

## **REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO E DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM SET UP, UTILIZANDO PLÁSTICO DROP IN EM TANQUES DE VEÍCULOS COMERCIAIS**

 <https://doi.org/10.56238/sevened2025.021-019>

### **Sérgio Roberto Amaral**

Graduado em Engenharia Industrial Mecânica pela Universidade Federal de São Joao del Rei – Minas Gerais, Pós Graduação em Gestão da Produção Automotiva, em Processamento de Plásticos e Borrachas e Ph.D. em Bioenergia pela Universidade Estadual Paulista, junto ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia – Ipben. Professor da Universidade Estácio de Sá (UNESA). Bolsista do Programa Pesquisa, Produtividade, Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora 2025.

Iniciou profissionalmente na Companhia Fabricadora de Peças - COFAP em 1997, posteriormente foi para a Toyota do Brasil em 2000 e em 2007 transferiu para a Volkswagen Caminhões e Ônibus. Atualmente atuando na área de desenvolvimento de produto nos sistemas de combustível, pós tratamento e árvore de transmissão da Volkswagen Caminhões e Ônibus. Vencedor do Prêmio da ANP de Inovação Tecnológica em 2018, do Prêmio AEA de Meio Ambiente de 2019 e Menção Honrosa no Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva de 2022. Finalista do Prêmio AEA ESG 2025.

Contato: [sergio.amaral@volkswagen.com.br](mailto:sergio.amaral@volkswagen.com.br) / [samaral6718@gmail.com](mailto:samaral6718@gmail.com)

### **Eliezer Schmalfluss Beier**

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul (2020), Atualmente é Engenheiro Mecânico da empresa Bepo Componentes Automotivos, onde atua na área de Engenharia de desenvolvimento de produtos OEM, com ênfase em projetos de sistemas de combustíveis e Arla para as principais montadoras mundiais de caminhões. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em materiais e desenvolvimento de componentes estruturais e sistemas de processamento fabril para componentes deste seguimento, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento; Homologação; Validação; Engenharia de Componentes para Veículos Pesados vinculados a Chassi e powertrain.

Contato: [eliezer.beier@bepo.com.br](mailto:eliezer.beier@bepo.com.br) / [ebeier@ucs.br](mailto:ebeier@ucs.br)

### **Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossu**

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo. Possui graduação (2015) em Engenharia de Produção com ênfase em Engenharia Mecânica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro e mestrado (2018) em Ciência e Engenharia de Materiais na área de Materiais Convencionais e Avançados pela Universidade de São Paulo. Com experiência nas áreas de engenharia de superfície, biomateriais, ligas Pb, sistemas fotovoltaicos, sistemas de armazenamento térmico e refrigeração. Atuo como Coordenador de Curso e Professor Auxiliar I nos cursos de bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de Produção e Membro da CIPA (UNESA/RESENDE). Professor Substituto nos cursos de bacharelado em Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica e Engenharia Química (FAT/ UERJ) e Tutor Presencial nos cursos de licenciatura em Matemática (UFF/CEDERJ), bacharelado em Administração (UFRRJ/CEDERJ) e bacharelado em Engenharia de Produção (CEFET/CEDERJ). Membro de grupos de pesquisas vinculado ao CNPq no desenvolvimento de ligas Pb para baterias chumbo-ácidas (2020 - atual), ligas de Ti para aplicação biomédica (2018 - atual) e cerâmicas avançadas do sistema Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-YTZP (2015 - atual).

Contato: [caio.cossu@gmail.com](mailto:caio.cossu@gmail.com) / [caio.cossu@estacio.br](mailto:caio.cossu@estacio.br)

## **RESUMO**

O aumento da demanda para a produção de componentes seguindo premissas globais, como Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG), reduzindo as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no processo de produção de matérias-primas e no processo de produção de componentes, deve



ser implementado de acordo com a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas realizada em 2021 e ratificada em 2024. A agenda ESG é usada para minimizar o impacto ambiental dos negócios, a fim de construir um mundo melhor com responsabilidade em torno do processo de administração, investimentos e critérios de sustentabilidade. Com essa motivação, a presente pesquisa apresenta o uso do polietileno de alta densidade verde (HDPE Verde) para uso na produção de tanques de ARLA 32 e combustível, como um material de substituição do polietileno de alta densidade (HDPE) de base fóssil. A biomassa usada como base biológica para a produção de HDPE Verde, são as folhas e/ou o caule da cana-de-açúcar. Os polímeros, apesar de possuírem características similares, algumas propriedades se distinguem e com isso, alguns parâmetros do equipamento precisam ser modificados, de maneira que o componente mantenha a mesma geometria e característica de espessura e aparência do original. Para tanto, foi realizado uma série de análises e testes para ajustar os parâmetros do processo de moldagem por extrusão e sopro e garantir a viabilidade na aplicação desejada. A máquina de moldagem por extrusão e sopro possui resistências elétricas usadas durante a produção, para que o processo mantenha a temperatura correta durante todo o processo de produção. Ao comparar os dois materiais, os principais aspectos da reometria como tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento resultam em uma velocidade de fluxo distinta dentro do processo de extrusão da máquina, especialmente devido ao Índice de Fluidiez (IF) ser totalmente distinto e que possui, grande influência no processo e na característica visual do produto. O fabricante realiza o seu processo de set up quatro vezes por semana, o que representa 72 horas por semana, e o tempo total de set up é de 3744 horas por ano. Para validar os tanques em HDPE Verde, antes de serem montados em veículos, eles são obrigados a passar por uma bateria de testes/ensaios mecânicos, seguindo normas internacionais, brasileiras e internas das empresas, tais como pressão, impacto, trenó e flamabilidade. Os resultados precisam estar aprovados, de maneira obrigatória para que a matéria prima HDPE Verde possa vir a ser utilizado como matéria-prima. O material proposto, pode reduzir cerca de 180 mil toneladas de CO<sub>2</sub>/ano no mercado latino-americano, considerando apenas os tanques de veículos comerciais (combustível e ARLA 32). A proposta também auxilia no aumento do uso desse material para reprocessamento, trazendo o incremento no processo de economia circular. Os tanques de combustível e de ARLA 32 produzidos com HDPE Verde, após aprovação nos estes funcionais descritos nas normas para os testes de desenvolvimento e validação, precisam também ser aprovado nos testes de durabilidade, que representam a aplicação do produto sob a ótica do usuário final. O HDPE Verde, é um material existente e utilizado em aplicações que não recebem esforços mecânicos, como frascos de shampoo e produtos de limpeza. Os polímeros são normalmente são commodities e produzidos por empresa que possui a patente. O volume necessário para produção de uma determinada matéria prima, está diretamente ligada ao seu valor. Dessa forma, quanto maior a produção em escala, melhor o custo final do produto com HDPE Verde. A substituição o material de base fóssil para o material de base renovável promove a redução e emissão e carbono ligada ao material proposto, a redução do consumo de energia elétrica em set upo de máquina e reflete no aumento da produtividade, que pode vir a trazer o offset do custo da peça. Precisa ser avaliado a configuração de crédito de carbono e a relação para comercialização desse crédito ou benefícios fiscais decorrente da redução da emissão de carbono na atmosfera, promovido pelo material proposto.

