

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS TRIANOSKI PIRES

AVALIAÇÃO TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PLÁSTICOS PARA
IMPRESSÃO 3D: COMPARAÇÃO DE PLÁSTICOS VIRGENS E RECICLADOS

JANDAIA DO SUL

2022

LUCAS TRIANOSKI PIRES

AVALIAÇÃO TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PLÁSTICOS PARA
IMPRESSÃO 3D: COMPARAÇÃO DE PLÁSTICOS VIRGENS E RECICLADOS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para conclusão da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Giancarlo Alfonso Lovón
Canchumani

JANDAIA DO SUL

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Pires, Lucas Trianoski

Avaliação técnica da produção de filamentos plásticos para
impressão 3D: comparação de plásticos virgens e reciclados. / Lucas
Trianoski Pires. – Jandaia do Sul, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani.

1. Filamento. 2. Polímero. 3. Reciclagem. 4. Impressão 3D. 5.
Plástico. I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lovón. II. Universidade
Federal do Paraná. III. Título.

CDD 658.4

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº**77/2022/UFPR/R/JA****PROCESSO Nº****23075.079917/2019-87****INTERESSADO:****LUCAS TRIANOSKI PIRES****TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Titulo: AVALIAÇÃO TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PLÁSTICOS PARA IMPRESSÃO 3D:
COMPARAÇÃO DE PLÁSTICOS VIRGENS E RECICLADOS

Autor (a): LUCAS TRIANOSKI PIRES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani (Orientador)

Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira

Dr. William Rodrigues dos Santos



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/11/2022, às 11:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA, VICE-DIRETOR(A) DO CAMPUS AVANÇADO DE JANDAIA DO SUL - JA**, em 03/11/2022, às 11:52, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **WILLIAM RODRIGUES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/11/2022, às 08:35, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5006992** e o código CRC **0C089966**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por tudo que proporcionou e tem proporcionado em minha vida. Ao meu Pai, minha Mãe e Meu irmão por serem as pessoas mais maravilhosas na minha Vida. A minha namorada pela motivação, e por estar comigo diariamente me incentivando. Ao Meu Orientador Giancarlo Lovón por todo auxílio no desenvolvimento deste trabalho e na Universidade. Aos Meus Tios, Tias, Avó, Amigos e Amigas, Servidores, Zeladoras e as Tias do RU. Aos professores que tive durante a graduação, por todo aprendizado e conhecimento. Por todas experiências que passei nestes anos. Pela minha família ter passado pela Pandemia com saúde. Este trabalho não seria possível sem o amor, carinho, motivação e incentivo de cada um de vocês.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes”.*

Isaac Newton

RESUMO

Atualmente, os plásticos são materiais de alto consumo em todo o planeta e o Brasil é o quarto país com maior produção de plástico do mundo. Estima-se que é produzido cerca de 11,3 milhões de toneladas de plástico ao ano, onde apenas 1,2% é reciclado, e a parcela não reciclada tem como principal destino lixões, mares e nascentes. A Política Nacional de Resíduos (PNRS), Lei Federal nº 12.305/10 recomenda a erradicação da má gestão de resíduos e o desenvolvimento de uma cultura que envolva o fomento da Reciclagem, Reutilização e Redução (3R's), criando assim um sistema que gera muitos empregos relacionados a reciclagem e fabricação de plástico pós-consumo. Neste contexto as organizações procuram conciliar a reciclagem de plástico e a tecnologia de impressão 3D para a criação de soluções inovadoras, de baixo custo e sustentáveis. Inserido neste contexto o presente estudo apresenta como foco a cidade de Jandaia do Sul-PR que tem dificuldades no setor de reciclagem municipal. Neste setor os plásticos são coletados e comercializada de maneira bruta, sem nenhum tipo de agregação de valor ao material. O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica de produção de filamentos para impressoras 3D a partir de plásticos virgens e reciclados para um potencial cenário de reciclagem em Jandaia do Sul - PR. Foram estruturados testes experimentais nas fases de caracterização e quantificação dos insumos, rota de produção de filamentos e o cenário comparativo de dois tipos de insumos. Os filamentos foram processados em uma extrusora mono rosca específica para a fabricação de filamentos de impressão 3D. Os resultados apresentaram uma rota de produção de filamentos de impressoras 3D com cenários para plástico virgem e plástico reciclado. Dentre as limitações encontradas no processo, destacam-se o processo de trituração, extrusão e resfriamento. As dificuldades nestes processos acarretaram em perda de qualidade dos filamentos produzidos com a rota de material reciclável. Desta forma, conclui-se que a produção dos filamentos para a rota de material reciclado com PET possui viabilidade de produção para a impressão 3D FDM desde que o equipamento para fabricação do filamento seja mais robusto, com uma extrusora uma dupla-rosca, e que possibilite o controle da temperatura e de velocidade com mais precisão junto a um sistema eficaz de resfriamento na saída do bico extrusor.

Palavras-chave: Filamento. Polímero. Reciclagem. Impressão 3D. Plástico.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE JANDAIA DO SUL EM RELAÇÃO ÀS DÉCADAS.	23
FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS COM POTENCIAL RECICLÁVEL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR MEIO DE CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA.	26
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA DO PLÁSTICO PÓS-CONSUMO	27
FIGURA 4 – FABRICAÇÃO DO FILAMENTO DE ABS RECICLADO	32
FIGURA 5 – ORGANOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DESTA PESQUISA	35
FIGURA 6 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO VIRGEM.	35
FIGURA 7 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO.....	36
FIGURA 8 – FASES DA PESQUISA.....	38
FIGURA 9 – ESTRUTURA DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	40
FIGURA 10 – PENEIRAS 17 MM (P1) 10 MM (P2)	42
FIGURA 11 - PENEIRA 4 MM MODIFICADA.....	43
FIGURA 12 – FOTO NA TRITUADORA.....	44
FIGURA 13 – SISTEMA I	45
FIGURA 14 – SISTEMA II	45
FIGURA 15 – FILAMENTO DEFORMADO DEVIDO CHOQUE TÉRMICO	46
FIGURA 16 – CENÁRIO ÓTIMO DE PRODUÇÃO	47
FIGURA 17 – MATERIAL NA GRANULOMETRIA DE 4 MM	49
FIGURA 18 – MANUTENÇÃO NA EXTRUSORA	50
FIGURA 19 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO VIRGEM.	50
FIGURA 20 – ABS VIRGEM.....	51
FIGURA 21 – PROCESSO DE EXTRUSÃO COM MATERIAL ABS.....	51

FIGURA 22 – ENROLADOR	52
FIGURA 23 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO.....	53
FIGURA 24 – RECEBIMENTO DAS GARRAFAS PETS	53
FIGURA 25 – MATÉRIA-PRIMA PREPARADA	54
FIGURA 26 – PROCESSO DE TRITURAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO E MATERIAL OBTIDO.....	54
FIGURA 27 – PROCESSO DE EXTRUSÃO COM MATERIAL RECICLADO	55
FIGURA 28 – PROCESSO DE MANUTENÇÃO DA EXTRUSORA	55
FIGURA 29 – ENROLADOR	56
FIGURA 30 – FILAMENTO F1 E F2.....	57

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MATERIAIS E AFINS	41
------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSUS DO BRASIL NO ANO DE 2008.	20
TABELA 2 – DADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLETA CONVENCIONAL DOS ANOS DE 2014 A 2018.	24
TABELA 3 – DADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS COLETADOS NA COLETA CONVENCIONAL DE 2014 A 2018.	25
TABELA 4 – QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MATERIAIS RECICLÁVEIS	48
TABELA 5 – SIMULAÇÃO ABSORÇÃO DOS RESÍDUOS RECICLADOS NO ANO DE 2018 EM JANDAIA DO SUL.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

ASCAMAR - Associação dos Agentes Ambientais Catadores de Materiais Recicláveis de Jandaia do Sul.

FDM-FFF - Fused Deposition Modeling

HIPS - Poliestireno de Alto Impacto

LOM - Fabricação de Objetos Laminados

PC - Policarbonato

PET - Polietileno tereftalato

PET - Politereftalato de Etileno

PETG - Politereftalato de Etileno Glicol

PGIRSU - Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

PLA - Ácido Poli Lático

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos.

RSU – Resíduos Sólidos Orgânicos

SLM - Fusão Seletiva a Laser

TCC II - Trabalho de Conclusão de Curso II

TPU - Poliuretano Termoplástico flexível

WWF - World Wide Fund for Nature.

LISTA DE SÍMBOLOS

Ø – Diâmetro

Kg - Quilo

mm – Milímetros

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 Objetivo geral	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	19
2.1.1 Resíduos sólidos no Brasil	21
2.1.2 Panorama da reciclagem no Brasil.....	21
2.1.3 Panorama dos resíduos reciclados em Jandaia do Sul.....	22
2.2 . RECICLAGEM DE PLÁSTICO	26
2.2.1 Rotas e Tecnologias de reciclagem de plástico	28
2.2.2 Reciclagem e fabricação de filamentos 3D	29
2.3 PRODUÇÃO ADITIVA.....	30
2.3.1 Fabricação de Filamentos 3D.....	31
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA	35
3.3 FASES DE PESQUISA	37
3.3.1 Planejamento da pesquisa	37
3.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	40
3.4.1 PROCEDIMENTO I - INSUMOS	40
3.4.2 PROCEDIMENTO II – QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA RECICLADA	41
3.4.3 PROCEDIMENTO III – MONTAGEM DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	44
4 RESULTADOS.....	48
4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MATERIAIS RECICLÁVEIS EM JANDAIA DO SUL.	48
4.2 QUANTIFICAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA RECICLADA PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE FILAMENTO.....	49

4.3 ROTAS DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS.....	50
4.3.1 ROTA DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS COM PLÁSTICO VIRGEM	50
4.3.2 ROTA DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS COM PLÁSTICO RECICLADO	52
4.4 FILAMENTOS	56
4.5 QUANTIFICAÇÃO E CENÁRIO DE RECICLAGEM EM JANDAIA DO SUL	58
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A origem da palavra “plástico” vem do grego *plastikós* que tem como significa “adequado a modelar”, eles são materiais que tem como componentes cadeias de macromoléculas denominadas de polímeros e este material tem como principal característica grande versatilidade, que possibilita a construção diferentes tipos de produtos e derivados. Para Ferreira (2020) o plástico se tornou onipresente na natureza, tornando-se um grande inconveniente para a fauna, flora, sociedade e a economia. Está presente na natureza como micropartículas em solo, lagos, mares, rios e oceanos, além das grandes emissões de CO₂ (Dióxido de Carbono) que aumentam anualmente devido a maiores demandas em relação a produção de plástico e a incineração de resíduos sólidos.

De acordo com WWF (2019) (*World Wide Fund for Nature*) o Brasil é atualmente o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo, ficando atrás apenas de Estados Unidos, China e Índia, WWF (2019) afirma que em um levantamento feito encontrou-se que a maioria destes plásticos é de uso único, sendo fabricados e descartados imediatamente logo após sua utilização de maneira incorreta, poluindo oceanos, nascentes e florestas.

Ferreira (2020) afirma que este cenário pode ter relação devido à falta de políticas públicas que incentivem a reciclagem em larga escala destes materiais plásticos. Desta forma conforme Zago *et al.* (2019) para o fomento e desenvolvimento de consciência em relação a sustentabilidade foi criada no Brasil em 02 de agosto de 2010 a Lei nº 12.305/10 denominada de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que pode ser considerada o marco legal para gestão de resíduos sólidos no país. Ela exige de governos, empresas e cidadãos mudanças fundamentais rumo a cultura da Reciclagem, Reutilização e Redução (3 R's). De acordo com Ferreira (2020) além de estimular a redução do consumo de matérias-primas virgens e a produção de energia, o reaproveitamento de resíduos e todos os outros pontos expressos pela PNRS contribui para a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável.

