

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANTONIO BELIN SETIN JUNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO TECNOLÓGICO PARA A
RECICLAGEM DE DESCARTES DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA

CURITIBA

2019

ANTONIO BELIN SETIN JUNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO TECNOLÓGICO PARA A
RECICLAGEM DE DESCARTES DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI), Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, SENAI PR e Universität Stuttgart.

Orientador: Haroldo Araújo Pontes

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S495d

Setin Junior, Antonio Belin

Desenvolvimento de um processo tecnológico para a reciclagem de descartes de cabos de fibra óptica [recurso eletrônico] / Antonio Belin Setin Junior. – Curitiba : UFPR : SENAI : Universität Stuttgart, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI), 2019.

Orientador: Haroldo Araújo Pontes.

1. Telecomunicações. 2. Fibras ópticas. 3. Produtos reciclados. 4. Sustentabilidade. I. Universidade Federal do Paraná. II. Pontes, Haroldo Araújo. III. Título.


CDD: 363.7282

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANTONIO BELIN SETIN JUNIOR** intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO TECNOLÓGICO PARA A RECICLAGEM DE DESCARTES DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA**, sob orientação do Prof. Dr. HAROLDO DE ARAÚJO PONTE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Novembro de 2019.



HAROLDO DE ARAÚJO PONTE
Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



THAIS HELENA SYDENSTRICKER FLORES-SAHAGUN
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



ELAINE VOSNIAK TAKESHITA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto de dissertação para o mestrado, contou com incentivos e apoios importantes sem os quais, este provavelmente não teria se tornado realidade e aos quais vou ser eternamente grato, pelo resto da minha existência terrena.

Ao Professor Haroldo de A. Ponte, pela sua orientação, apoio incondicional, disponibilidade, pelos ensinamentos, opiniões, críticas e colaboração nos esclarecimentos de dúvidas e problemas que surgiram durante a caminhada.

Aos demais docentes, pela participação, ensinamento e colaboração, porque sem eles não seria possível alcançar os objetivos pretendidos.

Aos meus amigos e colegas de curso em especial ao João Sachet, Gabriele Sturm, Ângela Andriolli, entre os outros que não menciono, mas que se tornaram amigos de coração que estiveram ao meu lado durante esta fase, pela cooperação, compreensão, apoio, companheirismo em todos os momentos felizes e difíceis pelo qual passei, até chegar aqui.

Queria expressar meu agradecimento ao Sr. Helio Bampi, Diretor Presidente da empresa Radiante Engenharia de Telecomunicações Ltda, pela confiança e apoio incondicional que sempre me dispensou.

Dirijo um agradecimento especial aos meus pais Georgina e Antonio (in memoriam) por acreditarem em mim, e serem modelos de coragem e perseverança, a minha esposa Neuza e minhas filhas Maria Eduarda e Maria Beatriz, pela força e paciência nos momentos mais turbulentos, pelo apoio incondicional e preocupação que sempre tiveram durante esta empreitada.

E por último com a consciência que nada disto teria sido possível, agradeço a Jesus por ter me abençoado e perseverado ao meu lado durante toda a vida.

RESUMO

O desenvolvimento socioeconômico, os atuais padrões de industrialização e consumo ocasionaram um aumento na geração de diversos tipos de resíduos e, conseqüentemente, um aumento no descarte destes na natureza, contribuindo para o processo de degradação ambiental. No setor de telecomunicações, com o aumento das instalações em fibra óptica, visando ampliar o acesso à banda larga, são geradas toneladas de sucatas e resíduos anualmente. Neste trabalho é descrito e analisado o desenvolvimento de um processo tecnológico para reciclagem de descartes de cabos de fibra ópticas, o projeto se mostrou complexo, pois não existem na literatura ou no mercado nacional, parâmetros de comparação que abordem o tema da reciclagem dos descartes na sua essência, ou seja, transformar os elementos constituintes dos cabos ópticos em coisas completamente novas. Foram analisadas e descritas às características intrínsecas do material, os volumes de geração, a legislação vigente para os vários tipos de destinação legal, além da descrição destes processos. Também foram pesquisadas e analisadas as opções de máquinas e equipamentos existentes no mercado nacional, que permitiriam o desenvolvimento do processo de reciclagem. A partir destas análises, foi possível iniciar um piloto do processo de reciclagem, que forneceu os parâmetros necessários para análise, e permitiu o avanço no desenvolvimento de um processo eficiente e economicamente viável para reciclagem deste importante resíduo. Atualmente o processo se encontra consolidado e este projeto apresenta as etapas e premissas da operação, mostrando que o mesmo é uma alternativa viável com forte apelo sustentável para tratamento dos descartes de fibra óptica.

Palavras-chave: Telecomunicações. Descartes de cabos ópticos. Reciclagem. Desenvolvimento de processo sustentável.

ABSTRACT

Socioeconomic development, current patterns of industrialization and consumption have led to an increase in the generation of various types of waste and, consequently, an increase in their disposal in nature, contributing to the process of environmental degradation. In the telecommunications sector, with the increase in optical fiber installations, in order to expand broadband access, tons of waste are created annually. In this work, the development of a technological process for the recycling of scrap from optical fiber cables is described and analyzed. The project was complex because there are no comparative parameters in the literature or in the national market that address the topic of scrap recycling in its essence, that is, transform the constituent elements of optical cables into completely new things. The intrinsic characteristics of the material, the generation volumes, the legislation in force for the various types of legal destination, and the description of these processes were analyzed and described. We also researched and analyzed the options of machines and equipment available in the domestic Market were researched and analyzed, which would allow the development of the recycling process. From these analyzes, it was possible to start a pilot of the recycling process, which provided the necessary parameters for analysis, and allowed progress in the development of an efficient and economically feasible process for recycling this important waste. Currently the process is consolidated and this project presents the steps and premises of the operation, showing that it is a viable alternative with a strong sustainable appeal for the treatment of fiber optic scrap.

Keywords: Telecommunications. Scrap optical cables. Recycling. Sustainable process development.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - EVOLUÇÃO DOS ACESSOS DE BANDA LARGA NO BRASIL	22
FIGURA 3.2 – ESQUEMA DE ESTRUTURA DE UMA FIBRA ÓPTICA	23
FIGURA 3.3 - COMPARAÇÃO ENTRE AS FIBRAS ÓPTICAS CONVENCIONAIS MONOMODO E MULTIMODO COM ÍNDICE-DEGRAU E ÍNDICE- GRADUAL.....	24
FIGURA 3.4 – ESTRUTURA DE UM CABO ÓPTICO.....	26
FIGURA 3.5 - CABO ÓPTICO.....	26
FIGURA 3.6 – SÍMBOLO DA RECICLAGEM PARA PLÁSTICOS	32
FIGURA 3.7 - DELIMITAÇÃO DAS 19 ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ	43
FIGURA 3.8 – PROCESSO DE EXTRUSÃO	56
FIGURA 4.1 – RESÍDUOS DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA ESTOCADAS NO PÁTIO DA EMPRESA.....	58
FIGURA 4.2 - FLUXOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO E SEGREGAÇÃO DO MATERIAL	60
FIGURA 4.3 - MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO DOS CABOS	61
FIGURA 4.4 - VERIFICAÇÃO DA BITOLA DOS CABOS. A – FINO; B – MÉDIO; C – GROSSO	61
FIGURA 4.5 - TESTE DE CHAMA E ODOR DO MATERIAL. A – QUEIMA DA AMOSTRA; B – LIBERAÇÃO DA FUMAÇA.....	64
FIGURA 4.6 – FLUXOGRAMA PARA TRATAMENTO INDIVIDUALIZADOS DOS MATERIAIS.....	66
FIGURA 4.7 – EQUIPAMENTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO. A – MOINHO; B – EXTRUSORA; C – TELAS	67
FIGURA 4.8 - FIBRA ARAMIDA RECICLADA ANTES E DEPOIS DA DESFIBRAGEM	68
FIGURA 5.1 – EQUIPAMENTO PARA SEPARAÇÃO DOS COMPONENTES DOS CABOS DE FIBRA ÓPTICA E POSTERIOR RECICLAGEM.....	70
FIGURA 5.2 – MÁQUINA DE DESENCAPAGEM.....	72
FIGURA 5.3 – DESCASCADOR DE FIOS JINGLIANG.	73

FIGURA 5.4 - PEÇAS DO PROTÓTIPO (SEM ESCALA). A) BANCADA EM AÇO; B) ENGRENAGENS TRACIONADORAS; C) FACAS; D) EIXO DE ENGRENAGENS CHAVETADO; E) MANIPULO DE REGULAGEM; F) GUIA CORREDIÇA; G) MANÍBULO REGULAGEM DE ABERTURA; H) MANCAL PARA ROLAMENTO; I) CHAPAS GUIA DE REGULAGEM.	77
FIGURA 5.5 - DESENHO DO PROTÓTIPO DO EQUIPAMENTO.....	78
FIGURA 5.6 - TERMOGRAMA COMPLETO.....	80
FIGURA 5.7 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL ANTES DO PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE TM E TC	81
FIGURA 5.8 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL ANTES DO PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE TG E TM	82
FIGURA 5.9 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL PÓS PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE TG E TM	82
FIGURA 5.10 – FIBRA DE ARAMIDA	83
FIGURA 5.11 - RESULTADO DO TESTE DA ARAMIDA.....	84
FIGURA 5.12 – RECICLAGEM DO POLIETILENO. A – MOAGEM; B – MATERIAL AGLUTINADO; C/D – MATERIAL EXTRUSADO (<i>PELLET</i>).....	86
FIGURA 5.13 - PELLETS RESULTANTES DAS BATELADAS 1 (A) E 2 (B).....	86
FIGURA 5.14 - FACE INTERNA DA MANGUEIRA PRODUZIDA COM POLIETILENO PROVENIENTE DA BATELADA 1, EXTRUDADO NA EMPRESA CONDUSFLEX	87
FIGURA 5.15 – FACE INTERNA DA MANGUEIRA PRODUZIDA COM POLIETILENO PROVENIENTE DA BATELADA 2, EXTRUDADO NA EMPRESA CONDUSFLEX	88
FIGURA 5.16 - FIBRA DE ARAMIDA PÓS PROCESSO DE RECICLAGEM. A - FIBRA COM CONTAMINAÇÃO; B – FIBRA ISENTA DE CONTAMINAÇÕES	89
FIGURA 5.17 - FASES DO PROCESSAMENTO DA ARAMIDA – DO PROCESSO DE RECICLAGEM ATÉ A FORMAÇÃO DE FIO TÊXTIL INDUSTRIAL	89

FIGURA 5.18 - MATERIAL DO MIOLO DO CABO MOÍDO GRANULOMETRIA 7MM PARA UTILIZAÇÃO COMO CDR	90
FIGURA 5.19 - NOVO FLUXOGRAMA DO PROCESSO.....	90
FIGURA 5.20 - ESTIMATIVA DE VALORES DE RECEITAS E DESPESAS (EM R\$) PARA DESTINAÇÃO FINAL DE AMOSTRAS DE 1, 25 E 50 TON. ..	94

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PESQUISA <i>ONLINE</i> E INFORMAÇÕES ÚTEIS AO PROJETO.....	69
QUADRO 2 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA.....	75
QUADRO 3 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA.....	79
QUADRO 4 – TESTES DE IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DO POLÍMERO	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE POLÍMEROS.....	33
TABELA 2 - INFORMAÇÕES SOBRE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS POR TIPO E MÉTODO (TONELADAS)	45
TABELA 3 - INFORMAÇÕES SOBRE PESO TOTAL DOS RESÍDUOS, POR TIPO E MÉTODO DE DISPOSIÇÃO	46
TABELA 4 - GUIA DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO DE DIFERENTES TIPOS DE PE	57
TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES REALIZADOS COM A AMOSTRA DE MIOLO DOS CABOS DE FIBRA ÓPTICA	84
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DO CDR.....	85
TABELA 7 - RESULTADO COMPARATIVO DE DESPESAS E RECEITAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL E RECICLAGEM DOS CABOS OPTICOS.	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	HISTÓRICO DA COMUNICAÇÃO POR FIBRA ÓPTICA	19
3.2	PANORAMA DA COMUNICAÇÃO POR FIBRA ÓPTICA NO BRASIL	20
3.3	FIBRA ÓPTICA – COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO	22
3.3.1	Polietileno	29
3.3.2	Kevlar®.....	34
3.3.3	Núcleo do cabo.....	35
3.4	RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM	35
3.4.1	Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos.....	37
3.4.2	Decreto nº 7.404/2010	39
3.4.3	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná	40
3.5	LOGÍSTICA REVERSA	43
3.6	SOLUÇÕES PARA DESTINAÇÃO DE DESCARTES DA SUCATA DE FIBRA ÓPTICA.....	45
3.6.1	Aterros	46
3.6.2	Reciclagem	47
3.6.2.1	Reciclagem primária	48
3.6.2.2	Reciclagem secundária	49
3.6.2.3	Reciclagem Terciária	49
3.6.2.4	Reciclagem Quaternária - Combustível Derivado de Resíduo (CDR) e Coprocessamento	50
3.6.3	Processos da reciclagem mecânica	53
3.6.3.1	Separação e Classificação	53
3.6.3.2	Moagem	54
3.6.3.3	Aglutinação	55
3.6.3.4	Extrusão.....	55
4	METODOLOGIA	58
4.1	PROSPECÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	59

4.2	TESTE DE EQUIPAMENTO ADQUIRIDO NO MERCADO NACIONAL.....	59
4.3	PROPOSIÇÃO DE PROTÓTIPO.....	62
4.4	ANÁLISE DAS SUCATAS UTILIZANDO O PROTÓTIPO	63
4.5	POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DO CABO	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1	PROSPECÇÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA SEPARAÇÃO DOS CABOS ÓPTICOS	69
5.1.1	Fabricante de maquinas e equipamentos 1	70
5.1.2	Fabricante 2.....	71
5.1.3	Fabricante 3.....	71
5.1.4	Fabricante 4.....	73
5.1.5	Instituição 1	74
5.1.6	Instituição 2	74
5.1.7	Fabricantes de Cabos e Fios 1	74
5.2	TESTE DE EQUIPAMENTO.....	75
5.3	PROTÓTIPO	76
5.4	ANÁLISE DOS COMPONENTES INDIVIDUALIZADOS DA RECICLAGEM ORIUNDOS DO PROTÓTIPO.....	78
5.5	REAPROVEITAMENTO DOS ELEMENTOS CONSTITUIVOS DA SUCATA DE CABO	85
6	CONCLUSÃO.....	96
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	REFERÊNCIAS.....	99
	ANEXO I – RELATÓRIO DE ENSAIO LABORATORIAL COM MIOLO DE CABO DE FIBRA ÓPTICA.....	106

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico, os atuais padrões de industrialização e consumo proporcionou uma escalada no consumo dos recursos naturais e um aumento na geração de diversos tipos de resíduos e, conseqüentemente, um aumento no descarte destes na natureza. O descarte incorreto do rejeito produzido tem causado preocupações ambientais em diversos países e organismos internacionais, sendo os resíduos sólidos um dos maiores ofensores devido a suas características e volume.