**Palavras-chave:** HDPE Verde. Tanque de ARLA 32. Produtividade. Energia Elétrica. Economia Circular.



## 1 APLICABILIDADE

Todos os tanques de ARLA 32 e de combustível produzidos pelo processo de extrusão sopro, podem utilizar essa matéria prima, sem a necessidade alteração dos moldes ou no equipamento. Obviamente, os parâmetros de processo, precisam ser modificados para atender as características do GPE, de forma a manter as mesmas condições de espessura e aparência do modelo produzido com material de fonte fóssil.

## 2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é abordar os efeitos e implicações ambientais causadas pela utilização do PEAD Verde nos tanques de ARLA 32, bem como, mostrar o ganho na redução e utilização de energia elétrica durante o processo de conformação mecânica de extrusão-sopro e também citar os testes utilizados para validar a utilização destes tanques como um componente de alta confiabilidade.

Os principais efeitos são:

- **Redução de emissões de CO<sub>2</sub> utilizando matéria prima proveniente de fonte renovável;**
- **Reduzir o custo de energia elétrica no set up de produção, devido as características do PEAD Verde;**
- **Aumentar a produtividade de tanques de ARLA 32, em decorrência das propriedades reométricas, mecânicas e do IF do PEAD Verde.**

## 3 INTRODUÇÃO

Com a realização de estudos sobre os efeitos causados pelos gases de efeito estufa (GEE) ao ambiente, novos temas estão sendo colocados em pauta globalmente, visando a preocupação com futuro do planeta e em como fazer para mitigar as emissões dos GEE e os impactos ambientais gerados. Através dessas premissas, novas políticas e tendências recaem sobre os meios de produção e de bens de consumo.

Neste contexto, o setor automotivo recebe alta demanda de componentes produzidos em PEAD e o desenvolvimento de materiais a base de biomassa, surge como uma possibilidade de agregar valor no desenvolvimento e utilização responsável dos recursos naturais por parte das empresas, reduzindo a pegada de carbono e aumentando a economia circular. Neste âmbito, os matérias poliméricos em geral, surgem como uma grande possibilidade, principalmente, devido a oportunidade de substituição do uso de petróleo por novas fontes de matéria primas de origem renovável para produção.

Além disso, este desenvolvimento possui ampla condição de influenciar na melhoria da produção, em termos de eficiência, e na redução do consumo de energia no processo produtivo, uma vez que novos materiais são introduzidos junto com novos projetos e novas alternativas para produção.

## 4 PREPARAÇÃO DO TRABALHO TÉCNICO

### 4.1 INICIATIVAS PARA MITIGAÇÃO DO AQUECIMENTO GLOBAL

A preocupação com o desenvolvimento responsável trata de três diferentes dimensões, são elas: Ambiental, social e econômica. Com isso, o destaque recai sobre a agenda ESG que engloba estas três partes e propõe diretrizes para o desenvolvimento sustentável. A sigla ESG vem do inglês “environmental, social and governance”, e se refere as três dimensões citadas anteriormente, porém focada em fornecer um caminho para as organizações e levar ao desenvolvimento sustentável de práticas ambientais, sociais e de governança das empresas [1].

Recentemente, tem ganhado maior visibilidade e aderência, a partir de uma crescente preocupação do mercado financeiro com a sustentabilidade, sendo considerada uma das principais diretrizes da atualidade. Em 2020, os fundos ESG captaram investimentos bilionários, provocando pressão sobre o setor empresarial [1].

Na Europa já existem definições estabelecidas pela Comissão Europeia (EC) [2] a fim de forçar o investimento e o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis na indústria, através do “European Green Deal” [3] que visa modernizar a Europa com utilização eficiente de recursos, economia competitiva e redução das emissões de gases de efeito estufa a praticamente “zero” até 2050, sem perder a força econômica e a preocupação com a qualidade de vida de seus habitantes [4].

A ONU também possui definições, acordos e metas que foram elaborados por nações de todo o planeta nas conferências internacionais. - O objetivo é gerar um engajamento global para reconhecer a emergência do problema, acelerar as ações e cumprir as metas estabelecidas no acordo de Paris [5].

Na COP26, uma das conferências mais recentes da ONU, estas metas foram focadas em reduzir os impactos ambientais por meio da extração consciente de recursos naturais, substituição de matéria prima de origem fóssil por matérias primas de fontes renováveis e aumento da eficiência nas matrizes energéticas. Para indústria automotiva, isso significa desenvolver métodos/modelos de descarbonização das cadeias produtivas e produzir veículos contendo impacto residual ou zero em emissões até 2040 [6].

