propriedades dos Termoplásticos.

BARROS, Leandro Oliveira. Método auxiliar para selecionar termoplásticos. Estudo de caso de peça em produção e aplicação em produtos novos. 2015. 64 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

ABSTRACT

The way companies choose a thermoplastic material for a new product is not always effective. They use it as a medium of choice: catalogs, reviews of suppliers, method of trial and error histories similar products already produced, opinion of experienced colleagues, the plastic machine company works or even by their own experiences. This paper aims to propose a simple method to guide the selection of thermoplastic materials in new products and verification of the correct use of these materials in products in production. This choice will be based on main functions desired for the product and the properties of plastic materials, which, through references will be assessed the ten thermoplastics most commonly used by industries. This paper presents actual case study of thermoplastic selecting a piece of production and selection of one piece of material development, showing that the method has the potential to guide the initial selection of thermoplastics. This method of selection aims to reach small businesses, which develop and manufacture simple products and have no resources to use expensive software that select the most suitable material.

Keywords: Selection Thermoplastics. Thermoplastic Materials. Properties of Thermoplastic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Interligação entre Propriedades dos Termoplásticos.	20
Figura 2- Ensaio de Resistência a Tração.	25
Figura 3- Ensaio de Tensão de Alongamento.....	26
Figura 4 - Representação de um Gráfico Tensão x Deformação.....	26
Figura 5- Ensaio de Compressão.	28
Figura 6- Configuração do Ensaio de Flexão.....	30
Figura 7- Corpo de Prova.....	30
Figura 8- Máquina de Impacto Izod com Balanço.	31
Figura 9- Ensaio de Dureza Rockwell.	34
Figura 10- Aparelho de Placas Quentes.....	36
Figura 11- Equipamento para Teste de Deflexão Térmica.	38
Figura 12- Teste de Resistência Dielétrica.....	41
Figura 13- Classificação dos Termoplásticos Quanto à sua Aplicação.	46
Figura 14- Consumo Mundial de Termoplásticos	47
Figura 15- Valores de Pontuação Conforme Desempenho.	50
Figura 16- Planilha de Entrada de Dados.....	52
Figura 17- Planilha Resultado da Seleção.....	53
Figura 18- Planilha de Processamento dos Dados de Entrada.	54
Figura 19- Desenho Técnico- Suporte das Hastes.....	56
Figura 20- Analise Peça 1	57
Figura 21- Desenho Técnico- Tampão do Encaixe	58
Figura 22- Modelo Conceitual.....	58
Figura 23- Análise Peça 2	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade.....	22
Tabela 2 – Absorção de Umidade.....	23
Tabela 3 – Resistência a Tração.	24
Tabela 4 – Alongamento na Ruptura.	25
Tabela 5 – Módulo de Elasticidade.....	27
Tabela 6 – Resistência a Compressão.....	28
Tabela 7 – Resistência a Flexão.	29
Tabela 8- Resistência ao Impacto.	31
Tabela 9- Coeficiente de Fricção.....	32
Tabela 10- Dureza Rockwell.	33
Tabela 11- Índice de Contração.....	34
Tabela 12- Índice de Expansão Térmica.....	37
Tabela 13- Temperatura de Deflexão Térmica.....	38
Tabela 14- Temperatura de Uso Contínuo.	39
Tabela 15- Rigidez Dielétrica.....	40
Tabela 16- Valores dos Termoplásticos.....	44
Tabela 17- Propriedades dos Termoplásticos x Função Desejada.....	45
Tabela 18- Propriedades dos Termoplásticos.....	49
Tabela 19- Pontuação dos Materiais.....	51
Tabela 20– Resultado de Viabilidade.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS: Acrilonitrila Butadieno Estireno
ASTM: American Standards for Testing and Materials
CAD: Computer Aided Design
CAE: Computer Aided Engineering
DIN: Deutsche Institut Fur Normung
ER: Epóxi
ISO: International Organization for Standardization
MR: Melanina Formaldeído
PA: Poliamida
PBT: Polibutadieno Tereftalato
PC: Policarbonato
PE: Polietileno
PEAD: Polietileno de Alta Densidade
PEBD: Polietileno de Baixa Densidade
PEI: Poliéter-imida
PEK: Poliéter-cetona
PET: Politereftalato de Etileno
PMMA: Polimetilmetacrilato
POM: Polióxido de Metileno
PP: Polipropileno
PPA: Poliftalamida
PPO: Polióxido de Fenileno
PPS: Polisulfeto de fenileno
PR: Fenol Formaldeído
PS: Poliestireno
PSAI: Poliestireno de Alto Impacto
PSU: Polisulfona
PTFE: Politetrafluoro Etileno
PU: Poliuretano
PVC: Policloreto de vinila

SAN: Estireno Acrilonitrila

T_g: Temperatura de transição vítrea

T_m: Temperatura de fusão cristalina

UR: Uréia Formaldeído

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Delimitação do Tema.....	15
1.2 Objetivo.....	16
1.3 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Justificativa.....	16
1.5 Metodologia.....	17
1.6 Estrutura do Trabalho.....	18
2 REVISÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Plásticos, Termoplásticos e Polímeros.....	19
2.2 Conceito de Propriedades em Termoplásticos.....	20
2.3 Propriedades Físicas.....	21
2.3.1 Densidade.....	22
2.3.2 Absorção de Água.....	23
2.3.3 Resistência à Tração.....	23
2.3.4 Alongamento na Ruptura.....	25
2.3.5 Módulo de Elasticidade.....	26
2.3.6 Resistência à Compressão.....	27
2.3.7 Resistência à Flexão.....	29
2.3.8 Resistência ao Impacto.....	30
2.3.9 Coeficiente de Fricção.....	32
2.3.10 Dureza.....	33
2.3.11 Contração.....	34
2.4 Propriedades Térmicas.....	35
2.4.1 Calor Específico.....	35
2.4.2 Condutividade Térmica.....	35
2.4.3 Expansão Térmica.....	36
2.4.4 Temperatura de Deflexão Térmica.....	37

2.4.5 Temperatura Máxima de Serviço Contínuo.....	39
2.5 Propriedades Elétricas	39
2.5.1 Rigidez Dielétrica.....	40
2.6 Desenvolvimento de Produtos e a Seleção de Materiais Termoplásticos	41
3 MÉTODO PROPOSTO PARA SELEÇÃO DO MATERIAL	43
3.1 Seleção das Propriedades	43
3.2 Seleção dos Materiais Termoplásticos	45
3.3 Pontuação dos Termoplásticos de Acordo com as Propriedades.....	47
3.4 Construção da Planilha para Seleção do Melhor Material (Excel).....	51
4 ESTUDO DE CASO	55
4.1 A Empresa	55
4.2 Peças do Estudo de Caso	55
4.2.1 Peça 1- Suporte das Hastes (peça em produção)	55
4.2.2 Peça 2- Tampão de Encaixe (produto novo).....	57
5 RESULTADOS	60
6 CONCLUSÕES	61
6.1 Sugestões e Recomendações	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Um importante ponto a se considerar no desenvolvimento de um novo produto, é a seleção do material termoplástico que será utilizado. Como selecionar qual o melhor material para o produto dentro da enorme gama de possibilidades existentes no mercado?

Hoje, profissionais de várias áreas, como engenheiros, projetistas e designers, selecionam materiais termoplásticos para produtos de diversos seguimentos em que atuam no processo de desenvolvimento.

De modo geral, desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se a partir das necessidades do mercado, das possibilidades, restrições tecnológicas e considerando as estratégias de produtos da empresa, chegar as especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo (ROZENFELD et al., 2006).

A seleção desses materiais termoplásticos se deve a possibilidade de combinação de propriedades que não seria possível em outro tipo de matéria prima. Alguns exemplos das propriedades adquiridas são: leveza, resistência ao impacto, resistência à tração, facilidade de cores, transparência, facilidade de processamento, versatilidade de adaptação de diversas geometrias e de maneira geral a redução de custo do produto final.

Porém, especificar um material termoplástico não é uma tarefa simples, pois diante de tantos tipos existentes no mercado, por ele ser um material relativamente novo, com pouco mais de 100 anos de utilização em grande escala e conseqüente limitação no conhecimento sobre esses materiais, em que muitas vezes é levado em consideração a experiência de trabalhadores da área de transformação.

1.1 Delimitação do Tema

Com este trabalho pretende-se desenvolver uma maneira simples e barata de auxiliar a seleção do material termoplástico mais adequado para aplicação em um produto novo e avaliação do material usado em peças já em produção. Partindo do princípio que existe uma enorme variedade de materiais e muitas possibilidades de aplicação em produtos novos, será abordado neste trabalho alguns materiais termoplásticos comumente usados nas empresas de transformação.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método simples através de uma planilha, que ajudará na seleção do material termoplástico para produtos novos e verificar a possibilidade de usar outros materiais em produtos já em produção, baseando-se nas propriedades dos materiais termoplásticos e nos principais requisitos e funções do produto. Essa ferramenta de auxílio visa atingir profissionais da área de desenvolvimento e empresas de pequeno porte, que desenvolvem produtos simples e não tem recursos disponíveis para utilizar softwares caros e outros sistemas que selecionam o material mais adequado.

As propriedades mais relevantes dos materiais que serão consideradas para efeito de comparação podem ser divididas em: propriedades mecânicas, físicas e térmicas. Também será considerado o custo desses materiais.

1.3 Objetivos Específicos

O presente trabalho busca alguns objetivos específicos sendo eles:

- Explicar a relação entre as propriedades de alguns materiais termoplásticos e as características que elas proporcionam;
- Elaborar uma planilha de seleção de termoplásticos com os dados levantados;
- Aplicar a planilha na seleção de materiais termoplásticos de peças em produção;
- Aplicar a planilha na seleção de termoplásticos de peças em desenvolvimento.

1.4 Justificativa

Geralmente, as formas como as empresas selecionam um material termoplástico para um determinado produto novo são: por catálogos, opinião do fornecedor, por tentativas e erros, históricos de produtos similares já produzidos, opinião de colegas experientes, pelo preço dos materiais ou pelo material que a máquina da empresa trabalha.

Segundo Rozenfeld (2006) o custo de qualquer alteração no projeto de um produto novo, aumenta consideravelmente conforme avança-se pelas fases do desenvolvimento. A seleção do material também tem impactos quando não selecionado corretamente, e sua alteração durante as fases de desenvolvimento do produto aumentam o custo do produto final, custo que muitas vezes recaem sobre a empresa.

O trabalho proposto auxiliará na seleção do material, poupando tempo no desenvolvimento do produto e custos com alterações desnecessárias ao longo do projeto, uma

vez que as empresas, em muitos casos, selecionam o material por testes (tentativa e erro) que não trazem resultados conclusivos e acabam optando por usarem softwares caros de simulação estrutural e análise de elementos finito (CAE e CAD) como por exemplo: *Moldflow* e *Propector Premium*. O uso dessas ferramentas é importante e está cada vez mais moderno e atualizado, porém optar por utilizá-las é uma medida posterior, ou seja, que vem após uma seleção básica de material termoplástico. A utilização desses recursos deve ser poupada e usada em desenvolvimento de produtos mais complexos ou que exijam grande responsabilidade técnica.

1.5 Metodologia

A natureza do trabalho segue uma pesquisa aplicada, onde foi analisado o problema da dificuldade em selecionar um material termoplástico. De acordo com Silva e Menezes (2005), o objetivo desse tipo de pesquisa é gerar conhecimentos para aplicações práticas e direcionados para a resolução de problemas específicos.

O problema enfatizado no trabalho teve uma abordagem quantitativa, onde foram considerados dados que puderam ser quantificados e traduzidos em informações. A exemplo disto foi realizado o levantamento e análise das propriedades dos dez materiais termoplásticos mais usados. Cada material tem suas propriedades medida por um valor, que pode ser comparado com valores de outros materiais para saber qual tem melhor desempenho.