No Brasil, em 2010, foi criada a lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Em seu Art. 3º, Inciso XVI, esta lei traz a definição de resíduos sólidos como “qualquer material, substância objeto ou bem resultante das atividades humanas em sociedade que, quando descartados, exigem soluções técnicas para sua disposição” (BRASIL, 2010).

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostram que a geração total de resíduos sólidos urbanos no Brasil, em 2016, foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas, o que representa uma queda de 2% em relação à quantidade gerada em 2015 (ABRELPE, 2016).

Desse montante gerado, a quantia coletada 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas, o que equivale a um índice de cobertura de coleta de 91% para o país, pequeno avanço comparado ao ano anterior. Isto evidencia que 7 milhões de toneladas deixaram de ser coletadas no país neste ano e, conseqüentemente, foram destinados de maneira inadequada, oferecendo riscos ao meio ambiente e à saúde (ABRELPE, 2016).

No estado do Paraná, estima-se que foram gerados 3,47 milhões de toneladas de resíduos no ano de 2017, com uma geração média per capita de 0,86 kg por habitante por dia. Segundo dados levantados pelo panorama do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná, 100% dos municípios do estado realizam coleta na área urbana, 74% realizam a coleta seletiva e 65% fazem a triagem dos recicláveis (PARANÁ, 2018).

Atualmente, existem diversas alternativas para reduzir o impacto ambiental causado pela grande quantidade de resíduos que vem sendo gerada todos os dias, tais como a redução do consumo, a reciclagem, a geração de energia a partir dos

resíduos, a logística reversa, o aumento do ciclo de vida dos produtos, entre outros. Várias destas opções estão descritas como objetivos da PNRS.

A PNRS também define alguns instrumentos para que os objetivos possam ser atendidos, entre eles estão a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

A logística reversa, considerada um instrumento de desenvolvimento econômico e social, é caracterizada por “um conjunto de ações, processos e meios que viabilizam a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para seu reaproveitamento em seus ciclos produtivos ou em outros, permitindo um descarte final ambientalmente correto e legal” (BRASIL, 2010).

Para que a logística reversa seja implantada, faz-se necessário um acordo setorial, que é um ato de natureza contratual firmado entre o poder público e os fabricantes, importadores ou comerciantes, objetivando a responsabilidade compartilhada durante o ciclo de vida do produto. Esse compartilhamento de responsabilidade pelos resíduos entre geradores, poder público, fabricantes e importadores também está previsto na Política Nacional.

Os processos de reciclagem e reaproveitamento de materiais vêm ganhando espaço no cenário econômico nos últimos anos, sendo que a indústria do reaproveitamento propõe três processos: reciclagem de materiais, reuso e incineração. Hoje, no Brasil, há um incentivo à indústria da reciclagem pelo poder público, visando fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados (REGO, 2005). A escolha do procedimento a ser empregado está diretamente ligada à prioridade dada pela corporação: a reciclagem agrega valor econômico, ecológico e logístico; o reuso agrega valor de reutilização; e a incineração agrega valor econômico ao bem pós-consumo, pois gera energia.

De acordo com o Art. 4º da Resolução CONAMA nº 313/2002, fabricantes, comerciantes e demais atores da cadeia produtiva devem promover o gerenciamento dos seus resíduos, mas, na prática, não é o que vem ocorrendo. O que se constata é que eles têm deixado de reciclar um volume muito grande de resíduos com alto potencial de reciclagem, como é o caso dos resíduos de cabos ópticos (BRASIL, 2002).

No setor das telecomunicações, um fenômeno nítido pôde ser observado ao longo dos últimos meses e gera grandes expectativas em relação ao futuro: o aumento nas instalações de fibras ópticas para ampliar o acesso à banda larga,

sobretudo nas casas atendidas por provedores de internet. Dados da Anatel mostram que, em dois anos, entre 2015 e 2017, o total de acessos mensais por meio de fibra óptica saltou mais de 630%, de 128 mil para 936 mil entre os provedores. Esse volume representa 34,5% do uso total de internet por fibra no Brasil, um avanço também impressionante, visto que em 2015, essa porcentagem era de apenas 13% (ANATEL, 2018).

Sabendo que a comunicação e o acesso rápido a informações são um caminho sem volta, os setores de telecomunicações estão sempre desenvolvendo novas tecnologias para a transmissão de dados como, por exemplo, as redes de cabeamento óptico, um dos meios de infraestrutura mais utilizado e muito eficiente. (PINTO; AMARAL; JANISSEK). Entretanto, tais materiais, mesmo que possuindo um período de vida útil longo – acima de 10 anos de funcionamento-, necessitam de troca por cabos novos, devido ao alto grau de obsolescência, ou seja, este mercado evolui em alta velocidade e a tecnologia usada se torna obsoleta rapidamente, gerando um passivo ambiental.

Segundo a classificação de resíduos sólidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), norma NBR 10.004/ 2004, as sucatas dos cabos de fibra óptica são enquadradas como resíduos classe II-A, isto é, são resíduos não perigosos e não inertes, os quais caracterizam um impacto ambiental associado a agente tóxico e ecotoxicidade e com alto potencial de inflamabilidade (ABNT, 2004).

Hoje, no Brasil, as atividades de telecomunicações, mais precisamente transmissão e manutenção de dados com fibra óptica, geram, por ano, milhares de toneladas de sucatas e retalhos de cabos ópticos. Pode-se afirmar que grande quantidade desse volume é encaminhada a aterros industriais ou é descartado de forma irregular.

Diante disso, este estudo traz um processo de tratamento e reciclagem de cabos ópticos totalmente inovador e sustentável, pois permite a transformação dos resíduos desses materiais em insumos, aumentando seu ciclo de vida e possibilitando a geração de receitas com sua comercialização. Isto também promove ganhos sociais, gerando emprego e renda, ou seja, o projeto contempla os três pilares da sustentabilidade, também conhecido como *Triple Bottom Line*, e como resultado, reduz o consumo de recursos naturais e contribui para a conservação do planeta.

As premissas acima listadas, aliadas à questão da sustentabilidade, justificam os esforços e investimentos nos processos de reciclagem de materiais. A inovação tecnológica deste projeto apresenta solução adequada ao tratamento e gerenciamento deste resíduo, permitindo assim que os atores da cadeia de telecomunicações tratem seu passivo ambiental dentro dos parâmetros exigidos por lei, promovendo um ganho ambiental para todos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um processo tecnológico para reciclagem dos descartes de cabos ópticos, provenientes de sobras de instalação e manutenção de infraestruturas de telecomunicações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Prospectar soluções tecnológicas para separação dos componentes dos cabos ópticos;
- b) Testar um equipamento para a separação dos componentes individualizados da sucata de cabo ópticos;
- c) Propor um protótipo de equipamento visando à consolidação do processo de reciclagem;
- d) Analisar o material resultante da reciclagem das sucatas proveniente do protótipo;
- e) Avaliar o potencial de reaproveitamento no mercado de recicláveis dos elementos constitutivos dos cabos ópticos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 HISTÓRICO DA COMUNICAÇÃO POR FIBRA ÓPTICA

Desde os tempos remotos, as pessoas têm a necessidade de comunicarem-se umas com as outras e, por isso, sempre houve o interesse de desenvolver sistemas que facilitassem o envio de mensagens de um local para outro e possibilitassem uma comunicação simultânea (KEISER, 2014). As tecnologias que foram criadas para atender essa demanda, não apenas possibilitaram a comunicação, como também modificaram o padrão convencional de comunicação, principalmente no que diz respeito à velocidade de transferência de dados, ampliando o seu alcance através das redes sem fio (RIBEIRO, 2006).

Dentre os diversos sistemas que foram e ainda são utilizados, pode-se destacar os métodos ópticos de comunicação, os quais podem ser considerados um canal de transmissão confiável, rápido e eficiente (KEISER, 2014).

Para Ribeiro (2006), a utilização dos fenômenos ópticos na comunicação remonta à idade das cavernas, na qual os primeiros homens utilizavam os sinais de fogo e fumaça para transmitir mensagens. Com o tempo, surgiram novos conceitos e novas descobertas capazes de desenvolver métodos de modulação da luz e aperfeiçoar o uso de fibras ópticas para confinar a propagação da luz em uma região que apresentasse pequena degradação do sinal transmitido.

Ainda no início dos 1960, realizaram-se experimentos utilizando canais ópticos na atmosfera, os quais classificaram este meio de comunicação como economicamente desinteressante, já que possuía um alto custo de desenvolvimento e implementação, aliado às limitações dos canais ópticos ocasionadas pelas condições ambientais, como a chuva, neblina, neve, entre outros. Ao mesmo tempo, reconheceu-se que uma fibra óptica poderia fornecer um sinal de transmissão confiável, uma vez que não estaria sujeita às condições ambientais adversas (KEISER, 2014).

O modelo atual da fibra óptica é resultado de um avanço tecnológico que só foi possível devido à contribuição de um grande número de pesquisadores e ao enorme investimento financeiro feito por diferentes empresas e centros de pesquisas ao redor de todo o mundo. As limitações mais importantes que eram observadas em

sua utilização passaram a ser superadas com o advento do guia óptico em 1954, a partir dos trabalhos do pesquisador holandês Van Heel (RIBEIRO, 2006).

Em 1964, começaram os estudos mais aprofundados e em 1966 foram publicados pelos pesquisadores Kao e Hockhamos os primeiros trabalhos que garantiam a possibilidade da fibra óptica ser empregada para enviar mensagens a grandes distâncias e com elevadas taxas de transmissão (RIBEIRO, 2006).

As primeiras conexões com fibra óptica ocorreram na década de 1970, quando pesquisadores demonstraram a viabilidade da produção de uma fibra de vidro com uma perda de potência óptica baixa o suficiente para uma transmissão prática. As propriedades das fibras ópticas lhes deram uma série de vantagens de desempenho em comparação com os fios de cobre e possibilitaram que fossem utilizadas para transmitir sinais de telefonia em distâncias em torno de 10 km. Durante os anos 1980, com pesquisa e desenvolvimento, foi possível aumentar a capacidade desses sistemas, criando conexões em distâncias de centenas de quilômetros (KEISER, 2014).

A substituição de cabos metálicos por fibras ópticas ocorreu principalmente pelos ganhos na velocidade de transmissão, resistência das fibras a interferências e da grande flexibilidade desse material (RIBEIRO, 2006).

3.2 PANORAMA DA COMUNICAÇÃO POR FIBRA ÓPTICA NO BRASIL

Dados da Anatel mostram que entre os anos de 2015 e 2017, o total de acessos mensais utilizando cabos de fibra óptica teve um aumento de mais de 630%, indo de 128 mil para 936 mil entre os provedores. Esse volume representa 34,5% do uso total de internet por fibra no Brasil, um grande avanço, visto que em 2015 essa porcentagem era de apenas 13% (ANATEL, 2018).

Em relação à banda larga fixa, isto é, o acesso à internet fixa que permite ao usuário o acesso em alta velocidade, o serviço totalizou 30,54 milhões de contratos ativos em agosto de 2018. Do mesmo período de 2017 até este ano, foram ativados mais 2,43 milhões de acessos, caracterizando um aumento de 8,63% (ANATEL, 2018).

Em 2018, ainda segundo a Agência Nacional de Telecomunicações, as principais tecnologias utilizadas para a transmissão de dados banda larga no Brasil foram a xDSL, que utiliza a estrutura da telefonia fixa, com 12,63 milhões de

acessos (41,35% do mercado), seguida pelo modem a cabo coaxial, com 9,32 milhões de acessos (30,51%), e pela fibra ótica, com 4,66 milhões (15,27%).

Com exceção do estado de Roraima, no qual ocorreu uma redução de 1,20% no número de contratos ativos, todos os outros estados brasileiros apresentaram crescimento. Os maiores aumentos foram registrados no Maranhão, com um crescimento de 22,10%, Paraíba, com 17,69% de aumento e Pará, com mais 16,74% de linhas ativas.

Em relação à telefonia fixa, os dados da ANATEL mostram que o país registrou um total de 38.283.757 linhas fixas individuais em operação no mês de agosto de 2018. Em relação ao mês anterior, observou-se uma redução de 0,61%, o que corresponde a aproximadamente 200 mil unidades.

Em relação à telefonia móvel, em agosto de 2018, o Brasil registrou a quantidade de 234,37 milhões de linhas em operação, o que configura uma queda de 7,80 milhões em comparação ao mesmo período de 2017, valor que representa uma redução de 3,22%.

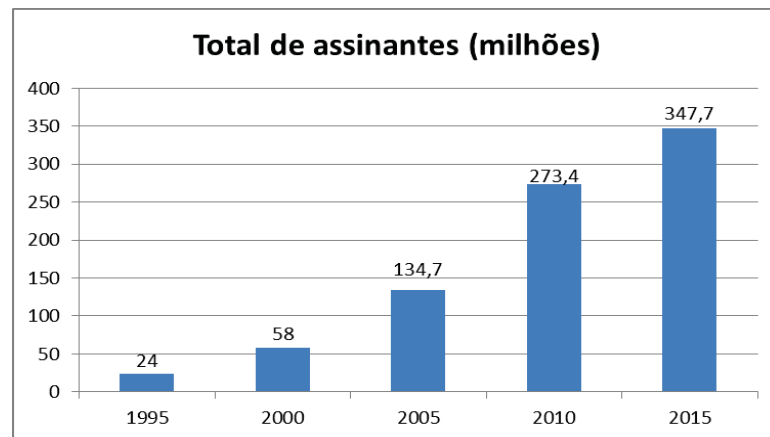
As linhas que utilizam a tecnologia 4G totalizavam 122,65 milhões de unidades (52,33% do mercado) em agosto de 2018, seguidas pela de 3G com 67,61 milhões (28,85%) e pela 2G com 26,49 milhões (11,30%). A tecnologia 4G continua com o maior crescimento em 12 meses, o qual representou mais 34,14 milhões de unidades.