Estas discussões são baseadas, principalmente na redução nas emissões de gases a fim de seguir o alerta da “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC) [7]. O alerta orienta a manter a temperatura do planeta limitado em 1,5° C, compreendendo o período da primeira revolução industrial até 2030. Para que o objetivo seja atingido, existem iniciativas que estão dentro da agenda de responsabilidades de Ambiental, Social e de Governança Corporativa (ESG) [8] de cada empresa, e para que cada instituição faça sua parte, estão sendo criadas metas baseadas na ciência climática (SBTi) [9] apoiado pela rede Pacto Global no Brasil [4] [10].

## 4.2 IMPLICAÇÕES PARA O USO DO PEAD VERDE

As iniciativas afetam diretamente a maneira de pensar das empresas e no direcional dessa pesquisa que são as montadoras de veículos comerciais. O foco passa a ser a diminuição no impacto ambiental deixado por toda a cadeia produtiva até a produção do produto final, isto inclui, a maneira como a energia é produzida e utilizada, como são extraídos os materiais dos componentes, como é feito o processo de fabricação e conformação dos componentes, bem como a realização da reciclagem, reuso ou descarte.

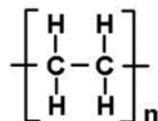
Neste novo ambiente a bioeconomia e a economia circular exercem papel fundamental na mudança da cadeia de valor produtiva. Alguns autores já defendem a existência da bioeconomia circular, onde o material de origem renovável ou biodegradável é tratado para gerar valor durante todo seu ciclo de vida [11].

Dentro deste contexto, a quantidade de estudos e soluções aplicáveis vem crescendo [12]. Dentre elas os compostos “Drop in” que nada mais é do que o desenvolvimento de uma fonte de origem renovável de forma a substituir composto já existente, porém, derivado de petróleo [13]. Como no caso do polietileno de alta densidade (PEAD), por exemplo, o PEAD é derivado de petróleo, porém no mercado já foi identificado um processo produtivo utilizando Cana-de-açúcar como matéria prima, e o resultado é o mesmo PEAD, porém proveniente de fonte renovável, o que lhe rende o nome de PEAD Verde [14].

## 4.3 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

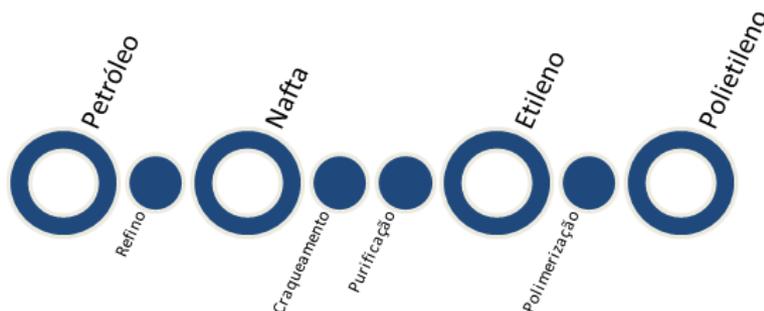
O polietileno é um polímero amplamente utilizado nas indústrias devido à sua não toxicidade e inércia face a diversos produtos químicos. É obtido, principalmente, pela polimerização do etileno por adição, derivado de fontes fósseis [17], por intermédio do craqueamento da nafta proveniente do refino do petróleo. O etileno passa pela etapa de purificação, onde é transformado em polietileno [18]. A figura 1 representa um monômero de polietileno.

Fig. 1. Monômero do Polietileno [17].



A figura 2 a seguir apresenta o fluxo de processamento do polietileno de base fóssil.

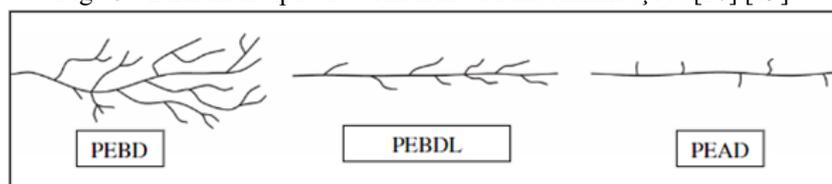
Fig. 2. Etapas do processo de fabricação do Polietileno.



De acordo com as condições de contorno definidas na polimerização, podem ser produzidos alguns tipos de Polietileno, sendo eles: Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE); Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE); Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE); Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE); Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE) [19].

Quando se refere ao Polietileno e Alta Densidade, pode-se classifica-lo como um polímero termoplástico de estrutura altamente cristalina de valores de até 90% e baixo teor de ramificações, como visto pela figura 3, onde são comparadas as formações de cadeias ramificadas em diferentes tipos de Polietileno. A linearidade das cadeias torna o empacotamento mais eficiente, gerando forças intermoleculares mais intensas [20].

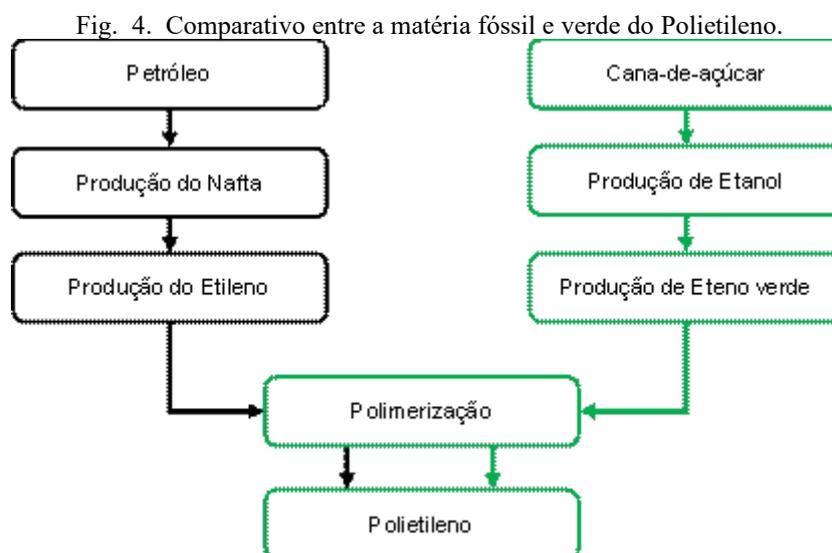
Fig. 3. Diferentes tipos de Polietileno e suas ramificações [20] [19].