Para Ferreira (2020) o cenário de reciclagem e reaproveitamento de resíduos, algumas instituições têm buscado conciliar a reciclagem de plástico e a tecnologia da produção aditiva, principalmente a impressão 3D, com objetivo de criar soluções sustentáveis. Tabares (2017) afirma que a *Plastic Europe* realiza a categorização do plástico e evidencia que o polietileno, o polipropileno e o policloreto de vinilo são os tipos de plásticos mais produzidos a nível mundial, desta forma, sendo possíveis focos para matéria-prima de produção dos filamentos para impressão 3D. Neste contexto, o objetivo é utilizar polímeros que tem o potencial de reciclagem para se tornarem matéria-prima em rotas de produção de filamentos para impressão 3D, utilizando principalmente os trabalhos de Ferreira (2020), Tabares (2017) e León (2019) que relacionam reciclagem com a produção de filamentos para impressão 3D.

Dessa maneira, inserido neste contexto de integração entre resíduos sólidos recicláveis e a tecnologia de impressão 3D, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de rotas de produção de filamentos para impressoras 3D a partir da reciclagem de plástico virgem e pós-consumo no município de Jandaia do Sul.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a viabilidade técnica da produção de filamentos para impressoras 3D, a partir de plástico virgem e reciclado para um potencial cenário de reciclagem em Jandaia do Sul - PR?

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Ferreira (2020) as garrafas do material Polietileno tereftalato (PET) são um dos principais contribuintes de resíduos plástico devido seu consumo em larga escala e tamanho, somado ao inconveniente de que grande parte dessas garrafas é de utilização única, ocasionando um grande problema em sua gestão. O estudo em questão aborda como foco a cidade de Jandaia do Sul que tem dificuldades no setor de reciclagem municipal, neste setor grande parte dos plásticos e frascos não é reciclada, são apenas coletados e comercializada de maneira bruta.

Uma das possíveis formas de fomentar a reciclagem no município é o estudo de viabilidade de implantação de uma rota de produção de filamentos para

impressoras 3D. Para León (2019) as impressoras 3D utilizam filamentos plásticos derivados do petróleo, como o PLA (Ácido Poli Lático), ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e principalmente o PET (Polietileno tereftalato), sendo o filamento plástico mais utilizado no mercado. León (2019) afirma que a impressão 3D possibilita aplicações em diversos campos de atuação como, a educação, construção, medicina e arquitetura; existem diversos tipos de tecnologia para impressão 3D e este estudo utiliza a tecnologia de impressão chamada de Fused Deposition Modeling (FDM) que em português significa Modelado por Disposição Fundida, uma das tecnologias de impressão 3D mais utilizadas do mercado.

Esta pesquisa apresenta uma proposta de avaliação da viabilidade de reciclagem de plásticos pós-consumo para criação de rotas de produção de filamentos de impressão 3D, onde os plásticos foram coletados no município de Jandaia do Sul. Os fatores motivadores para este estudo se relacionam nos vieses social, ambiental e econômico. Relacionado ao viés social como incentivo da comunidade universitária em projetos e atividades voltadas a educação ambiental e reciclagem; no viés ambiental como demonstrar para a comunidade acadêmica e população geral de Jandaia do Sul o quanto estas ações de reutilização e reuso podem mitigar o aumento de resíduos plásticos no aterro sanitário e nascentes da cidade; e no viés econômico como apresentar principalmente para a Associação de Catadores de Jandaia do Sul o quanto pode ser rentável a mudança da venda do material bruto em relação a venda do material com um processo de agregação de valor para este material, demonstrando que a boa gestão de reciclagem pode se tornar mais rentável que a venda bruta dos materiais recicláveis.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica de produção de filamentos para impressoras 3D a partir de plásticos virgens e reciclados para um potencial cenário de reciclagem em Jandaia do Sul - PR.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Quantificar a cadeia de coleta de resíduos plásticos em Jandaia do Sul;

2. Caracterizar resíduos plásticos para insumos da produção de filamentos de impressoras 3D a partir de plástico reciclado;
3. Propor uma rota de produção de filamentos para impressoras 3D a partir de plástico virgem e reciclado;
4. Avaliar a viabilidade técnica de uma produção de filamentos para impressão 3D.

1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) é composta por cinco capítulos, sendo eles:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Neste capítulo inicia-se com a contextualização do estudo seguido do problema de pesquisa. Apresenta-se pontos fundamentais do trabalho como a justificativa de pesquisa, bem como os objetivos gerais e específicos.
- **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:** Neste capítulo é apresentado o referencial teórico no qual este trabalho é embasado. Traz como macro tópicos a gestão de resíduos sólidos urbanos, a reciclagem de plástico, produção aditiva e a consideração final sobre a revisão, com seus respectivos desdobramentos específicos.
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Neste capítulo apresenta-se a classificação na qual esta pesquisa se enquadra com base em sua natureza, abordagem e aplicação. Com isso, caracteriza-se o objeto de pesquisa e posteriormente apresenta-se e as etapas de pesquisa na qual o planejamento da pesquisa decorre de forma metodológica.
- **Capítulo 4 - Procedimentos Experimentais:** Neste capítulo apresenta-se as fases pelas quais os procedimentos experimentais ocorreram destacando principalmente os macros tópicos como materiais utilizados, qualificação e quantificação da matéria-prima, produção de filamentos e montagem do sistema ótimo de produção.
- **Capítulo 5 - Resultados:** Neste capítulo é apresentado todos os resultados diretos e indiretos encontrados nesta pesquisa, bem como análises em relação aos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo de Revisão Bibliográfica foram abordados subcapítulos que geram embasamento para esta pesquisa. Estes subcapítulos se estruturam da seguinte maneira: o primeiro subcapítulo trata da gestão de resíduos sólidos urbanos, onde se apresenta um panorama dos resíduos sólidos e materiais recicláveis no Brasil, em seguida, se contextualiza os resíduos sólidos em Jandaia do Sul-PR por meio do plano de gerenciamento de resíduos sólidos fornecido pelo município. O segundo subcapítulo trata da reciclagem do plástico, onde apresenta-se rotas e tecnologias para reciclagem de plástico, bem como a reciclagem na fabricação de filamentos 3D. E o terceiro e último subcapítulo da revisão bibliográfica trata da produção aditiva, onde apresenta-se a fabricação de filamentos para impressão 3D.

2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo Fernandes et al. (2012) a gestão ambiental tem como objetivo equilibrar a natureza e a sociedade, utiliza para isso a administração dos ecossistemas naturais e sociais, como o desenvolvimento humano, da fauna e flora. Percebe-se a importância entre procedimentos que buscam amenizar a relação entre as atividades antrópicas e o meio ambiente.

Para Andrade et al. (2011) cidades com deficiência na gestão de resíduos sólidos podem acabar sofrendo com inúmeros problemas decorrentes, sendo eles:

- Poluição atmosférica, decorrente do material particulado;
- Odores e gases nocivos;
- Poluição hídrica, resultante do chorume;
- Contaminação e degradação do solo;
- Proliferação de doenças, associados aos resíduos sólidos.

Desta forma, nota-se a importância da gestão dos resíduos sólidos urbanos em relação ao fomento de ferramentas para gerenciar o aperfeiçoamento das coletas seletivas, o tratamento de resíduos e a disposição final destes resíduos.

De acordo com COMCAP (2002) a caracterização dos diferentes componentes dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) subsidia desenvolvimento de planos de ação abrangendo serviços de saneamento básico como coleta regular e aprimoramento da coleta seletiva.

Conforme Monteiro et al. (2001) composição gravimétrica destaca a porcentagem de cada componente presente em uma amostra de resíduo analisada em relação ao peso total desta amostra. Os mais comuns presentes nas amostras de RSU são papel, metal, vidro, plástico e materiais orgânicos. De acordo com Guadagnin (2014) a Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos orgânicos no Brasil no ano de 2008.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSUS DO BRASIL NO ANO DE 2008.

<i>Resíduos</i>	<i>Porcentagem Residual (%)</i>
Materiais recicláveis	31,9
Metais	2,9
Aço	2,3
Alumínio	0,6
Papel, Papelão, Tetrapak	13,1
Plástico total	13,5
Plástico filme	8,9
Plástico rígido	4,6
Vidro	2,4
Materiais orgânicos	51,4
Outros	16,7
Total	100,0

FONTE: Adaptado de Guadagnin (2014)

2.1.1 Resíduos sólidos no Brasil

De acordo com Zago et al. (2019) a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei Federal nº 12.305/10, de 02 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto Federal nº 7.404/2010 – pode ser considerada o marco legal para gestão de resíduos sólidos no país. Esta Lei exige de governos, empresas e cidadãos mudanças rumo a cultura da Reciclagem, Reutilização e Redução (3R's).

Para Andrade et al. (2011) a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil e nos países periféricos tende a seguir um modelo baseado nos países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão, União Europeia e entre outros, porém, a realidade desta gestão no país vem sendo bem diferente das que ocorre nos países desenvolvidos. Pode-se observar essa situação crítica em relação à gestão de resíduos sólidos no Brasil pelo fato de se observar que algumas cidades não fiscalizam de maneira coerente as atividades que são responsáveis pela coleta e destinação destes resíduos.

2.1.2 Panorama da reciclagem no Brasil

Em relação ao panorama da reciclagem no Brasil, pode-se definir que está pautada sob os aspectos sociais, econômicos e ambientais da reciclagem.

De acordo com Silva et al. (2018) o aspecto social da reciclagem leva em consideração os indivíduos que buscam a coleta para subsistência, da coleta de materiais que possam ser revendidos (alumínio, papelão, plástico, cobre, etc). Neste cenário, têm-se os catadores de materiais recicláveis como protagonistas. O exercício da atividade de coleta de material reciclável se tornou reconhecido oficialmente em 2002 pela Classificação Brasileira de Ocupações.

Para Ribeiro et al. (2014) os catadores são responsáveis pela maior parte da atividade que diz respeito a reciclagem no Brasil, apesar desta grande importância para a sociedade, estes trabalhadores enfrentam inúmeras dificuldades em relação a execução das suas atividades, grande parte deles passando por situações de extrema necessidade e vulnerabilidade. Dessa forma, é necessário que o estado ofereça condições de trabalho mais dignas para esses trabalhadores em relação a infraestrutura, remuneração e segurança.

O aspecto econômico da reciclagem diz respeito a capacidade que o processo de reciclagem tem de transformar aquilo que era um resíduo e estava

sendo descartado em uma matéria-prima, com um valor agregado. Apesar disso, o Brasil ainda trata essa atividade como algo pouco viável economicamente.

Segundo Ribeiro et al. (2014) o trabalho que as cooperativas de reciclagem executam é extremamente expressivo que ao estudarem as cooperativas do Rio de Janeiro, estimam que essas são capazes de uma arrecadação anual de cerca de 34 milhões.

Desta forma, é evidente o quanto o país perde economicamente por não investir de forma adequada na coleta seletiva e a reciclagem. Esses agentes podem fazer total diferença quando bem planejados e executados, como vemos nos países mais desenvolvidos.

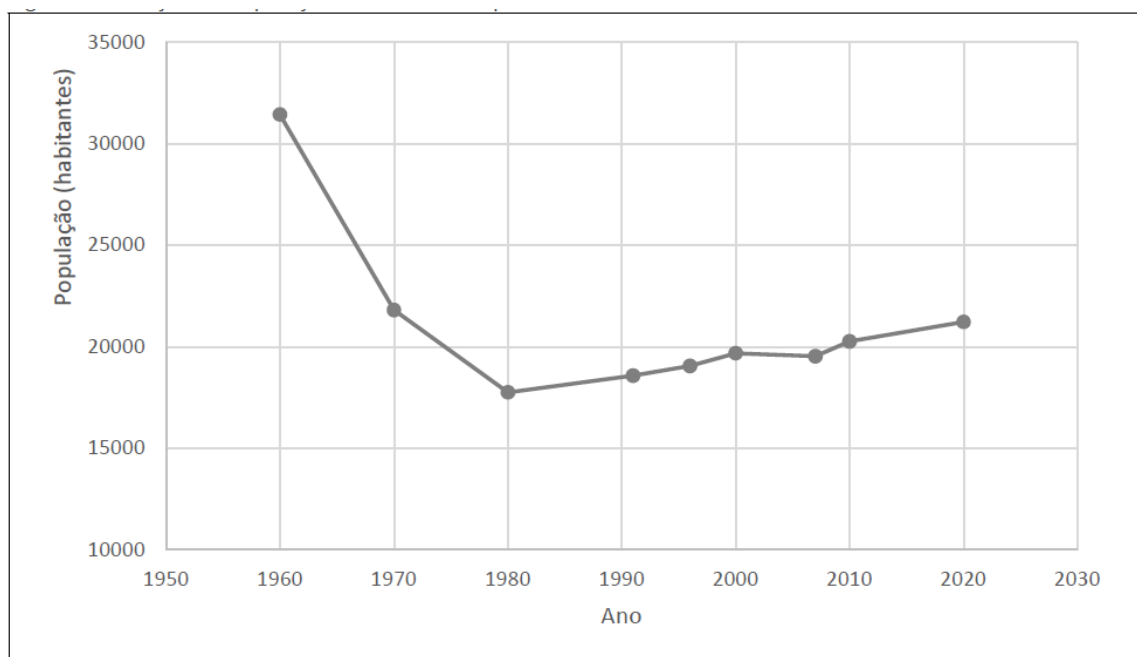
Com relação ao aspecto ambiental da reciclagem existe principalmente ao processo de reaproveitamento de materiais que seriam descartados em aterros, lixões, mares e florestas; reduz-se a necessidade de extração de matérias-primas virgens, onde se tem a diminuição da degradação ambiental advinda desta atividade.