E, por fim, em relação à TV por assinatura, dados da ANATEL mostram que o Brasil registrou 17,79 milhões de contratos ativos do serviço no mês de agosto de 2018, revelando uma diminuição de 536 mil linhas nos últimos 12 meses. Na variação entre o mês de agosto de 2018 e julho do mesmo ano, a redução foi de 37 mil assinaturas.

Em agosto de 2018, mais da metade dos assinantes de TV por assinatura no Brasil receberam a programação por satélite, 9,71 milhões (54,55% do mercado), por cabo coaxial, 7,48 milhões (42,05%), e por fibra ótica, 605 mil (3,40%). Apenas os assinantes que receberam a programação da TV por assinatura por fibra ótica aumentaram em número nos últimos 12 meses, mais 248 mil, um valor referente a um incremento de 69,71% no número de linhas. Os assinantes via satélite tiveram redução de 676 mil e os que recebem o sinal por cabo coaxial diminuíram em 107 mil.

A FIGURA 3.1 mostra a evolução do total de assinantes de serviços de banda larga ao longo dos últimos anos no Brasil, incluindo a telefonia fixa, telefonia móvel, internet e TV por assinatura. É possível observar um crescimento na utilização desta tecnologia e, conseqüentemente, na geração dos resíduos de sucatas e retalhos de fibra óptica provenientes da instalação e manutenção das redes.

FIGURA 3.1 - EVOLUÇÃO DOS ACESSOS DE BANDA LARGA NO BRASIL

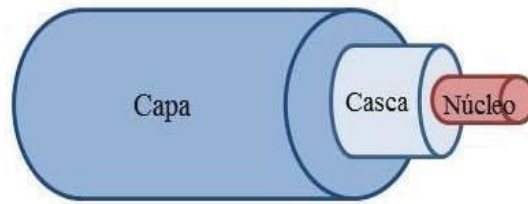


FONTE: Telebrasil (2016).

3.3 FIBRA ÓPTICA – COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO

A fibra óptica configura o principal componente de um cabo óptico. Na maioria das vezes, sua estrutura é formada pelo núcleo, uma casca e envolto por outra camada de revestimento, o que deixa a fibra óptica mais robusta e aumenta a sua durabilidade. A exigência de aperfeiçoamento nas características de transmissão e nas propriedades mecânicas demandou modificações no material original, possibilitando a introdução de outros componentes que permitissem alterar o valor do índice de refração, a flexibilidade da estrutura, a estabilidade das características, entre outros (RIBEIRO, 2006).

FIGURA 3.2 – ESQUEMA DE ESTRUTURA DE UMA FIBRA ÓPTICA



FONTE: Adaptado de Keiser (2014).

Como pode ser verificado na Figura 01, a fibra óptica é composta por um núcleo circular, rodeado por uma casca, cuja função é reduzir perdas por dispersão, acrescentar resistência à fibra e proteger o núcleo e, por fim, encapsulada por uma capa plástica.

Nas fibras ópticas mais comuns, o núcleo é produzido com um vidro de sílica de alta pureza (SiO_2), envolto em uma casca de vidro. Também é bastante comum a produção de fibras com núcleo plástico envolto com uma capa plástica. Na maior parte das vezes, as fibras são encapsuladas em material plástico e resistente à abrasão, adicionando resistência à fibra e isolando-a mecanicamente (KEISER, 2014).

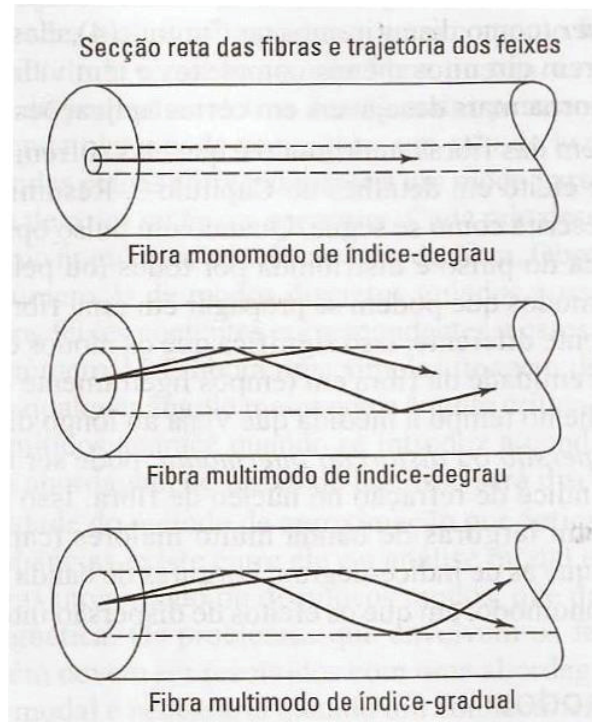
É importante salientar que os materiais componentes da fibra óptica devem ser escolhidos de tal forma que possibilitem a reflexão total no interior da fibra, isto é, o material do núcleo deve apresentar maior índice de refração, envolto pela casca confeccionada por um material com menor índice de refração (COELHO et al., 2017).

É possível produzir dois tipos de fibra, a partir da variação no material que compõe o núcleo, sendo eles a fibra de índice-degrau e a fibra de índice-gradual. No primeiro tipo, a fibra de índice-degrau, o índice de refração do núcleo é uniforme ao longo do seu comprimento e sofre uma mudança brusca na interface com a casca. Já no segundo modelo, a fibra de índice-gradual, o índice de refração do núcleo varia em função da distância radial a partir do centro da fibra.

Os dois modelos de fibra acima descritos podem ainda ser classificados como monomodo e multimodo. Na fibra monomodo há apenas um modo de propagação,

enquanto que nas fibras multimodo pode ocorrer centenas de modos (KEISER, 2014). Na FIGURA 3.3 é possível visualizar os diferentes tipos de fibra óptica.

FIGURA 3.3 - COMPARAÇÃO ENTRE AS FIBRAS ÓPTICAS CONVENCIONAIS MONOMODO E MULTIMODO COM ÍNDICE-DEGRAU E ÍNDICE-GRADUAL



FONTE: Keiser (2014).

Para produção das fibras ópticas e escolha dos materiais que as compõem, é importante levar em consideração alguns requisitos. Por exemplo, o material deve ser tal que possibilite a produção de fibras longas, finas e flexíveis, além disso, deve ter transparência óptica em um comprimento de onda particular e deve haver disponibilidade de materiais fisicamente compatíveis com índices de refração ligeiramente diferentes para o núcleo e a casca. Os materiais que satisfazem esses requisitos são vidro e plástico. A maior parte dos vidros utilizados são vidros óxidos, comumente compostos de sílica (SiO_2), a qual por sua vez é produzida a partir de areia de alta pureza (KEISER, 2014).

O diâmetro externo da fibra óptica é pequeno se comparado a outros cabos utilizados na faixa do micro-ondas. Normalmente, uma fibra óptica possui um diâmetro de 125 μm , chegando a um diâmetro final entre 0,4 mm e 1 mm com o acréscimo das camadas de proteção. Isso resulta em um peso muito reduzido, maior

flexibilidade mecânica, menor espaço para instalação, menor custo de transporte e armazenagem, entre outras vantagens (RIBEIRO, 2006).

A fibra óptica é fabricada de forma a constituir um meio altamente isolante, no qual não é possível a indução de correntes por qualquer fonte que estiver em suas proximidades. Com isso, a transmissão é imune às interferências eletromagnéticas externas, o que permite sua instalação em ambientes ruidosos do ponto de vista eletromagnético, sem causar deterioração na qualidade do seu sinal. Esta característica permitiu o desenvolvimento de cabos de fibras ópticas que acompanham as linhas de transmissão de energia elétrica de alta tensão, compartilhando das mesmas instalações (RIBEIRO, 2006).

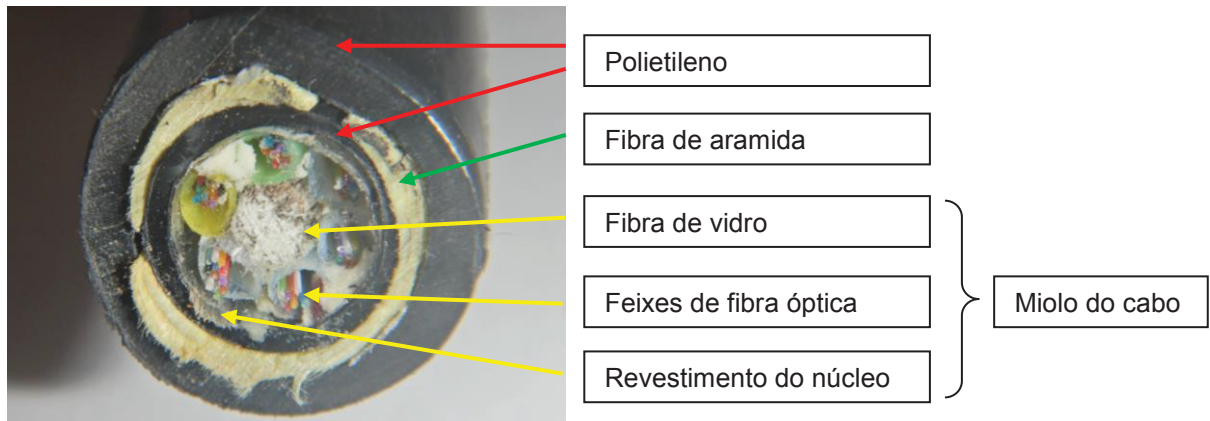
Os cabos de fibras ópticas são essenciais para a aplicação prática das fibras ópticas, evitando a deterioração destas durante o transporte e a instalação. A estrutura do cabo pode variar de acordo com seu uso e instalação. Alguns cabos podem ser revestidos por fios de aço para reforçá-los, já outros utilizam elementos resistentes de plástico e fios sintéticos de alta resistência à tração, conhecidos como aramidas. Um exemplo destes fios é o Kevlar®, material componente dos cabos deste estudo (KEISER, 2014).

O desenvolvimento dos cabos ópticos foi baseado em princípios derivados da ótica, química, eletromagnetismo e eletrônica. O filamento vítreo acabou por ser o responsável pela revolução dos sistemas tradicionais de comunicação, conferindo a eles um desempenho ainda inimaginável nas transmissões de informações através de sólidos (TORRES, 2014).

O cabo óptico possui as funções de proteger as fibras contra torções ou fissuras durante sua instalação ou durante a sua vida útil, também fornece estabilidade na transmissão, resistência mecânica e facilita a identificação e conexão das fibras (HELERBROCK, 2019).

A FIGURA 3.4 ilustra um cabo óptica e os seus materiais constituintes. No interior ficam os feixes de fibras óptica, envoltos por tubetes de polímeros, ao redor de um apoio central, nesse caso composto de fibra de vidro. Revestindo o núcleo, há uma fita polimérica adjacente a uma camada de polietileno, cuja função é evitar danos ao núcleo. Ao redor está o elemento de tração, composto pelo Kevlar® e, enfim, o revestimento externo também composto por polietileno.

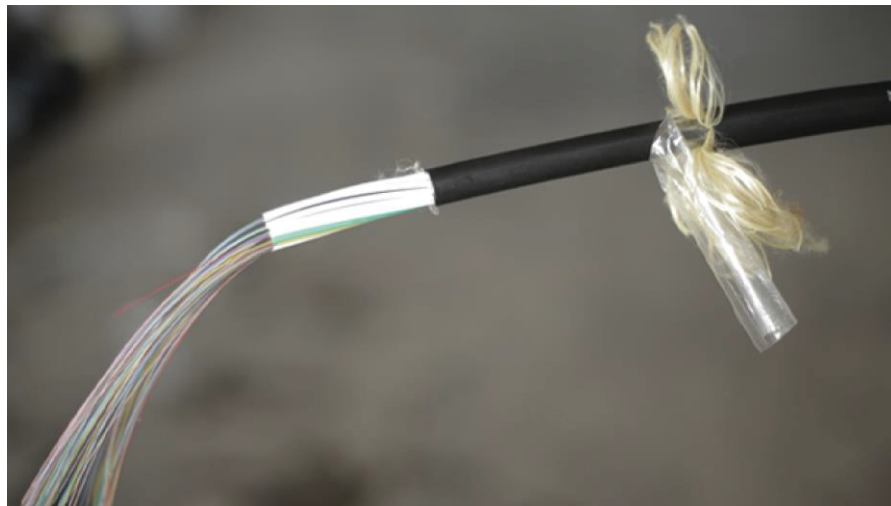
FIGURA 3.4 – ESTRUTURA DE UM CABO ÓPTICO



FONTE: o autor (2019).

A FIGURA 3.5 ilustra mais um exemplo de cabo óptico, o qual é composto pelas fibras ópticas em seu interior, fibra de vidro, uma camada de Kevlar® e, por fim, revestido por polietileno. Cada um destes componentes será descrito nos tópicos a seguir.

FIGURA 3.5 - CABO ÓPTICO



FONTE: o autor (2018).

Embora existam muito fabricantes de diversos tipos de cabos de fibra óptica no mercado nacional, neste trabalho são listados apenas os tipos cabos ópticos de terminação CFOT e cabos de terminação CFOA.

Como já descrito, a fibra óptica pode ser monomodo e multimodo, as diferenças entre ambas são quanto ao modo de propagação da luz em seu interior e

as distâncias que cada tipo atende, sendo que as do tipo multimodo são utilizadas para projetos de curta distância e as monomodos para projetos de longa distância.

Dentro dos padrões de fibras monomodos disponíveis no mercado e que são as mais utilizadas nos projetos que a Radiante Engenharia executa, tem-se o ITU-T G.652.A e B (SM – *Single Mode*), ITU-T G.652.C e D (LWP – *Low Water Peak*) e a ITU-T G.657 (BI – *Bend Insensitive*), sendo as fibras de tipo B as mais utilizadas no mundo e também as que predominam nos serviços executados pela Radiante, e as do tipo G utilizadas em larga escala em projetos para instalação de redes *drop*, que são as redes que entregam o sinal ao cliente final.