#### 4.4 Polietileno de Alta Densidade Verde

O polietileno de Alta Densidade verde (PEAD Verde), pode ser classificado como plástico verde, polímero verde, biopolímero e é o primeiro plástico no mundo a ser certificado que é obtido através de fonte renovável. A produção do polietileno verde se dá a partir do etileno obtido por meio da desidratação do etanol [4]. O PEAD Verde, possui característica Drop in, ou seja, é um material equivalente ao fóssil, com as propriedades similares, trocando apenas sua fonte, como mostrado na figura 4. Portanto, pode ser aplicado com as mesmas finalidades das resinas petroquímicas [19][21].

A grande vantagem desse polímero verde é que não demanda investimentos em maquinários ou grandes mudanças no processo de conformação, além de possuir custo de produção competitivo no cenário mundial, o que é um aspecto importantíssimo para utilização industrial [22].



É importante ressaltar que no projeto dos tanques de ARLA 32, o PEAD utilizado originalmente não possui o mesmo grade do PEAD Verde proposto, devido a isso, é válido ressaltar que, apesar das semelhança de material, há algumas diferenças de propriedades. Isso acabou gerando impacto positivo no processo de produção, como será detalhado mais a diante neste trabalho. Tendo em vista facilitar o entendimento, o PEAD fóssil utilizado, será referido como PEAD original e o novo PEAD, como PEAD Verde. Vide Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo entre os blends de PEAD

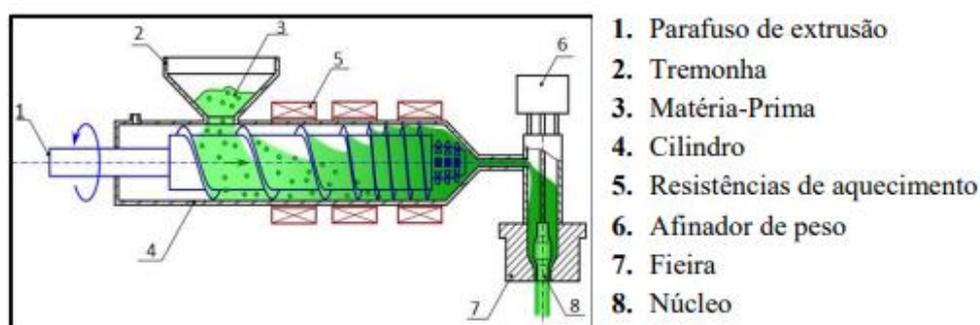
Teste	PEAD HS4506A	PEAD SGF4950 (Verde)
Índice de fluidez (190 °C / 21,6 Kg) [g/10min]	5	28
Densidade [g/m <sup>3</sup> ]	0,945	0,956
Tensão de escoamento [MPa]	24	28
Tensão de ruptura [MPa]	38	31
Módulo de flexão Secante a 1% [MPa]	930	1060
Dureza (Shore D)	63	63
Resistência ao impacto [J/m]	700	145
Temperatura de Amolecimento Vicat [°C]	125	129
Temperatura de Deflexão Térmica (0,455 MPa) [°C]	62	75
Teor mínimo de C14 [%]	-	96

#### 4.5 PROCESSO DE CONFORMAÇÃO EXTRUSÃO-SOPRO

O processo de extrusão sopro, também denominado pelas siglas EBM (extrusion blow molding) ocorre com a utilização de uma máquina extrusora mostrada na figura 5, onde são destacados os componentes mais importantes do equipamento, bem como a nomenclatura de cada um, comumente utilizada na indústria.

Primeiramente, o polímero granulado, também chamado de peletizado, é inserido na tremonha ou funil de abastecimento, e por gravidade chega até o cilindro com a rosca extrusora. Durante sua passagem pelo cilindro o material sofre cisalhamento, devido a rotação da rosca, provocando o aquecimento do mesmo, que deve chegar ao seu ponto de fusão para que haja maior fluidez durante o processo. Esta etapa do processo está intimamente ligada ao Índice de Fluidez (IF) do material. Quando esta força de cisalhamento gerada pela rosca não é suficiente para alcançar a fusão e homogeneização do material, as resistências elétricas são ligadas a fim de aquecê-lo. Com as resistências ligadas o material passa por três etapas de aquecimento, garantindo sua plastificação (fusão/homogeneização) e permitindo seu escoamento [24], [25].

Fig. 5. Processo e nomenclatura do equipamento de extrusão-sopro [25].