Além destes benefícios Gouveia (2012) cita o fomento da reciclagem do ponto de vista ambiental auxiliaria no descarte de materiais que levariam muito tempo para se decompor e ainda diminuiria a contaminação dos solos e lençóis freáticos – o que frequentemente ocorre em lixões, locais onde não se tem o tratamento adequado do chorume – buscando assim preservar diversos habitats, a diversidade e a vida humana.

2.1.3 Panorama dos resíduos reciclados em Jandaia do Sul

De acordo com Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos-PGIRSU (2020), o município de Jandaia do Sul está localizado na região Norte do Estado do Paraná, está situado no Vale do Ivaí, pertencente a Bacia hidrográfica do Rio Ivaí. Sua área territorial é de 187,6 km², sendo 16,36 km² ocupados pela área urbana. Os dados apresentados na Figura 1 expressam a compreensão da população do município de Jandaia do Sul em relação às décadas.

FIGURA 1 – POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE JANDAIA DO SUL EM RELAÇÃO ÀS DÉCADAS.



FONTE: PGIRSU (2020).

De acordo com a Figura 1 o PGIRSU (2020) afirma que entre os anos de 1960 e 1975, o município de Jandaia do Sul apresentou uma população em torno de 31.448 habitantes, isso pode ter ocorrido pois o município foi um produtor de café que atraía residentes para esta área. De acordo com os dados do PGIRSU (2020), o município de Jandaia do sul apresenta uma população total de 20.269, sendo 18.331 habitantes da área urbana e 1.938 habitantes da área rural, com uma densidade demográfica de 108,04 hab./km² e taxa de urbanização de 90,44%.

Com o contingente de habitantes, o município de Jandaia do Sul é um gerador de resíduos urbanos, desta maneira, por meio do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Jandaia do Sul pode-se quantificar a geração de resíduos sólidos. Apresenta-se a Tabela 2 onde encontra-se dados populacionais, quantificação de resíduos sólidos urbanos recolhidos pela coleta convencional e a quantidade de resíduos coletados por agentes (públicos e privados), entre 2014 a 2018.

TABELA 2 – DADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLETA CONVENCIONAL DOS ANOS DE 2014 A 2018.

Ano	População Urbana (habitantes)	Quantidade Coletada (toneladas)	Quantidade Total (toneladas)	Material Reciclado Recuperado (toneladas)
2014	19.111	4.683	4.994,70	311,6
2015	19.176	4.683	4.994,70	287,9
2016	19.239	6.400	7.107,00	450
2017	19.301	6.800	7.250,00	450
2018	21.122	6.900	7.362,00	420

FONTE: Adaptado de PGIRSU (2020).

Com os dados expressos pela Tabela 2, consegue-se estimar os valores de resíduos sólidos urbanos, para:

- Produção anual;
- Produção mensal;
- Produção diária.

Para o PGIRSU (2020), para a realização deste cálculo, foi considerada a população urbana e resíduos de origem domiciliar e da limpeza urbana, onde pode-se observar os valores referidos na Tabela 3.

TABELA 3 – DADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS COLETADOS NA COLETA CONVENCIONAL DE 2014 A 2018.

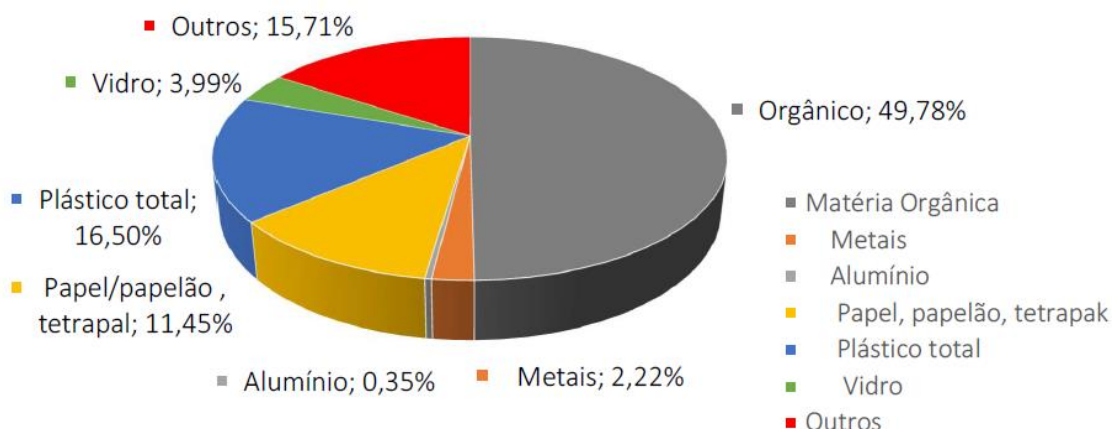
Ano	População Urbana (habitantes)	Produção Per Capita de Resíduos/Ano (kg/hab./ano)	Produção Per Capita de Resíduos/Mês (kg/hab./mês)	Produção Per Capita de Resíduos/Dia (kg/hab./dia)
2014	19.111	245,04	20,42	0,68
2015	19.176	244,21	20,35	0,68
2016	19.239	332,66	27,72	0,92
2017	19.301	377,63	31,47	1,05
2018	19.102	361,22	30,10	1,00

FONTE: Adaptado de PGIRSU (2020).

Como se pode observar os dados apresentados na Tabela 3, entre os anos de 2014 e 2018, destaca-se que entre os anos de 2015 e 2016 a população urbana aumentou em 0,32% enquanto a geração per capita/ano de resíduos apresentou um crescimento de 35,29%.

De todo esses resíduos gerados, parte dele é composto de material que pode ser reciclado. A caracterização deste material pode ser feita por meio da composição gravimétrica, que se define como determinar frações percentuais dos diferentes resíduos que são produzidos pela população. Desta maneira, pode-se destacar a composição dos Resíduos sólidos urbanos gerados em Jandaia do Sul com base na Figura 2.

FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS COM POTENCIAL RECICLÁVEL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR MEIO DE CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA.



FONTE: PGIRSU (2020).

Como pode ser observado na Figura 2 o PGIRSU (2020) apresenta que existe uma quantidade de material com grande potencial de reciclagem, como metais, alumínio, papelão, plástico e vidro; esses somados referem-se a um percentual de 34,51% de materiais que poderiam ser reciclados. Porém, esses materiais são classificados pela ASCMAR (Associação de Agentes Ambientais e Catadores de Recicláveis de Jandaia do Sul) e revendidos por quilo de maneira bruta, sem nenhum tipo de processo de agregação de valor ao produto.

2.2 . RECICLAGEM DE PLÁSTICO

Para Santos et al (2004) no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) a reciclagem surge como uma opção muito importante para reduzir os resíduos sólidos em aterros e lixões. Na categoria de reciclagem os plásticos constituem uma das classes de materiais com menor índice de reciclagem.

Conforme Ambientebrasil (2009) a matéria-prima que compõe o plástico é o petróleo, onde este é formado por uma complexa mistura de compostos. Os plásticos podem ser definidos como materiais que são formados pela união de grandes cadeias moleculares denominadas polímeros. Grande parte dos plásticos é de utilização rápida, ou seja, são utilizados e descartados imediatamente e pode-se inferir a classificação dos descartes plásticos, sendo:

- Pós-industriais, são os plásticos que “sobram” principalmente dos processos de produção industriais, como aparas, rebarbas, etc.
- Pós-consumo, esses plásticos são os descartes dos consumidores, sendo provenientes de embalagens, e neste caso, descarte em larga escala que gera a maioria dos resíduos.

Neste estudo se desenvolve exclusivamente a reciclagem mecânica, que será mais bem exposta a seguir. O processo de reciclagem mecânica do plástico pode ser visualizado e apresentado no fluxograma na Figura 3.

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA DO PLÁSTICO PÓS-CONSUMO



FONTE: Adaptado de Ambientebrasil (2009)

O entendimento deste fluxograma decorre: Primeiramente se tem o plástico como resíduo, intitulado por 1 - “lixo” plástico. Este plástico é classificado de acordo com o tipo de plástico (ABS, PET, etc), nesta etapa são separados rótulos e tampas. Após o processo 2 - separação, o plástico é levado ao 3 - moedor, onde é moído e fragmentado em pequenas partes. Com a trituração, o plástico passa por um processo de lavagem para a retirada de contaminantes. Os fragmentos de plásticos são secos em um 4 - secador e destinados a um 5 - aglutinador, onde além de completar a secagem o material é compactado e tem seu volume reduzido para ser enviado a extrusora. No processo de 6 - extrusão, o material é fundido por meio de

calor e torna-se uma massa plástica homogênea, que ao final do processo, esta massa torna-se um filamento contínuo que é resfriado em água. Ao final do processo, este filamento pode ser 8 - peletizado ou granulado, transformado em grãos plásticos. Com isso, este material plástico está pronto para ser reutilizado e se tornar uma 9 - resina matéria-prima para produção de 10 - novos produtos à base de plástico.

2.2.1 Rotas e Tecnologias de reciclagem de plástico

Devido a necessidade de se mencionar diferentes processos, a reciclagem de polímeros pode ser dividida em três classes, sendo elas:

- Reciclagem química;
- Reciclagem energética;
- Reciclagem mecânica.

Segundo Medeiros et al. (2020), a reciclagem mecânica pode ser definida quando o polímero passa por etapas de pré-seleção, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e reprocessamento para posteriormente dar origem ao grânulo ou uma peça plástica. Pode-se conter aditivos do polímero, objetivando a melhoria de suas propriedades finais. Para Piva Wiebeck (2004) a reciclagem química pode ser definida como a despolimerização do polímero, neste caso, visando a destruição da estrutura polimérica, incluindo a cadeia principal. Já na reciclagem energética é quando o polímero passa pelo processo de combustão, e neste caso, não deixa de ser despolimerizado, porém, na reciclagem energética, não existe ênfase no produto, mas sim na energia desprendida no processo total.

Para Medeiros et al. (2020) no processo de reciclagem mecânica, as operações mais comuns utilizadas são a moagem e extrusão, que são utilizadas no processo de aglutinação. Tem-se como principal vantagem do uso de resíduos industriais a composição do plástico, que é definida sem grandes variações e com baixa contaminação. Em contrapartida, a reciclagem mecânica de resíduos pós-consumo necessita de lavagem minuciosa após a moagem, a fim de evitar contaminantes nos equipamentos e nas amostras. Atualmente a reciclagem

mecânica é a opção mais vantajosa do ponto de vista econômico e ambiental, pois pode ser implementada com um determinado “baixo custo” se comparar as outras opções de reciclagem e não é muito tecnológica para implementá-la.