O cabo *drop* dielétrico *low friction* é um componente da rede de fibra óptica, constituído de fibra monomodos com baixa sensibilidade a curvaturas. Possuem proteção Low Smoke Zero Halogen (LSZH), que atua como retardante de chamas em caso de incêndio, não emitindo elementos tóxicos. O elemento de tração dos cabos *drop* é constituído por material dielétrico, possibilitando a utilização em tubulações elétricas sem danos (CIANET, 2019).

A seguir são apresentadas as descrições dos tipos de cabos ópticos de terminação, extraídos de suas fichas técnicas:

- Cabo óptico de terminação - CFOT-UB – ABNT (FURUKAWA, 2018)

É possível descrever estes cabos como um conjunto constituído de tubos encordoados, elemento de tração dielétrico, alguns com enchimentos outros não, núcleo seco, protegido por capa externa de material termoplástico retardante de chama, podendo ser aplicado tanto em áreas externas (subterrâneo em dutos, ou áreas espinadas com cordoalhas de aço) como em áreas internas. Estes cabos são fabricados obedecendo às normas e padrões da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 14772, 14705, BES 713, 711, e IEC 754, normas internacionais de determinação de toxicidade e de gases emitidos durante a combustão dos materiais presentes nos cabos respectivamente. As fibras que constituem este padrão de cabo podem ser as monomodos (SM) e as multimodos (MM) revestidas com acrilato tratados com anti-UV. Unidade básica deste tipo de cabo determinam que as fibras ópticas são agrupadas entre si de forma não aderente e protegidas por um tudo de material termoplástico.

Elemento central constituído de material dielétrico posicionado no centro de núcleo e tem como principal função manter o cabo cilíndrico e prevenir os esforços de contração. Núcleo é constituído de unidades básicas trançadas ao redor do membro central as vezes protegidos por materiais hidro expansíveis para evitar a entrada de umidade.

Cordões de rasgamento são incluídos sob a capa dos cabos, e a capa externa é aplicada através de um processo de extrusão com material termoplástico não propagante de chama, resistente a fungos e raios “UV”, com grau de proteção a flamabilidade definido. Este tipo de cabo possui diâmetro externo de 8,9 mm a 16 mm (FURUKAWA, 2018).

- Cabo óptico CFOA-DD (CAVT – 24 F/T), para dutos com 24 fibras por tubo *loose* (FURUKAWA, 2019)

Estes tipos de cabo têm por característica ser totalmente dielétrico de 96 a 228 fibras ópticas monomodo, monomodo BLI ou monomodo NZD e também são revestidos com acrilato curado com UV, as unidades básicas são agrupadas com até 24 (vinte e quatro) fibras preenchidas com geléia em seu interior, possuem elementos de tração dielétricos.

De núcleo seco protegido com materiais hidro expansíveis e também revestidos externamente com materiais termoplástico resistente às intempéries, sendo utilizado para aplicações externas em dutos subterrâneos ou áreas espinadas com cordoalhas de aço. Estes cabos são fabricados obedecendo às normas e padrões da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 14566, e as recomendações da ITU-T G.652, 657, 655 que são os padrões que definem como as redes de telecomunicações operam e interagem.

As fibras ópticas constituintes deste tipo de cabo são revestidas em acrilato curado com UV que podem ser do tipo monomodo (SM), SM BLI A/B ou NZD (monomodo com dispersão não nula).

Possuem revestimento primário em acrilato curado com UV e a unidade básica na qual as fibras ópticas são agrupadas entre si de forma não aderente, protegidas por um tudo de material termoplástico preenchidos com material tixotrópico que impede a penetração da umidade.

O elemento central é constituído de material dielétrico posicionado no centro do núcleo que protege os cabos de esforços de contração, como membro central temos FRP (*fiber reinforced plastic*), plástico reforçado com fibras.

A constituição do núcleo apresenta as unidades básicas trançadas ao redor do membro central, é preenchido com materiais hidro expansíveis para evitar a entrada de umidade, permitindo assim que o núcleo fique seco, em alguns casos ocorrem o preenchimento com material termoplástico para manter o núcleo cilíndrico.

Os filamentos dielétricos são utilizados como proteção contra os esforços de tração, conferindo a rigidez e a mobilidade necessárias ao cabo, e como na descrição do cabo anterior o fio de rasgamento e incluído sob a capa do cabo. Capa externa e de material termoplástico continua, homogênea, de cor preta com proteção anti UV.

Diâmetro nominal vai de 12,9 a 17,2 mm, dependendo do número de fibras presentes no cabo, informação importante é que a espessura mínima da capa externa é de 1,4 mm (FURUKAWA, 2019).

A seguir são apresentados os componentes individualizados no cabo de fibra óptica de interesse no projeto.

3.3.1 Polietileno

A capa de proteção de um grande número de cabos ópticos é constituída de um polímero termoplástico da família do polietileno.

A palavra “plástico” vem do grego *plastikós*, que, em latim, originou a palavra *plasticus*, e define os materiais que possuem a propriedade de adquirir diversas formas, devido a uma ação exterior (PARENTE, 2006).

Os plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros (PLASTIVIDA, 2018). O tamanho das macromoléculas e suas estruturas químicas é o que vai definir os polímeros, os quais podem ser naturais, como a seda, celulose, as fibras de algodão, entre outros, ou sintéticos como o polietileno tereftalato (PET), o polietileno de alta densidade (PEAD), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno de baixa densidade/ polietileno linear de baixa densidade (PEBD/ PELBD), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), entre outros.

O polietileno de alta densidade é um dos principais termoplásticos utilizados na produção de embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafas, tampas, tambores para tintas, potes, utilidades domésticas, entre outros (PLASTIVIDA, 2018). A composição básica do polietileno é $(C_2H_4)_n$.

Já o polietileno de baixa densidade é um termoplástico com elevada capacidade de selagem a quente, utilizado muitas vezes em embalagens de gêneros de primeira necessidade em substituição ao polietileno de alta densidade. Entre suas principais aplicações estão a produção de fraldas descartáveis, absorventes, lonas, brinquedos, artigos farmacêuticos e hospitalares, revestimentos de fios e cabos de uso diversos inclusive os de fibra óptica (COUTINHO, 2003). A composição básica do polietileno é $(C_2H_4)_n$.

Para Coutinho (2003), as condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, no processo de produção, define os tipos de polietileno encontrados no mercado, dentre eles:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD e LLPDE);
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM e UHMWPE);
- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD e ULDPE).

O PEBD é um polímero parcialmente cristalino (50 a 60%), com temperatura de fusão (T_m) na casa de 110 °C a 115 °C, com cadeias ramificadas. Já o PEAD possui linearidade das cadeias, maior densidade e cristalinidade quando comparado aos PEBD. Com isto, o PEAD possui ponto de fusão mais alto, entre 125 °C a 132°C (COUTINHO, 2003).

Embora sólidos à temperatura ambiente, os plásticos podem ser aquecidos acima de sua temperatura de fusão, tornando-se fluídos e passíveis de serem moldados por ação isolada ou conjunta de calor e pressão. Os termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa densidade, boa aparência, são isolantes térmicos e elétricos, são resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações. Alguns exemplos de termoplásticos são o PP, o PE, o PET, o PVC e o PS (SPINACE, 2018).

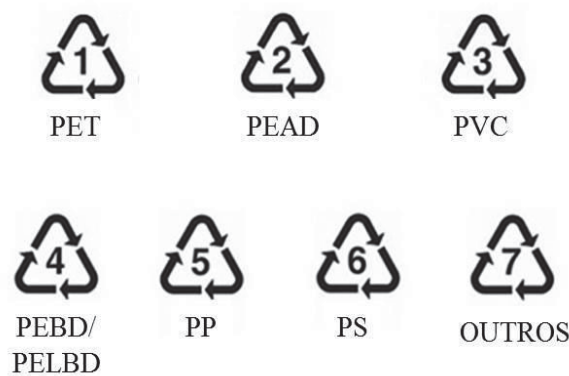
Pode-se afirmar que a indústria de polímeros constitui, hoje, um dos pilares do estilo de vida contemporâneo. Existe uma enorme quantidade de bens produzidos a partir de material polimérico, os quais podem ser utilizados em quase todas as áreas das atividades humanas, desde indústrias automobilísticas (pneus e para-choques), de embalagens (vasilhames e envoltos para alimentos), de revestimentos, de vestuário, médico-hospitalar (próteses, dispositivos para liberação de drogas), na distribuição de energia em telecomunicações, entre outros exemplos. Isto é consequência também do fato de que os materiais poliméricos vêm conquistando muitos mercados através da substituição de produtos metálicos e cerâmicos por poliméricos, por estes apresentarem maior praticidade a um custo inferior (BEZERRA et al., 2017).

Nos dias atuais, os plásticos fazem parte do cotidiano, estão presentes nas fibras têxteis sintéticas, nas embalagens em geral, na construção civil, nos utensílios domésticos, nos aparelhos eletrônicos, nos carros, na medicina, distribuição de energia em telecomunicações, entre muitos outros segmentos (DE FARIA et al., 2015).

Dessa forma, o mercado para filmes poliméricos continua apresentando expressivo crescimento mundial. Assim, os transformadores e fornecedores de filmes poliméricos procuram soluções que ofereçam redução de custo, alta produtividade, boa processabilidade e capacidade de automação da manufatura, além de exigência de desempenho, como resistência mecânica, estabilidade estrutural, boas propriedades de permeabilidade e ópticas, entre várias outras, de acordo com a aplicação final do filme (BARROS et al., 2018).

Além das características citadas anteriormente, o plástico também possui a capacidade de passar pelo processo de reciclagem. O símbolo da reciclagem, definido por um número ou sigla no centro, é encontrado muitas vezes no fundo dos produtos e identifica o tipo de plástico utilizado (FIGURA 3.6).

FIGURA 3.6 – SÍMBOLO DA RECICLAGEM PARA PLÁSTICOS



FONTE: adaptado de NBR 13.230 (1994).

Além da identificação do material pela simbologia, Carvalho (2012) apresenta parâmetros de aparência, rigidez, superfície, teste de chama, observações, odor, ponto de fusão e densidade (TABELA 1).

Como já explicitado o plástico tem uma infinidade de usos e é presença constante em nossos dias, mais muitos destes plásticos são descartados no ambiente sem passar por qualquer tipo de reciclagem ou tratamento químico, poluindo rios, ruas e florestas. Nos plásticos existem uma infinidade de substâncias químicas, substâncias estas que podem causar danos à saúde humana, devido a sua toxicidade, pode interferir no sistema nervoso hormonal, reprodutivo e ainda causa câncer (HESS, 2012).

No Brasil existem poucas restrições legais ao uso de plásticos que contenham substâncias que podem causar danos à saúde humana. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) proibiu a fabricação e a venda de mamadeiras contendo a substância Bisfenol A, medida que outros países já haviam adotado anteriormente. Na Europa e nos Estados Unidos alguns ftalatos foram proibidos para determinados usos, já no Brasil ocorrem apenas algumas restrições. Portanto, é importante uma reflexão sobre as consequências ao meio ambiente e aos seres humanos das substâncias tóxicas existentes nos plásticos, bem como as mudanças que se fazem necessárias em nossa legislação e na legislação mundial em relação a estas substâncias tóxicas contidas nos plásticos (HESS, 2012).

TABELA 1 - IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE POLÍMEROS

Polímero	Aparência	Rigidez	Superfície	Teste de Chama	Observação	Odor	PF (°C)	Densidade
PELB	Transparente translúcido	Flexível	Ceroso	Azul, vértice amarelo	Goteja como vela	Odor de vela	105	0,89 - 0,93
PEHD	Transparente translúcido	Flexível	Ceroso	Azul, vértice amarelo	Goteja como vela	Odor de vela	130	0,94 - 0,98
PP	Transparente translúcido	Semirrígido	Ceroso	Amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa	Amolece e goteja	Odor agressivo	165	0,85 - 0,92
PS	Transparente	Rígido	Vítrea	Amarela, crepita ao queimar, fumaça neutra	Amolece e goteja, carboniza completamente	Adocicado	-	0,98 - 1,00
ABS	Opaco	Semirrígido	Opaca	Amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa	Amolece e goteja	Odor característico de borracha	230	1,04 - 1,06
POM	Opaco	Semirrígido	Vítrea	Azul, sem fumaça com centelha	Amolece e borbulha	Odor característico de borracha	130	1,08
PET	Transparente	Semirrígido	Vítrea	amarela fumaça mas centelha	-	Manteiga rançosa	180	1,15 - 1,25
PVC-U	Transparente	Semirrígido	Vítrea	Amarela, vértice verde	Chama auto extingüível	-	127	1,34 - 1,37
PVC-P	Transparente	Flexível	Vítrea	Amarela, vértice verde	Chama auto extingüível	Odor de Cloro	150	1,19 - 1,35
PTFE	Opaco	Flexível	Vítrea	Amarela deforma-se	Chama auto extingüível	Nenhum	225 - 327	2,15 - 2,20
PU	Opaco	Flexível/ Semirrígido/ Rígido	-	Amarela com base azul	Goteja, fumaça preta	Picante, azedo	-	1,12 - 1,25
PA66	Translúcido	Semirrígido	Vítrea	Azul vértice amarelo, centelhas, difícil de queimar	Formam bolas nas pontas	Pena ou cabelo queimado	260	1,12 - 1,16

FONTE: Carvalho (2012).

3.3.2 Kevlar®

Kevlar® é o nome comercial dado à fibra de aramida, definida como uma fibra manufaturada formada por uma longa cadeia de poliamida sintética com pelo menos 85% de ligações amida, ligadas diretamente a dois anéis aromáticos. Possuem como principal característica resistência ao calor, não derretem ou inflamam em níveis normais de oxigênio (TROMBETA, 2012). O Kevlar® foi descoberto pela cientista Stephanie Kwolek em 1965, quando trabalhava na empresa DuPont™ e o seu lançamento comercial foi no ano de 1982.

O Kevlar® é utilizado na produção de cabos de fibra óptica, proporcionando produtos mais econômicos e de melhor desempenho, maior flexibilidade no projeto e na fabricação de cabos, propriedades mecânicas e cobertura da fibra óptica (MOREIRA, 2009).