Ainda considerando a forma de abordagem do problema, ela também pode ser considerada como qualitativa, uma vez que busca uma relação dinâmica entre as propriedades quantificadas e qualidade funcional do objeto analisado.

Do ponto de vista dos objetivos do trabalho, a pesquisa tem caráter exploratório que proporcionou maior conhecimento sobre o problema e envolveu o levantamento bibliográfico, entrevista com profissional da área de aplicação que vivenciou o problema na prática e estudo de caso que trouxe um maior aprofundamento ao assunto.

Os procedimentos técnicos para a realização do trabalho seguiu uma linha de pesquisa experimental. Para Gil (2007), esse tipo de pesquisa consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objetivo. Dessa forma o objeto de estudo neste trabalho, é o meio de selecionar materiais termoplásticos e as variáveis para essa seleção são as propriedades e as funções requerida pelo produto.

1.6 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, desde a introdução aqui dada até as conclusões finais.

No Capítulo 1, são abordados introdução, limites do tema trabalhado, objetivos almejados, justificativas do estudo e metodologia para desenvolvimento.

O Capítulo 2 é composto por revisão bibliográfica, onde são abordados os principais conceitos ligados a tipos de termoplásticos, as propriedades que os constituem, os ensaios utilizados para determinação dessas propriedades e a relação com o desenvolvimento de produto.

O Capítulo 3 aborda o método proposto para selecionar o material termoplástico mais adequado, bem como a seleção dos dez materiais abordados no trabalho, as propriedades analisadas, a pontuação para cada propriedade e a construção da planilha no Excel.

O Capítulo 4 apresenta os estudos de caso com a aplicação da planilha de seleção do material e alguns resultados prévios.

No Capítulo 5 é apresentado os resultados finais e discussões acerca do desenvolvimento e objetivos alcançados no trabalho.

Por fim no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões chegadas no desenvolvimento deste trabalho e recomendações para trabalhos futuro.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Plásticos, Termoplásticos e Polímeros

Segundo Canevarolo (2002) o primeiro polímero sintético foi produzido por Leo Baekeland (1863-1944), em 1912, obtido através da reação entre fenol e formaldeído. Esta reação gerava um produto sólido (resina fenólica), hoje conhecida como baquelite, termo derivado do nome de seu inventor.

Este material pode receber várias denominações. Segundo Michaeli et al. (1995, p. 6), o nome plástico não se refere a um único material, ela caracteriza diversos materiais com estrutura, qualidade e composição diferentes.

A denominação termoplásticos tem origem das palavras *termos* = calor e *plasso*= formar, que são materiais que fundem e fluem sob efeito de temperatura, pressão e endurecem quando resfriados. Essa condição permite que eles sejam convenientemente moldados (MARINUCCI, 2011).

A denominação polímeros segundo Marinucci (2011, p. 34):

Se origina do grego e significa “poli” de muitos e “mero” de partes ou unidades repetidas. Desse modo, o polímero é formado pela união de pequenas moléculas, os monômeros, produzindo outras bem maiores que são chamadas de macromoléculas.

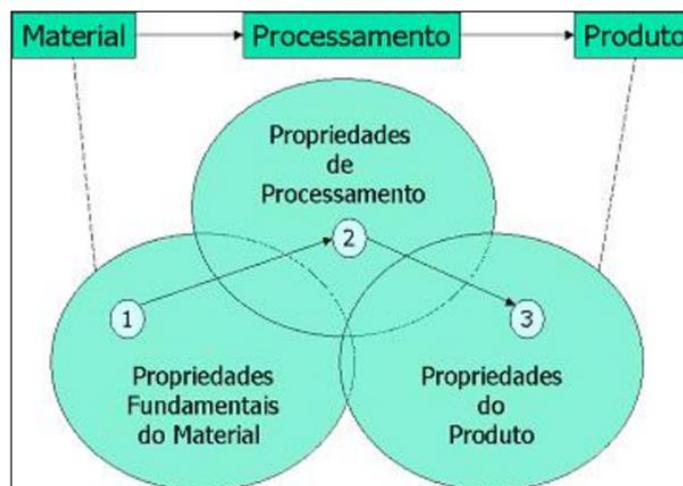
De acordo com Wiebeck e Harada (2005) os plásticos são geralmente divididos em duas categorias. Quanto a sua escala de fabricação e de acordo com o desempenho de suas propriedades. Quanto à escala, são encontrados os termoplásticos *commodities*, representando o maior volume de produção, compreendidos por: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliestireno (PS) e, atualmente, o PET (politereftalato de etileno). Esses materiais, em função de sua aplicação, podem levar às denominações de plásticos de uso comum, uso geral, ou ainda, de massa. Os plásticos de uso geral, podem ser classificados como termoplásticos ou termorrígidos. Os termoplásticos de uso geral mais comuns são: PE, PP, PS, poliestireno de alto impacto (PSAI), estireno-acrilonitrila (SAN), polimetilmetacrilato (PMMA). Os termorrígidos de uso geral são as resinas: epóxi (ER), fenol-formaldeído (PR), uréia-formaldeído (UR), melamina-formaldeído (MR) e poliuretano (PU), este último podendo ser de característica termoplástica. Os plásticos caracterizados de acordo com o desempenho de suas propriedades, podem ser denominados como plásticos de engenharia, pois apresentam melhor desempenho em suas propriedades em relação aos *commodities*. Os plásticos de engenharia como sendo materiais estáveis por determinados períodos, em aplicações onde

podem sofrer esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos ou ambientais. Em geral, eles têm um custo maior que os plásticos comuns, devido ao meio de obtenção destes plásticos ser mais complexo. Os plásticos de engenharia podem ser categorizados como de uso geral ou uso especial. Os plásticos de uso geral mais comuns são: polióxido de metileno (POM), politereftalato de butileno o (PBT), policarbonato (PC), poliamida (PA), polióxido de fenileno (PPO). Os plásticos mais comuns de engenharia de uso especial com altíssimo desempenho são: politetrafluor-etileno (PTFE), conhecido como teflon, poliéter-imida (PEI), poliéter-cetona (PEK), polisulfeto de fenileno (PPS), polisulfona (PSU), poliftalamida (PPA). É importante considerar que um plástico de uso geral pode ter suas propriedades melhoradas e passar para uma nova categoria de plásticos. As modificações de propriedades acontecem com a incorporação de reforços, fibras, cargas vegetais e inorgânicas. E ainda, é possível introduzir no mercado um plástico de determinada categoria, mas com uma inovação na sua estrutura química, isso possibilita que o novo tipo de material tenha propriedades de altíssimo desempenho mecânico ou térmico.

2.2 Conceito de Propriedades em Termoplásticos

Segundo Felicetti (1996) os termoplásticos têm suas propriedades divididas em três classes: as intrínsecas, as de processamento e as de produto. Essas propriedades estão sempre ligadas umas às outras e não devem ser analisadas separadamente. A Figura 1 mostra esta ligação entre as propriedades.

Figura 1- Interligação entre Propriedades dos Termoplásticos.



Fonte: Adaptado de Felicetti (1996, p. 14).

De acordo com Felicetti (1996), as propriedades intrínsecas são relacionadas ao termoplástico como matéria prima virgem, enquanto as propriedades do produto são relacionadas ao objeto feito com esse material. Desta forma, se relaciona a leveza de um termoplástico na propriedade intrínseca com a sua densidade, e o peso (massa) de um produto injetado, com a sua forma ou o seu tamanho na propriedade do produto. A propriedade de processamento se encontra entre as duas anteriores, e se caracteriza por combinar propriedades intrínsecas do termoplástico na definição do tipo de transformação, por exemplo, injeção, sopro, rotomoldagem, termoformagem. Durante o processamento, algumas características são agregadas aos termoplásticos, por exemplo, a forma, o grau de rigidez ou flexibilidade, o grau de orientação molecular, as tensões residuais, a aparência superficial, etc. Esta combinação entre propriedades intrínsecas e propriedades de processamento, constitui as propriedades de uma entidade, que se chama produto.

O conceito de propriedade é importante para entender a dificuldade da seleção do material termoplástico na indústria, e que a necessidade de maior objetividade para os critérios numa seleção inicial, implicará maior eficiência no processo de desenvolvimento de produtos, com economia de tempo e de outros recursos, acelerando o tempo de entrada num mercado cada vez mais dinâmico e competitivo (FELICETTI, 1996).

2.3 Propriedades Físicas

De acordo com Mano (1991), as propriedades físicas podem ser denominadas como aquelas que não envolvem qualquer modificação na estrutura a nível molecular dos materiais. Dentre elas estão as propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e óticas. Essas características são avaliadas e especificadas em detalhes nas normas de cada país.

Segundo Lokensgard (2013, p. 86):

Várias organizações nacionais e internacionais estabelecem e publicam especificações de ensaios para materiais industriais. Nos Estados Unidos, a padronização para estes materiais é determinada, geralmente, pelo Instituto Nacional Americano de Padrões (*American National Standards Institute – ANSI*).

As normas brasileiras são elaboradas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), e considerando a grande variedade de materiais, o número de normas é insuficiente. As normas mais completas são as americanas ASTM (*American Standards for Testing and Materials*), as normas alemãs DIN (*Deutsche Institut Fur Normung*) e as internacionais ISO (*International Organization for Standardization*) (MANO, 1991).

2.3.1 Densidade

Segundo Manrich (2013), o valor da densidade é calculado através da razão do peso aparente medido no ar e o peso aparente medido quando a amostra está totalmente imersa em um fluido. Densidade e gravidade específica tem o mesmo valor numérico, no entanto, gravidade específica não tem unidade por ser uma razão entre dois pesos. A densidade é o peso no ar em gramas por centímetro cúbico a 23 °C.

Os corpos de prova para a realização deste ensaio são obtidos das peças e é necessário ter menos que 1 cm³ de volume, não ter superfícies rugosas e impurezas. A amostra é pesada ao ar e depois pesada em um fluido (normalmente água), e com os resultados obtidos é realizado o cálculo (MANRICH, 2013).

Os plásticos, segundo Michaeli et al. (1995, p. 66), apresentam uma densidade relativamente baixa comparados a outros materiais. A faixa de variação de densidade dos plásticos estende-se de, aproximadamente, 0,9 g/cm³ até 2,3 g/cm³.

O método ASTM D-792, é o que descreve o método de ensaio para se determinar a densidade (MANO, 1991; LOKENSGARD, 2013).

A Tabela 1 mostra valores de densidade para alguns materiais termoplásticos abordados neste trabalho.

Tabela 1 – Densidade.

Materiais	Densidade (g/cm³)
ABS	1,04
PC	1,20
PVC	1,42
POM	1,42
PEAD	0,96
PEBD	0,92
PA	1,16
PBT	1,30
PET	1,38
PP	0,91

Fonte: Adaptado de Lokensgard (2013, p. 100).

2.3.2 Absorção de Água

O ensaio para determinação de absorção de umidade, segundo Lokensgard (2013), consiste em pesar uma amostra com precisão, aquecê-la em um forno por determinado tempo e pesá-la posteriormente para determinar a perda de massa. Existem instrumentos precisos que fornecem resultados de maneira rápida, com base em princípios termogravimétricos, que presume que toda perda de massa ocorre devido a umidade perdida na forma de vapor durante o aquecimento da amostra.

Nem todos os termoplásticos tem característica de absorver umidade, os que possuem tal característica, são chamados de higroscópicos e usualmente são materiais que absorvem umidade pela absorção da água presente no ar úmido (LOKENSARD, 2013). A Tabela 2 apresenta os valores de absorção de umidade materiais utilizados nesse trabalho.

Tabela 2 – Absorção de Umidade.

Materiais	%
ABS	0,30
PC	0,15
PVC	0,06
POM	0,25
PEAD	0,10
PEBD	0,10
PA	1,20
PBT	0,08
PET	0,10
PP	0,01

Fonte: Adaptado de Lokensgard (2013, p. 110).

