

Compósitos de estireno e acrilonitrila (SAN) reforçados com pó de vidro: uma análise das propriedades mecânicas e reológicas

Styrene-acrylonitrile (SAN) composites reinforced with glass powder: an analysis of mechanical and rheological properties

- 1 Sérgio Roberto Montoro  
- 2 Fábio Lacerda da Silva 
- 3 Izabel de Oliveira Mota 
- 4 Alexandre Alvarenga Palmeira 
- 5 Cirlene Fourquet Bandeira 

-
- 1 Doutor em Engenharia Mecânica, UniFOA e FATEC Pindamonhangaba.
 - 2 Engenheiro Mecânico, UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
 - 3 Doutora em Engenharia Metalúrgica, UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
 - 4 Doutor em Engenharia de Materiais, UniFOA - UERJ/FAT/DME.
 - 5 Doutora em Engenharia Mecânica, UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

Resumo

Diante da modernização tecnológica e das responsabilidades socioambientais e de sustentabilidade, indústrias e grupos de pesquisas vêm buscando cada vez mais inovações no desenvolvimento de novos produtos, almejando a redução de custo e impactos ambientais. Diante disso, novos materiais obtidos a partir do reaproveitamento de rejeitos industriais vêm se destacando, aumentando o interesse, por exemplo, em desenvolver materiais compósitos reforçados com pó de vidro. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do teor de pó de vidro nas propriedades mecânicas e reológicas de compósitos de estireno e acrilonitrila (SAN). Foram realizadas as caracterizações mecânicas via ensaios de tração, dureza *Shore D* e impacto e caracterização reológica via índice de fluidez. Nos ensaios de resistência à tração, verificou-se que as adições de pó de vidro ao SAN provocaram uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao SAN puro. Analisando os dados de dureza *Shore D*, notou-se que o pó de vidro adicionado não acarretou alterações significativas nos valores apresentados, na comparação do SAN puro com os compósitos. Verificou-se também que a adição do pó de vidro ao SAN acarretou um aumento significativo na resistência ao impacto, quando comparado ao SAN puro. A partir das análises de índice de fluidez, a inserção de pó de vidro provocou uma redução aceitável na fluidez do SAN, sendo possível manter sua utilização. Foi possível concluir que os compósitos estudados neste trabalho podem ser considerados uma alternativa viável para aplicações diversas

Palavras-chave:

SAN. Compósitos. Propriedades Mecânicas. Índice de fluidez

Abstract

Given technological modernization and socio-environmental responsibilities and sustainability, industries and research groups are increasingly seeking innovations in the development of new products, aiming for cost reduction and environmental impact mitigation. In this context, new materials obtained from the reuse of industrial waste have been gaining prominence, increasing interest, for example, in the development of composites reinforced with glass powder. The objective of the study was to assess the influence of the glass powder content on the mechanical and rheological properties of styrene and acrylonitrile (SAN) composites. Mechanical characterizations were conducted through tensile tests, Shore D hardness, and impact tests, while rheological characterization was performed through melt flow index analysis. In the tensile strength tests, it was observed that the additions of glass powder to SAN caused a significant decrease in mechanical strength (maximum stress) compared to pure SAN. Analyzing Shore D hardness data, it was noted that the addition of glass powder did not lead to significant changes in the values presented when comparing pure SAN with the composites. It was also found that the addition of glass powder to SAN resulted in a significant increase in impact resistance compared to pure SAN. From the melt flow index analyses, the insertion of glass powder caused an acceptable reduction in the flowability of SAN, making its use feasible. It was possible to conclude that the composites studied in this work can be considered a viable alternative for various applications.

Keywords:

SAN. Composites. Mechanical Properties. Flow Index

1. INTRODUÇÃO

Fatores, como processo tecnológico, custos e questões ambientais, têm exigido melhorias em materiais poliméricos. Também por esses motivos, a atratividade por materiais compósitos vem aumentando. As misturas de plásticos com vidro podem proporcionar melhorias em propriedades mecânicas, físicas e químicas ou até mesmo redução de custo e melhoria em termos de processamento. Estudos revelam que, em compósitos com polímeros, cargas de vidro são adicionadas, devido às razões como: redução de custo, melhorar o processamento, controle de densidade, efeitos ópticos, retardamento de chama, modificações nas propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e propriedades mecânicas (SAKAHARA, 2012).