As principais vantagens que a fibra de aramida possui são baixa massa específica, elevada resistência à tração e ao impacto, baixa condutividade elétrica, elevada resistência química e à abrasão, boa resistência ao fogo e excelente comportamento sob temperaturas elevadas. Entretanto, também apresenta algumas desvantagens, tais como baixa resistência à compressão, degradação lenta sob luz ultravioleta, elevada absorção de umidade, má adesão às resinas e custo relativamente alto (MOREIRA, 2009).

As fibras de aramidas são fabricadas com recursos não renováveis, sendo caracterizadas como fibras sintéticas, as quais não são biodegradáveis e levam cerca de 400 anos para se decompor totalmente. Por sua produção ser um processo muito complexo, existem preocupações ambientais (UFSC, 2018).

Este material é utilizado na composição dos cabos de fibra óptica com a função de proteger o núcleo das fibras em situações de torção do cabo, impacto no transporte, além de permitir que os cabos sejam puxados durante o processo de instalação. Em muitos tipos e categorias de cabos de fibra óptica, os mesmos recebem um revestimento secundário de nylon ou poliéster, o que confere uma grande resistência mecânica a tração, protegendo os cabos contra danos físicos. As vantagens de sua utilização é que os mesmos são leves e permitem um número muito maior de fibras por unidade de cabos (DuPont™, 2018).

3.3.3 Núcleo do cabo

Núcleo do cabo é a região central na fibra óptica onde a luz passa, os núcleos conforme já descrito anteriormente podem ser compostos por um fio de vidro especial, ou polímero com diâmetros que podem ter apenas 125 micrômetros (PEREIRA, 2019).

Neste trabalho é adotada a nomenclatura de miolo do cabo para caracterizar os seguintes materiais:

- Núcleo: chamado de “*core*”, no qual estão dispostos os feixes de fibra óptica, composta de sílica de altíssima pureza, e onde ocorre a transmissão dos pulsos de luz;
- Casca ou camada de refração: revestimento do núcleo, também chamado de “*cadding*”. É a responsável por evitar as perdas, possibilitando a propagação dos feixes de luz.
- Revestimento interno: também chamado de “*coating*” ou tubete, possui a função de proteção primária. Permite o isolamento de impacto externo e evita que a entrada de luz natural atinja as fibras de vidro internas.

Em resumo, o miolo do cabo neste trabalho é composto de sílica de alta pureza, tubetes de silicone que recobrem as fibras, nylon ou poliéster que tem a função de oferecer resistência mecânica ao cabo, além de facilitar os trabalhos de emenda quando necessário.

3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM

A Política Ambiental Brasileira é viabilizada pelas leis ambientais, as quais podem ser iniciativa do Poder Executivo, Poder Legislativo ou de iniciativa popular, mas necessariamente devem ser aprovadas pelo Congresso Nacional. Após ser aprovada, a lei deve ser regulamentada pelo Poder Executivo, ao qual compete dar o devido detalhamento (SANTAELLA et al., 2014).

A Constituição Federal de 1988 atribui através de seu artigo 24 que a competência para legislar sobre a proteção do meio ambiente cabe à União, aos Estados e ao Distrito Federal. Neste artigo fica regulamentada esta competência concorrente, tendo em vista que cabe à União estabelecer normas gerais, enquanto

aos Estados compete o estabelecimento de normas suplementares, caso não haja lei federal sobre o assunto. Quanto aos municípios, compete legislar e atuar nos casos em que ficar caracterizado o interesse local, quando for cabível complementar a legislação federal e estadual ou quando se referir à prestação de serviço público de interesse local (BRASIL, 1988).

O conceito de resíduos sólidos variou ao longo do tempo, em função dos avanços tecnológicos, da conscientização ambiental e da necessidade financeira de reaproveitamento de materiais que não são mais úteis para um determinado fim, mas podem servir de matéria-prima para outro (SANTAELLA *et al.*, 2014).

De acordo com a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Art. 3º, Inciso XVI, resíduo sólido é definido como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos constituem um problema ambiental em qualquer sociedade que não esteja adequadamente atenta para as consequências da sua acumulação e que não adote medidas corretas de coleta, de transporte, de reciclagem e de destinação final. Como destinação final adequada pode-se citar reutilização, reciclagem, compostagem, aproveitamento energético ou disposição em aterros sanitários. As consequências ambientais decorrentes da destinação ou disposição inadequada de resíduos são extremamente graves, pois comprometem os solos, o ar e a água (SANTAELLA *et al.*, 2014).

Uma das soluções mais viáveis para reduzir o volume de lixo produzido, e, conseqüentemente, a disposição inadequada dos resíduos sólidos, é a coleta seletiva, a qual contribui para diminuir a quantidade de resíduos disposta em aterros sanitários e outros destinos, gera empregos, melhora a condição de trabalho dos catadores, permite a reciclagem e, com isso, economiza energia e recursos naturais (IBGE, 2011).

Segundo o IBGE, menos de 20% dos municípios declararam possuir algum tipo de coleta seletiva ativa. A situação é ainda mais delicada nas Regiões Norte,

Nordeste e Centro-Oeste, onde mais de 90% dos municípios declararam não possuir coleta seletiva. Além disso, menos de 7% dos municípios declaram haver coleta seletiva em toda a sua área territorial. Já outros 9% dos municípios declararam a existência de coleta seletiva apenas nas áreas urbanas. Os principais responsáveis pela coleta seletiva nestes municípios são a prefeitura e os catadores, estes últimos, especialmente na coleta de latinhas de alumínio (IBGE, 2011).

Segundo a definição da PNRS, reciclagem é “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes” (BRASIL, 2010).

Uma definição mais completa e abrangente é a da *Environmental Protection Agency* (EPA), agência ambiental dos Estados Unidos. Para eles, a reciclagem é a ação de coletar, reprocessar, comercializar e utilizar materiais antes considerados lixos. A reciclagem, como mencionada, é o “resultado de uma série de atividades por meio das quais materiais que poderiam se tornar lixo, ou se encontram depositados nele, são separados, coletados, segregados e novamente processados para serem usados como matéria prima na manufatura de novos bens, feitos anteriormente apenas com matérias primas virgens (KERSTING et al., 2012).

A seguir serão descritas algumas leis, decretos e normas importantes referentes à temática ambiental.

3.4.1 Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº12.305/ 2010, deve ser entendida como um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes a respeito dos resíduos sólidos. Trata-se do arcabouço jurídico principal aplicável ao tema e, como tal, passou a ser considerada o marco regulatório e de referência da matéria. Resultado de um projeto legislativo que se prolongou por 20 anos, a Lei 12.305 alterou a Lei nº 9.605/1998 e é regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010.

A reciclagem é um objetivo da PNRS, assim como o incentivo às indústrias de reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados. Os sistemas de logística reversa aparecem

como um instrumento, a fim de viabilizar que os objetivos sejam atendidos, atuando em conjunto com outros instrumentos, tais como a coleta seletiva, o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis e os acordos setoriais (BRASIL, 2010).

A Seção II, que trata da Responsabilidade Compartilhada, traz importantes conceitos para o desenvolvimento deste estudo. De acordo com o artigo 30, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos abrange fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e também os titulares dos serviços públicos de limpeza e manejo de resíduos sólidos, os quais devem investir no desenvolvimento, fabricação e venda de produtos que possam ser reutilizados ou reciclados e cuja fabricação gere a menor quantidade de resíduos possível. Além disso, tem a responsabilidade de recolher seus produtos e os resíduos remanescentes após o uso e realizar a destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa (BRASIL, 2010).

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem como objetivos compatibilizar os interesses econômicos e ambientais através de estratégias sustentáveis, promover o aproveitamento de resíduos sólidos, reduzir a geração de resíduos, o desperdício e os danos ambientais, incentivar o uso de insumos menos prejudiciais ao meio ambiente, estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis, aumentar a eficiência de atividades produtivas e, por fim, incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental (BRASIL, 2010).

O artigo 33 traz a obrigatoriedade de estruturação e implementação de sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso, para resíduos de agrotóxicos (e também suas embalagens), pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes (resíduos e embalagens), lâmpadas fluorescentes e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Os consumidores deverão efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens acima citados. Cabe, então, aos comerciantes e distribuidores efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens e estes, por fim, devem dar a destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

3.4.2 Decreto nº 7.404/2010

Este decreto tem como funções regulamentar a Lei número 12.305/ 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, criar o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

Segundo este decreto, os sistemas de logística reversa serão implementados e operacionalizados por meio de acordos setoriais, regulamentos expedidos pelo Poder Público ou termos de compromisso. Os acordos setoriais são atos de natureza contratual, firmados entre o Poder Público e os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, com o objetivo de implantar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010).

Os acordos setoriais podem ser iniciados pelo Poder Público ou pelos fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes dos produtos e embalagens. Aqueles que forem iniciados pelo Poder Público devem ser precedidos de editais de chamamento, já aqueles iniciados pelos fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes devem ser precedidos da apresentação de proposta formal pelos interessados ao Ministério de Meio Ambiente (BRASIL, 2010).

Os acordos setoriais visando à implementação da logística reversa deverão conter, no mínimo (BRASIL, 2010):

- ✓ A indicação dos produtos e embalagens objeto do acordo setorial;
- ✓ A descrição das etapas do ciclo de vida em que o sistema de logística reversa se insere;
- ✓ A descrição da forma de operacionalização da logística reversa, possibilidade de contratação de entidades, cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais recicláveis ou reutilizáveis, participação de órgãos públicos nas ações propostas;
- ✓ Quando estes se encarregarem de alguma etapa da logística a ser implantada, definição das formas de participação do consumidor, mecanismos para a divulgação de informações, metas a serem alcançadas no âmbito do sistema de logística reversa a ser implantado, cronograma para a implantação da logística reversa, informações sobre a possibilidade ou a viabilidade de aproveitamento dos resíduos

gerados, identificação dos resíduos perigosos presentes nas várias ações propostas e os cuidados e procedimentos previstos para minimizar ou eliminar seus riscos e impactos à saúde humana e ao meio ambiente;

- ✓ Avaliação dos impactos sociais e econômicos da implantação da logística reversa e descrição do conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos participantes do sistema de logística reversa no processo de recolhimento, armazenamento, transporte dos resíduos e embalagens vazias, com vistas à reutilização, reciclagem ou disposição final ambientalmente adequada.

3.4.3 Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná

O Estado do Paraná no ano de 1999 estabeleceu sua Política de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.493 que foi alterada posteriormente pela Lei Estadual nº 13.039 no ano de 2001 (PARANÁ, 2018).

A PNRS tem como um de seus instrumentos a elaboração de Planos de Resíduos Sólidos, entre os quais estão inseridos os planos nacional, estaduais, regionais, microrregionais, intermunicipais e municipais. A elaboração desses planos e suas revisões são essenciais para que as administrações públicas possam ter acesso a recursos financeiros provenientes da União, destinados à gestão de resíduos sólidos ou para que possam ser beneficiadas por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal propósito (PARANÁ, 2018).

Diante disso, em dezembro de 2011, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado do Paraná – SEMA/PR assinou um contrato com a Caixa Econômica Federal com o propósito de elaborar o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná – PERS/PR. Especificamente em 22 de dezembro de 2016, a secretaria firmou contrato de prestação de serviços com o ganhador do processo licitatório para o desenvolvimento do PERS/PR (PARANÁ, 2018).

Neste contexto mesmo antecedendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos a Política dos Resíduos Sólidos do Paraná atende diversas diretrizes proposta por ela. Após a constituição de instrumentos de gestão de resíduos sólidos o estado elaborou nos anos de 2012 e 2013, com recursos do Ministério do Meio Ambiente-

MMA e coordenação da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA/PR os Plano de Regionalização da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos – PRGIRSU/PR e o Plano de Gestão Integrada e Associada dos Resíduos Sólidos Urbanos – PGIRSU/PR (PARANÁ, 2018).

Cabe ao Plano de Regionalização a orientação sobre as intervenções do setor de resíduos sólidos por meio da regionalização do Estado e também a preparação e implementação das soluções integradas e consorciadas, definindo as diretrizes e estratégias para gestão dos resíduos sólidos urbanos no Estado. (PARANÁ, 2018).

Para gestão integrada dos resíduos municipais estabeleceu-se 20 regiões e os municípios polo de cada região, definiu-se a metas, prazos e ações, rotas tecnológicas e seus custos de instalação e operação. A partir daí criou-se o Sistema Estadual de Informações sobre os Resíduos Sólidos Urbanos (SEIRSU), com informações alimentadas pelos gestores estaduais e municipais dos índices de geração e a gestão destes resíduos sólidos urbanos (PARANÁ, 2018).

Com prazo de vigência indeterminado o PERS/PR, fornecerá os subsídios para um horizonte de 20 anos, com revisões periódicas a cada 4 anos, todos os 399 municípios do estado serão contemplados e de acordo com o Termo de Referência – TR, o PERS/PR levará em consideração sete tipologias de resíduos a saber:

1. Resíduos Sólidos de Serviços Públicos de Saneamento: Básico – Rsan;
2. Resíduos Sólidos Industriais: RSI;
3. Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde: RSS;
4. Resíduos Sólidos da Construção Civil e Demolição: RSCC;
5. Resíduos Sólidos agrossilvopastoris: RSA;
6. Resíduos Sólidos de Serviços de Transportes: RST
7. Resíduos Sólidos de Mineração: RSM.