2.3.3 Resistência à Tração

De acordo com Mano (1991), a resistência à tração de um material é determinada pela pressão necessária para alongar (esticar) o corpo de prova do material até a sua ruptura. É avaliada pela quantidade de carga aplicada no momento em que ele se rompe. Os polímeros em geral, tem valores de resistência muito baixos comparados a materiais como aço e cerâmica.

Em termos de propriedades mecânicas Manrich (2013) cita que esse ensaio é o mais representativo de todos, pois mostra quanto o material resiste sob tensão e qual seu alongamento. Esse teste pode ser feito a uma velocidade constante, onde é medida a variação de força para a deformação, podendo realizá-lo com tensão fixa, que atua durante um período e é medida a deformação conforme o tempo, este recebe o nome de ensaio de fluência.

A Tabela 3 mostra os valores de resistência a tração para os materiais termoplásticos que são abordados neste trabalho.

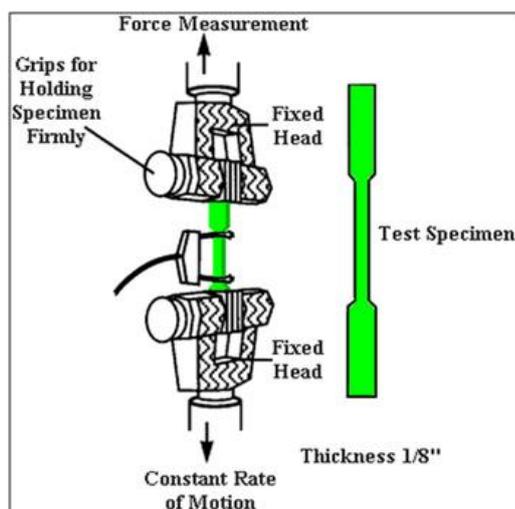
Tabela 3 – Resistência a Tração.

Materiais	psi
ABS	4.100
PC	9.500
PVC	7.500
POM	10.000
PEAD	4.000
PEBD	1.400
PA	11.700
PBT	8.700
PET	11.500
PP	5.400

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 9).

A resistência a tração é uma das propriedades mais importantes na definição da resistência mecânica dos materiais termoplásticos. Os corpos de prova utilizados para este ensaio, são padronizados e apresentam 150 mm de comprimento, 20 mm de largura nas extremidades, 10 mm no ponto mais estreito e 3 mm de espessura. Os métodos que descrevem o ensaio de tração são descritos pela norma ASTM D-638 e ISO 527 (LOKENS GARD, 2013). A Figura 2 mostra um exemplo de como acontece o ensaio de tração.

Figura 2- Ensaio de Resistência a Tração.



Fonte: Lokensgard (2013, p. 93).

2.3.4 Alongamento na Ruptura

Para Mano (1991), o alongamento na ruptura representa o quanto o material aumenta, em percentual, no seu comprimento quando o corpo de prova é submetido a tração. Os métodos usados para determinar essa propriedade do material são os mesmos utilizados no ensaio de resistência a tração ASTM D-638. A Tabela 4 mostra valores para alguns materiais utilizados neste trabalho.

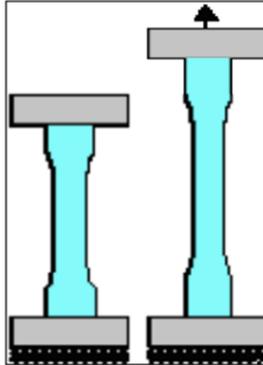
Tabela 4 – Alongamento na Ruptura.

Materiais	%
ABS	32
PC	135
PVC	350
POM	75
PEAD	600
PEBD	500
PA	25
PBT	90
PET	70
PP	400

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 10).

Para este teste, as amostras de termoplástico são moldadas por injeção. A máquina de ensaio à tração puxa a amostra a partir de ambas as extremidades e mede a força necessária para puxar a amostra e o quanto se ela estende antes da ruptura. A Figura 3 demonstra um ensaio de alongamento na ruptura.

Figura 3- Ensaio de Tensão de Alongamento.

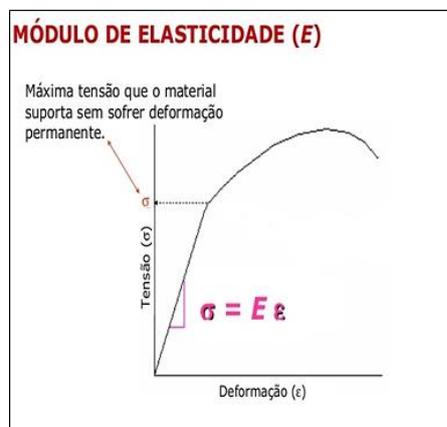


Fonte: Lokensgard (2013, p. 91).

2.3.5 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é medido pela razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Pode ser chamado de módulo *Young* e os métodos de determinação são os mesmos já mencionados para resistência à tração (MANO, 1991; LOKENSGARD, 2013). O resultado conforme mostra a Figura 4 são apresentados na forma de gráfico.

Figura 4 - Representação de um Gráfico Tensão x Deformação.



Fonte: Lokensgard (2013, p. 92).

De acordo com Manrich (2013, p. 64), “o módulo de elasticidade tem sua grande importância pelo fato de transmitir os limites de tensão suportados por uma peça em uso sem que ela seja permanentemente deformada”.

Segundo Mano (1991), os polímeros de alta cristalinidade, aqueles com estruturas rígidas e polímeros reticulados, apresentam módulo de elasticidade mais elevado. Os polímeros de modo geral não excedem 700 psi. A Tabela 5 demonstra os valores de módulo de elasticidade dos termoplásticos estudado nesse trabalho.

Tabela 5 – Módulo de Elasticidade.

Materiais	psi
ABS	310
PC	345
PVC	411
POM	380
PEAD	280
PEBD	245
PA	400
PBT	425
PET	470
PP	240

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 12).

2.3.6 Resistência à Compressão

De acordo com Mano (1991), a resistência a compressão é determinada pela aplicação de uma força de compressão em um material, onde acontece uma redução do seu volume ou redução de uma de suas dimensões, ou seja, redução no sentido da força aplicada. O método utilizado para determinação é o ASTM D-695.

Para Lokensgard (2013), os valores de resistência à compressão são interessantes para distinguir entre tipos de termoplásticos e na comparação de termoplásticos com outros materiais. A Tabela 6 mostra valores de resistência a compressão para alguns termoplásticos considerados neste trabalho.

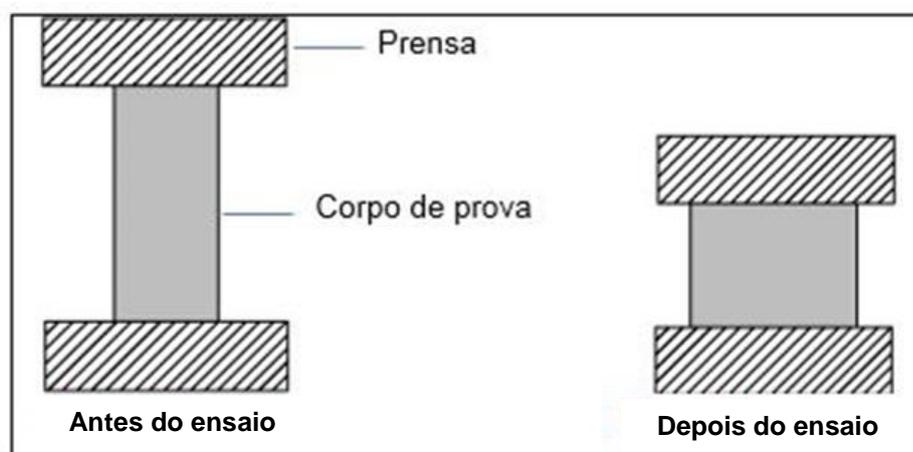
Tabela 6 – Resistência a Compressão.

Materiais	psi
ABS	2.900
PC	12.500
PVC	1.950
POM	4.500
PEAD	2.100
PEBD	1.700
PA	13.500
PBT	3.500
PET	3.700
PP	5.750

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 14).

Os corpos de prova no ensaio de compressão, são cubos de 12,7 x 12,7 x 25,4 mm ou cilindros de 12,7 mm de diâmetro por 25,4 mm de altura. O corpo de prova é comprimido por uma prensa a uma velocidade constante até sua ruptura. Durante o ensaio são registrados valores de tensão e deformação MANO (1991). A Figura 5 demonstra o antes e depois de um ensaio de compressão.

Figura 5- Ensaio de Compressão.



Fonte: Adaptado de MATERIALS RESEARCH, 2006.

2.3.7 Resistência à Flexão

A resistência a flexão para Lokensgard (2013), é a medida de quanta tensão pode ser aplicada a um material antes que ele quebre. Neste ensaio são envolvidas forças de tração e compressão ao se flexionar a amostra.

Esse ensaio não é significativo para materiais como a borracha e elastômeros segundo Mano (1991). A Tabela 7 mostra valores de resistência a flexão dos termoplásticos abordados durante o desenvolvimento desse trabalho.

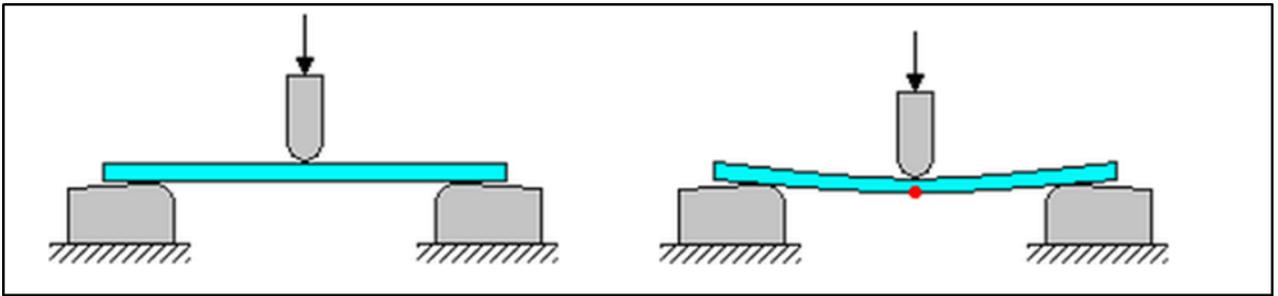
Tabela 7 – Resistência a Flexão.

Materiais	psi
ABS	304
PC	345
PVC	481
POM	420
PEAD	200
PEBD	30
PA	450
PBT	330
PET	400
PP	225

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 15).

O método que determina este ensaio é o ASTM D-790. Esse método de ensaio utiliza o carregamento em um sistema com três pontos. O corpo de prova no formato de uma barra de seção cruzada retangular, com medidas de 127 x 12,7 milímetros, é ajustado em dois apoios fixados a um suporte, separados um do outro a uma distância que varia conforme a espessura do corpo de prova. O carregamento é realizado por meio de um terceiro apoio (móvel), posicionado a uma distância média (centralizado) entre os apoios fixados aos suportes (CANEVAROLO, 2002; MANRICH, 2013). Na Figura 6, é representado um esquema com a realização do ensaio de flexão.

Figura 6- Configuração do Ensaio de Flexão.

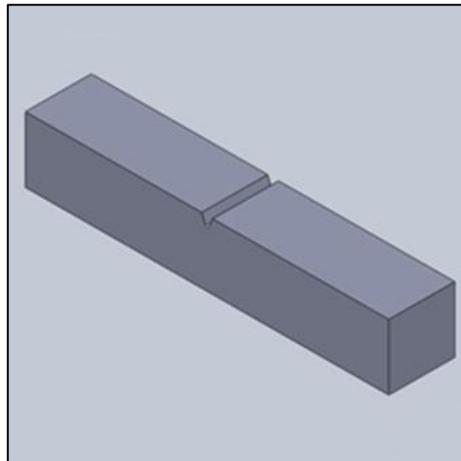


Fonte: Adaptado de CANEVAROLO, 2002.