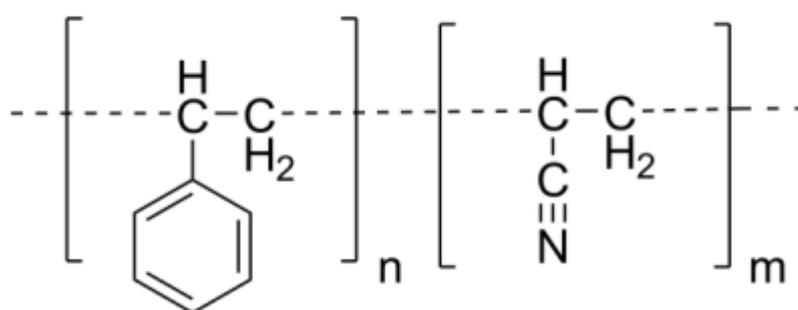
Segundo Marinucci (2011), materiais compósitos poliméricos têm se tornado uma classe de material que os tornam fortes candidatos para sua utilização em trabalhos que buscam flexibilidade, devido à sua característica em redução de peso, resistência química e resistência mecânica elevada.

O polímero SAN, copolímero formado por estireno e acrilonitrila, é amplamente aplicado em diversos segmentos industriais devido à sua excelente transparência, rigidez e resistência química. Também pode apresentar limitações, como baixa resistência ao impacto e à fluência térmica. Portanto, a incorporação de materiais de reforço pode ser uma estratégia eficaz para superar essas deficiências e ampliar ainda mais as aplicações do polímero SAN (SILVA et al., 2023).

Nos grupos de copolímeros de estireno encontram-se, juntamente com a ABS que é Acrilonitrila Butadieno Estireno e o ASA, Acrilonitrila Estireno Acrilato. Dentre esses é o mais resistente a impacto e é produzido por suspensão ou solução.

Tem sua cadeia composta de Estireno em cerca de 70% a 80% e Acrilonitrila 20% a 30% (Figura 1), sendo de grande utilização no mercado, devido à maior capacidade de resistência térmica.

Figura 1: Estrutura química do SAN.



Fonte: Silva, et al., 2023.

Devido às unidades de Acrilonitrila, o SAN possui uma temperatura de transição vítrea superior a 100°C, tornando-se resistente à água fervente. Pode ser usado para extrusão de laminados e chapas e tem resistência contra riscos e arranhões. Outras características importantes do SAN: dureza superficial alta; estabilidade dimensional considerada boa; elasticidade elevada; boa resistência ao choque térmico; elevada relação rigidez/impacto e nível médio da fluidez (SILVA et al., 2023).

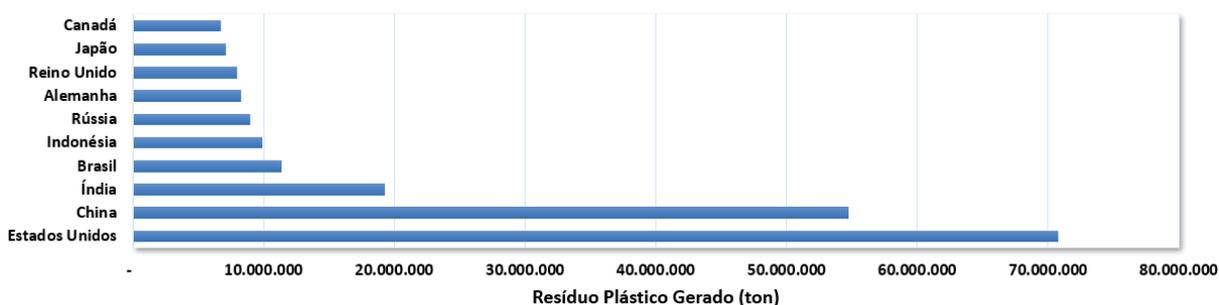
Compósitos à base de polímero com adição de carga mineral têm sido alvo de grande interesse, tanto nas indústrias quanto em pesquisas acadêmicas, devido à melhora significativa nas propriedades dos materiais, quando comparados com polímeros virgens (SILVA, 2013).