Para atendimento ao Termo de Referência (TR) o PERS/PR estrutura-se a partir de 4 metas a saber:

Meta 1. Projeto de Mobilização Social e Divulgação;

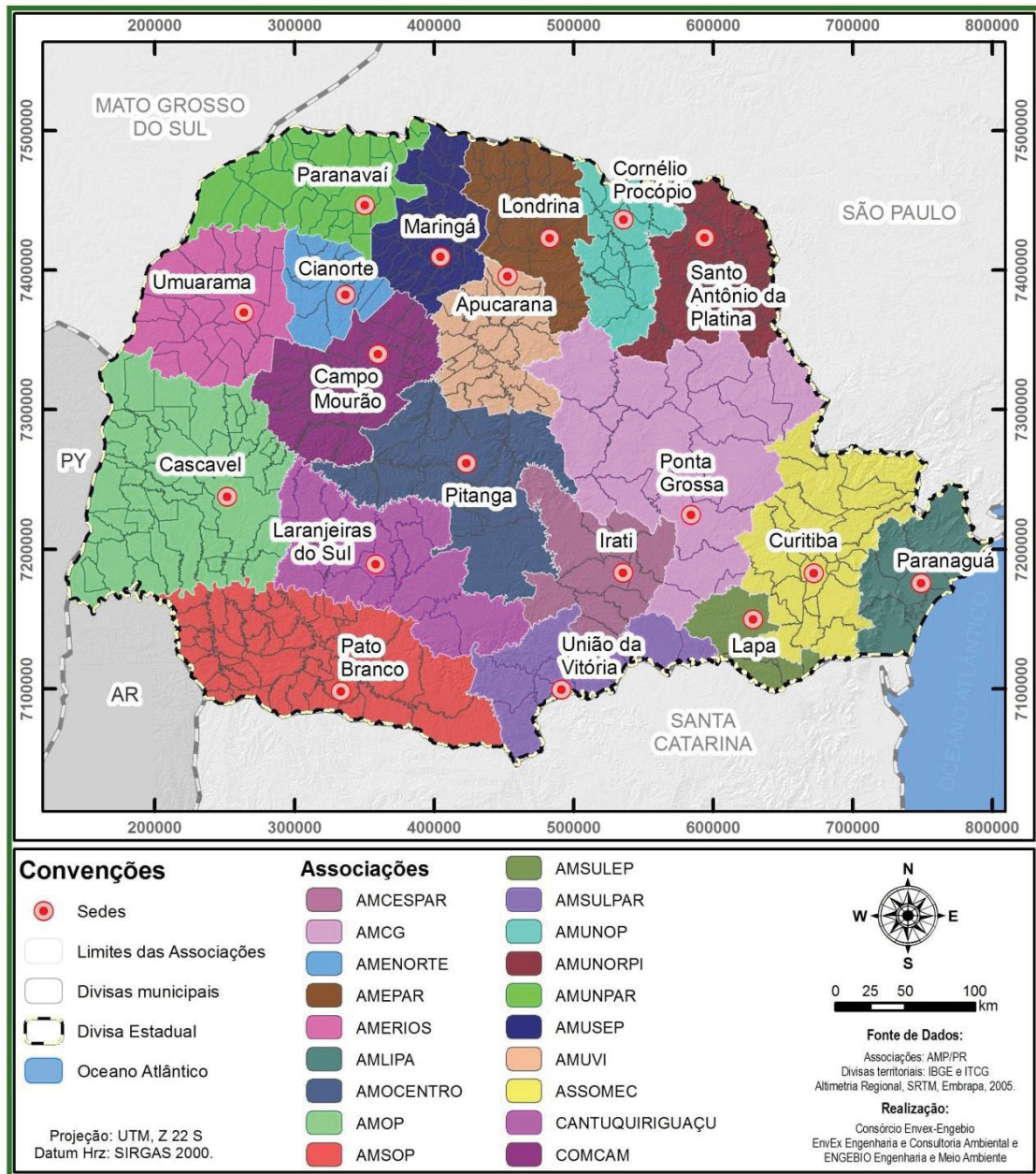
Meta 2. Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado;

Meta 3. Estudos de Prospecção e Escolha de Cenários de Referência;
Meta 4. Diretrizes e Estratégias para implementação do PERS/PR
(PARANÁ, 2018).

Hierarquicamente cabe a SEMA/PR a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, a responsabilidade direta da gestão dos resíduos sólidos está sob a tutela da Coordenadoria de Resíduos Sólidos (CRES) e o Decreto Estadual nº4.514 em seu art. 32 estabelece as atribuições dos CRES, sua atuação acontece de forma articulada com as demais coordenadorias e institutos vinculados a SEMA/PR com é o caso do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), o Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ e o instituto de Terras, Cartografia e Geologia (ITCG) (PARANÁ, 2018).

Os principais atores estratégicos do Estado envolvidos são aqueles envolvidos com as atividades produtivas dos setores primário, secundário e terciário, os órgãos fiscalizadores como Ministério Público (MP), os representantes dos poderes público municipal, o poder legislativo, os representantes de empresas prestadoras de serviço de coleta, tratamento e destinação de resíduos, as universidades, organizações não governamentais e por fim as entidades de classe profissionais (PARANÁ, 2018).

FIGURA 3.7 - DELIMITAÇÃO DAS 19 ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: Paraná, 2018.

3.5 LOGÍSTICA REVERSA

Estudos sugerem que a origem da palavra logística ocorreu em meados da Segunda Guerra Mundial, caracterizando um processo voltado para atividades militares. Suas funções consistiam basicamente no transporte e armazenamento de suprimentos, entretanto a gestão estratégica já estava incorporada às suas ferramentas (LEITE, 2017).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professional* uma associação sem fins lucrativos que fornece a liderança no desenvolvimento, na definição e aperfeiçoamento de profissionais que trabalham com logística e gestão de cadeias de abastecimento, logística é a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo eficiente e efetivo e reverte o fluxo e o armazenamento de mercadorias, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo (CSCMP, 2018).

O Conselho afirma que as atividades de gerenciamento de logística podem, também, incluir o gerenciamento de transporte de entrada e saída, gerenciamento de frota, armazenamento, manuseio de materiais, atendimento de pedidos, projeto de rede logística, gerenciamento de estoque, planejamento de oferta e demanda e o gerenciamento de provedores de serviços de logística terceirizados. Em graus variados, a função de logística também inclui fornecimento e aquisição, planejamento e programação de produção, embalagem e montagem e atendimento ao cliente (CSCMP, 2018).

De forma objetiva, a logística inicia no cliente e termina no cliente. A partir de uma necessidade do cliente, é dado o *start* em toda a cadeia produtiva, desde a chegada da matéria-prima à fábrica, passando por todo o processo de produção e chegando ao cliente final. Deste ponto em diante, o produto, esgotando seu ciclo de vida, retorna ao processo logístico de forma reversa, processo conhecido como logística reversa (LACERDA, 2002).

Leite (2017) define a logística reversa como a área da logística em uma organização encarregada do planejamento, operações e controle dos fluxos e das informações, do retorno de bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, de forma a agregar valor de diversas maneiras: econômico, social, ambiental e legal garantindo a imagem corporativa.

Hoje, a logística reversa deve ser inserida no processo de reciclagem, uma vez que esses materiais retornam ao processo produtivo como matéria-prima. Nesse caso, a logística reversa é lucrativa para as empresas, já que transforma materiais que seriam inutilizados em matéria-prima, reduzindo assim, os custos para a empresa (COELHO *apud* BOEMO *et al.*, 2015).

3.6 SOLUÇÕES PARA DESTINAÇÃO DE DESCARTES DA SUCATA DE FIBRA ÓPTICA

No atual contexto, as tecnologias de comunicação e informação têm contribuído de forma determinante para a desmaterialização da economia e, se utilizadas de forma eficiente, podem ser consideradas uma ferramenta importante para sustentabilidade do planeta. O desenvolvimento sustentável e a responsabilidade social são assuntos correntes no universo corporativo, havendo um grande número de empresas que publicam anualmente em seus relatórios de sustentabilidade quais ações tomam a este respeito (SILVA, 2017).

Com o entendimento da sustentabilidade, o setor de telecomunicações definiu a expressão “TI verde”, caracterizada pelas práticas do setor que visam incorporar a preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade em suas atividades (MAURER *et al.*, 2012).

No entanto, pouco se sabe sobre a forma como estas empresas (indústrias, serviços) incorporam essas preocupações nos serviços que, de forma ininterrupta, fornecem aos seus clientes. Apesar da relevância do tema para a gestão das empresas, não são conhecidos ou apresentados estudos que abordem de forma integrada as perspectivas das autoridades, das empresas, indústrias e da população de uma maneira geral numa lógica de berço a berço os produtos e materiais utilizados em suas atividades (SILVA, 2017).

No Brasil, algumas das principais prestadoras de serviços na área de telecomunicações informam, por meio de seus relatórios de sustentabilidade, os volumes de sucatas de cabos que são destinados a aterro, conforme mostra TABELA 2 e a TABELA 3.

TABELA 2 - INFORMAÇÕES SOBRE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS POR TIPO E MÉTODO (TONELADAS)

Destinação de resíduos por tipo e método (toneladas)			
	Tipo	2016	2017
Reciclagem			
Papel e papelão	Não perigoso	48,7	15,3
Cabos e metais	Não perigoso	6.366,6	6.339,0
Baterias	Perigoso	1.312,2	1590,0
Lâmpadas fluorescentes	Perigoso	11,3	3,7
Resíduos eletroeletrônicos	Não perigoso	812,7	757,0
Resíduos administrativos	Não perigoso	294,2	757,0
Resíduos provenientes dos clientes	Não perigoso	345,5	528,4

Telefones móveis dos clientes	Não perigoso	7,7	8,1
TOTAL	-	9.198,9	9.241,5
Aterro			
Cabos e metais	Não perigoso	143,0	352,0

FONTE: Telefônica (2018).

TABELA 3 - INFORMAÇÕES SOBRE PESO TOTAL DOS RESÍDUOS, POR TIPO E MÉTODO DE DISPOSIÇÃO

	Tipo	2016	2017
Reciclagem			
Resíduos enviados para coleta seletiva	Não perigoso	276,0	105,0
Cabos e metais	Não perigoso	2.188,0	2.550,0
Aparelhos, pilhas e baterias	Perigoso	Não há dados	Não há dados
Lâmpadas (em itens)	Perigoso	41.741	56.267
Baterias estacionárias	Perigoso	696,0	833,0
Aterro			
Resíduo enviado para aterro	Não perigoso	129,0	132,0

FONTE: Oi S.A. - Brasil 2017.

A seguir serão descritos uma alternativa para descarte legal para destinação das sucatas de cabos ópticos e mais 2 (dois) processos que podem ser utilizados como alternativas para a reciclagem da sucata de cabos ópticos, sendo eles disposição em aterro, pirólise, coprocessamento.

3.6.1 Aterros

Os aterros podem ser sanitários, controlados ou industriais, dependendo da forma como são construídos e de quais materiais receberão. Os aterros sanitários são considerados como a forma menos impactante para destinação de resíduos sólidos urbanos, já que em sua construção ocorre a impermeabilização do solo para evitar a lixiviação e também há a coleta e tratamento do chorume e dos gases emitidos (PARRO *et al.*, 2008).

Já o termo aterro controlado se refere aos aterros “não sanitários”, isto é, não apresentam todos os controles descritos anteriormente. Nestes, o resíduo é disposto sobre o solo e recebe uma camada de cobertura, entretanto não há impermeabilização do solo, tampouco sistemas para coleta e tratamento de gases e chorume (OBLADEN, 2009).

Por fim, os aterros industriais são aqueles que recebem resíduos industriais dos mais variados segmentos e classes toxicológicas. Em sua construção

necessitam de impermeabilização das trincheiras, drenagem das águas pluviais, tratamento de efluentes e de gases que podem ser liberados dos materiais ali descartados, e também espaço para reciclagem, armazenagem e manutenção (MARQUES, 2000).

As camadas de impermeabilização dos aterros industriais necessitam ter camadas duplas, sendo a inferior composta por uma manta sintética com resistência química, resistência a tração e abrasão e, por fim, sobreposta pela segunda camada composta de argila (MARQUES, 2000).

3.6.2 Reciclagem

A Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos define reciclagem em seu Art. 3º, inciso XIV, como “o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010).

Em diversos países, principalmente nos em desenvolvimento prevalece a política de apenas tratar o lixo, baseado num modelo linear de desenvolvimento, tendo com idéia que a natureza e fonte inesgotável de recursos naturais e energéticos e ainda que ela possua uma capacidade infinita de deposição (ZANIN; MANCINI, 2015).

Falando da indústria de plásticos e seus derivados, podemos consideramos que este modelo linear de “fabricar, usar e descartar“ é antigo é insustentável e precisamos que ele seja substituído por um modelo circular sustentável, onde os plásticos usados podem ser recuperados e reaproveitados, um modelo que além de não apenas manter os plásticos fora do ambiente, mas que promova também o reaproveitamento de seus inerentes valores para criação de novos produtos (AMERICAN CHEMISTRY, 2019).

Em países como os Estados Unidos da América, os fabricantes adotaram algumas iniciativas importantes para o aumento significativo da quantidade de embalagens de plásticos que se reutiliza, recicla e recupera, com a criação de uma meta nacional para o redirecionamento de todas as embalagens plásticas até o ano de 2040. Foi criada uma aliança nacional para combater o desperdício do plástico

que investirá mais de um bilhão de dólares em cinco anos para desenvolver e investir em infraestrutura necessária (AMERICAN CHEMISTRY, 2018).

Existem diversos tipos de reciclagem de plásticos a Sociedade Americana de Ensaio de Materiais (ASTM, na sigla em Inglês) normalizou uma divisão dos tipos de reciclagem de plásticos visando a uniformizar os conceitos, definindo os tipos de reciclagem em primária, secundária, terciária e quaternária (ZANIN, MANCINI, 2015).

Dentro da norma dos tipos de reciclagem da ASTM consta ainda uma outra divisão que define os processos de reciclagem, que se baseia no tipo de processo que o plástico sofrerá, esta nova classificação dividiu a reciclagem do plástico em reciclagem mecânica, reciclagem química, reciclagem energética (ZANIN, MANCINI, 2015).

A reciclagem em todo contexto descrito acima se apresenta não só como uma importante ferramenta para economia de recursos naturais não renováveis (petróleo), mas também como forma importante de redução da quantidade de resíduos plásticos destinados na forma de lixo nos aterros (ZANIN; MANCINI, 2015).

A definição de qual tipo de reciclagem a ser usada para os plásticos depende o que se quer como produto final, precisa-se determinar se o produto final será para reutilização na produção de novos artefatos, ou para transformação em óleos, gases, ou ainda para reaproveitamento da energia gerada por incineração (AOKI; HORI; PEREIRA, 2004).

Podemos reclassificar a reciclagem dos plásticos relacionando o tipo com o processo, aí temos a reciclagem primária com a re-extrusão, neste caso apenas materiais oriundos de descarte pós indústria, ou seja, material limpo e classificado, reciclagem secundária com a mecânica, reciclagem terciária com a química e finalmente a quaternária visando a recuperação de energia. Importante ressaltar que cada método oferece um conjunto único de vantagens que o tornam particularmente benéfica para determinadas aplicações e locais (FIGUEIREDO, 2015).