2.3.8 Resistência ao Impacto

De acordo com Manrich (2013), este é um ensaio muito importante para se credenciar materiais utilizados tecnicamente. O corpo de prova usado neste ensaio tem dimensão de 3,17 x 12,7 x 63,5 milímetros. Para termoplásticos injetados a espessura de 3,17 mm, representa bem a média da espessura da maioria das peças. O corpo de prova conforme Figura 7, deve ter um entalhe centralizado para que no momento do impacto o material sofra uma fratura nessa seção.

Figura 7- Corpo de Prova.



Fonte: Manrich (2013, p. 45)

O teste de resistência ao impacto, visa medir a energia necessária para romper um corpo de prova sob condições padronizadas pelas normas. A norma que descreve este ensaio é a ASTM D-256. A energia é calculada em J/m (MANO, 1991).

A Tabela 8 mostra valores de resistência ao impacto dos materiais termoplásticos considerados neste trabalho.

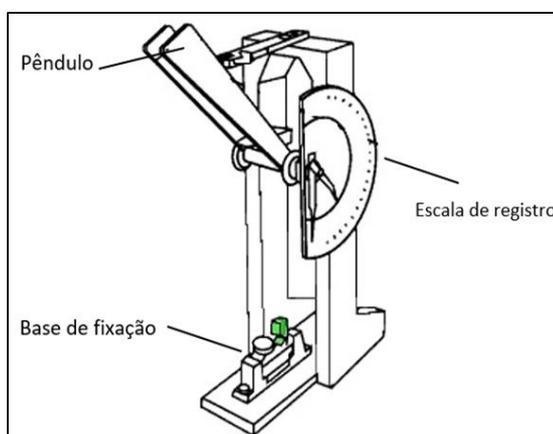
Tabela 8- Resistência ao Impacto.

Materiais	J/m
ABS	411,18
PC	746,60
PVC	53,40
POM	80,10
PEAD	58,74
PEBD	No break
PA	42,72
PBT	80,1
PET	37,38
PP	64,08

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 17).

De acordo com Canevarolo (2002) existem três unidades principais em um equipamento para o ensaio de impacto Izod, conforme representação da Figura 8. A base de fixação do corpo de prova, o pêndulo (martelo) preso sobre a base através de um rolamento anti-fricção e o sistema de registro da energia que pode ser mecânico ou digital.

Figura 8- Máquina de Impacto Izod com Balanço.



Fonte: Adaptado de CANEVAROLO, 2002.

Os valores de resistência ao impacto é uma das propriedades mais utilizadas para especificar comportamento mecânico dos termoplásticos. A capacidade de um material suportar choques acidentais pode decidir sobre o sucesso ou fracasso do seu uso em determinadas aplicações. A resistência ao impacto depende de vários fatores significativos como: temperatura de ensaio, a velocidade de impacto, a sensibilidade do entalhe, a força com que o corpo de prova sofre o impacto, geometria do corpo de prova, condições ambientais em que foi fabricado o corpo de prova, etc. Com isso, resultados obtidos em diferentes laboratórios laboratório, podem apresentar discrepâncias significativas e prejudicar muitas vezes a seleção de uma material polimérico pelo projetista para um produto (CANEVAROLO, 2002).

2.3.9 Coeficiente de Fricção

A resistência a fricção, ou resistência ao deslizamento segundo Mano (1991), é uma propriedade importante para termoplásticos de engenharia. É um coeficiente adimensional que expressa a força friccional que se opõe à força de deslizamento quando dois corpos em contato ao deslizam um em relação ao outro. Este ensaio é caracterizado pela norma ASTM D-3702 e D-3028. O ensaio depende de outros fatores como a velocidade relativa entre as superfícies, acabamento das superfícies em contato, a temperatura, etc. Para a maioria dos termoplásticos, o valor dos coeficientes está entre 0,2 e 0,8 conforme Tabela 9.

Tabela 9- Coeficiente de Fricção.

Materiais	Adimensional
ABS	0,35
PC	0,38
PVC	0,27
POM	0,20
PEAD	0,28
PEBD	0,26
PA	0,22
PBT	0,25
PET	0,25
PP	0,26

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 18).

Um coeficiente de fricção baixo, indica que as superfícies são mais lisas, ou que existe uma menor resistência a um movimento de deslizamento entre elas.

2.3.10 Dureza

Para Lokensgard (2013), o termo dureza não descreve uma única propriedade dos termoplásticos, outras como resistência a riscos, arranhões e abrasão estão fortemente relacionadas à dureza. Resistência à compressão, à penetração e ao risco são definições largamente aceita para dureza. Há vários tipos de instrumentos utilizados para medir dureza e cada um possui sua própria escala de medida.

Os instrumentos de ensaio por penetração ou endentação, são utilizados para obtenção de medidas quantitativas mais sofisticadas. Alguns mais conhecidos são: *Rockwell*, *Brinell* e *Shore*. A Tabela 10 apresenta valores típicos de dureza Rockwell para os termoplásticos utilizados para estudo nesse trabalho.

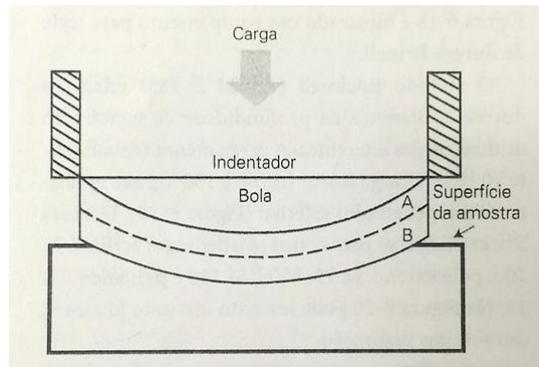
Tabela 10- Dureza Rockwell.

Materiais	Adimensional
ABS	102
PC	118
PVC	115
POM	120
PEAD	81
PEBD	70
PA	125
PBT	120
PET	117
PP	92

Fonte: Adaptado de Lokensgard (2013, p. 97).

O método Rockwell descrito pela norma ASTM D-785, relaciona dureza à diferença na profundidade de penetração de duas cargas diferentes. A carga menor de 10 Kg e a carga maior (de 60 a 150 Kg) são aplicadas a um penetrador esférico exemplificado na Figura 9. A distância entre a linha A (menor carga) e a linha B (maior carga) é a base para as leituras de Dureza Rockwell (LOKENSARD, 2013).

Figura 9- Ensaio de Dureza Rockwell.



Fonte: Lokensgard (2013, p. 98).

2.3.11 Contração

Segundo Lokensgard (2013), a contração influencia na dimensão final das peças injetadas. As peças moldadas contraem ao endurecer dentro do molde, essa contração continua por algum tempo após a moldagem. Para garantir que a contração está completa é recomendado fazer medições 48 horas após a injeção da peça. A contração na moldagem é a razão entre a diminuição no comprimento e o comprimento original. A Tabela 11 mostra valores de contração para alguns materiais que foram abordados durante esse trabalho.

Tabela 11- Índice de Contração.

Materiais	%
ABS	0,8
PC	0,7
PVC	1,0
POM	2,0
PEAD	2,8
PEBD	1,5
PA	1,3
PBT	1,2
PET	1,4
PP	1,7

Fonte: Adaptado de Lokensgard (2013, p. 101).

2.4 Propriedades Térmicas

Segundo Mano (1991), as propriedades térmicas nos termoplásticos são observadas quando o calor é fornecido ou removido do material. A capacidade de transferir energia térmica, ou seja, conduzir calor, é obtida pela condutividade térmica. A capacidade de armazenar calor é medida pelo calor específico. Quando o termoplástico é submetido a variações de temperaturas acontecem alterações em suas dimensões, que são avaliadas através da expansão térmica.

As modificações observadas nos materiais termoplásticos em função da temperatura, são de grande importância, e algumas propriedades podem ser medidas por ensaios que incluem as: temperaturas de fusão cristalina T_m , temperatura de transição vítrea T_g , coeficiente de expansão térmica, temperatura de deflexão térmica, temperatura máxima de serviço contínuo, e outras à medida que os termoplásticos são aquecidos, as moléculas no seu interior começam a ganhar mobilidade, o que faz com que as cadeias moleculares comecem se alongar. Quanto maior o aquecimento, maior pode ser o deslizamento entre moléculas e o material se torna um líquido viscoso (LOKENS GARD, 2013).

2.4.1 Calor Específico

O calor específico para Lokensgard (2013), é a quantidade de energia térmica necessária para elevar de 1°C a unidade de massa do material. Os valores obtidos nos testes são expressos em joule por quilograma kelvin ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$). A capacidade calorífica para o ABS à temperatura ambiente é de $104 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, para o poliestireno é de $125 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ e para o polietileno é de $209 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, isso indica que os termoplásticos em geral demandam uma maior quantidade de energia térmica para aquecerem em comparação à água, cuja capacidade calorífica é de $1 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

O teste é realizado em uma câmara isolada para minimizar a perda de calor e resulta na medição da alteração de temperatura do material. Pode também ser expressa em $\text{cal}/\text{g }^\circ\text{C}$. O método utilizado para medir é o ASTM C-351 (MANO, 1991).

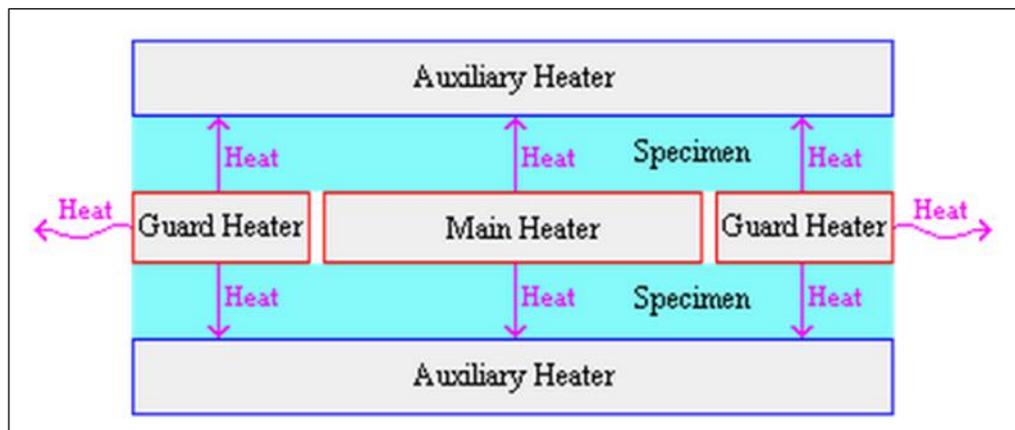
2.4.2 Condutividade Térmica

De acordo com Mano (1991), a condutividade térmica é a medida da quantidade de energia na forma de calor transferida através de um corpo, em uma unidade de tempo, por uma

unidade de área. Essa medida expressa a característica de o material ser bom ou mal condutor de calor.

O teste é executado utilizando um aparelho de placas quentes, conforme exemplo da Figura 10. Duas amostras iguais são colocadas em lados opostos do aquecedor principal. O aquecedor principal e os aquecedores de proteção, são mantidos à mesma temperatura. Ambos os aquecedores auxiliares são mantidos a uma temperatura inferior. Os aquecedores de proteção minimizam a quantidade de transferência de calor a partir do aquecedor principal. As temperaturas são monitorizadas em cada superfície por termopares. O método utilizado para determinar é o ASTM C-177, e a maioria dos resultados obtidos em testes para termoplásticos, indicam que eles são maus condutores de calor em comparação com os metais (LOKENS GARD, 2013; MANO, 1991).

Figura 10- Aparelho de Placas Quentes.



Fonte: Prospector, 2015.