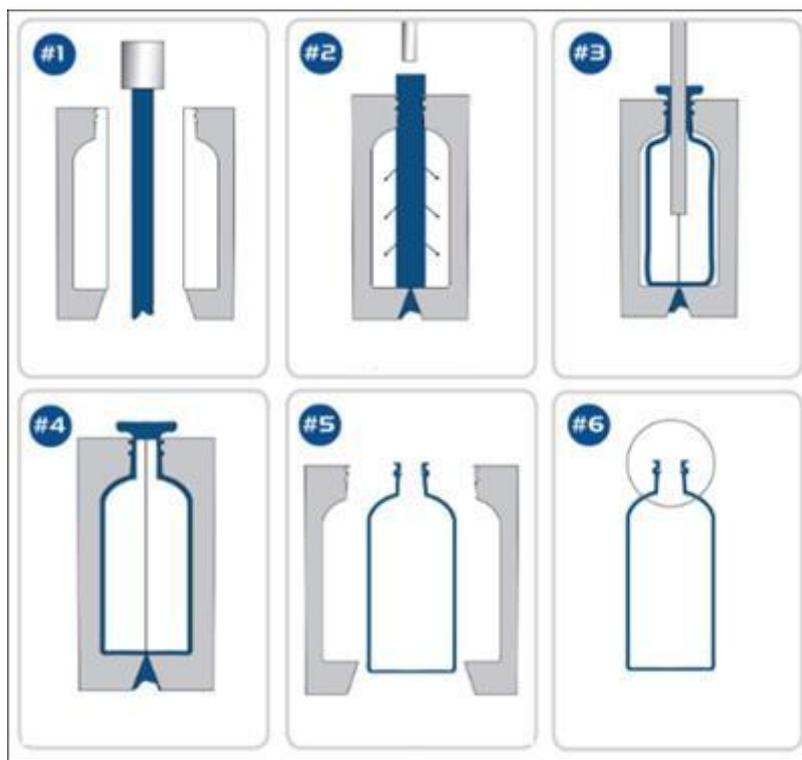


O material fundido é transportado pela rosca ou parafuso de extrusão até o molde, onde ele é

despejado. No interior do molde há o deslocamento para as zonas de sopro, onde os componentes chamados de calibradores insuflam o material para que este ganhe a geometria do molde. Após o resfriamento o produto é retirado do molde e são efetuados os processos de acabamento final. A parte do processo relacionada ao sopro pode, de forma simplista, pode ser comparada a um balão, que quando insuflado e restringido por uma determinada geometria, um molde, adquire a forma dessa mesma geometria [25].

Tendo em mente este princípio, o processo de formação de um objeto por extrusão sopro inicia-se com a formação de uma manga, usualmente denominada de Parison. A manga é inserida no molde, usualmente composto em duas metades, e soprada de forma a que a manga, agora estirada, contate com as paredes frias do molde e adquira a forma pretendida. Assim que resfriado, o objeto recém-formado é removido do molde, no entanto há que remover os excessos de material provenientes do processo de moldação até obter o produto final [25]. O processo pode ser observado em sequência de acordo com a Figura 6.

Fig. 6. Processo de Sopro [25].



#### 4.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS TANQUES DE ARLA 32 E COMBUSTÍVEL

Por ser um plástico produzido sinteticamente, o polietileno passa por uma série de processos antes de adquirir seu formato final de matéria prima, conforme descrito nos capítulos anteriores. Nesta etapa do processo, o fabricante utiliza do petróleo ou da cana-de-açúcar como base e obtém o plástico granulado ou peletizado como produto, o qual é transportado até o processista de tanques, para que seja feita sua conformação. Independente da escolha, o equipamento utilizado, o processo de produção

é basicamente o mesmo, ou seja extrusão-sopro. Na figura 7, é mostrada um equipamento utilizado atualmente na produção de tanques de ARLA 32.

Fig. 7. Equipamento de extrusão-sopro.



Neste processo a matéria prima irá se transformar em um componente utilizável, agregando valor ao produto. O Polietileno de Alta Densidade chega na forma granulada e é misturado com de negro de fumo (NF) com porcentagem que podem variar entre 1,5 e 2%, antes de ser levado até a extrusora. O uso do NF proporciona o meio economicamente mais eficiente para alcançar o nível requerido de proteção do polietileno ao intemperismo ligados aos raios ultra violeta (UV), necessário sem comprometer os requisitos de desempenho final e auxilia na melhoria das propriedades mecânicas do produto final.

No processista, são ajustados alguns detalhes de parametrização do equipamento para realizar o Set up da máquina de extrusão-sopro. Este tipo de ajuste mais detalhado, varia de acordo com o tipo de PEAD utilizado. É neste momento em que as diferenças vêm à tona. Durante a passagem pelo cilindro, o PEAD Verde é capaz de atingir a temperatura ideal e fluir pelo equipamento sem a necessidade de acionar as resistências elétricas. Neste caso, as resistências elétricas se fazem necessárias durante o processo de produção pós Set up.

Devido a isso, é realizado o estudo do fluxo de massa dentro da máquina extrusora que possui alta dependência da vazão do material para evitar trincas do parafuso/rosca extrusora, e os resistores devem ser usados para obter a temperatura necessária para processar e suportar o parison, antes de fechar o ferramental e soprar, sob pressão controlada, a massa para copiar o molde. Com isso, uma nova configuração de Set up é definida.

Set up, é o conjunto de configurações aplicadas sobre o processo através do ajuste do equipamento, modificando os parâmetros de controle, como por exemplo, quanto ao tempo de sopro, tempo de resfriamento, velocidade de extrusão, tempo de fechamento do molde, tempo de abertura do molde, entre outras variáveis que precisam ser alteradas, utilizando o PEAD Verde para a retirada da primeira peça aprovada para que a produção seja liberada.

#### 4.7 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO USO DE PEAD VERDE NO PROCESSO

No desenvolvimento deste PEAD Verde aplicado em tanques de ARLA 32 foi identificado que, durante o processo de extrusão-sopro dos tanques a temperatura ideal de operação da máquina em Set up, foi atingida sem a necessidade de ligar as resistências elétricas do equipamento, o que economiza uma quantidade significativa de energia demandada no processo durante esse procedimento.

A aplicação desta ideia em uma produção de larga escala de tanques de ARLA 32 e Combustível, onde são produzidos aproximadamente 130.000 tanques de ARLA 32 por ano, o resultado seria uma redução de consumo de energia para a fabricação deste componente, logo, um benefício na eficiência energética promovida pela matéria prima no processo de fabricação.

Levando em conta os dados de consumo de energia, de tempo de Set up, quantidade de Set up por semana e o número de máquinas, é possível encontrar a quantidade de horas utilizadas para Set up no ano e posteriormente a quantidade de energia despendida no ano. A Tabela 2 a seguir, mostra esses dados para a produção de PEAD de base fóssil.