3.6.2.1 Reciclagem primária

Pode-se afirmar que a reciclagem primária, geralmente acontece nos mesmos locais onde o resíduo é produzido, ou seja, neste tipo de reciclagem a fonte

e completamente confiável, como exemplo o resíduo da própria empresa que transforma o plástico (ZANIN; MANCINI, 2015).

Reciclagem primária promove a transformação dos resíduos poliméricos industriais para os métodos de processamento padrão geralmente em produtos com as características equivalentes àquelas aos produtos originais produzidos com polímeros virgens, como exemplo aparas que são novamente introduzidas no processamento (ZANIN; MANCINI, 2015).

3.6.2.2 Reciclagem secundária

O reprocessamento de materiais plásticos por meios físicos através de cortes, fracionamento, trituração, lavagem, dentre outros processos é denominado de reciclagem mecânica. Após ser separado de possíveis contaminantes e pode ser reprocessado criando um novo *pellet* (PESSÔA, 2018).

A reciclagem mecânica desenvolveu-se muito rapidamente nas últimas décadas, devido ao incremento da cadeia de reciclagem de plástico bem como a sua capacidade de recolocar no mercado consumidor uma grande quantidade de material plástico. Isso se dá, pois a mesma basicamente se utiliza dos mesmos equipamentos de produção dos plásticos virgens associados aos fatores como custo de mão de obra, baixo investimento para instalação de planta de reciclagem, disponibilidade de matéria-prima aliados ao um mercado crescente para venda de polímeros reciclados (ZANIN; MANCINI, 2015).

3.6.2.3 Reciclagem Terciária

Define-se a reciclagem química como o processo que provoca a despolimerização total ou parcial do polímero, pode se afirmar que a reciclagem química é uma tecnologia muito avançada que transforma o polímero plásticos em moléculas menores, majoritariamente líquido ou gases (PESSÔA, 2018).

Visando a obtenção de valor agregado de produtos maior que a energia contida num polímero, energia está obtida com a reciclagem energética (quaternária) a reciclagem química envolve a despolimerização controlada do plástico (ZANIN; MANCINI, 2015).

O processo de pirólise caracteriza-se pelo aquecimento de materiais sem a presença de oxigênio, o que faz com que o material não entre em combustão, mas seja decomposto em gases, líquidos e sólidos (ALMEIDA, 2008). A proporção destes compostos resultantes depende de alguns fatores, como a composição do material pirolisado, a temperatura utilizada e o tempo de retenção no reator.

Pode-se também afirmar que a pirólise funciona como uma destilação destrutiva, onde ocorre um processo de quebra de ligações químicas de cadeias orgânicas pelo calor (CAPONERO, 2002).

Controla-se o processo de pirólise pela taxa de aquecimento do material, e os fatores que interferem no processo são o tamanho das partículas, a velocidade do gás e o tempo de pirólise (NIESSEN, 1995).

É importante que se tenha cuidado com o material que será pirolisado, uma vez que alguns materiais podem contaminar os produtos durante o processo, por exemplo, o PVC que pode liberar HCl devido à sua composição. A pirólise é uma alternativa de processamento de resíduos que não causa emissões, já que os gases produzidos no processo são coletados e utilizados como matéria-prima (CHEN *et al.*, 2014).

3.6.2.4 Reciclagem Quaternária - Combustível Derivado de Resíduo (CDR) e Coprocessamento

A utilização de resíduos sólidos no Brasil, com vistas ao aproveitamento energético incluindo o coprocessamento, deverá obedecer normas estabelecidas pelos órgão competentes, podendo ser utilizadas tecnologias que comprovem sua viabilidade técnica e ambiental, havendo a necessidade da implantação de monitoramento de emissões de gases tóxicos, aprovados pelos órgão ambientais (BRASIL, 2010).

A princípio a reciclagem energética promove a combustão completa do plástico através da incineração, geralmente em usinas muito parecidas com usinas termoelétricas, que normalmente são abastecidas com óleo, carvão, ou gás natural (PESSÔA, 2018).

A incineração como forma de obtenção de energia pode ser considerada um dos meios mais eficazes para redução do volume de materiais. A reciclagem energética gera uma quantidade considerável de energia quando da incineração dos

polímeros, mas possui um inconveniente importante do ponto de vista de saúde, já que neste processo geralmente ocorrem o lançamento de substâncias tóxicas como os dióxidos de carbono, enxofre e outras toxinas que podem estar presentes em determinados tipos de plásticos com é o caso do PVC. Se faz necessário neste processo nas empresas que desenvolve este tipo de reciclagem equipamentos que promovam o a lavagem e tratamentos dos gases gerados (PESSÔA, 2018).

Outra forma de reciclagem energética seria a utilização do resíduo como CDR, eles podem ser usados para alimentarem fornos de industrias, neste caso o resíduo vira combustível dando início a uma nova cadeia de valor. Para se tornarem combustível resíduos industriais não perigosos (Classe II A e II B), precisam passar por um processo de triagem e homogeneização mecânica visando obter uma melhora na proporção dos materiais secos e úmidos. Os CDR podem ser empregados em caldeiras, fornos de industriais de cimenteiras e ainda em usinas de biomassa, tendo como grande vantagem a destruição completa dos resíduos evitando passivos ambientais e ainda a não utilização de recursos naturais, como é o caso do carvão coque (ESTRE, 2018).

Em termos de Brasil a valorização do resíduo sólidos e seu uso posterior para fins energéticos pode auxiliar no desvio de significativos montantes deste que iriam parar nos aterros em sua deposição final, embora ainda não se trate de potencial com dimensão suficiente para suportar uma estratégia de expansão de oferta de energia elétrica no país, esta pode ser uma estratégia regional ou local importante por isto não deve ser desconsideradas (EPE, 2008).

Em países Europeus em 2000 havia 304 plantas de incineração com capacidade de processamento de 50,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos municipais e outros resíduos promovendo uma recuperação energética de 49, 6 TWh/ano, onde 70 % era destinada para gerar calor e 30% para geração de energia elétrica (LUDWIG; HELLWEG; STUCKI, 2003).

No Brasil identificamos apenas dois projetos que relatam o uso de geração de eletricidade, o aterro Bandeirantes e São João, com uma geração de 755.700 MWh entre 2004-2010 e 476.000 MWh entre 2008-2012 respectivamente (ABRELPE, 2013).

Pode-se produzir o CDR através da seleção mecânica da fração de combustível dos resíduos sólidos, a produção do CDR é parte de do sistema de tratamento térmico que visa valorizar partes do fluxo de resíduos pela recuperação

do seu teor energético. Basicamente o processo de produção do CDR pode ser dividido em cinco estágios: recepção e tratamento, liberação e triagem, refinamento do combustível, preparação e combustível e por fim armazenamento e controle de qualidade (MAMEDE, 2013).

As características do CDR dependem dos requisitos do sistema de recuperação energética (WTE), onde o mesmo será utilizado, então alguns resíduos podem passar por um processo de preparação mais sofisticado, já em outros casos a etapas de preparação podem ser mais simples, como o fracionamento, a bio secagem, segregação mecânica de metais e inertes. Sistemas WTE podem ser de queima-direta, o qual não exige nenhum processamento do resíduo que é queimado em grelha móvel. Já o outro tipo mais utilizado que requer um pré-processamento do resíduo CDR e do tipo leito fluidizado, onde a queima ocorre em suspensão na corrente de ar (TISSOT 2014).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o coprocessamento é uma alternativa para destruição térmica de resíduos industriais e passivos ambientais, possível de ser realizada devido às altíssimas temperaturas alcançadas no interior dos fornos das indústrias cimenteiras. Neste processo, os resíduos que anteriormente seriam descartados podem ser utilizados como substitutos de combustível ou matéria-prima, permitindo uma destinação mais adequada e também a redução do uso de combustíveis (SNIC, 2019).

No coprocessamento, os resíduos passam pelo forno em altas temperaturas e são destruídos totalmente, de forma que as emissões atmosféricas sejam controladas. Dessa forma, esta atividade pode ser considerada uma boa alternativa tanto em relação à preservação ambiental, quanto ao critério econômico, já que uma parte do valor do resíduo é resgatada e reutilizada (DOWLATSHAHI, 2000).

No Brasil, a atividade teve início na década de 90 e, a partir dos anos 2000, teve um considerável aumento. Hoje, a atividade está em 18 estados e existem 38 plantas licenciadas com fornos para coprocessamento de resíduos (SNIC, 2019).

Dados da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), mostram que entre 2000 e 2016 ocorreu um aumento do uso do coprocessamento na ordem de 500%, sendo que no ano de 2016 atingiu-se a quantidade de 940 mil toneladas de resíduos coprocessados. Segundo a associação, há um potencial para dobrar essa quantidade, utilizando as 38 plantas instaladas (ABCP, 2019).

Há também um potencial de crescimento para utilização de medicamentos e biomassa nos fornos de coprocessamento, contribuindo assim para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa, entretanto ainda é necessário aumentar o entendimento sobre esta atividade para fomentar seu uso (ABCP, 2019).

3.6.3 Processos da reciclagem mecânica

A viabilização da reciclagem mecânica se dá através do reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, mas para todos esses fins podem ser necessários alguns procedimentos ou não e estes incluem as seguintes etapas, separação do resíduo polimérico, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e finalmente a transformação do polímero em produto acabado. A variação da necessidade de tais procedimentos está intrinsecamente ligada à origem e procedência do material, além do tipo de polímero. Isto também define o tipo de investimentos que a planta de reciclagem deve aportar para suas atividades (SPINACE, DE PAOLI, 2005).

3.6.3.1 Separação e Classificação

Existem duas fontes para reciclagem mecânica de materiais plásticos: as sucatas e resíduos pós-consumo, ou as sucatas e ou resíduos pós-indústria (CETESB, 2011).

Nos processos de reciclagem mecânica, um processo de separação e classificação dos materiais plásticos se faz necessária e antecede o reprocessamento destes materiais (SILVA, 2014).

A etapa de separação é um processo muito importante, pois a mesma visa limitar o percentual de impurezas, sendo os níveis abaixo de 1% (um por cento) os considerados ideais. Quando presentes os macrocontaminantes como papel, vidro, papelão, metal e até mesmo polímeros de composição química diferentes mesmo em baixas concentrações podem alterar as propriedades do polímero ao final do processo (SPINACE, 2005).

O sucesso da reciclagem tem na separação e classificação dos materiais muita importância, já que a qualidade do produto final depende de se evitar a contaminação de outros materiais ou de outros plásticos de constituição química

diferentes. Nos casos dos materiais oriundos da fonte pós-industrial, a identificação e classificação dos plásticos se dão através da constituição de seus compostos e do tipo de sua resina, isto é possível devido à presença de símbolos e números que as identificam conforme descrito na norma ABNT NBR 13230 - Embalagens e Acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e Simbologia (CETESB, 2011).

Normalmente as separações se dão em esteiras transportadoras quando existe a necessidade de separação dos plásticos de acordo com sua constituição e presença ou não de contaminantes (SILVA, 2014).

Existem outros tipos de separação e classificação de plásticos, como exemplo o teste de queima, no qual cada tipo de resina apresenta um tipo de chama característica e um comportamento do material fundido. Classificação por densidade, geralmente utilizada quando não se é possível identificar o material através dos símbolos, ela se dá através do emprego de solução aquosa com densidade conhecida, e o comportamento dos tipos de resinas quando postos em recipientes (flutua ou afunda) (CETESB, 2011).

3.6.3.2 Moagem

No mercado nacional estão disponíveis diversos modelos e tipos de moinhos, sendo os principais os de tipo facas, bolas, martelo, etc., sendo o de facas o mais utilizado na indústria de reciclagem de plásticos e também neste projeto. Este equipamento possui um compartimento com facas fixas em um eixo com os gumes de corte virados para cima e móveis giratórias com os gumes de corte virados para baixo, sendo de poucos milímetros a folga entre os gumes e a carcaça do moinho. O material processado, normalmente chamado de flocos, possui o tamanho e formato de acordo com o diâmetro dos furos da peneira do moinho, e estes devem atender às demais fases do processo de reciclagem (tamanho do funil da extrusora) (RUIZ, 2008).

O moinho tem a função básica de fragmentar o material em partes bem menores, nesta etapa os materiais podem ser ou não lavados, em caso de necessidade de lavagem, a água deverá receber um tratamento para sua reutilização (CETESB, 2011).

Após o processo de moagem o material torna-se mais reduzido e de forma física mais adequada para o processo de aglutinação, para posterior extrusão (RUIZ, 2008).

3.6.3.3 Aglutinação

Possui a função básica de secagem do material, neste processo o material é compactado e tem uma redução do seu volume devido à evaporação do excesso de umidade. O atrito do material contra as paredes do equipamento provoca um aumento gradual de temperatura que aumenta a amperagem de trabalho do equipamento, formando uma espécie de massa plástica (CETESB, 2011).

Na reciclagem de plásticos a etapa de aglutinação tem como principal finalidade o aumento da densidade dos flocos oriundos da moagem e a retirada do excesso de umidade, permitindo a queda por gravidade evitando problemas nos funis de alimentação das extrusoras. Na falta da etapa de aglutinação os flocos de plásticos muito leves tendem a interromper o fluxo de alimentação da extrusora o que é prejudicial para qualidade do material extrudado bem como pode aumentar os custos de produção e operação (RUIZ, 2008).

O aglutinador é um equipamento composto de navalhas rotativas e navalhas fixas em forma de pás ou hélices, localizados na parte inferior do equipamento que tem o formato de um barril, pode-se afirmar que ele se parece com um grande liquidificador, no qual as pás ou hélices trabalham em grande rotação cortando e triturando o material contra parede promovendo o aumento de sua temperatura. Geralmente estão dispostos em uma plataforma visando facilitar sua operação e possuem uma abertura no fundo para despejo do material aglutinado (RUIZ, 2008).

3.6.3.4 Extrusão

O processo de extrusão é o ato de forçar o material plástico ou material fundido por meio de aplicação de pressão através de uma matriz com forma definida, para polímeros, uma rosca é usada para conduzir o mesmo em estado fundido ou borrachoso ao longo do cilindro da máquina (FOSTER, 2012).