Diante da modernização tecnológica e responsabilidades socioambientais e de sustentabilidade, indústrias e grupos de pesquisas vêm buscando cada vez mais inovações no desenvolvimento de novos produtos, almejando redução de custo e impactos ambientais. Dessa forma, materiais a partir de rejeitos industriais vêm se destacando no mercado, aumentando o interesse, por exemplo, em desenvolver materiais compósitos reforçados com pó de vidro (ARAÚJO et al., 2023).

No cenário mundial, pode-se notar um maior índice de descarte, causado pela política consumista espelhada pelos países desenvolvidos, onde se têm como objetivo, aumentar a produção de forma a suprir as necessidades da população. Essa política consumista faz com que os produtos se tornem mais baratos, devido à diminuição da qualidade, que os fazem serem descartados rapidamente, aumentando a geração de resíduos sólidos.

Segundo dados da *World Wide Fund for Nature (WWF)*, o Brasil ocupava, em 2019, o quarto lugar de maior gerador de resíduos plásticos do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia, como descrito na Figura 2.

Figura 2: Geração de resíduos plásticos no mundo.



Fonte: Adaptado de WWF / Banco Mundial (*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*). 04 março de 2019.

O presente trabalho visou realizar o estudo da influência do teor de vidro nas propriedades mecânicas e reológicas de compósitos SAN (estireno e acrilonitrila).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Copolímero de estireno acrilonitrila (SAN)

Neste trabalho, foi utilizado o SAN (copolímero grafitizado de estireno-acrilonitrila) NF 2200, produzido pela empresa Innova e adquirido pelo UniFOA.

2.2. Pó de Vidro

O pó de vidro utilizado foi coletado diretamente da esteira de uma fábrica de vidros planos da região sul fluminense do Estado do Rio de Janeiro, sem ter passado por nenhum processo adicional de

moagem. Vale ressaltar que, para a composição dos compósitos nesta pesquisa, foi utilizado a fração da peneira 100 mesh, apresentando granulometria de 150 µm.

2.3. Processamento dos compósitos de SAN + pó de vidro

No trabalho, foram processados compósitos de matriz de SAN reforçados com pó de vidro, nas proporções de 10%, 15% e 20% (m/m).

A incorporação do pó de vidro no SAN, nas proporções mencionadas, foi realizada através de um homogeneizador termocinético marca Dryzer, modelo MH-50H, da empresa MH Equipamentos, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA.

Ao término dos processamentos das três famílias de compósitos, foram moídos em um moinho de facas da marca Plastimax, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA.

2.4. Ensaio de tração

Foram realizados os ensaios de tração no laboratório de processamento de materiais do UniFOA (Centro Universitário de Volta Redonda), em um equipamento da marca EMIC DL-10000, com a célula de carga de 5 kN, em uma temperatura ambiente e a uma velocidade de 5 mm.min⁻¹.

Para cada compósito em avaliação, foram realizados cinco ensaios com o corpo-de-prova, nos quais as dimensões estavam de acordo com a norma ASTM D638 – 03, em 13 mm de largura e 165 mm de comprimento, com 3 mm de espessura.

2.5. Ensaio de dureza Shore D

Os ensaios de dureza *Shore D* foram realizados em um Durômetro Digital portátil tipo *Shore D*, marca DIGIMESS, de capacidade de 0 a 100 *Shore D* (exatidão de ± 1 *Shore D*) e com resolução de 0,1 *Shore D*, instalado no Laboratório de Ensaio do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA). Para a medição de dureza, foi realizado o teste nas amostras fracionadas, a fim de se verificar a resistência de penetração de um corpo-de-prova duro. O durômetro *Shore D* é um instrumento de medição destinado a medir a dureza de materiais termoplásticos e borrachas duras, de acordo com a norma ASTM D2240.

2.6. Ensaio de impacto

Utilizando uma máquina tipo *Izod*, marca *Canti Lever XJU-22*, disponível no Laboratório da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo (EEL/USP/Área II), Laboratório de Ensaio Mecânicos, foram realizados os ensaios de impacto, usando dimensões conforme a norma ASTM D 6110 – 06, 55 mm de comprimento, 12 mm de largura e 3 mm de espessura. Foram analisados cinco corpos-de-prova, utilizando-se a máquina de impacto com capacidade de 5,5 J, com avaliação em relação ao impacto e à resistência da energia absorvida.