2.4.3 Expansão Térmica

Segundo Mano (1991) expansão térmica é uma propriedade que mede o volume adicional necessário para que os átomos e moléculas se organizem por estarem em maior movimentação a nível molecular durante o aquecimento. Essa avaliação é feita pelo coeficiente de dilatação térmica linear, que é o aumento nas dimensões da peça por unidade de temperatura. A Tabela 12 mostra valores de expansão térmica de alguns polímeros. O método utilizado para se fazer essa avaliação é o ASTM D 696 e os valores são expressos em $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Tabela 12- Índice de Expansão Térmica.

Materiais	°C⁻¹
ABS	5,6
PC	3,8
PVC	3,2
POM	6,8
PEAD	7,0
PEBD	6,0
PA	5,0
PBT	4,64
PET	3,9
PP	4,3

Fonte: Adaptado de MANO (1991, p. 22).

Os termoplásticos ganham volume (expandem) a uma taxa muito superior à dos metais. Esse comportamento pode ser explicado devido à grande mobilidade das macromoléculas, onde os átomos estão unidos por ligações covalentes, e são mais afetadas que as ligações iônicas de materiais cerâmicos, vidros e metálicas (MANO, 1991; LOKENSGARD, 2013).

2.4.4 Temperatura de Deflexão Térmica

A temperatura de deflexão térmica é a maior temperatura que um material pode suportar durante uma operação contínua de trabalho. Essa temperatura é determinada em °C pelo método ASTM D-648, por um equipamento automático ilustrado na Figura 11, que fornece calor, pressão e medida da deformação. Na realização do ensaio, o corpo de prova de 3,17 x 140 mm, é colocado sobre um suporte e uma pressão de 455 a 1820 kPa é aplicada sobre a amostra de material. A temperatura é aumentada progressivamente de 2 °C por minuto, assim a temperatura em que a amostra apresentar uma deflexão de 0,25 mm é considerada a temperatura de deflexão (LOKENSGARD, 2013; MANRICH, 2013).

Figura 11- Equipamento para Teste de Deflexão Térmica.



Fonte: Lokensgard (2013, p. 104).

Esse é um parâmetro importante, porque permite avaliar a adequação, ou não, do material para determinado produto. Essa técnica é conhecida pela sigla HDT (*heat distortion temperature*) e quanto maior for, mais o material resiste à deformação pelo calor. Em materiais termorrígidos não ocorre distorção por aquecimento, à medida que a temperatura sobe ocorre a degradação do material termoplástico (MANO, 1991). A Tabela 13 mostra valores de deflexão para os materiais termoplásticos utilizados nesse trabalho.

Tabela 13- Temperatura de Deflexão Térmica.

Materiais	°C
ABS	93
PC	138
PVC	77
POM	169
PEAD	78
PEBD	50
PA	210
PBT	154
PET	115
PP	98

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 27).

2.4.5 Temperatura Máxima de Serviço Contínuo

Segundo Wiebeck e Harada (2005, p. 287): “*temperatura de uso contínuo*: refere-se à temperatura do ar na qual um material retém 50% das suas propriedades após 10 000 horas de exposição contínua”.

Em outras palavras é a temperatura máxima que o material pode ser usado em aplicações intermitentes. O índice térmico de um material é uma indicação da capacidade do material de reter uma propriedade física particular, após exposição a temperaturas elevadas ou em períodos de tempo prolongados. O valor do índice térmico pode ser considerado como a máxima temperatura no qual o material vai reter propriedades suficientes (normalmente 50% do valor inicial) para a aplicação pretendida ao longo de um tempo de vida útil razoável. A Tabela 14 mostra valores dos termoplásticos usados nesse trabalho.

Tabela 14- Temperatura de Uso Contínuo.

Materiais	°C
ABS	71
PC	115
PVC	60
POM	85
PEAD	65
PEBD	48
PA	110
PBT	118
PET	110
PP	82

Fonte: Adaptado de Wiebeck e Harada (2005, p. 286).

2.5 Propriedades Elétricas

Os materiais termoplásticos são maus condutores de calor e maus condutores de eletricidade. Isso se deve porque as ligações covalentes predominantes nos termoplásticos limitam sua condução de eletricidade, por isso a maioria deles são isolantes elétricos. A maioria das propriedades elétricas nos termoplásticos é em função da temperatura, isso é importante em

sistemas eletrônicos que precisam operar em temperaturas elevadas. As principais características elétricas dos termoplásticos são: rigidez dielétrica, constante dielétrica, resistividade, resistência ao arco, fator de potência (LOKENS GARD, 2013; MANO, 1991).

2.5.1 Rigidez Dielétrica

A rigidez dielétrica é uma propriedade que mostra a capacidade do material termoplástico de ser um isolante elétrico. Ela mede a tensão elétrica máxima que o material pode suportar antes que ocorra perda das propriedades isolantes. O método que determina esse ensaio é o ASTM D-149 e seus valores são medidos na unidade de volt por milímetro de espessura (V/mm) (MANO, 1991; LOKENS GARD, 2013). A Tabela 15 mostra os resultados para os materiais termoplásticos abordados no trabalho.

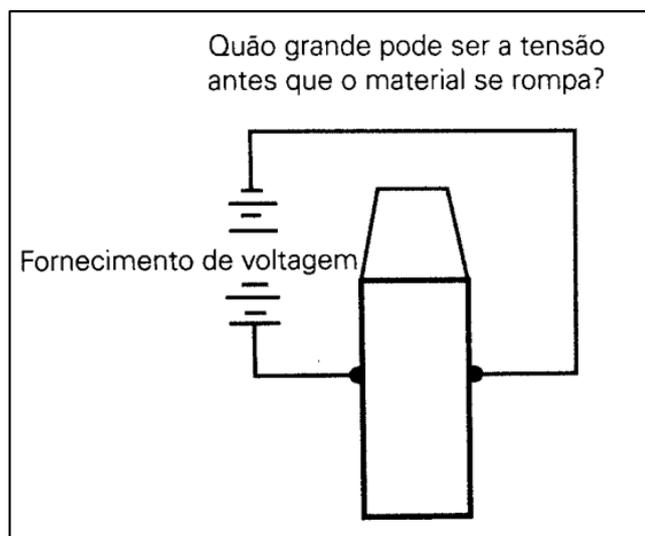
Tabela 15- Rigidez Dielétrica.

Materiais	V/mm
ABS	450
PC	380
PVC	544
POM	500
PEAD	500
PEBD	520
PA	600
PBT	400
PET	400
PP	550

Fonte: Adaptado de Mano (1991, p. 28).

A falha do material durante o ensaio, é percebida pela excessiva passagem de corrente elétrica, seguido de ruptura parcial da mesma Figura 12. É uma propriedade importante pois quando um termoplástico com baixa resultado é aplicado em aparelhos eletrônicos, pode indicar a ocorrência de falhas no produto, como: interferência em transmissões de rádio e televisão, e descargas elétricas indesejáveis.

Figura 12- Teste de Resistência Dielétrica.



Fonte: Adaptado de Lokensgard (2013, p. 115).

2.6 Desenvolvimento de Produtos e a Seleção de Materiais Termoplásticos

O desenvolvimento de produtos é o processo pelo qual se definem as especificações de um produto conforme os desejos e as necessidades demandadas pelo mercado. Estes requisitos são, então, transformados em características para o produto e especificações para o processo que deve ser capaz de reproduzir tais características (OLIVEIRA et al., 2003).

Para Lokensgard (2013), a motivação para o projeto de um produto termoplástico surge da necessidade de reduzir custo ou peso, com a substituição de outros materiais por material polimérico, ou também, de um novo componente com geometria complexa para utilização em sistemas diversos. Os plásticos têm combinações de propriedades que nenhum outro material possui, isto é, resistência, leveza, flexibilidade e transparência, agora, são escolhidos como materiais principais ao invés de substitutos.

Quanto às especificações para o projeto do produto, em geral, são consideradas características elétricas, mecânicas, químicas, aparência, tolerância dimensional, além do custo, sendo um dos principais fatores na seleção de material. A diversidade de materiais e aplicações dos produtos poliméricos demanda maior experiência no processo de projetar produtos, podendo levar ao fracasso por falta de conhecimento suficiente sobre as propriedades desses materiais (LOKENSFARD, 2013).

De acordo com Daré (2001), o projeto de peças de plástico é conduzido com base em experiências em projetos anteriores similares, em que não há utilização de técnicas e

metodologias. “O projetista apoia-se mais em recomendações de projeto obtidas com a experiência, ditadas por fornecedores de matérias primas ou colecionadas em manuais” (DARÉ, 2001, p. 25).

No entanto, essas recomendações e informações encontradas sobre os materiais poliméricos apresentam-se de forma genérica, e não atendem as situações particulares de cada projeto.

Para atender às exigências do cliente e do mercado, devem ser selecionados os materiais com as propriedades corretas que satisfaçam os requisitos que o produto deve apresentar, além de atender às condições de processo e de economia (LOKENS GARD, 2013).

Os materiais plásticos devem ser escolhidos com cuidado, mantendo-se o uso do produto final em mente. [...] A escolha do material final para um produto é baseada no mais favorável balanço de projeto, fabricação e custo total ou preço de venda do item acabado (LOKENS GARD, 2013, p. 387).

Dessa forma, o suporte para a seleção de materiais poliméricos é realizado com base em diretrizes que orientam a seleção do material de acordo com os requisitos funcionais necessários ao produto, considerando o custo como um dos critérios de seleção.

3 MÉTODO PROPOSTO PARA SELEÇÃO DO MATERIAL

3.1 Seleção das Propriedades

Conforme visto no Capítulo 2, conhecemos diversas propriedades relacionadas aos termoplásticos, como físicas, mecânicas, térmicas e elétricas. Os termoplásticos também podem ser avaliados em outras propriedades como químicas, óticas, entre outras, porém para este trabalho são considerados apenas as mais comuns, relacionada à aplicação do produto proposto no estudo de caso.

As propriedades físicas compreendem:

- Densidade;
- Absorção de água;
- Contração na moldagem.

Propriedades mecânicas, que incluem a maioria delas:

- Resistência à tração;
- Módulo de elasticidade;
- Tensão de alongamento;
- Resistência à flexão;
- Resistência à compressão;
- Coeficiente de fricção;
- Dureza.

Propriedades térmicas, que incluem:

- Calor específico;
- Condutividade térmica;
- Expansão térmica;
- Temperatura de deflexão térmica;
- Temperatura máxima de serviço contínuo.

Propriedades elétricas, incluindo:

- Rigidez dielétrica;
- Resistividade;
- Constante dielétrica.

Para este trabalho também foi considerado o custo em reais (R\$) de cada material analisado no trabalho. Esse valor analisado não se trata necessariamente de uma propriedade intrínseca dos termoplásticos, mas foi julgado como importante a se considerar, uma vez que um dos objetivos ao selecionar um material termoplástico é reduzir o custo de fabricação do produto.

De acordo com Plástico Moderno (2015), os valores por quilograma de material termoplástico praticados no mercado nacional são expostos na Tabela 16. Para a construção e adaptação da tabela foram considerados apenas os termoplásticos usados nesse trabalho.

Tabela 16- Valores dos Termoplásticos.

Materiais	R\$
ABS	7,06
PC	18,00
PVC	7,00
POM	6,72
PEAD	5,79
PEBD	6,11
PA	16,95
PBT	13,00
PET	10,09
PP	5,67

Fonte: Adaptado de PLASTICO MODERNO, 2015.

Cada propriedade em particular está relacionada a uma função que pode ser proporcionada ao termoplástico, e conseqüentemente ao produto final. Essa relação é o que possibilita o processo inicial de seleção de um termoplástico para um determinado produto.

Com base nesse entendimento foi possível fazer uma correlação entre a propriedade do termoplástico com a função ou característica que ela proporciona, conforme Tabela 17. Para o trabalho em questão, são abordadas as propriedades mais importantes, tendo em vista um panorama geral de produtos e peças termoplásticos.