Segundo Piva Wiebeck (2004) o processo de reciclagem energética é baseado no alto potencial calorífero dos plásticos, utilizando-os como combustíveis sintéticos. Este processo de queima gera resíduos gasosos, que são tratados por filtros ou precipitantes eletrostáticos para a remoção do material particulado e as partículas mais finas existentes no gás material. Estes resíduos gasosos são tratados a fim de redução da toxicidade destas emissões. Para Mano, Pacheco e Bonelli (2010) este tipo de reciclagem é conhecida como pirólise, a decomposição térmica é realizada na ausência de oxigênio e com temperaturas controladas que variam entre 760 a 1400°C. Ela é denominada de incineração quando esta fragmentação térmica é realizada por oxidação.

Para Piva Wiebeck (2004) a reciclagem química pode ter como resultado do seu processo tanto uma substância combustível quanto um produto químico que pode ser empregado para a síntese do polímero que lhe deu origem. O processo de reciclagem química quando denominado quimólise é referente a uma despolimerização que pode ser aplicada nos plásticos produzidos por condensação, como é o caso de poliésteres (PET), polímidas (náilons) e polímeros que são produzidos por adição (PU). No processo de reciclagem química chamado de hidrólise tem-se a utilização de vapor d'água em alta temperatura para ocorrer a quebra das ligações dos plásticos, obtendo como resultado polióis. Dentre os processos que são desenvolvidos na reciclagem química, a mais comum é a decomposição química do PET, produzindo monômeros, além de polióis, ou produtos desta decomposição química podem ser empregados na reutilização para a repolimerização do próprio PET.

2.2.2 Reciclagem e fabricação de filamentos 3D

De acordo com Tabares (2017) uma proposta para gestão de reciclagem de plástico foi feita pelo designer holandês Dave Hakkens que idealizou uma série de máquinas que faz com que qualquer indivíduo possa transformar plástico em elementos úteis e o desenvolvimento deste projeto sugere a transformação local do

plástico; a série é composta por máquinas trituradoras, extrusoras, injetoras, compressoras e até a extrusão de filamentos.

No contexto da produção de filamentos em conformidade com Ferreira (2020) os filamentos que são utilizados na impressão 3D são produzidos em massa e distribuídos como qualquer outro produto, utilizando materiais que são virgens. Após a impressão, a peça fabricada é descartada seguindo o modelo padrão dos bens de consumo (economia linear) e provavelmente este material terá como destinação final um aterro ou lixão. Ferreira (2020) acrescenta que a reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias, sendo elas:

- Reciclagem Primária;
- Reciclagem Secundária;
- Reciclagem Terciária;
- Reciclagem Quaternária.

Neste contexto, tanto a reciclagem primária como a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica, o que diferencia estes dois tipos de reciclagem é que na primária se tem a utilização de polímeros pré-consumo e na secundária a utilização de polímeros pós-consumo. A reciclagem terciária é conhecida como reciclagem química e a reciclagem quaternária conhecida como reciclagem energética. No Brasil a reciclagem mais difundida é a mecânica, essa pode ser viabilizada através do reprocessamento por extrusão, modelagem por compressão e termoformagem (FERREIRA, 2020).

2.3 PRODUÇÃO ADITIVA

De acordo com Silva et al. (2020) a produção aditiva é vista atualmente como uma das técnicas/tecnologias com maior tendência de se tornar uma das principais metodologias de fabricação do futuro. Caracterizada principalmente pela sobreposição de camadas no mecanismo de fabricação, a produção aditiva permite a construção de formas geométricas que seriam difíceis ou quase impossíveis de serem formadas em outros processos de fabricação.

Na última década houve a necessidade de aumentar a precisão dos equipamentos de produção, redução de custos e a maior variabilidade de materiais com suas possíveis aplicações. Neste cenário a produção aditiva ganha ainda mais notoriedade com crescimento em potencial, mesmo sendo um processo que existe há mais de 30 anos. (SILVA et al., 2020).

Para León (2019) as impressoras 3D utilizam filamentos plásticos derivados do petróleo, como o PLA (Ácido Poli Lático), ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e principalmente o PET (Polietileno tereftalato), sendo o filamento plástico mais utilizado no mercado. Ferreira (2020) destaca que novos materiais surgem e se tornaram populares onde pode-se destacar os polímeros Poliestireno de Alto Impacto (HIPS), Poliuretano Termoplástico flexível (TPU), Nylon, Policarbonato (PC), Politereftalato de Etileno (PET), Politereftalato de Etileno Glicol (PETG).

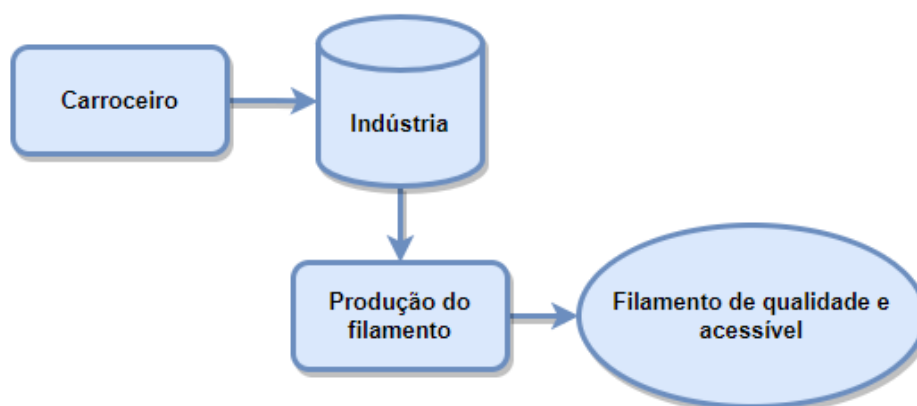
Segundo León (2019) as aplicações da impressão 3D são muito amplas e contam com atuações em setores como automotivo, medicina, arquitetura, construção, educação e etc. Atualmente a quantidade de tecnologias para impressão 3D é bastante vasta, contando com Fusão Seletiva a Laser (SLM), Fabricação de Objetos Laminados (LOM) e Fused Deposition Modeling (FDM-FFF) que em português significa Modelado por Disposição Fundida é uma técnica que utiliza com uma grande quantidade de filamentos plásticos como PET, que neste caso é a matéria-prima em pesquisa.

2.3.1 Fabricação de Filamentos 3D

Para Silva et al. (2020) o processo de impressão 3D é uma produção aditiva que se torna cada vez mais comum e utilizada. As impressoras 3D funcionam de maneira análoga as impressoras convencionais, porém utilizam como matéria-prima filamentos poliméricos, os quais serão apresentadas as etapas do processo de fabricação dos filamentos de maneira geral.

Existe uma grande diversidade de materiais que possibilitam a fabricação de filamentos para impressão 3D, como o PLA que pode utilizar sacolas plásticas, o PET que pode utilizar garrafas pós-consumo e entre outros, mas se assemelham no seu processo de fabricação. Para o entendimento, pode-se observar a fabricação do ABS reciclado na Figura 4.

FIGURA 4 – FABRICAÇÃO DO FILAMENTO DE ABS RECICLADO



FONTE: Adaptado de Ferreira (2020)

De acordo com Ferreira (2020) a fabricação deste filamento baseia-se na coleta do material reciclável em cooperativas de catadores e fábricas, passando pelo processo de triagem, limpeza e, posteriormente sendo levado até uma extrusora de bocal metálico, onde este material polimérico é despejado, aquecido e extrusado por meio de uma rosca giratória, se tornando um filamento que deve seguir parâmetros específicos para tornar-se um filamento de impressão 3D competitivo no mercado.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO

A revisão bibliográfica apresentou uma síntese das principais informações correlatas com a temática da reciclagem e reutilização de plástico no fomento de idealização de uma rota de reciclagem. Como apresentado pela WWF (2019) o Brasil é um grande produtor de lixo plástico, da produção de cerca de 11,3 milhões de toneladas de plástico ao ano, onde apenas 1,2% é reciclado, este cenário em virtude da cultura brasileira de falta de preocupação em relação à destinação dos resíduos sólidos e recicláveis no meio ambiente. Neste cenário, a Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (PNRS) surgiu para incentivar a mudança desta cultura brasileira, como citado por Zago et al. (2019) esta lei pode ser considerada um marco legal na gestão de resíduos sólidos.

No cenário de fomento de reciclagem e reutilização, surgem muitas oportunidades de possíveis materiais e rotas de reciclagens. Como apresentado por Ferreira (2020) o PET é o plástico com maior incidência de utilização única, junto ao fato que a cidade de Jandaia do Sul não recicla grande parte dos seus plásticos, a idealização deste projeto surge como uma possível rota de reciclagem utilizando o processo de fabricação de filamentos para impressão 3D que como citado por Silva et al. (2020) se torna cada vez mais comum e utilizada, sendo então uma rota com potencial de reciclagem.

Desta forma, com base na revisão bibliográfica apresentada, pretende-se idealizar rotas de produção para fomenta da reciclagem no por meio da produção de filamentos 3D FDM no município de Jandaia do Sul.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve e apresenta as etapas, fases, processos, os materiais e os métodos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, bem como a classificação da pesquisa e as ferramentas e técnicas necessárias que foram aplicadas.

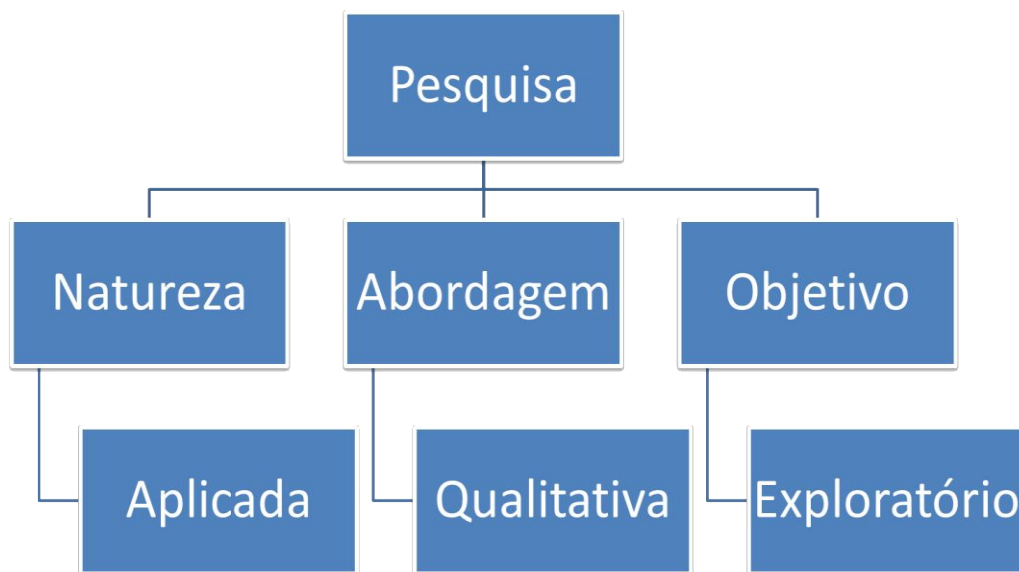
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com os pontos de vista dos objetivos desta pesquisa, pode-se enquadrar o presente trabalho como Pesquisa Exploratória. Segundo Gil (2017) a Pesquisa Exploratória tem como objetivo proporcionar familiaridade com o problema, tendo propósito de torna-lo mais explícito ou construir hipóteses. Gil (2017) ainda afirma que grande parte das pesquisas realizadas com propósito acadêmico assume o caráter de pesquisa exploratória, pois neste momento é pouco provável que o pesquisador tenha uma definição clara do que irá investigar ou definir.

Para Sampieri (2013) a abordagem desta pesquisa pode ser classificada como qualitativo, pois conforme o ponto de vista da abordagem de pesquisa, a principal característica expressa por este estudo é que se houve a testagem de hipóteses de diferentes artigos e estudos próximos a este com foco na possível para idealização de rotas de produção com plástico reciclado e virgem para filamentos de impressão 3D.

Em relação a natureza desta pesquisa este estudo se tratou de um experimento onde testou-se de diferentes tipos de plástico, em sua maioria PET, que poderiam servir como matéria-prima para a pesquisa, realizou-se testes de trituração e extrusora do material escolhido e avaliação do mesmo. Desta forma, conforme Turrioni e Mello (2012) estas ações são características de natureza de pesquisas aplicadas, assim pode-se classificar este estudo como aplicado. A Figura 6 apresenta o organograma de classificação adotado por esta pesquisa.