2.7. Análises para a determinação do índice de fluidez

Para a determinação dos índices de fluidez, os ensaios foram realizados na Escola de Engenharia da USP, em Lorena (EEL/USP), em um aparelho para ensaios de índice de fluidez, marca CEAST. De acordo com diretrizes gerais da Norma ASTM D 1238:2013, o ensaio de índice de fluidez foi realizado com o método A, “*Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*”. Foi utilizado peso de 3,8 kg, a temperatura de 230°C e 5 s, como tempo de corte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados dos ensaios de tração

Nos ensaios de resistência à tração, a partir das análises, verificou-se que a adição das porcentagens do pó de vidro ao SAN causou significativa diminuição na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparado ao SAN puro. Os resultados dos ensaios de tração realizados em compósitos reforçados com o pó de vidro podem ser verificados na Tabela 1. A diminuição da resistência à tração pode ter ocorrido, devido ao fato da redução da ductilidade dos compósitos que o reforço promoveu. Assim, quanto maior o volume de pó de vidro, mais frágil são os compósitos. De acordo com estudos, a ductilidade corresponde à deformação plástica, devido à alongação total material. Pode-se observar que, quando comparado os valores de tensão de escoamento e tensão máxima entre as famílias dos compósitos, o aumento do teor de vidro promoveu um aumento nessas propriedades.

Em vários trabalhos encontrados na literatura, pode ser verificado a redução das propriedades mecânicas de compósitos de matrizes termoplásticas, devido à incorporação de reforços. Por exemplo, no trabalho realizado por Benini (2011), o autor constatou, através de ensaios de tração que, na matriz polimérica de HIPS, a adição de fibras de coco, praticamente até a tensão de escoamento (parcela referente à deformação elástica), não provocou a deformação do material, mas houve redução no alongamento total dos compósitos. Benini (2011) constatou que foi possível, com o aumento do volume de fibras, observar redução na total alongação dos compósitos.

Os resultados de tração sugeriram que não ocorreu interação positiva entre a carga cerâmica proveniente do pó de vidro e a matriz em SAN. Essa evidência de piora nas propriedades de tração foi verificada também no estudo desenvolvido por Rosa (2019), no qual o autor constatou que, a partir das análises de resistência à tração, verificou-se que a adição da biomassa de casca de açaí ao PEAD acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparado ao PEAD, devido ao fato de que o reforço pode ter promovido uma redução da ductilidade dos compósitos.

No trabalho realizado por Paiva et al. (2019), os autores avaliaram a influência da adição de pó de vidro nas propriedades mecânicas em compósitos de poliestireno de alto impacto (HIPS), utilizando as proporções de 10% e 15% de vidro. Os autores constataram que, a partir das análises de resistência à tração, verificou-se que a pequena diminuição da resistência à tração pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço de pó de vidro não promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos, nas proporções de vidro estudadas. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento da quantidade de pó de vidro, como foi constatado na proporção de 20% de vidro incorporado à matriz do HIPS.

No caso específico dos compósitos de SAN reforçados com pó de vidro estudados, a incorporação do reforço cerâmico de vidro na matriz polimérica de SAN pode não ter ocorrido de forma plena pelo fato de o processo de incorporação usado (homogeneizador termocinético) não fornecer uma força (ou taxa) de cisalhamento suficiente para promover a mistura homogênea do vidro na matriz do SAN. Com os resultados encontrados, seria recomendado, em trabalhos futuros, usar o processo de extrusão (mono ou dupla rosca) para promover uma mistura mais eficiente do reforço de vidro.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de resistência a tração do SAN puro e dos compósitos SAN/pó de vidro.