Tabela 2: Valores utilizados no cálculo de energia elétrica

Dados	Valores
Gasto energético/máquina (kW/h)	130
Tempo de Set up (h)	3
Quantidade de Setup semana (para 1 máquina)	4
Quantidade de máquinas	6

Aplicando contas simples, conforme equação 1, com os dados da tabela 2, primeiro calculou-se o tempo total de Set up por semana em horas, como: Tempo de Set up (h) x Quantidade de Setup semana (para 1 máquina) x Quantidade de máquinas.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ Equação 1}$$

P → Potência Elétrica [kW]

E → Energia medido em quilowatt por hora [kWh]

$\Delta t$  → Variação do tempo, medido em horas [h]

Levando em conta que o ano possui 52 semanas, foi calculado a quantidade de horas gastas em Set up por ano. Multiplicando este valor pelo gasto energético/máquina (kW/h), obtém-se o gasto total de energia elétrica por ano, apenas durante o processo de Set up.

Tabela 3: Energia elétrica consumida por ano

Calculos	Valores
Total de set up por semana (h)	72
Semanas trabalhadas no Ano	52
Quantidade de Setup ano (h)	3.744
Energia elétrica consumida/Ano em Set Up (kW)	486.720

Desta forma, para produzir o mesmo produto com o PEAD Verde, reduz-se o consumo de energia elétrica em cerca de 20%, segundo dados do próprio fabricante de tanques de ARLA 32. Assim sendo, se considerarmos toda produção de tanques de ARLA 32 e de Combustível de PEAD fóssil realizados por esta planta sendo substituídos por PEAD Verde, seriam economizados cerca de 97.344 kW de energia elétrica por ano.

Trazendo para a esfera econômica, foi calculada a redução de custo anual. Levando em conta um custo médio de energia de R\$ 0,50 por kW/h tem-se a redução de custo anual de R\$ 48.672,00. Obviamente, esta conta irá variar dependendo da localidade da planta, devido as diferenças de tarifas.

No Brasil existem, pelo menos, cerca de mais quatro grandes empresas produtoras de tanques em PEAD, que possuem volume de produção similar ao descrito anteriormente, se inseridas na conta, a redução de custo anual seria de aproximadamente, R\$ 243.360,00/empresa. Em questão de volume, esta conta está associada a produção estimada de 7000 Toneladas de matéria prima por ano.

Com relação ao processo de extrusão sopro, os parâmetros foram alterados para atender a nova configuração, demandada pela matéria prima. A figura 8 mostra o equipamento de sopro e a formação da manga antes de ser inserida de soprada dentro do um molde.

Fig. 8. Formação da pré forma ou Parison.



#### 4.8 BIOECONOMIA

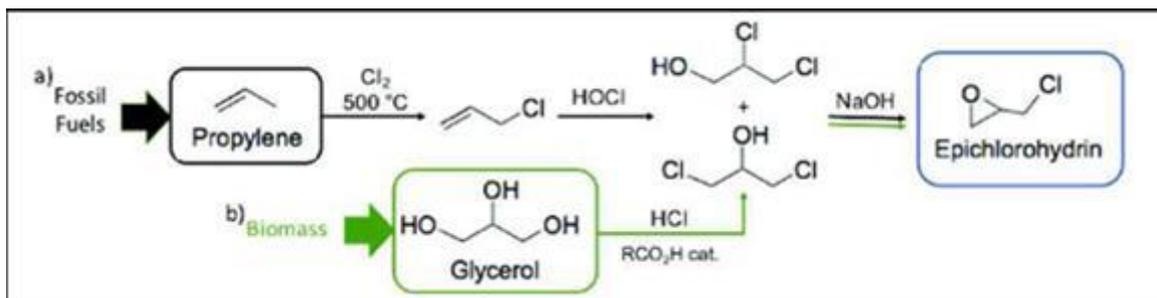
O conceito vem sendo bastante discutido pela comunidade devido ao contexto atual. A Comissão europeia, por exemplo, definiu a bioeconomia como a utilização de recursos biológicos renováveis existentes no planeta terra para a produção de alimentos materiais ou energia [26]. Alguns autores completam a definição inserindo a bioeconomia como o comprometimento com o desenvolvimento para melhorar uma série de fatores, como, compostos químicos, materiais de construção, utilização da biomassa substituindo as fontes fósseis para geração de energia, fabricação de combustíveis e polímeros [11][23].

Bioeconomia possui diferentes visões e em geral objetiva o crescimento econômico, a criação de novos empregos, sustentabilidade ambiental, processos ecológicos que aperfeiçoem a utilização energética, o favoreçam a biodiversidade e diminua a degradação do planeta como um todo, através do desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de utilização da biomassa. A biomassa é uma fonte extremamente rica de energia e a matéria prima, sendo trabalhada de forma consciente, se perpetuará como sendo renovável [23].

A bioeconomia inserida na cadeia de fornecimento para componentes automotivos mostra um quadro onde outras matérias primas, agora de fontes renováveis, são integradas aos processos produtivos de peças e dependendo do caso pode-se, até mesmo, aproveitar dos mesmos equipamentos já utilizados para materiais de fontes não renováveis, como é o caso da aplicação Drop in [12]. Um dos dois, ou os dois requisitos devem ser cumpridos para que um material possa ser considerado de fonte renovável, podendo ser de fonte renovável e/ou biodegradável [27].

Simplificadamente o conceito de Drop in, significa a produção de um material equivalente verde, através do uso de fonte renovável. Neste processo o material equivalente chega ao mesmo composto final e adquire propriedades iguais e ou similares ao original, podendo até mesmo compartilhar parte da cadeia produtiva. Geralmente o termo é usado em relação a produtos químicos de commodities e polímeros com grandes volumes de produção. Os produtos químicos Drop-in são fáceis de implementar tecnicamente, pois a infraestrutura existente pode ser usada. Exemplos: Metano (extraído de biomassa), etileno/PE/PET, propileno/PP e bionafta, todos eles podendo ser extraídos de fontes renováveis alternativas [13]. A figura 9 seguinte exemplifica o conceito.