FIGURA 5 – ORGANOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DESTA PESQUISA



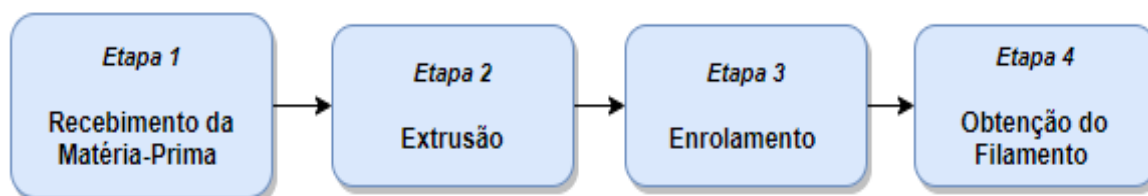
FONTE: O Autor (2022)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA

3.2.1 FLUXO DO SISTEMA PRODUTIVO

O objeto deste sistema em questão é tratar do desenvolvimento de rotas com plástico virgem e reciclado para produção de filamentos para impressão 3D. O sistema e o processo produtivo relacionado a produção de filamentos plásticos reciclados e plástico virgem são apresentados nas Figura 6 e Figura 7, respectivamente.

FIGURA 6 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO VIRGEM.



FONTE: O Autor (2022)

Com base na Figura 6, podem-se entender o fluxo do sistema produtivo a base de material virgem nos seguintes tópicos:

1) Recebimento da Matéria-Prima (MP) – O plástico virgem recebido e armazenado no Laboratório de Gestão de Resíduos e Tecnologias Sustentáveis - LabGERTS da UFPR do Campus Jandaia do Sul.

2) Extrusão – Testes do processo de extrusão com o plástico virgem para a produção de filamentos.

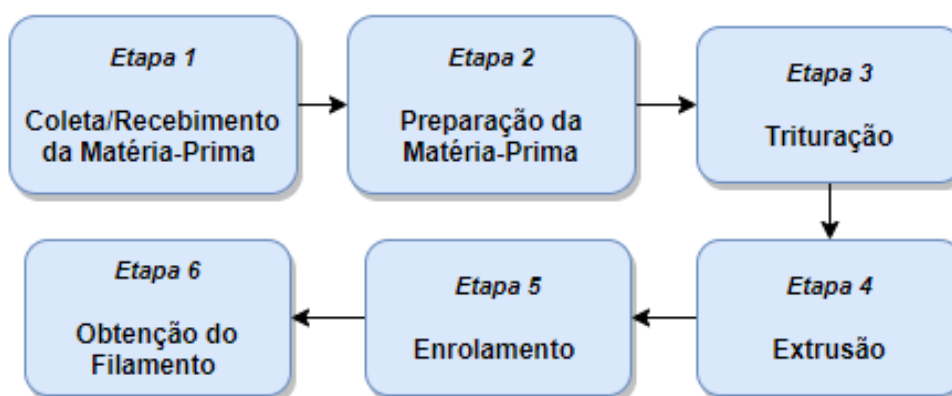
3) Enrolamento – Testes para utilização de enrolador manual.

4) Obtenção do Filamento – Processos citados anteriormente, se tem a produção do filamento por meio da matéria-prima virgem.

A estrutura das 3 etapas do sistema foi base para desenvolver a rota do sistema produtivo para produção de filamentos de impressão 3D a partir de plástico virgem.

Em analogia a etapa anterior, pode-se descrever da seguinte forma a rota do sistema produtivo para produção de filamentos de impressão 3D a partir de plástico reciclado com base no fluxograma da Figura 7.

FIGURA 7 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO.



FONTE: Adaptado de Tabares (2017)

Com base na Figura 7 e conforme procedimentos adaptados de Tabares (2017) podem-se entender o fluxo do sistema produtivo a base de material reciclado nos seguintes tópicos:

1) Recebimento da Matéria-Prima (MP) – Resíduos plásticos recebidos e armazenados no do Laboratório de Gestão de Resíduos e Tecnologias Sustentáveis - LabGERTS da UFPR do Campus Jandaia do Sul.

2) Preparação da Matéria- Prima – Testes e pesquisa para utilizar a matéria-prima. Testes de diferentes matérias-primas para encontrar a eficiência na trituração.

3) Trituração – Preparação da matéria-prima para trituração. Neste processo serão utilizadas peneiras de diferentes granulometrias para a qualificação da matéria-prima no tamanho e espessura desejados por este estudo.

4) Extrusão – Testes do processo em extrusão com tipos e materiais para produção de filamentos.

5) Enrolamento – Testes para utilização de enrolador manual.

6) Obtenção do Filamento – Processos citados anteriormente, produção do filamento por meio da matéria-prima reciclada.

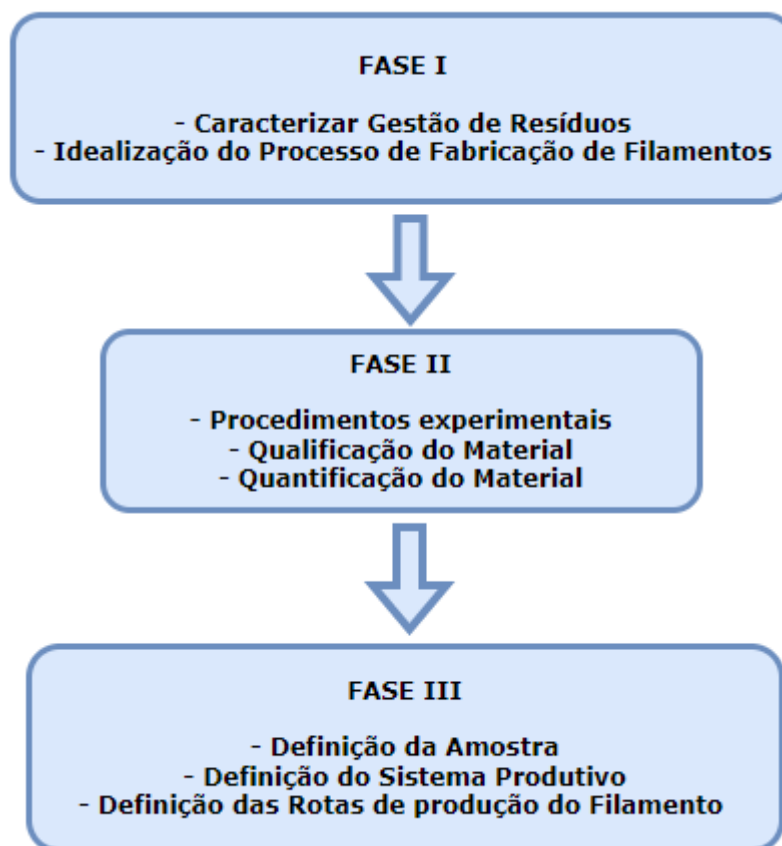
A estrutura das 5 etapas do sistema foi base para desenvolver a rota do sistema produtivo para produção de filamentos de impressão 3D a partir de plástico reciclado.

3.3 FASES DE PESQUISA

3.3.1 Planejamento da pesquisa

Como base metodológica desta pesquisa foram utilizadas as fases dos procedimentos apresentados por Ferreira (2020) e Tabares (2017) e adaptados para as rotas de produção conforme equipamentos do laboratório. As fases pelas quais essa pesquisa decorre de maneira metodológica estão descritas na Figura 8.

FIGURA 8 – FASES DA PESQUISA.



FONTE: Adaptado de Ferreira (2020)

Com base na Figura 8 e de acordo com Ferreira (2020) se pode inferir as fases pelas quais é estruturada a metodologia desta pesquisa, sendo:

Fase I) A Caracterização da Gestão de Resíduos ocorre de maneira quantitativa, os dados foram disponibilizados pela ASCAMAR que quantificou a entrada de resíduos no aterro de Jandaia do Sul, foram feitas 4 visitas ao aterro sanitário para coleta de dados. Desta forma, de maneira aproximada quantifica-se a entrada de resíduos sólidos e com potencial reciclável no aterro do município.

A idealização do Processo de Fabricação do Filamento pode ser definida nos seguintes pontos: 1) Os filamentos serão produzidos em uma extrusora mono rosca da marca Filmaq3D específica para a fabricação de filamentos de impressão 3D. O equipamento está localizado no Laboratório LabGERTS. O planejamento da produção será na extrusora a temperatura de 190 - 200 ° C, a uma velocidade de extrusão de 1 a 30 rpm e obtendo um monofilamento plástico de 1,75 mm esperado.

2) Foi desenvolvida uma plataforma para resfriamento e posteriormente idealizado um enrolador para o filamento, que será posicionado após a saída do bico extrusor.

Fase II) Os Processos experimentais ocorreram nos LabGERTS e LIEPT (Laboratório de Inovação em Engenharia do Produto e do Trabalho), também conhecido como espaço *Maker* UFPR, ambos localizados no Campus Avançado de Jandaia do Sul-PR. Nesta etapa ocorreu a testagem das seguintes ações:

1. Trituração;
2. Troca de peneiras;
3. Extrusão;
4. Enrolamento;
5. Teste de Sistemas.

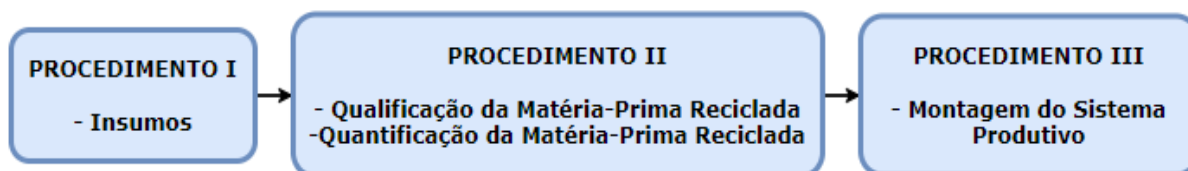
Os Testes do Tipo de Material ocorreram no LabGERTS UFPR, onde se testou diferentes tipos de PET's para a identificação da matéria-prima que melhor se adequasse a capacidade de potência da trituradora e extrusão do material. Para a quantificação foi avaliado a quantidade de garrafas necessárias para a produção de 1 quilo de filamento de impressão 3D e para a qualificação houve todo processo desde trituração, passagem pelas peneiras de diferentes granulometrias até a chegada de uma matéria-prima ideal para a produção do sistema idealizado neste estudo.

Fase III) A definição da amostra foi realizada nos laboratórios LabGERTS e LIEPT. As amostras concluídas com base em testes relacionados a dureza e resistência dos materiais submetidos a trituração; nestes testes se avaliou quais materiais seriam capazes de se produzir com base nos aparatos do laboratório. O processo produtivo foi testado rotas e sistemas para produção, tanto para o plástico virgem quanto para o material reciclado; nestes testes concluiu-se o sistema que mais viável para a produção do ciclo completo. Após as definições expressas, testou-se as rotas de produção com material virgem e com matéria-prima reciclada. Também se pode inferir a quantificação de potencial absorção de material que seria destinado ao meio-ambiente.

3.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para os procedimentos experimentais apresentados nesta pesquisa foram utilizadas como base os procedimentos apresentados por Ferreira (2020) e Tabares (2017) e seguem a estrutura com base na Figura 9.

FIGURA 9 – ESTRUTURA DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS



FONTE: Adaptado de Tabares (2017)

Com base na Figura 9, apresenta-se os procedimentos experimentais adaptados de Tabares (2017).

3.4.1 PROCEDIMENTO I - INSUMOS

Alguns materiais foram cedidos por instituições para realização deste estudo e outros, adquiridos. O ABS virgem em pelotas foi adquirido com o fabricante Filmaq 3D com sede em Curitiba-PR. Após coleta de 6 tipos de materiais com potencial para reciclagem, foram escolhidas amostras para reciclagem e identificou-se que as garrafas PET's seriam um insumo viável para ser usado como matéria-prima reciclada para este estudo. Neste contexto, as garrafas PET's foram fornecidas pela ASCAMAR (Associação de Agentes Ambientais e Catadores de Recicláveis de Jandaia do Sul) e UFPR Jandaia – Campus Avançado de Jandaia do Sul-PR. Os materiais foram nomeados conforme o Quadro 1.