Amostras	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
SAN PURO	44,92 ± 10,57	46,34 ± 10,43	711,0 ± 27,39
SAN – 10%	25,28 ± 3,31	26,37 ± 3,27	543,1 ± 14,86
SAN – 15%	31,06 ± 12,05	32,07 ± 12,11	555,5 ± 75,84
SAN – 20%	32,76 ± 0,61	33,79 ± 0,70	550,6 ± 20,46
* Valores médios			

Fonte: Autores, 2023

3.2. Resultados dos ensaios de dureza Shore D

Analisando os dados de dureza *Shore D*, nota-se que o pó de vidro adicionado ao SAN não acarretou significativas alterações nos valores apresentados, na comparação do SAN puro com os compósitos, como é mostrado na Tabela 2. Pode-se observar que, quando comparadas as durezas entre as famílias dos compósitos, o aumento do teor de vidro promoveu um aumento no valor da dureza *Shore D*, valores ligeiramente menores que a dureza apresentada pelo SAN puro.

Tabela 2: Resultados de dureza Shore D do SAN puro e dos compósitos SAN/pó de vidro.

AMOSTRAS	DUREZA SHORE D
SAN PURO	84,90 ± 0,8
SAN – 10%	80,32 ± 0,6
SAN – 15%	82,60 ± 1,0
SAN – 20%	83,04 ± 1,0

Fonte: Autores, 2023

O resultado apresentado pode ser considerado bastante satisfatório para o segmento automobilístico, para uma possível fabricação de materiais, uma vez que a adição das proporções de pó de vidro no SAN não alterou de maneira significativa a dureza observada no SAN puro.

Nos trabalhos realizados por Pereira (2016) e Pereira (2017), as autoras também observaram esse comportamento de dureza em compósitos HIPS reforçados com fibras de coco e fibras de bagaço da cana, respectivamente.

Com esses dados, o uso de compósitos SAN reforçados com as proporções de pó de vidro poderá acarretar uma redução de 20% no consumo de SAN puro e, conseqüentemente, peças produzidas com redução no custo, mantendo-se ainda os valores apresentados de dureza do SAN puro.

3.3. Resultados dos ensaios de impacto

Verificou-se que a adição do pó de vidro ao SAN, a partir das análises de resistência ao impacto, quando comparados ao SAN puro, acarretou um aumento significativo na resistência ao impacto.

O reforço promoveu um aumento da ductilidade dos compósitos e, por isso, pode ter ocorrido o aumento da resistência ao impacto, como foi observado nos resultados encontrados nos ensaios de

tração, na análise e comparação das famílias dos compósitos. Com isso, o caráter mais frágil apresentado nos compósitos foi menor, de acordo com o aumento do volume de reforço de vidro. Ressalta-se que a alongação total do material devido à deformação plástica é que corresponde a ductilidade.

Como se pode observar na Tabela 3, não foi possível realizar os ensaios de impacto no compósito contendo 20% de pó de vidro. O motivo foi que, no momento do entalhamento dos CDPs, as amostras quebraram. Em trabalhos futuros, esse ensaio será realizado.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de resistência ao impacto do SAN puro e dos compósitos SAN/pó de vidro.

AMOSTRAS	Energia Absorvida (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
SAN PURO	0,13 ± 0,424	3,68 ± 12,917
SAN – 10%	0,35 ± 0,105	7,70 ± 3,198
SAN – 15%	0,41 ± 0,067	9,79 ± 2,032
SAN – 20%	-	-

Fonte: Autores, 2023

3.4. Resultados das análises de índice de fluidez

Os resultados dos ensaios que determinaram o índice de fluidez do SAN puro e dos compósitos com pó de vidro estudados são apresentados na Tabela 4. Conforme pode ser observado, com aumento do teor de vidro ao SAN, ocorreu a diminuição do índice de fluidez nos compósitos.

Tabela 4: Resultados dos valores de índice de fluidez

AMOSTRAS	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min)
SAN PURO	13,84 ± 0,15
SAN – 10% vidro	12,26 ± 0,13
SAN – 15% vidro	10,46 ± 0,16
SAN – 20% vidro	8,36 ± 0,08

Fonte: Autores, 2023

Na avaliação da influência da adição de pó de vidro na matriz de SAN que, por sua vez, apresentou um valor de IF de 13,84 g/10 min, a inserção de 10%, 15% e 20% de vidro acarretou uma redução significativa (11,41%, 24,42% e 39,60%, respectivamente).

Dessa forma, a inserção de 10% e 15% de pó de vidro provocou uma redução aceitável no IF do SAN, sendo possível manter sua utilização. Mesmo inserindo a porcentagem de 20% de pó de vidro, a redução do IF do SAN em, aproximadamente, 40%, variando do tipo de peça que será injetada, ainda pode ser considerada viável. Por exemplo, o compósito SAN-20% em peças com pouca complexidade poderá vir a ser utilizado, e também para peças que não necessitem de espessuras de parede elevadas.