Fig. 9 Conceito de material Drop in [11].



Tratando da bioeconomia no Brasil, várias vantagens competitivas podem ser destacadas, dando ao país uma grande oportunidade de ser um dos protagonistas no segmento. Dentre os pontos positivos, pode-se citar:

- i) Possuir enorme biodiversidade;
- ii) Baixo custo na produção de biomassa, principalmente cana-de-açúcar;
- iii) Possuir agricultura tropical avançada, fundamentada pela aplicação de ciência e tecnologia.

Além disso, o território possui vasto espaço para a implementação de culturas agrícolas [28].

Além de substituir a utilização de uma fonte finita de recursos que é o petróleo, a utilização do PEAD Verde reduz a pegada de carbono deixada no ambiente. Para o caso do tanque de ARLA 32 de PEAD Verde, o cálculo da pegada de carbono durante seu processo de fabricação leva em conta que durante a plantação e crescimento da Cana-de-açúcar, há remoção de CO<sub>2</sub> do meio ambiente, fazendo com que sua utilização inverta o cenário atual do de origem fóssil e, desta maneira, a cadeia produtiva, como um todo, passa a remover CO<sub>2</sub> do ambiente ao invés de emití-lo. Conforme mostra a figura 10.

Fig. 10. Redução de emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de PE verde produzido [14].



O processo produtivo do Polietileno de origem fóssil emite 2,1 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida, enquanto o Polietileno verde retira do ambiente 2,5 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada, graças

ao plantio da Cana-de-açúcar, eliminando um delta de 4,6 toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera por tonelada produzida [14], [23]. Com isso, pode-se avaliar a aplicação do polietileno verde como algo possível e com grandes impactos positivos para o setor.

Enquadrando este projeto no o conceito de bioeconomia circular, vemos uma contribuição excelente para o meio ambiente, além da demonstração de como as pesquisas e testes podem chegar a uma tecnologia capaz de utilizar biomassa em veículo comerciais com um produto que reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em sua cadeia produtiva e ao final do seu ciclo de vida é 100% reciclável, contribuindo com o ambiente para a redução de lixo e resíduos. A figura 11, mostra a imagem de tanques de ARLA 32 produzidos.

Ao todo, a aplicação do polietileno verde nos tanques de ARLA 32 e combustível, em veículos comerciais, podem acarretar na redução de até 180.000 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano no mercado Sul Americano.

Fig. 11. Tanques de ARLA 32 recém produzidos.



#### 4.9 TESTES DE VALIDAÇÃO

Após o acerto do equipamento de extrusão sopro e a obtenção de tanques com o dimensional aceitável, foram realizados testes controlados, conforme norma, para validar sua utilização. O tanque em questão é utilizado para veículos extra pesado e possuem capacidade de 100L. A montadora utiliza de três principais testes (figura 12) para garantir a aplicação dos tanques, são eles:

- Teste de trenó, conforme norma interna;
- Teste de Resistência sob pressão interna, conforme NBR 11474;

- Teste de resistência ao impacto tipo pêndulo conforme NBR-11473;

Fig. 12. Testes de validação requisitados para a validação do tanque de Arla



Além disso, para suportar a validação em tanques de combustível Diesel foi realizado o teste de flamabilidade conforme norma NBR 11478. A figura mostra a algumas imagens do teste.

Fig. 13. Teste adicional demandado para o tanque de combustível.



A rigorosidade dos testes faz com que o histórico de falhas em campo para tanques de ARLA 32 aprovados nos testes seja considerado como zero, uma vez que não foi detectado quebra de tanques sem sofra ação externa direta, como colisão veicular, por exemplo. Logo, a aprovação representa confiança suficiente para montar o componente em um veículo de produção.

Apesar das diferenças existentes entre o PEAD e o PEAD Verde, foi aprovado em todos os testes, mostrando que é possível e confiável utiliza-lo em veículo.

Foram realizadas as em veículos em durabilidade veicular completa para as condições:

- Ciclo Cidade
- Teste Estrutural
- Ciclo Rodoviário

Conforme os veículos foram acumulando quilometragem, foram realizadas paradas programadas nas quais ocorrem inspeções no tanque de ARLA 32, a fim de garantir que não haja

nenhum defeito na peça. Atualmente, todos os veículos e produção estão sendo produzidos com o blend de PEAD Verde nos tanques com volumes de 100 litros e 60 litros.

Fig. 14. Tanque de ARLA 32 de PEAD Verde.



Testes veiculares foram realizados para certificar a representatividade da vida do tanque de ARLA 32 em PEAD Verde nas condições mais críticas. A figura 15 apresenta as configurações de teste realizado, bem como as quilometragens e ciclos de testes realizados.

Fig. 15. Cronograma de testes realizados para validação do produto.

TESTES DE VALIDAÇÃO	2023												2024											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	
Veículo 1	[Bar chart showing test duration from Jan to Aug 2023]												190.000 Km Highway test											
Veículo 2	[Bar chart showing test duration from Jan to Oct 2023]												235.000 Km Highway test											
Veículo 3	[Bar chart showing test duration from Jan to Jun 2023]												2.000 ciclos Teste estrutural											
Veículo 4	[Bar chart showing test duration from Jan to Sep 2023]												200.000 Km Highway test											
Veículo 5	[Bar chart showing test duration from Jan to Oct 2023]												180.000 Km Highway test											

## 5 CONCLUSÕES

- O PEAD Verde trouxe alguns resultados interessantes durante o processo de produção pós Set up.
- O IF do PEAD Verde gerou necessidade de alterações nos parâmetros de processo do equipamento de extrusão sopro e conseqüentemente trouxe um incremento em produtividade, aumentando em 3 peças a mais por hora.
- A decisão de se realizar o teste de flamabilidade, que inicialmente não estava previsto, foi tomada após os resultados obtidos nos testes de impacto e de trenó, que promoveu a confiança em verificar como o material se comportaria como um tanque de combustível. O resultado deste teste trouxe uma outra configuração de produto que, à princípio, não estava sendo considerado.