QUADRO 1 – MATERIAIS E AFINS

Material	Fornecedor	Condição	Imagem
PET	UFPR Jandaia	Garrafa	
PET	ASCAMAR	Garrafa	
ABS	Filmaq 3D	Aglutinado	

FONTE: O Autor (2022)

Com base no Quadro 1, observa-se que o Material ABS foi adquirido pronto para os procedimentos experimentais, na imagem expressa na Tabela 1 entende-se 1 quilo de Material ABS aglutinada virgem que foi adquirido para os procedimentos experimentais. Contudo, na Tabela 1 se observa que os materiais PET's encontram-se em condições de garrafas PET's, desta forma, foi necessário os procedimentos experimentais para qualificação e quantificação da matéria-prima reciclada PET para produção de 1 quilo deste material.

3.4.2 PROCEDIMENTO II – QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA RECICLADA

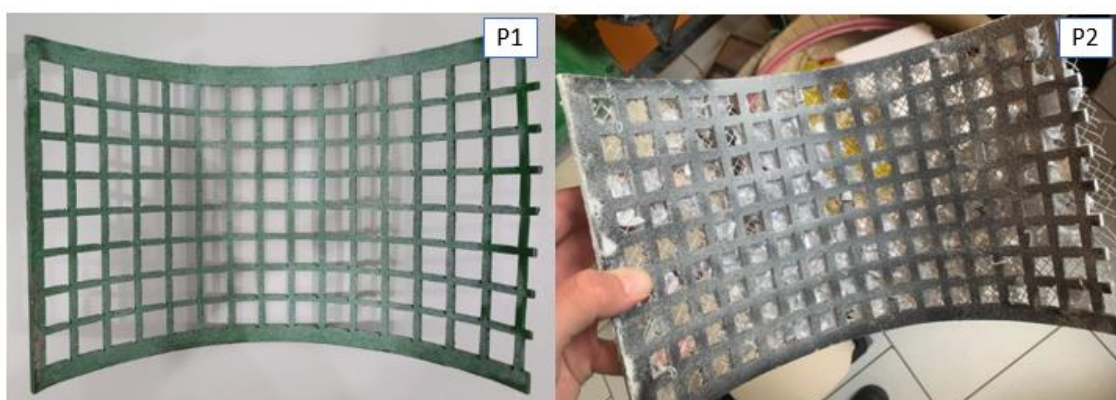
Com o insumo reciclado escolhido no Procedimento I, inicia-se a etapa de Procedimento experimental para matéria-prima reciclada no Procedimento II. O

material usado como matéria-prima reciclada para este trabalho é o PET, oriundo de garrafas PET virgem e pós-consumo. Foram testados tipos diferentes de garrafas PET's e foi escolhida a trabalhar com o PET transparente devido a espessura do plástico em relação a qualidade final do filamento. Nos testes notou-se que a eficiência de trituração foi melhor sem as extremidades das garrafas (parte superior e inferior), assim o material foi preparado tendo suas extremidades retiradas. Os fragmentos resultados deste processo necessitam ser menores que 4 mm, tamanho encontrado medindo a grande de segurança da extrusora Filmaq3D, desta forma, se adotou esta granulometria para extrusão sem danos ao maquinário.

3.4.2.1 QUALIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA RECICLADA

Após coleta de várias amostras de materiais para reciclagem no período de 1 mês e meio, identificou-se a espessura recomendada para matéria-prima reciclada é de 4 mm, com esta informação iniciou-se os procedimentos experimentais. As garrafas trituradas na menor peneira de 10 mm (P2) eram de granulometria de 15 a 19 mm, espessas para adentrar na Filmaq3D para o processo de extrusão, assim houve mudanças nos maquinários para adequação do material. A trituradora foi adquirida de fábrica com duas peneiras, sendo elas a peneira maior de 17 mm (P1) e a peneira menor de 10 mm (P2), como se pode visualizar na Figura 10.

FIGURA 10 – PENEIRAS 17 MM (P1) 10 MM (P2)



FONTE: O autor (2022)

A primeira modificação realizada foi a compra de uma peneira de construção de 4 mm de espessura, a mesma foi cortada com alicates e acoplada por meio de fios de arame na peneira P2 de 10 mm, a realização desta atividade pode-se observar na Figura 11.

FIGURA 11 - PENEIRA 4 MM MODIFICADA



FONTE: O autor (2022)

A modificação apresentada na Figura 11 foi capaz de fazer com que as garrafas PET permanecessem por mais tempo dentro da área de trituração e isso fez com que grande parte do material alcançasse a granulometria indicada pelo de 4 mm.

3.4.2.2 QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA RECICLADA

Para esta quantificação foi necessário o uso da balança analítica para pesar as garrafas PET's. Neste experimento visou identificar quantas garrafas PET's são necessárias triturar para se conseguir 1 quilo de material reciclável para a produção de filamentos, conforme a Figura 12.

FIGURA 12 – FOTO NA TRITUADORA



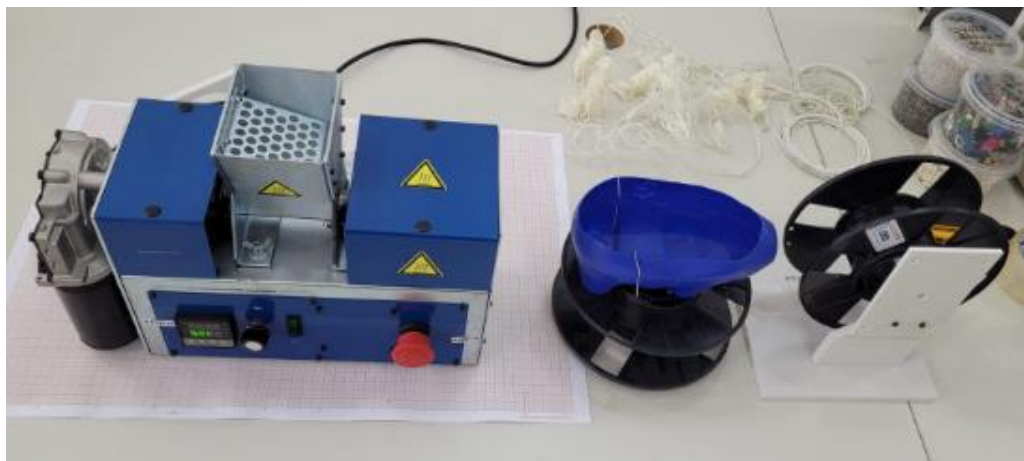
FONTE: O autor (2022)

O procedimento experimental foi realizado em dois momentos, com os operadores levando a matéria-prima já preparada para o triturador no Laboratório *Maker*. Em um primeiro momento com testes na trituradora com 2 peneiras: peneiras P1 – 17 mm e P2 – 4 mm e feito a produção de 1 quilo de matéria-prima reciclada, porém com a granulometria um pouco acima do desejado pois o material não ficou o tempo necessário no processo de trituração. Num segundo momento após a escolha da granulometria e o tempo correto, foi preparado a amostra para servir de insumo na extrusora.

3.4.3 PROCEDIMENTO III – MONTAGEM DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Nas rotas de produção de filamento para impressão 3D, tanto virgem quanto reciclado, é necessário a montagem de um sistema para que haja esta obtenção. No desenvolvimento deste trabalho, iniciou-se o com o Teste I onde o sistema está expresso na Figura 13.

FIGURA 13 – SISTEMA I



FONTE: O autor (2022)

Como observado na Figura 13 o sistema inicial conta com os seguintes equipamentos:

- I - Extrusora;
- II – Tanque resfriador a água;
- III – Enroladora.

Neste Teste notou-se que o filamento sai da extrusora e fica com deformação até chegar ao tanque de resfriamento, desta forma, houve a idealização de um novo componente para este sistema no Teste II. Na Figura 14 pode-se observar o sistema para Teste II.

FIGURA 14 – SISTEMA II



FONTE: O autor (2022)

Como se pode observar na Figura 14 o segundo sistema conta com os seguintes equipamentos:

I - Extrusora;

II – Ponte;

III - Resfriador;

IV – Enroladora.

Para o Teste II acrescentou-se uma “Ponte” ao sistema, para sustentação do filamento até a chegada ao resfriador, assim o Teste II apresentou melhor eficiência que o teste feito anteriormente, com o filamento mais consistente, contudo, este filamento não tem as características de qualidade necessárias que este estudo exige, filamento ter 1,75 mm de espessura constante; este teste demonstrou que o resfriamento a água cria um choque térmico no material e faz com que o matéria deforme como pode ser visto na Figura 15.

FIGURA 15 – FILAMENTO DEFORMADO DEVIDO CHOQUE TÉRMICO



FONTE: O autor (2022)

Com base nesta análise se viu a necessidade da retirada do resfriamento a água, deixando assim o resfriamento a ar natural na saída do bico extrusor. Vale ressaltar que enrolador foi desenvolvido utilizando materiais descartados do LIEPT, espaço Maker UFPR, e apresentou eficiência satisfatória pra construção do sistema. Com isso ocorreu o Teste III onde o sistema está expresso na Figura 16.

FIGURA 16 – CENÁRIO ÓTIMO DE PRODUÇÃO



FONTE: O autor (2022)

Como observado na Figura 16 este sistema foi considerado o cenário ótimo de produção para este estudo, este sistema conta com:

- Extrusora;
- Enrolador.

Foi retirado a Ponte pois não influenciou consideravelmente no processo e o resfriador a água pois o resfriamento a ar na saída da extrusora se mostrou bastante efetivo, suprimindo a necessidade para se manter uma boa qualidade do filamento e a espessuras próximas de 1,75 mm no enrolador. O Teste III foi desenvolvido com material ABS virgem e o PET reciclado, desta maneira demonstrando que o sistema desenvolvido por uma extrusora e um enrolador é capaz de produzir um filamento com especificidades próximas ao exigido por este estudo.

4 RESULTADOS

Com base nos procedimentos metodológicos e experimentais, apresenta-se no Capítulo 4 onde tem-se os resultados desta pesquisa. O subtópico 4.1 apresenta a quantificação dos resíduos sólidos e materiais recicláveis em Jandaia do Sul.

4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MATERIAIS RECICLÁVEIS EM JANDAIA DO SUL.

A quantificação de resíduos em Jandaia do Sul foi estudada com auxílio da ASCAMAR que forneceu os dados entrada de resíduos sólidos e materiais recicláveis no aterro sanitário de Jandaia do Sul. Com base nos dados coletados e dados do relatório de PGIRSU (2020) foi possível inferir a quantificação aproximada de resíduos sólidos e materiais recicláveis semanais e mensais que chega ao aterro de Jandaia do Sul, os dados encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4 – QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MATERIAIS RECICLÁVEIS

	<i>Resíduos Sólidos</i>	<i>Materiais Recicláveis</i>
	<i>(Kg)</i>	<i>(Kg)</i>
Semanal	2499	124,95
Mensal	9996	496

FONTE: Autor (2022)

Com base na Tabela 4, pode se observar que os valores aproximados para a quantificação semanal são de 2499 quilos para resíduos sólidos e 124,95 quilos para materiais recicláveis e a quantificação mensal é de 9996 quilos para resíduos sólidos e 496 quilos para materiais recicláveis. Os dados expressos encontram-se abaixo aos valores expressos no Tabela 2 do PGIRSU (2020). A limitação encontrada nesta etapa refere-se a dificuldade na coleta dos dados dos resíduos gerados na cidade. Esta dificuldade decorre da falta de controle e documentação das quantidades de resíduos sólidos e materiais recicláveis que adentram o aterro de Jandaia do Sul, juntamente com a dificuldade para acessar os valores junto aos funcionários do aterro.

Após esta análise de quantificação de resíduos sólidos e materiais recicláveis em Jandaia do Sul, foi possível analisar a quantificação de matéria prima reciclada

para a produção de 1 Kg de filamento, esta análise está descrita no tópico 4.2 a seguir.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA RECICLADA PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE FILAMENTO.