Uma linha relacionada ao custo foi adicionada à tabela, onde, se a função é reduzir o custo do produto, a propriedade que regula essa função, é o preço do quilograma (R\$/Kg) de material que será utilizado.

Tabela 17- Propriedades dos Termoplásticos x Função Desejada.

Propriedades	Funções
Densidade	Leveza
Absorção de água	Estabilidade dimensional
Contração	Estabilidade dimensional
Resistência a tração	Resistir à estiramentos
Módulo de elasticidade	Suportar montagem
Tensão de alongamento	Suportar cargas, ser flexível, minimizar ruídos
Resistência a flexão	Facilitar montagem, ser flexível
Resistência a compressão	Suportar cargas
Coefficiente de fricção	Ser liso, deslizante
Resistência ao impacto	Suportar choques mecânicos, vibrações
Dureza	Resistir à riscos
Condutividade térmica	Isolamento térmico
Expansão térmica	Estabilidade dimensional
Temperatura (HDT)	Suportar temperatura, soldagem e metalização
Temperatura máxima de serviço	Suportar temperatura, manutenção
Rigidez dielétrica	Ser isolante elétrico
Valor R\$ / Kg	Ser barato, baixo custo

Fonte: O autor.

3.2 Seleção dos Materiais Termoplásticos

De acordo com Mano (1991, p. 64), “do ponto de vista de aplicação, os plásticos podem ser distribuídos em dois grandes grupos: *plásticos de uso geral* e *plásticos de engenharia*”, conforme Figura 13.

Figura 13- Classificação dos Termoplásticos Quanto à sua Aplicação.

Aplicação	Grupo	Principais plásticos	Sigla
Geral	Termoplástico	Poliétileno Polipropileno Poliestireno Poliestireno de alto impacto Copolí(estireno-acrilonitrila) Copolí(acrilonitrila-butadieno-estireno) Copolí(etileno-acetato de vinila) Poli(cloreto de vinila) Poli(acetato de vinila) Poli(acrilonitrila) Poli(cloreto de vinilideno) Poli(metacrilato de metila)	PE PP PS HIPS SAN ABS EVA PVC PVAC PAN PVDC PMMA
	Termorrígido	Resina epoxídica Resina de fenol-formaldeído Resina de uréia-formaldeído Resina de melamina-formaldeído Poliuretanos*	ER PR UR MR PU
Engenharia	Uso geral	Poliétileno de altíssimo peso molecular Poli(óxido de metileno) Poli(tereftalato de etileno) Poli(tereftalato de butileno) Policarbonato Poliâmidas alifáticas Poli(óxido de fenileno) Poli(flúoreto de vinilideno)	UHMWPE POM PET PBT PC PA PPO PVDF
	Uso especial	Poli(tetraflúor-etileno) Poliarilatos Poliésteres líquido-cristalinos Poliâmidas aromáticas Poli-imidas Poli(amida-imida) Poli(éter-imida) Poli(éter-cetona) Poli(éter-éter-cetona) Poli(éter-sulfona) Poli(aril-sulfona) Poli(sulfeto de fenileno)	PTFE PAR LCP PA PI PAI PEI PEK PEEK PES PAS PPS

Fonte: Mano (1991, p. 65).

Os termoplásticos podem ser classificados de várias outras maneiras, por exemplo, quanto ao grau de cristalinidade, método de obtenção ou com relação ao seu custo para a indústria de transformação.

Os termoplásticos de uso geral, também conhecidos como *commodities*, são os termoplásticos de baixo custo e elevado consumo (termoplásticos comerciais), já os

termoplásticos de engenharia têm elevado custo e baixo consumo, são materiais mais especializados.

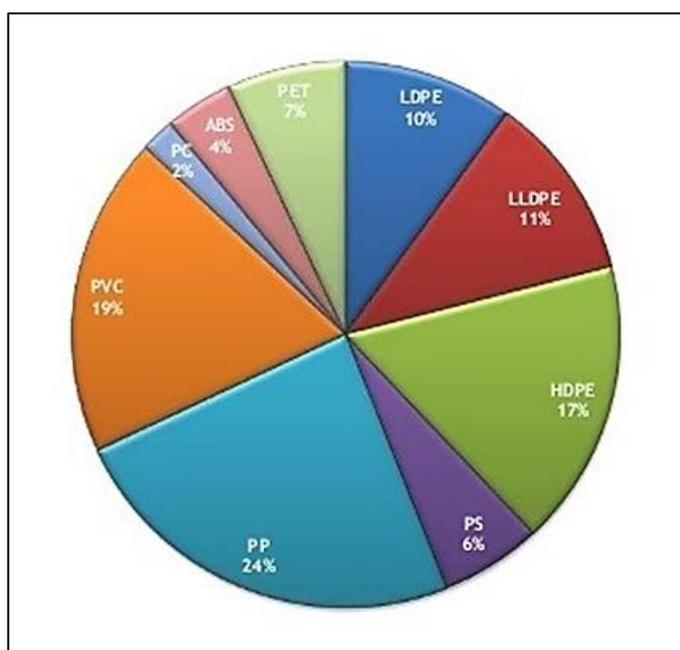
Para este trabalho, dentro dessas classificações, serão utilizados cinco termoplásticos de uso geral, sendo eles: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), policloreto de vinila (PVC), acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e polipropileno (PP). E outros cinco materiais termoplásticos de engenharia, sendo: poliamida (PA), policarbonato (PC), polióxido de metileno (POM), polibutileno tereftalato (PBT) e polietileno tereftalato (PET).

A seleção desses materiais se deve a grande utilização deles nas indústrias de transformação e em variados segmentos de produtos como: agrícola, automobilística *fitness* e utensílios em geral.

3.3 Pontuação dos Termoplásticos de Acordo com as Propriedades

Existem variados tipos de termoplásticos, porém para este trabalho serão considerados apenas dez termoplásticos, sendo alguns deles, conforme Figura 14, os mais consumidos mundialmente pelas empresas de transformação segundo dados da *Plastics Europe Market Research Group* (PEMRG).

Figura 14- Consumo Mundial de Termoplásticos



Fonte: Adaptado de PEMRG, 2015.

Os termoplásticos selecionados e citados anteriormente foram avaliados em suas principais propriedades conforme Tabela 18, onde cada um tem um valor específico para cada propriedade e que pode ser confrontado com os demais termoplásticos, para verificar qual deles apresenta melhor desempenho. Assim, por exemplo, se comparar a propriedade de resistência à compressão dos materiais termoplásticos pela tabela, pode-se verificar que o material com melhor desempenho nessa propriedade, é a poliamida (PA) com valor de 13.500 psi, enquanto que o termoplástico com valor mais baixo é o polietileno de baixa densidade (PEBD) com 1.700 psi.

É importante ressaltar que na Tabela 18 há uma coluna com o custo de cada material, por essa ser uma consideração quando se está selecionando um material para um determinado produto. Os materiais são verificados quanto ao atendimento das necessidades do produto e quanto ao valor que será gasto com ele para a produção das peças, portanto, quanto mais barato o material mais econômico será a produção da peça.

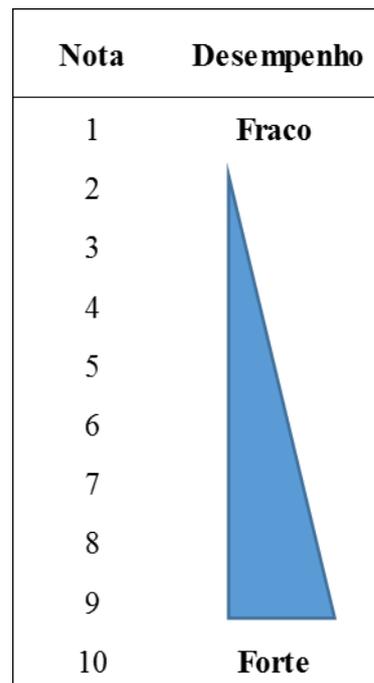
Tabela 18- Propriedades dos Termoplásticos.

Propriedades	Gravidade Específica	Absorção de água	Contração	Coefficiente de Fricção	Resistência à Tração	Módulo de Elasticidade	Elongamento à Tensão	Resistência à Flexão	Módulo de Flexão	Resistência à compressão	Dureza Rockwell	Resistência ao Impacto Izod	Coefficiente de expansão térmica Linear	Temperatura de Deflexão Térmica	Temperatura máxima de serviço contínuo no ar	Rigidez Dielétrica	Custo do Material
MATERIAIS	g/cm ³	%	%	Adimensional	psi	psi	%	psi	psi	psi	Adimensional	ft ³ lbs/in	in/in ³ F x 10 ⁻⁵	°F	°F	V/mil	R\$ / Kg
ABS	1.04	0.30	0,8	0.35	4,100	310,000	32	9,100	304,000	2,900	R102	7.7	5.6	200	160	450	R\$ 7,06
PC	1.20	0.15	0,7	0.38	9,500	345,000	135	13,500	345,000	12,500	R118	14.0	3.8	280	240	380	R\$ 18,00
PVC	1.42	0.06	1	0.27	7,500	411,000	350	12,800	481,000	1,950	R115	1.0	3.2	171	140	544	R\$ 7,00
POM	1.42	0.25	2	0.2	10,000	380,000	75	14,300	420,000	4,500	R120	1.5	6.8	336	185	500	R\$ 6,72
PEAD	0.96	0.10	2,8	0.28	4,000	280,000	600	8,000	200,000	2,100	R81	1.1	7.0	172	150	500	R\$ 5,79
PEBD	0.92	0.10	1,5	0.26	1,400	245,000	500	7,800	30,000	1,700	R70	no break	6.0	122	120	520	R\$ 6,11
PA	1.16	1.2	1,3	0.22	11,700	400,000	25	16,000	450,000	13,500	R125	0.8	5.0	410	230	600	R\$ 16,95
PBT	1.30	0.08	1,2	0.25	8,700	425,000	90	12,000	330,000	3,500	R120	1.5	4.64	310	245	400	R\$ 13,00
PET	1.38	0.10	1,4	0.25	11,500	470,000	70	15,000	400,000	3,700	R117	0.7	3.9	240	230	400	R\$ 10,09
PP	0.91	0.01	1,7	0.26	5,400	240,000	400	7,250	225,000	5,750	R92	1.2	4.3	210	180	550	R\$ 5,67

Fonte: O autor.

Com base na Tabela 18 e comparando as propriedades dos materiais é possível pontuar qual deles apresenta melhor desempenho em determinada propriedade. A pontuação é feita com notas de 1 a 10 pontos conforme Figura 15, sendo que a nota máxima de 10 pontos, será designada para o termoplástico que apresentar forte desempenho, ou seja, o maior valor numérico e 1 ponto para o que apresentar fraco desempenho em dada propriedade.

Figura 15- Valores de Pontuação Conforme Desempenho.



Fonte: O autor.

Utilizando o exemplo anterior de propriedade de resistência a compressão, a poliamida (PA) recebe 10 pontos pela sua excelente performance nesta propriedade, enquanto que o polietileno de baixa densidade (PEBD) recebe 1 ponto por apresentar valor menor, assim sendo classificado como de ruim ou fraca performance nessa propriedade.

Todos os outros termoplásticos utilizados para comparação nesse trabalho serão avaliados de acordo com seu índice numérico e receberam uma nota de 1 a 10 pontos.

Após avaliação de todos os materiais foi obtido a Tabela 19 com a pontuação de cada termoplástico e para cada uma das propriedades dele.

Tabela 19- Pontuação dos Materiais.