O volume em massa dos tanques de combustível com PEAD Verde para a montadora de maior volume do mercado, promove uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> em torno de 2300 toneladas/ano, decorrente apenas da matéria prima.

- A redução e energia elétrica foi uma grande surpresa observada durante o Set up do equipamento para produzir peças para testes de validação. A partir do momento inicial até o início da produção, as resistências elétricas não foram ativadas e isso se repetiu nos dias seguintes, onde o processo se repetiu e confirmando assim que não necessitou serem ativadas.
- A produtividade por hora, também sofreu alteração, tendo um incremento de 3 peças a mais.
- A configuração de aumento de produtividade e de redução do consumo de energia elétrica durante o Set up, levam a auxiliar no off set do preço atual do PEAD Verde, que ainda encontra-se em escala piloto. Logo que a produção se tornar em condição de grande escala, os custos devem se tornar mais atrativos.
- A montadora que suportou os testes, implementou em sua produção o tanque de ARLA 32 Verde no final de 2023, devido a pegada de carbono, das metas de sustentabilidade estabelecidas e da economia circular que esse material promove, aumentando a porcentagem de reaproveitamento das aparas de processo.



## REFERÊNCIAS

DA SILVA, L. F. Relações Públicas e Sustentabilidade Empresarial no Brasil: uma análise a partir das diretrizes atuais ESG e Agenda 2030. 2022. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. 1958. Disponível em: [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/european-commission\\_pt](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/european-commission_pt). Acesso em: 29 jun. 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. A European Green Deal: striving to be the first climate-neutral continent. 2019. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). Acesso em: 19 maio 2022.

AMARAL, S. R.; TAVARES DE ALMEIDA, V.; MARTINS, P. R.; MARQUES, G. Desenvolvimento de produtos com material drop-in para descarbonização. São Paulo, 2022. Disponível em: [www.aea.org.br](http://www.aea.org.br); [www.aeabrazil.com](http://www.aeabrazil.com).

YABE, A.; RAFAEL, M.; MANCUSO, V.; GODINHO, R. D.; POPPE, M. K. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. BNDES Setorial, v. 45, p. 285–340, 2017.

UNITED NATIONS. COP26: together for our planet. 2021. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>. Acesso em: 22 maio 2022.

IPCC — INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BERGAMINI JUNIOR, S. ESG, impactos ambientais e contabilidade. Pensar Contábil, v. 23, n. 80, p. 46–54, fev. 2021. Disponível em: [www.weforum.org](http://www.weforum.org).

WORLD RESOURCES INSTITUTE. The Science Based Targets initiative (SBTi). Disponível em: <https://www.wri.org/initiatives/science-based-targets>. Acesso em: 22 maio 2022.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL. Science Based Targets. 2022. Disponível em: <https://pactoglobal.org.br/pg/science-based-targets>. Acesso em: 22 maio 2022.

CARUS, M.; DAMMER, L. The ‘Circular Bioeconomy’ - concepts, opportunities and limitations. Hurth, Germany, 2018.

OROSKI, F. D. A.; ALVES, F. C.; BOMTEMPO, J. V. Practitioner’s section bioplastics tipping point: drop-in or non-drop-in? Journal of Business Chemistry, v. 11, n. 1, p. 131–136, 2014.

CARUS, M.; DAMMER, L.; PUENTE, Á.; RASCHKA, A.; ARENDT, O. Bio-based drop-in, smart drop-in and dedicated chemicals. European Union, 2017. Disponível em: <http://bio-based.eu/nova->

BRASKEM. Biopolímero Polietileno Verde, inovação transformando plástico em sustentabilidade. 2012. Disponível em: [www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br).

CETESB. ARLA 32. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/arla-32/>. Acesso em: 30 jun. 2022.



ABREU, M. A. G. A importância da qualidade do Arla 32 distribuído no estado de Rondônia. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, RO, 2017.

CORDEIRO, Y. M.; AZEVEDO, B. D.; SOARES, R. M.; FRANCO, C. S. S.; SANTOS, C. V. F. Aplicação do polietileno no contexto da química verde. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana*, v. 8, p. 26–33, 2018.

BOBORODEA, A.; BROOKES, A. Characterization of polyethylene type, density and molecular weight by coupling an Agilent GC with the Agilent PL-GPC 220 high temperature GPC triple detection. Agilent Technologies, 2015.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 1, p. 1–13, 2003.

MESQUITA, F. A. Modificação das propriedades do polietileno de alta densidade por diferentes condições de extrusão. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, São Paulo, 2010. doi: 10.11606/D.3.2010.tde-10012011-103025.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BELLOLI, R. Polietileno Verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: biopolímero de classe mundial. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia, Porto Alegre, 2010.

AMARAL, S. R.; TAVARES DE ALMEIDA, V.; BONEL, A. B.; ROGÉRIO, P.; BEPO, M. Aplicação da bioeconomia com material drop-in em veículos comerciais. São Paulo, 2022.

MANRICH, S. *Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão & matrizes, injeção & moldes*. São Paulo, 2005.

DUARTE, J. D. R. Acompanhamento e estudo dos processos de injeção, extrusão e sopro na empresa Logoplaste. 2017. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. Bioeconomy: why the EU supports bioeconomy research and innovation. 2020. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/bioeconomy\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/bioeconomy_en). Acesso em: 20 jun. 2022.

RESENDE, L. M. Análises das características do Polietileno Verde como alternativa à substituição do polietileno petroquímico. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, MG, 2018.

DIAS, R. F.; CARVALHO, C. A. A. Bioeconomy in Brazil and in the world: current situation and prospects. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 410–430, 2017. doi: 10.21577/1984-6835.20170023.