Henriques (2015) relatou que valores na faixa entre 28 e 31,3 g/10 min foram resultados de compósitos de PP de alta cristalinidade, valores elevados para os limites de especificação utilizados nas montadoras de automóveis, em relação ao índice de fluidez.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho promoveu a avaliação da influência do teor de vidro nas propriedades mecânicas e reológicas de compósitos de SAN. Com a realização das caracterizações, pode-se concluir:

a) a partir das análises de resistência à tração, verificou-se que a adição do pó de vidro ao SAN acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparado ao SAN puro. Pode-se observar que, quando comparado os valores de tensão de escoamento e tensão máxima entre as famílias dos compósitos, o aumento do teor de vidro promoveu um aumento nessas propriedades.

b) a partir das análises de dureza *Shore D*, verificou-se que a adição de pó de vidro ao SAN, quando comparado ao SAN puro, não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos. Além disso, o uso de compósitos reforçados com pó de vidro poderá acarretar uma redução de 20% no consumo de SAN puro e uma redução consequente no custo da produção das peças, sendo preservados os valores de dureza do SAN puro.

c) analisando os valores de resistência ao impacto, nota-se que a adição do pó de vidro ao SAN acarretou um aumento significativo na resistência ao impacto, quando comparado ao SAN puro.

d) uma tendência de redução do índice de fluidez, conforme ocorreu aumento do teor de vidro no SAN, pode ser observado. Entretanto, avaliando a influência da adição de pó de vidro na matriz de SAN que, por sua vez, apresentou um valor de IF de 13,84 g/10 min, a inserção de 10%, 15% e 20% de vidro acarretou uma redução significativa (11,41%, 24,42% e 39,60%, respectivamente). Por exemplo, o compósito SAN-20% poderá ser usado em peças que possuem pouca complexidade, não necessitando de espessuras de parede elevadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do NUPE/UniFOA, com a concessão de bolsa pesquisador; o apoio dos auxiliares técnicos do CIT/UniFOA, pelos ensaios de dureza *Shore D*; e a Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP), pela colaboração na realização das análises de resistência ao impacto e para a determinação do índice de fluidez.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. V. S.; SILVA, F. L.; MOTA, I. O.; BANDEIRA, C. F.; MONTORO, S. R.; **Caracterização mecânica de compósitos de estireno e acrilonitrila (SAN) reforçados com pó de vidro**. Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba-SP, 2023.
- BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.
- HENRIQUES, L. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de compósito de polipropileno de alta cristalinidade reforçado com talco para aplicações automotivas em ambientes de alta temperatura "under the hood"**. Exame de Qualificação apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2015.
- MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos**. Editora Artliber, São Paulo, 2011.
- PAIVA, M. P.; SILVA, T. M.; TEIXEIRA, W. G. **Análise técnica, econômica e financeira para criação de uma startup para produção de placas de circuito impresso a partir de compósitos de HIPS com pó de vidro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Volta Redonda, 2019.
- PEREIRA, G. B. **Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2016.
- PEREIRA, G. C. **Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana e confecção de manual operacional para aplicação na indústria de Pet Shop**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017.
- ROSA, V. V. S. **Compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com biomassa da casca do açai**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2019.
- SAKAHARA, R. M.; **Estudo da formação da fase cristalina Beta nos compósitos de polipropileno contendo anidrido maléico e carbonato de cálcio**. 2012, 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SILVA, A. Diniz R. **Preparação e caracterização de um novo sistema vítreo multicomponente à base de óxido de boro**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Programa de Pós-graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo São Carlos, SP, 2013.
- SILVA, F. L.; MARTINS, G. A. R.; FAGUNDES, L. S.; CAMPOS, L. B.; MESQUITA, R. O. **Estudo da influência do teor de vidro nas propriedades mecânicas, reológicas e morfológicas de compósitos SAN (Estireno e Acrilonitrila)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Volta Redonda, 2023.
- WORLD WIDE FUND FOR NATURE, WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acessado em 14 de fevereiro de 2023.