Propriedades	ABS	PC	PVC	POM	PEAD	PEBD	PA	PBT	PET	PP
Contração	9	10	8	2	1	4	6	7	5	3
Absorção de umidade	2	4	9	3	6	6	1	8	6	10
Resistência a tração	3	7	5	8	2	1	10	6	9	4
Resistência ao impacto	8	9	3	6	4	10	2	7	1	5
Módulo de flexão	4	6	10	8	2	1	9	5	7	3
Resistência a flexão	4	7	6	8	3	2	10	5	9	1
Alongamento na ruptura	2	6	7	4	10	9	1	5	3	8
Resistência a compressão	4	8	2	7	3	1	10	5	6	9
Dureza superficial	4	7	5	9	2	1	10	8	6	3
HDT	4	7	2	9	3	1	10	8	6	5
Coefficiente de atrito	2	1	4	10	3	6	9	8	7	5
Densidade	7	5	2	1	8	9	6	4	3	10
Valor R\$/Kg	5	1	6	7	9	8	2	4	3	10
Temperatura de uso contínuo	4	9	2	6	3	1	7	10	8	5
Rigidez dielétrica	4	1	8	5	6	7	10	2	3	9

Fonte: O autor.

É importante ressaltar que o critério utilizado para pontuação das propriedades em dado material é válido somente para fins de comparação, nunca para desqualificar a propriedade ou mesmo o material em si, visto que todos eles têm um valor comercial e aplicações distintas dentro da fabricação de peças termoplásticas.

Os termoplásticos de engenharia: PA, PET, PBT, PC e POM apresentam custo maior em relação aos termoplásticos de uso comum PEAD, PEBD, PVC, PP e ABS, porém os de engenharia apresentam desempenho melhor em várias propriedades.

3.4 Construção da Planilha para Seleção do Melhor Material (Excel)

Com todas as informações levantadas e organizadas, é possível montar uma planilha capaz de relacionar a função que se deseja para o produto com a propriedade necessária para atender essa função. A aplicação da planilha será feita pelo profissional da área, que conhecendo o ambiente e condições em que a peça será utilizada, levará em conta quais são funções necessárias para o produto que estiver analisando.

O profissional que estiver analisando os requisitos necessários para a peça, poderá selecionar mais de uma função necessária, podendo definir qual a porcentagem (%) de importância a função tem para o produto. A soma final das importâncias sempre será de 100%, completando um conjunto de requisitos e funções necessárias para o produto avaliado. Com esses dados implementados na planilha é possível obter um modelo prático, econômico e objetivo, na seleção de termoplástico.

A planilha que será preenchida pelo profissional conforme Figura 16, traz uma coluna (A) com a relação de várias funções disponíveis, que ele fará a análise e selecionará as mais importantes para seu produto de acordo com sua avaliação. A coluna B, traz os campos para preenchimento do grau de importância que a função tem para seu produto, lembrando que poderá selecionar mais de uma função, e que a soma das importâncias terá que ser de 100%.

Figura 16- Planilha de Entrada de Dados.

	A	B
	Função desejada para o produto	Importância (%)
1		
2	Estabilidade Dimensional	
3	Resistir estiramento	
4	Resistir choques e vibrações	
5	Suportar montagem	
6	Suportar cargas	
7	Resistir a riscos	
8	Facilitar soldagem e metalização	
9	Peça lisa, deslizantes	
10	Leveza	
11	Reduzir custo	
12	Resistir temperatura alta	
13	Isolante elétrico	
14	Soma das importâncias	0

Fonte: O autor.

Preenchido os valores de porcentagem de importância na coluna B, a planilha automaticamente retornará na coluna D, o primeiro material selecionado e mostrará também uma segunda opção de material, conforme exemplo da Figura 17.

Figura 17- Planilha Resultado da Seleção.

	A	B	C	D
1	Função desejada para o produto	Importância (%)		1° Material Escolhido
2	Estabilidade Dimensional			PP
3	Resistir estiramento			
4	Resistir choques e vibrações			
5	Suportar montagem	20		2° Material Escolhido
6	Suportar cargas	30		
7	Resistir a riscos			POM
8	Facilitar soldagem e metalização			
9	Peça lisa, deslizantes			
10	Leveza			
11	Reduzir custo	50		
12	Resistir temperatura alta			
13	Isolante elétrico			
14	Soma das importâncias	100		

Fonte: O autor.

O cálculo realizado na planilha para que retorne os materiais indicados se desenvolve da seguinte forma:

- 1- As porcentagens de importância indicadas na coluna B são multiplicadas pelas notas da Tabela 18. A fórmula que calcula o resultado para cada termoplástico na Tabela 18 é a seguinte:

$$=SOMA(C2*D2)+(C3*D3)+(C4*D4)+(C5*D5)+(C6*D6)+(C7*D7)+(C8*D8)+(C9*D9)+(C10*D10)+(C11*D11)+(C12*D12)+(C13*D13)+(C14*D14)+(C15*D15)+(C16*D16).$$

- 2- Dentre os resultados obtidos para cada termoplástico com a fórmula anterior, são selecionados os dois com maior resultado. As fórmulas que buscam os termoplásticos com maiores resultados são respectivamente:

=MAIOR(D18:M18;1)

=MAIOR(D18:M18;2)

- 3- Encontrado os dois termoplásticos com maiores resultados, as fórmulas que buscam e retornam os nomes dos selecionados em primeiro e segundo lugar são respectivamente:

=PROCV(D20;'Matriz-tabela PROCV'!A1:B10;2;FALSO)

=PROCV(H20;'Matriz-tabela PROCV'!A1:B10;2;FALSO)

Todas as fórmulas são processadas em uma segunda planilha conforme Figura 18, diferente da planilha onde se entra com os dados. Essa planilha foi protegida para que não ocorra alteração dos dados mestre, isto é, as notas dadas para cada material termoplástico em cada propriedade.

Figura 18- Planilha de Processamento dos Dados de Entrada.

Função desejada para o produto	Propriedade relacionada com a função desejada	Importância (%)	ABS	PC	PVC	POM	PEAD	PEBD	PA	PBT	PET	PP
Estabilidade Dimensional	Baixa- Contração	0	9	10	8	2	1	4	6	7	5	3
	Baixa- Absorção de umidade	0	2	4	9	3	6	6	1	8	6	10
Resistir estiramento	Alta- Resistência a tração	0	3	7	5	8	2	1	10	6	9	4
Resistir choques e vibrações	Alta- Resistência ao impacto	0	8	9	3	6	4	10	2	7	1	5
Suportar montagem	Alto- Módulo de flexão	20	4	6	10	8	2	1	9	5	7	3
	Alta- Resistência a flexão	10	4	7	6	8	3	2	10	5	9	1
Suportar cargas	Alto- Alongamento na ruptura	10	2	6	7	4	10	9	1	5	3	8
	Alta- Resistência a compressão	10	4	8	2	7	3	1	10	5	6	9
Resistir a riscos	Alta- Dureza superficial	0	4	7	5	9	2	1	10	8	6	3
Facilitar soldagem e metalização	Alto- HDT	0	4	7	2	9	3	1	10	8	6	5
Peça lisa, deslizantes	Baixo- Coeficiente de atrito	0	2	1	4	10	3	6	9	8	7	5
Leveza	Baixa- Densidade	0	7	5	2	1	8	9	6	4	3	10
Reduzir custo	Baixo- Valor R\$/Kg	50	5	1	6	7	9	8	2	4	3	10
Resistir temperatura alta	Alta- Temperatura de uso contínuo	0	4	9	2	6	3	1	7	10	8	5
Isolante elétrico	Alta- Rigidez dielétrica	0	4	1	8	5	6	7	10	2	3	9
Resultados			430	380	650	700	650	540	490	450	470	740
Maior valor			740	2° Maior valor		700						
1° Plástico escolhido			PP	2° Plástico escolhido		POM						

Fonte: O autor.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A Empresa

Para o estudo de caso foram utilizadas peças técnicas de equipamentos de uma indústria da região. A indústria possui mais de 30 anos de mercado, conhecida como fabricante de equipamentos agrícolas e jardinagem. Os equipamentos visam atender a integração do homem com o campo, apresentando inovações no *design* e funcionalidade para os mais diversos trabalhos. A empresa oferece ainda uma linha completa de produtos e serviços que atendem necessidades de outros segmentos como: doméstico, agrícola, jardinagem, hortícola, parques e bosques, florestal, comercial, saúde pública e limpeza urbana.

Outro segmento atendido pela empresa é o de equipamentos de ginástica, onde hoje possui posição de destaque e marca consolidada no mercado, concorrendo até mesmo com equipamentos de marcas internacionais.

4.2 Peças do Estudo de Caso

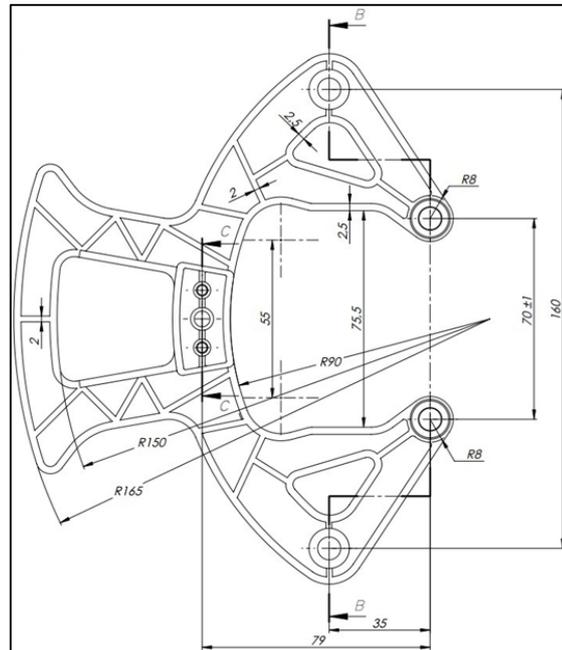
As peças disponibilizadas para o estudo são componentes que fazem parte da montagem de um produto/equipamento final.

As funções desejadas para o produto, foram relatadas pelo profissional da área, que fez uma breve descrição do ambiente e situação de trabalho que as peças seriam expostas. Com base nesse relato foram verificadas as necessidades das peças, bem como o grau de importância dessas necessidades, para posterior alimentação de dados na planilha de seleção de material.

4.2.1 Peça 1- *Suporte das Hastes (peça em produção)*

A primeira peça analisada é uma peça já em produção, e faz parte de um equipamento agrícola. A Figura 19 mostra o desenho técnico da peça, ponto de partida para entender seu funcionamento e suas necessidades no ambiente de trabalho.

Figura 19- Desenho Técnico- Suporte das Hastes



Fonte: A empresa.

Essa peça já é um produto desenvolvido e em produção, fabricado em uma máquina injetora Pavan Zanetti de 168 toneladas e o material termoplástico utilizado para produção é o POM (polióxido de metileno).

No manual de utilização do equipamento, é descrito seu princípio de funcionamento e uma característica relatada é a existência de vibrações durante o funcionamento do equipamento. Assim uma das funções dessa peça é resistir a vibrações, dado que será analisado e definido o grau de importância em porcentagem. Com base nos relatos do profissional da área de aplicação outra função que o produto deve ter é a capacidade de suportar montagens. Para concluir a análise do estudo de caso será considerado uma porcentagem de importância para o custo da peça, uma vez que esse é um dos objetivos quando se produz produtos em termoplásticos.

Em entrevista com o profissional de aplicação, concluiu-se o levantamento das necessidades para a peça e foi definido o grau de importância para cada uma delas. Com base nos dados levantados definiu-se os seguintes valores de importância para as necessidades da peça:

- Resistir a vibrações- 50%
- Suportar montagem- 35%
- Reduzir custos- 15%

Após inserir os valores de importância definidos na planilha mestre, obtém-se o resultado conforme Figura 20, dos materiais termoplásticos selecionados para a peça.