Para este resultado, utilizou-se balanças analíticas, cada garrafa pesa em média 52,45 gramas, para os estudos experimentais as extremidades das garrafas são retiradas, assim tem-se que a média de peso de cada garrafa sem as extremidades é de 30 gramas. Para o procedimento experimental foram utilizadas 36 garrafas com suas extremidades cortadas. Esta quantidade de material gerou 1093 gramas de material, retirado mais 36 gramas de perda calculada pelo processo se obteve um total de 1057 gramas. Como demonstrado nos Procedimentos Experimentais foi possível obter a Matéria-Prima Reciclada na granulometria de 4 mm e chegou-se à conclusão que é necessário de cerca de 36 garrafas PET's de 2 Litros com suas extremidades retiradas para a produção de 1 quilo de material para a produção de filamento PET para impressão 3D. O material qualificado e quantificado pode ser observado na Figura 17.

FIGURA 17 – MATERIAL NA GRANULOMETRIA DE 4 MM



FONTE: O autor (2022)

Com a conclusão das análises referentes a quantificação dos materiais recicláveis e para a produção de 1 Kg de filamento, pode-se idealizar as rotas de produção de filamentos virgens e reciclados. O subtópico 4.3 apresenta as seguintes rotas.

4.3 ROTAS DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS

Nos testes iniciais feito na extrusora ocorreu um entrave pois o operador da máquina colocou um pedaço metálico na rosca da extrusora, que veio a travar devido este corpo, isso acarretou no atraso de 1 semana no cronograma de testes previstos. Contudo esta situação possibilitou desmontar o equipamento extrusor e entender o funcionamento, como se pode ver na Figura 18.

FIGURA 18 – MANUTENÇÃO NA EXTRUSORA



FONTE: O autor (2022)

Como pode-se observar pela Figura 18 tem-se o equipamento com algumas partes desmontadas e a parte elétrica exposta para reparos.

4.3.1 ROTA DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS COM PLÁSTICO VIRGEM

A rota de produção com plástico virgem segue o fluxograma da Figura 19 apresentado a seguir.

FIGURA 19 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO VIRGEM.



FONTE: O Autor (2022)

Para a rota de produção de filamentos para impressão 3D com plásticos virgens inicia-se com a Etapa 1 – Recebimento da matéria-prima, neste caso a matéria prima é o ABS virgem que podem ser vistas na Figura 20.

FIGURA 20 – ABS VIRGEM



FONTE: O autor (2022)

Com base na Figura 20, tem-se o plástico ABS virgem que posteriormente é submetido ao processo de extrusão na Etapa II – Extrusão, no qual o processo de extrusão deste material pode ser visualizado na Figura 21.

FIGURA 21 – PROCESSO DE EXTRUSÃO COM MATERIAL ABS



FONTE: O autor (2022)

De acordo com a Figura 21 a etapa de extrusão com o material virgem ocorre sem empecilhos. Com esta produção dos filamentos ingressasse na Etapa III – Enrolador, para este projeto idealizou-se possibilidades de desenvolvimento de uma máquina enroladora, porém a falta de experiência sobre o assunto e o tempo

disponível para desenvolvimento do projeto foram limitantes nesta etapa. O enrolador usado para este projeto foi desenvolvido utilizando material que seria descartado do Laboratório LIEPT. A realização da atividade de enrolamento pode ser vista na Figura 22.

FIGURA 22 – ENROLADOR



FONTE: O Autor (2022)

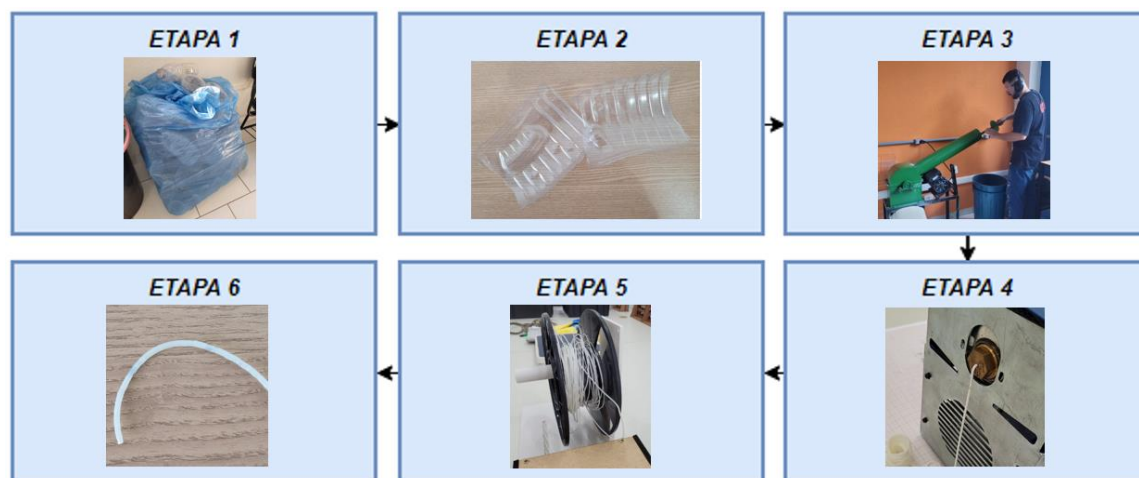
Com base na Figura 22 observa-se o filamento virgem no enrolador, nota-se que para esta rota de produção se conseguiu resultados melhores aos encontrados na rota de produção com material reciclado, porém os resultados encontrados nesta rota de produção com plástico virgem não alcançam todas as especificidades desejadas por este estudo.

Após estas 3 etapas descritas na rota do sistema produtivo para produção de filamentos de impressão 3D a partir de plástico virgem, se consegue obter o filamento de material de ABS virgem.

4.3.2 ROTA DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS COM PLÁSTICO RECICLADO

A rota de produção com plástico reciclado segue o fluxograma da Figura 23 apresentado a seguir.

FIGURA 23 – ROTA DO SISTEMA PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO.



FONTE: Adaptado de Tabares (2017)

Para a rota de produção de filamentos para impressão 3D com plásticos reciclados inicia-se com a Etapa 1 – Coleta ou recebimento da matéria-prima, neste caso a matéria prima são as garrafas PET's, que podem ser vistas na Figura 24.

FIGURA 24 – RECEBIMENTO DAS GARRAFAS PETS



FONTE: O autor (2022)

Com base na Figura 24, pode-se visualizar que as garrafas contêm suas extremidades plásticas com espessuras mais grossas, consequentemente, mais duras. Como explicado na qualificação da matéria-prima reciclada as extremidades foram retiradas para aumentar a eficiência do triturador; assim inicia-se a Etapa II –

Preparação da matéria-prima, onde na Figura 25 se pode ver a garrafa PET com suas extremidades cortadas e preparada para a trituração.

FIGURA 25 – MATÉRIA-PRIMA PREPARADA



FONTE: O autor (2022)

Com base na Figura 25, consegue-se visualizar a matéria-prima pronta para a etapa de trituração; desta forma inicia-se a Etapa III – Trituração, na qual o maquinário utilizado para trituração pode ser visto na Figura 26 bem como o material obtido no processo.

FIGURA 26 – PROCESSO DE TRITURAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO E MATERIAL OBTIDO

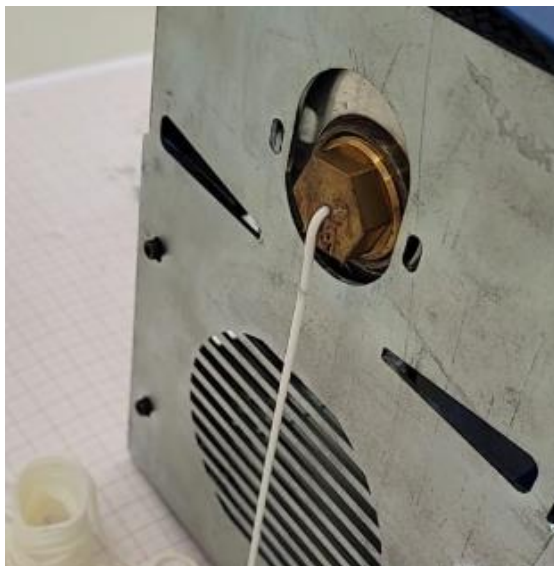


FONTE: O autor (2022)

Com base na Figura 26, pode-se inferir que o objetivo foi transformar as garrafas em fragmentos/lascas menores para que pudessem ser levados para a extrusora. Nesta etapa foram utilizadas peneiras de tamanhos 17 e 4 mm de espessura para completar o processo. Com estes procedimentos o material triturado

alcança a espessura de 4 mm, sendo a espessura correta para ser levada a Etapa IV – Extrusão, atividade na qual pode ser vista na Figura 27.

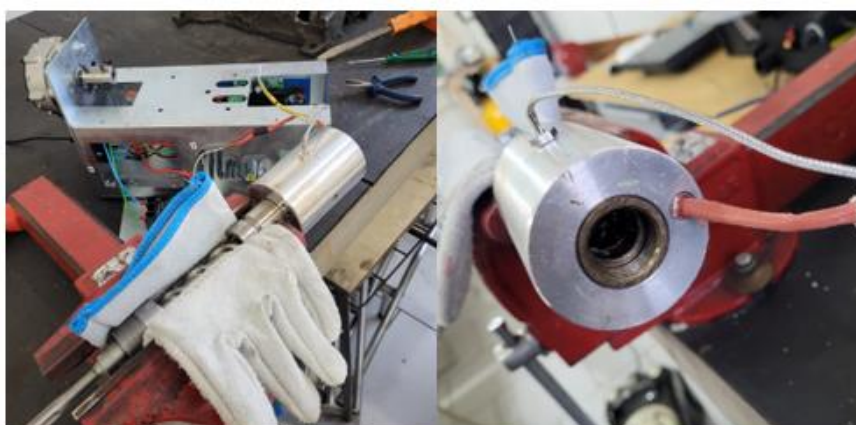
FIGURA 27 – PROCESSO DE EXTRUSÃO COM MATERIAL RECICLADO



FONTE: O autor (2022)

De acordo com a Figura 27 a etapa de extrusão com o material reciclado com o desenvolvimento dos testes notou-se que o material reciclado travava a rosca da extrusora e isto inviabilizava o processo. Nesta Etapa IV – Extrusão foram feitos 2 processos de manutenção na extrusora, como pode ser observado na Figura 28.

FIGURA 28 – PROCESSO DE MANUTENÇÃO DA EXTRUSORA



FONTE: O autor (2022)

Como pode ser observado na Figura 28, ocorreram 2 processos de manutenção para desobstrução do bico e destravar a rosca da extrusora, ocorreu a

produção do filamento com material reciclável. Com produção do filamento se ingressa na Etapa III – Enrolador, para a esta etapa de enrolamento diferentes protótipos de enroladores foram pensados, porém a falta de experiência sobre o assunto e o tempo disponível para desenvolvimento do projeto foram limitantes nesta etapa. O enrolador usado para este projeto foi o mesmo usado na produção do filamento virgem, que foi desenvolvido utilizando material que seria descartado do Maker UFPR. O enrolador com filamento pode ser visto na Figura 29.

FIGURA 29 – ENROLADOR



FONTE: O Autor (2022)

Com base na Figura 29, observa-se o filamento reciclado, nota-se que o pouco que se conseguiu produzir não alcançou as especificidades desejadas por este estudo.

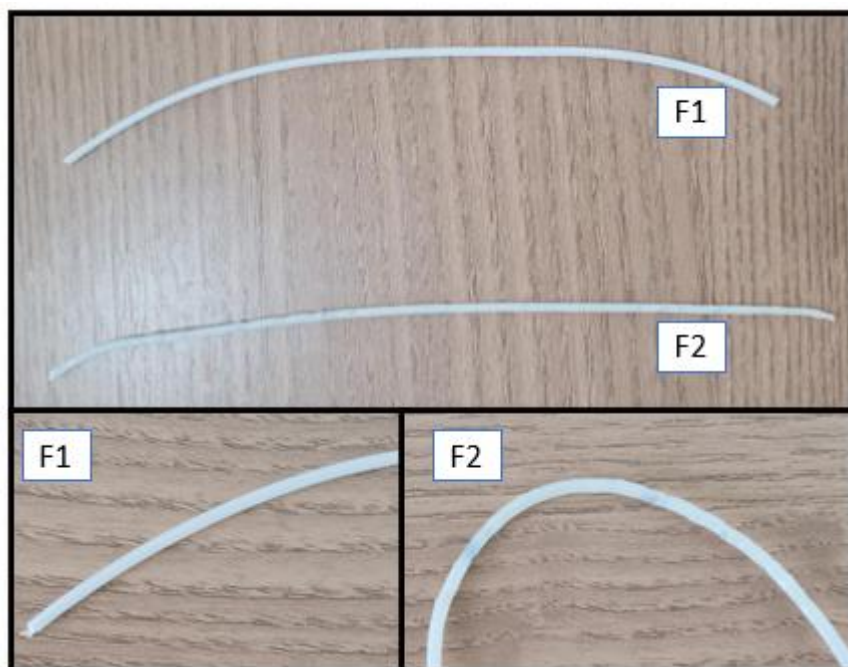
Após estas 5 etapas descritas na rota do sistema produtivo para produção de filamentos de impressão 3D a partir de plástico reciclado, se consegue obter o filamento de material reciclado de PET.

4.4 FILAMENTOS

Os filamentos foram produzidos na temperatura de 200 °C com ABS virgem (F1) e PET reciclado (F2), os filamentos F1 e F2 são apresentados na Figura 30, o

quadrante 1 representa os filamentos esticados e os dois quadrantes abaixo representam os filamentos ampliados.

FIGURA 30 – FILAMENTO F1 E F2



FONTE: O autor (2022)

Ambos os filamentos apresentam uma qualidade visual satisfatória ao longo do fio. O filamento F1 apresentou flexibilidade maior devido a matéria-prima ser o ABS, coloração esbranquiçada, sem bolhas internas e foi medido com o auxílio de um paquímetro digital, que indicou o diâmetro de $\varnothing = 1,77 \text{ mm}$, portando $0,02 \text{ mm}$ acima do esperado. O filamento F2 apresentou flexibilidade menor devido a matéria-prima ser o PET, mais frágil que F1, coloração esbranquiçada, com bolhas internas e diâmetro que variava de $\varnothing = 1,68$ a $1,82 \text{ mm}$, portando com grande variação, sem atingir o diâmetro constante desejado.

As limitações encontradas estão relacionadas aos processos:

1. Trituração do Material Reciclado - por ser um triturador que exigiu adaptações;
2. Extrusão do Material Reciclado - pela extrusora não ser capaz de extrudar o material reciclado de maneira efetiva;

3. Sistema de resfriamento - que ocorre de maneira direta na saída da extrusora para o enrolador, sendo efetivo, mas não o ideal.

4.5 QUANTIFICAÇÃO E CENÁRIO DE RECICLAGEM EM JANDAIA DO SUL

Relacionando a rota de produção com o filamentos reciclado, destaca-se que o cenário proposto de reciclagem de plástico para produção de filamentos para impressoras 3D é capaz de absorver parte dos materiais recicláveis da cidade de Jandaia do Sul. Para exemplificar uma análise de absorção dos resíduos reciclados por meio deste projeto, se toma como base os dados expressos no PGIRSU (2020) na Tabela 2 de ano de 2018 (ano mais recente expresso), tomando como exemplo uma absorção de 20% deste total por meio deste projeto, os dados e resultados encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5 – SIMULAÇÃO ABSORÇÃO DOS RESÍDUOS RECICLADOS NO ANO DE 2018 EM JANDAIA DO SUL

<i>Material Reciclado Recuperado no Ano de 2018 (toneladas)</i>	<i>Reciclagem de 20% do Material Reciclado no ano 2018 (toneladas)</i>	<i>Quantidades de Garrafas PET de 2 Litros que seriam recicladas (unidades)</i>
420 toneladas	84 toneladas	3.024.000 garrafas

FONTE: O autor (2022)

Com base nos dados expressos na Tabela 5, se tem que naquele ano a quantidade de material reciclado recuperado foi de 420 Toneladas, de maneira a exemplificar, se houvesse a reciclagem de ao menos 20% da quantidade de material recuperado no ano de 2018 este projeto seria capaz de reciclar/absorver 84 Toneladas, o que acarretaria cerca de 3.024.000 garrafas PET de 2 litros, uma contribuição extremamente considerável para o cenário ambiental e social da comunidade de Jandaia do Sul-PR.

5 CONCLUSÃO

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram ABS virgem adquirida pela empresa Filmaq 3D e PET reciclado oriundo da ASCAMAR e UFPR Jandaia, ambas instituições da cidade de Jandaia do Sul-PR, estas duas matérias-primas foram utilizadas como padrão de produção, sendo que a matéria-prima PET foi caracterizada a 4mm de espessura granulométrica e quantificada para identificação de quantas garrafas foram necessárias para produção de 1 quilo de matéria-prima. Idealizou-se rotas de produção para cada uma das matérias primas, sendo a rota de produção para plástico virgem e a rota de produção para material reciclado, onde avaliou-se suas especificidades para qualidade e eficiência do processo.

Por meio de testes se identificou o sistema produtivo que melhor se adequava a produção destas matérias-primas, o sistema de produção foi composto por uma extrusora e um enrolador; neste sistema as matérias-primas foram extrusadas em um equipamento próprio para fabricação de filamentos de 1,75 mm de espessura a temperatura de 200° C e um enrolador desenvolvido com material descartável; visando avaliar a viabilidade do processo em transformar ABS virgem e PET reciclado em filamentos para impressão 3D FDM.

Em relação a quantificação aproximada dos resíduos sólidos e resíduos recicláveis em Jandaia do Sul-PR tem-se que os valores aproximados para a quantificação semanal são de 2499 quilos para resíduos sólidos e 124,95 quilos para materiais recicláveis e a quantificação mensal é de 9996 quilos para resíduos sólidos e 496 quilos para materiais recicláveis

Os resultados apresentaram uma rota de produção de filamentos de impressoras 3D com cenários para plástico virgem e reciclado para a impressão 3D FDM. Conclui-se que a produção de filamentos 3D a partir de plástico virgem e reciclado é viável desde que o maquinário para fabricação do filamento seja mais robusto, com uma extrusora mais potente, como uma dupla-rosca, e que possibilite o controle da temperatura e de velocidade com mais precisão, isto somado a um sistema eficaz de resfriamento na saída do bico extrusor. Ferreira (2020) ressalta que para utilização de filamentos PET em impressoras 3D tem-se a necessidade de

uma impressora de código aberto para alterar os parâmetros fundamentais como velocidade e temperatura de impressão.

O PET apresentou resistência à extrusão mesmo com a rotação da extrusora sendo aumentada até 30 rpm (máxima capacidade de rotação da extrusora), resistência qual fez com que a extrusora fosse obstruída com o material reciclável 2 vezes. Assim, também se conclui que seria necessário o uso de um equipamento aglutinador ou uso de matéria-prima reciclada em pelotas e resistência mais baixas do que apresentam o PET.

Existem limitações encontradas no processo de fabricação e no processo de quantificação do material reciclado. No processo de fabricação estão relacionadas aos processos de trituração do material reciclado, extrusão do material reciclado e sistema de resfriamento de ambos materiais, as dificuldades nestes processos acarretaram em perda de qualidade dos filamentos produzidos com a rota de material reciclável principalmente. No processo de quantificação a limitação encontrada refere-se a dificuldade na coleta dos dados dos resíduos gerados na cidade devido à falta de monitoramento e documentação dos dados de entrada dos resíduos sólidos e materiais recicláveis.

Algumas sugestões de trabalhos futuros são descritas a seguir:

1. Automação e Programação – Desenvolvimento de equipamentos próprios para produção e impressão de filamentos reciclados.
2. Testagem dos filamentos reciclados em impressoras de código aberto.
3. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do ciclo completo de produção de filamentos para impressão 3D a partir de plástico pós-consumo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rafael Medeiros *et al.* A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL FRENTE ÀS QUESTÕES DA GLOBALIZAÇÃO. *In*: ANDRADE, Rafael Medeiros *et al.* **A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL FRENTE ÀS QUESTÕES DA GLOBALIZAÇÃO**. 2011. Artigo Científico (Bacharelado) - Bacharel, [S. l.], 2011.

AMBIENTEBRASIL, Website. Reciclagem de Plástico. *In*: AMBIENTEBRASIL, Website. **Reciclagem de Plástico**. [S. l.], 2009. Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_plastico.html. Acesso em: 6 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de **Brasil: evolução e desafios a caminho - uma revisão integrativa**. Scientia Brasileira. Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 191-214, jan./abr. 2014.

COMCAP. COMPANHIA MELHORAMENTOS DA CAPITAL. Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Urbanos de Florianópolis. Florianópolis, 2002. 119 p.

FERREIRA, Fyllipe Felix. Estudo e desenvolvimento de filamento de PET reciclado para impressoras 3D FDM. *In*: FERREIRA, Fyllipe Felix. **Estudo e desenvolvimento de filamento de PET reciclado para impressoras 3D FDM**. 2020. Tese Mestrado (Mestrado) - Defesa Mestrado, [S. l.], 2020.

FERNANDES, V.; Nunes, M. R.; Philippi Junior, A. 2012. **Gestão Ambiental Municipal: objetivos, instrumentos e agentes**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, número 23. Disponível em: rbciamb.com.br/images/online/Materia_7_artigos309.pdf
GIL, Antônio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa, 6ª edição.**: Grupo GEN, 2017. E-book. 9788597012934. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/>. Acesso em: 01 conjunto. 2022.

GUADAGNIN, Mario Ricardo. **ESTUDO DE COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DO SUL CATARINENSE**. 2014. Artigo Científico (Bacharelado) - Bacharel, [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id988.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

GOUVEIA, N. **Resíduos Sólidos Urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1503-1510. 2012.

LEÓN, Alemão Santiago Pulecio. **Estudio de factibilidad de la producción de filamento para la impresión 3D, a partir de botellas (PET) recicladas en Uniempresarial**. 2019. Artigo Científico (Bacharelado) - Bacharel, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/23893>. Acesso em: 4 mar. 2022.

MARTINS, Roberto A.; MELLO, Carlos Henrique P.; TURRIONI, João B. Guia para elaboração de monografia e TCC de produção: Grupo GEN, 2013. 9788522486397. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522486397/>. Acesso em: 17 abr. 2022.

MANO, PACHECO E BONELLI, Eloísa, Elen e Claudia. **MEIO AMBIENTE, POLUIÇÃO E RECICLAGEM**. [S. l.: s. n.], 2010.

MEDEIROS, Keila Machado De et al. **Reciclagem de materiais poliméricos: uma revisão de literatura**. Anais do V CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73046>>. Acesso em: 26/04/2022 21:34

MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 204 p.

PALMEIRA *et al.* **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. 2019. Artigo Científico (Bacharelado) - Bacharel, [S. l.], 2019.

PIVA, A. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem do Plástico: Como Fazer da Reciclagem um** providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998>.

PGIRSU, PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. *In*: **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**. [S. l.], 2020. Documento.

RIBEIRO, L. C. S. et al. **Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro**. Nova Economia: Estante de Economia e Sociedades Brasileira. Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 191-214, jan./abr. 2014.

SAMPIERI, Roberto H.; COLLADO, Carlos F.; LUCIO, María del Pilar B. **Metodologia de Pesquisa**: Grupo A, 2013. E-book. 9788565848367. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848367/>. Acesso em: 04 set. 2022.

SILVA, K. C.; ROSAS, L. S. P.; OLIVEIRA, S. R. N. **Gestão dos Resíduos Sólidos do Brasil: evolução e desafios a caminho - uma revisão integrativa**. Scientia Amazonia, Manaus, v. 7, n. 2, p. CA1-CA15, 2018.

TABARES, CINDY JULIETH PERILLA. **ESTUDO DE UMA ALTERNATIVA AO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO PET NA UNIVERSIDADE CATÓLICA DA COLOMBIA**. 2017. TCC (Bacharelado) - Bacharel, [S. l.], 2017.

TURRIONI, J. B. e MELLO, C. H. P. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012.

WWF. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. *In*: **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. [S. l.], 4 mar. 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 4 mar. 2022.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira *et al.* Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *In*: ZAGO, Valéria Cristina.