Figura 20- Analise Peça 1

Função desejada para o produto	Importância (%)	1° Material Escolhido
Estabilidade Dimensional		POM
Resistir estiramento		
Resistir choques e vibrações	50	2° Material Escolhido PC
Suportar montagem	35	
Suportar cargas		
Resistir a riscos		
Facilitar soldagem e metalização		
Peça lisa, deslizantes		
Leveza		
Reduzir custo	15	
Resistir temperatura alta		
Isolante elétrico		
Soma das importâncias	100	

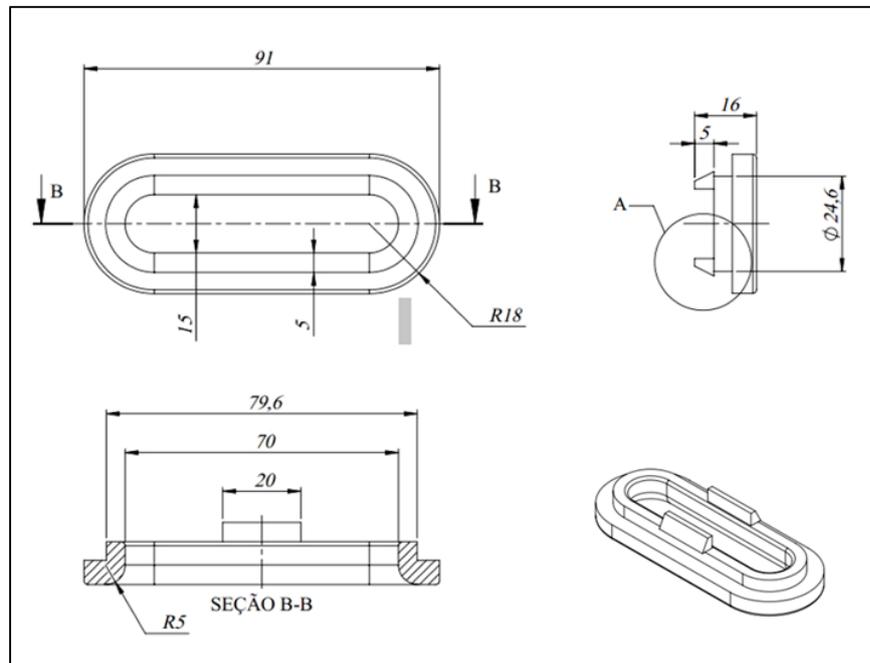
Fonte: O autor.

A primeira opção de material selecionado, foi o Poliacetal (POM) e em segunda opção ficou o Policarbonato (PC). Lembrando que essa é uma peça já desenvolvida que está em produção e a planilha retornou o mesmo material utilizado atualmente.

4.2.2 Peça 2- Tampão de Encaixe (produto novo)

A peça utilizada para esse estudo de caso é um produto novo e em fase de desenvolvimento, para o qual está sendo decidido o material termoplástico que será utilizado para produção da peça. O desenho de produto conforme Figura 21, mostra os detalhes da peça para início de análise dos requisitos e funções desejadas para esse produto.

Figura 21- Desenho Técnico- Tampão do Encaixe

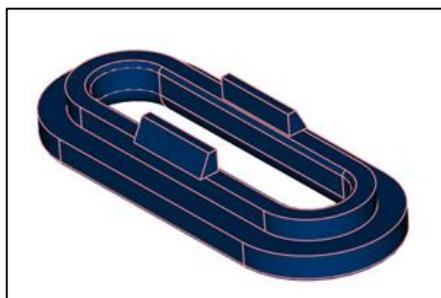


Fonte: A empresa.

Os dados levantados pelo profissional de aplicação são orientativos, devido o produto se tratar de um modelo conceitual conforme representação da Figura 22. Ele descreve a peça como uma tampa que deverá suportar uma montagem prévia. No momento da montagem essa tampa receberá uma compressão para que os *snaps* encaixem na contra peça, conforme detalhe A do desenho técnico Figura 21.

Com esses dados é possível analisar que o produto precisa ter como função uma boa estabilidade dimensional para permitir uma perfeita montagem. Para essa análise será considerado também uma importância para o custo da peça.

Figura 22- Modelo Conceitual



Fonte: A empresa.

Com base na descrição dos requisitos e funções necessárias a peça, definiu-se as seguintes porcentagens de importância:

- Estabilidade Dimensional- 30%
- Suportar Cargas- 30%
- Reduzir Custos- 30%
- Suportar Montagem- 10%

Inserindo os valores de importância definidos na planilha mestre, obtém-se o resultado conforme Figura 23, dos melhores termoplásticos para a peça.

Figura 23- Análise Peça 2

Função desejada para o produto	Importância (%)	1° Material Escolhido
Estabilidade Dimensional	30	PP
Resistir estiramento		
Resistir choques e vibrações		2° Material Escolhido
Suportar montagem	10	
Suportar cargas	30	PVC
Resistir a riscos		
Facilitar soldagem e metalização		
Peça lisa, deslizantes		
Leveza		
Reduzir custo	30	
Resistir temperatura alta		
Isolante elétrico		
Soma das importâncias	100	

Fonte: O autor.

O primeiro material eleito é o Polipropileno (PP), e o segundo material é o Policloreto de Vinila (PVC). Por se tratar de uma peça em desenvolvimento, o material ainda não está definido. O profissional de aplicação do produto, relatou que estavam a decidir pelo material Poliamida (PA), material que apresenta um custo mais alto em comparação com os materiais indicados pela planilha.

5 RESULTADOS

Os estudos de casos tratados tiveram a finalidade de demonstrar a consistência da metodologia de seleção e demonstrar a utilização da planilha criada.

No primeiro estudo de caso a aplicação da planilha foi feita com um produto já em produção e com material definido, e teve a finalidade de comparar o resultado teórico obtido pela planilha de seleção e o material real utilizado na fabricação do produto. O resultado obtido para essa análise foi positivo, uma vez que o material apontado pela planilha foi o mesmo utilizado na peça real de produção.

No segundo estudo de caso, utilizou-se uma peça nova, ou seja, uma peça que ainda não existe em produção. Portanto trata-se de um modelo conceitual. A ideia dessa análise é mostrar que a planilha, sendo eficaz em resultados de peças já existentes, possa ser utilizada para uma primeira orientação na seleção de materiais termoplásticos para produtos novos.

No modelo conceitual analisado, a planilha retornou o resultado da seleção do material Polipropileno (PP). Conforme informado anteriormente o material que estava a ser decidido para o produto é a Poliamida (PA). Fazendo algumas análises simples de viabilidade entre o material PA e PP, tem-se alguns resultados positivos para o material selecionado pela planilha, conforme Tabela 20.

Tabela 20– Resultado de Viabilidade.

	Poliamida (PA)	Polipropileno (PP)
Massa da peça	19,72 g	15,47 g
Material gasto/peça (R\$)	0,33	0,08
Produção mensal (QTD 150)	R\$ 49,50	R\$ 12,00

Fonte: o autor.

Como pode ser visto na Tabela 20, o peso do produto terá uma redução de 21,5% e o valor gasto com material por peça terá uma economia de R\$ 0,25. Isso representa uma economia de mais de 75% caso o produto seja produzido com o termoplástico indicado pela planilha.

Os resultados de forma geral no trabalho foram positivos, porém para melhorar a comprovação do método, é necessário analisar mais estudos de casos e verificar a probabilidade de acertos da planilha em comparação com materiais de produtos em produção, garantindo assim maior fidelidade de resultados.

6 CONCLUSÕES

Em vista do mercado atual, a exigência por produtos mais competitivos e que atendam às necessidades de aplicação é grande, dessa forma o termoplástico tem se tornado um importante aliado das indústrias que buscam reduzir custo. No entanto, a seleção desses materiais pode apresentar suas dificuldades. O método proposto permite por meio de técnica simples, uma alternativa para pequenas empresas, profissionais de desenvolvimento de produto e áreas afins, selecionar o termoplástico mais adequado a ser aplicado ao produto.

O método para selecionar material termoplástico é fácil e objetivo, conforme demonstrado neste trabalho. Basta o profissional da área de aplicação conhecer o ambiente e solicitação que a peça necessita, levantar as funções mais relevantes e ponderar a importância de cada função, isto é, atribuir as porcentagens para essa variável do processo de seleção. Definido as funções e porcentagens a própria planilha se encarrega de correlacionar os valores com as propriedades e por fim retornando os dois materiais termoplásticos recomendados para a aplicação.

Como visto nos resultados do estudo de caso o método de seleção aqui apresentado tem potencial para um processo inicial de seleção do termoplástico. Esse método pode auxiliar de diversas formas dentro da empresa como: economia de tempo na definição do material, economia de recursos e aumentar a confiança do pessoal envolvido no processo de seleção do termoplástico mais adequado ao produto.

Outro caso onde a planilha pode ser utilizada é em projetos de agregação de valor, onde peças que possuem elevado peso, alta produtividade e alto custo final, devido ao uso de materiais como: aço, cerâmica, vidro e qualquer outro material que elevem o custo final do produto. Para esses casos pode-se aplicar a planilha e selecionar um material termoplástico de menor custo para substituir materiais que são mais onerosos.

O trabalho realizado apresentou vários desafios ao longo do desenvolvimento, principalmente no levantamento de dados bibliográfico, devido à escassez de literatura sobre o assunto e sobre termoplásticos de forma geral.

Porém como contribuição, o trabalho trouxe grande aprofundamento do assunto e mostrou à medida que foi se desenvolvendo, que as possibilidades são enormes dentro do campo da engenharia, mostrou que não basta ao Engenheiro de Produção entender o sistema em que atua e solucionar o problema de maneira limitada, como um engenheiro, ele deve criar coisas novas, que representem melhorias e que ajudem os sistemas a atingir suas metas.

Portanto, ele não deve contentar-se de forma técnica, mas assegurar que novos conceitos sejam implementados de forma a alcançar algo melhor que aquilo que existia antes.

6.1 Sugestões e Recomendações

Para estudos posteriores e futuros trabalhos, é válido algumas sugestões e recomendações como:

- Aumentar a quantidade de termoplásticos na planilha, estendendo as possibilidades de seleção, uma vez que foram tratados nesse trabalho apenas os dez termoplásticos mais utilizados;
- Aumentar o número de propriedades analisadas e assim aumentar as opções de funções que poder selecionada para o produto ou peça analisada;
- Estender a planilha com a análise de materiais de outros segmentos como: materiais metálicos, vítreos e cerâmicos.
- Agregar na planilha estudos de custo industrial e seleção do melhor processo de fabricação para produzir um produto em desenvolvimento.

Seguindo essas sugestões é possível obter uma ferramenta de seleção mais robusta, tornando-se bastante útil para empresas e profissionais do setor de desenvolvimento, para conduzir estudos iniciais na seleção de processos e materiais.

REFERÊNCIAS

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos Polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

DARÉ, Giovanni. **Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento integrado de componentes de plásticos injetados**. 2001. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80139>>. Acesso em: 25 set. 2015.

FELICETTI, F. M. Apostila: **Conceito das Propriedades dos Materiais Plásticos**. São Paulo: Senai, 1996.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LOKENS GARD, Erik. **Plásticos industriais**: teoria e aplicação. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1991.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos**: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. 2ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos**. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MATERIALS RESEARCH. São Carlos: Ufscar, v. 9, n. 3, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392006000300013&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 set. 2015.

MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; et al. **Tecnologia dos Plásticos**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 1995.

OLIVEIRA, Otavio J. et al. **Gestão da Qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2003. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=V1mWIIuO3x4C&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s>. Acesso em: 11 nov. 2015.

PLÁSTICO MODERNO. São Paulo: Qd Ltda, v. 480, 2015. Mensal.

PROSPECTOR (Org.). **Thermal Conductivity**. Disponível em: <http://www2.ulprospector.com/property_descriptions/ASTMC177.asp>. Acesso em: 06 nov. 2015.

PROSPECTOR (Org.). **Test standards explained**. Disponível em: <http://www2.ulprospector.com/property_descriptions/ISO527-1-2.asp>. Acesso em: 06 ago. 2015.

PROPRIEDADES mecânicas dos materiais. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/felipecrosa9/aula-6-propriedades-mecnicas>>. Acesso em: 05 set. 2015.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVA, Edna Lucia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Ufsc, 2005. 138 p. Disponível em: <https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicação**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.