O equipamento extrusora consiste de um cilindro em cujo interior gira um parafuso de Arquimedes (rosca sem fim), que transporta o material plástico

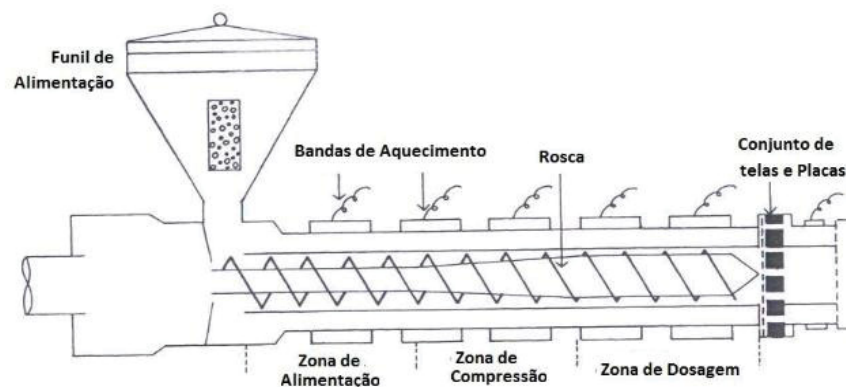
progressivamente aquecido, plastificado e massificado através de um canhão até um orifício denominado matriz existente na extremidade do canhão. O aquecimento é gerado por resistências elétricas a vapor ou a óleo, sendo as elétricas as mais comuns, esta massa mole e aquecida é conformada e submetida ao resfriamento (PLASTIVIDA, 2018).

É o processo mais importante de transformação de plásticos, extrudar significa “empurrar” ou “forçar a sair”, processo de extrusão de plásticos é basicamente forçar a passagem (controlada) do material fraccionado ou moído por um cilindro aquecido por meio de uma ou duas roscas “sem fim” que transportam, misturam, compactam e permite a retirada de gases liberados e impurezas presentes no processo (CETESB, 2011).

Existem diversos tipos de extrusora no mercado, dentre elas: as de rosca cônica, simples, duplas ou rosca supercônica, sendo que as máquinas mais utilizadas são as de rosca simples, pois possuem um custo mais baixo e a operação não é muito complexa (MORTON-JONES, 1989).

A FIGURA 3.8 mostra uma representação esquemática dos principais componentes de uma extrusora com rosca simples. A granulação por corte na cabeça possui um dispositivo que adaptado no cabeçote da extrusora, funciona como uma “matriz” que determina a granulometria. Após, uma tela ou um conjunto delas têm a função de filtrar o material retirando o excesso de impureza (CETESB, 2011).

FIGURA 3.8 – PROCESSO DE EXTRUSÃO



FONTE: Morton-Jones (1989).

Basicamente o processo de extrusão consiste em alimentar na parte inicial da rosca o material sólido, podendo o mesmo ser misturado ou não com os componentes da formulação ou com um *master-batch*. Nesta fase do processo de mistura a resina polimérica já é submetida a esforços mecânicos e ao cisalhamento. Após a alimentação da extrusora, o material se aquece, pelo efeito simultâneo do cisalhamento e do aquecimento do canhão, com temperatura até que o material fique viscoso o bastante para ele ser transportado pela rosca, este ponto até que se atinja a viscosidade chamamos de ponto de fusão. A temperatura vai fazer com que o material flua dentro do canhão e seja transportado, sendo que o tempo de permanência no canhão vai depender velocidade de rotação e do desenho da rosca. Na saída, após a passagem do mesmo pela matriz no cabeçote, de um modo geral, o material é resfriado em um banho de água. Na produção de *pellets*, o espagete primeiro é resfriado para depois passar por um picotador. Alguns modelos de extrusoras usadas para peletização de polímero virgem ou mesmo reciclado, o material fundido é picotado diretamente na saída da matriz e sob um fluxo de água (processo chamado de “corte na cabeça”) (DE PAOLI, 2009).

Existem diferentes parâmetros de processamento de extrusão e estes estão relacionados com grau de degradação, o perfil de temperatura, tensão de cisalhamento, velocidade da rosca, geometria da matriz. É necessário conhecer a inter-relação entre o grau de cisalhamento e nível de degradação para se estabelecer as condições operacionais adequadas a cada tipo de polímero (vazão de alimentação, velocidade da rosca e perfil de temperatura) (BABETTO e CANEVAROLO, 2000).

Muitos tipos de polietileno podem ser extrudado sendo que os principais deles são os polietilenos de alta densidade (PEAD), polietilenos de baixa densidade (PEBD) e os polietilenos lineares (PEBDL). Devido a sua boa estabilidade térmica os polietilenos podem ser extrudados em um faixa bem larga de temperatura sem que ocorra a degradação térmica (TABELA 4) (COUTINHO *et al*, 2003).

TABELA 4 - GUIA DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO DE DIFERENTES TIPOS DE PE

Material	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3(°C)	Zona 4 (°C)	Matriz (°C)
PEBDL	(138-163)	(163-185)	(182-199)	(193-210)	(204-216)
PEBD	(149-171)	(171-185)	(182-199)	(182-199)	(182-199)
PEAD	(149-171)	(177-199)	(199-216)	(199-216)	(199-216)

FONTE: Giles Jr., Wagner, Mount (2013).

4 METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido na empresa Radiante Engenharia de Telecomunicações Ltda. (CNPJ nº 82.446.394/0001-70), localizada na BR-277, nº 748, Bairro Mossunguê, Curitiba-PR, e atividade principal CNAE nº 71.12-0-00 – Serviços de Engenharia.

A principal atividade da empresa é a prestação de serviços de engenharia em telecomunicações como elaboração de projetos, implantação e manutenção de redes ópticas e metálicas em áreas internas e externas, a qual ocorre por meio de contratos que descrevem os serviços e obrigações a serem realizados e respeitados. Dentre estas obrigações estão contemplados a destinação correta das sucatas de cabos de fibra óptica e o não reaproveitamento destes em novas instalações, sendo que o não cumprimento destas é passível de sanções administrativas.

A principal atividade da empresa é a prestação de serviços de engenharia em telecomunicações como elaboração de projetos, implantação e manutenção de redes ópticas e metálicas em áreas internas e externas, a qual ocorre por meio de contratos que descrevem os serviços e obrigações a serem realizados e respeitados, dentre estas obrigações existe a destinação correta das sucatas de cabos de fibra óptica.

No ano de 2014 o estoque de descartes de cabos ópticos era de aproximadamente 120 toneladas, divididos entre matriz (FIGURA 4.1) e filiais do grupo.

FIGURA 4.1 – RESÍDUOS DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA ESTOCADAS NO PÁTIO DA EMPRESA



FONTE: O autor (2015).

4.1 PROSPECÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

A prospecção das soluções tecnológicas para a separação dos componentes dos cabos ópticos foi realizada por meio de pesquisa na rede mundial de computadores, utilizando-se a ferramenta de busca *online* do Google (www.google.com.br) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (<http://www.ipt.br/>). A pesquisa foi realizada entre os anos de 2014 e 2015, usando-se as palavras-chave “reciclagem de cabo óptico”, “soluções reciclagem de fibras ópticas” e “máquinas e equipamentos para reciclagem de sucatas de cabos ópticos” e suas respectivas traduções em inglês.

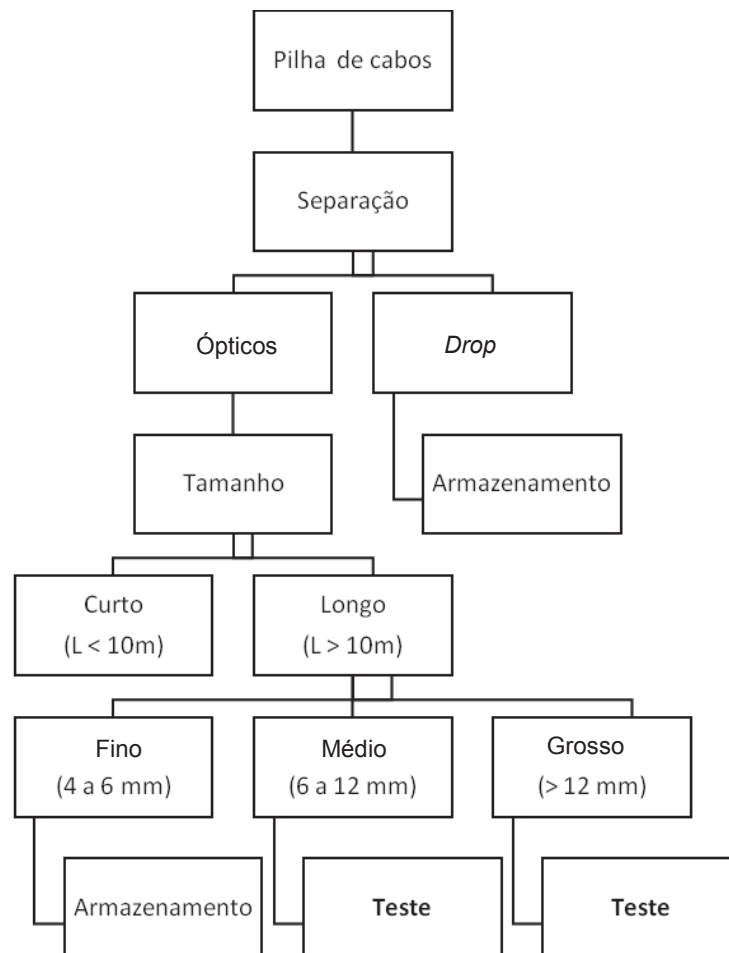
Os resultados foram tabulados em um quadro orientativo compreendendo os itens “termo pesquisado”, “número de resultados”, “informações obtidas” e “informações selecionadas e úteis ao projeto”.

Em seguida, houve contato telefônico e/ou por e-mail com fabricantes e fornecedores de máquinas e equipamentos nacionais e internacionais potencialmente aplicáveis ao projeto.

4.2 TESTE DE EQUIPAMENTO ADQUIRIDO NO MERCADO NACIONAL

O teste do equipamento necessitou de uma etapa previa de classificação e segregação do material, a qual é descrita no fluxograma apresentado na FIGURA 10.

FIGURA 4.2 - FLUXOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO E SEGREGAÇÃO DO MATERIAL



FONTE: o autor (2019).

A classificação da sucata de cabos foi realizada em 2 (duas) etapas, a primeira foi a triagem das sucatas de cabos ópticos conformes as características técnicas (cabo óptico ou cabo *drop*). Os cabos *drop* foram armazenados para posterior destinação. Os cabos ópticos foram então triados de acordo com as suas características físicas (bitola e comprimento).

Posteriormente, foram selecionados materiais conforme o comprimento. Estipulou-se denominá-los em curto e longo, sendo que os retalhos de cabos com até 10 metros de comprimento foram considerados curtos. Os cabos com comprimento superior a 10 metros foram denominados longos.

As medições foram realizadas por bateladas separadas e os cabos presentes nas pilhas foram medidos individualmente com uma trena de 30 metros. Nesta operação participaram dois profissionais sendo que um ficava na extremidade do cabo com a trena zerada enquanto o outro esticava o cabo e a trena

consecutivamente até se chegar em dez metros acima; os cabos que ultrapassassem esta medida eram separados e classificados como longos (FIGURA 4.3).

FIGURA 4.3 - MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO DOS CABOS



FONTE: O autor (2019).

Os cabos curtos foram armazenados separadamente para posterior destinação, de forma análoga aos cabos *drop*. Os cabos longos passaram por uma segunda triagem, agrupando-os de acordo com espessura dos cabos presentes na sucata - fina, média e grossa, a saber (FIGURA 4.4):

- ✓ Cabos finos: sucatas de cabos com diâmetro de 4,00 – 6,00 mm;
- ✓ Cabos médios: sucatas de cabos com diâmetro de 6,01 – 12,00 mm;
- ✓ Cabos grossos: sucatas de cabos com diâmetro acima de 12,01 mm.

FIGURA 4.4 - VERIFICAÇÃO DA BITOLA DOS CABOS. A – FINO; B – MÉDIO; C – GROSSO



FONTE: O autor (2014).

Para a aferição das bitolas dos cabos foi utilizado um paquímetro digital marca Digimess.

Ressalta-se que, toda a triagem de separação física foi executada manualmente.

Para os testes iniciais de reciclagem, foi adquirido um equipamento capaz de realizar a decapagem mecânica, que permitiu a retirada da capa externa do cabo e, a separação dos demais componentes de forma manual.

A fim de mensurar a produtividade do equipamento, foi estipulado que o teste experimental seria realizado num período de 30 dias corridos, 26 dias úteis descontando os domingos, com massa de 1200 kg de sucata.

Para realização destes testes foram utilizadas as sucatas de cabos de fibra ópticas que já haviam sido separadas e classificadas previamente.

O equipamento foi disposto em uma bancada metálica fixa quadrada de 1,5 m lado, a uma altura de 1,10 m do nível do piso.

Descrição geral do equipamento:

- ✓Peso aproximado de 12 Kg;
- ✓Motor monofásico bivolt 110 V / 220 V de ½ CV;
- ✓Cabeçote composto por duas facas em aço-especial temperado;
- ✓Carretilha;
- ✓Capacidade para abertura de fios com bitolas de 0,5 mm a 180 mm.
- ✓Valor de R\$ 2.200,00.

Foram empregados 03 funcionários para operar o equipamento, sendo um para a introdução do cabo no equipamento de desencape e dois para separação manual do polietileno (componente 1), da fibra de aramida (componente 2) e do miolo do cabo (componente 3). Depois de processados, cada componente foi armazenado individualmente em *bags* de 600 kg cada.

4.3 PROPOSIÇÃO DE PROTOTIPO

A proposição do protótipo foi baseada em retro análise do equipamento adquirido, o qual serviu de modelo inicial para identificação dos itens básicos para o funcionamento e decapagem do cabo.

As características das facas, engrenagens de movimentação dos cabos (roldanas), motor elétrico foram utilizadas na estruturação do protótipo. Aliados a isso, as informações técnicas colhidas nos prospectos dos fabricantes de máquinas consolidaram o modelo final do equipamento.

4.4 ANÁLISE DAS SUCATAS UTILIZANDO O PROTÓTIPO

A análise do processamento das sucatas utilizando o protótipo englobou a classificação do material, a mensuração da produtividade e a caracterização do material.

A classificação do material foi realizada de maneira análoga à metodologia apresentada no item 4.2 TESTE DE EQUIPAMENTO, no qual houve a separação manual dos materiais presentes na pilha.

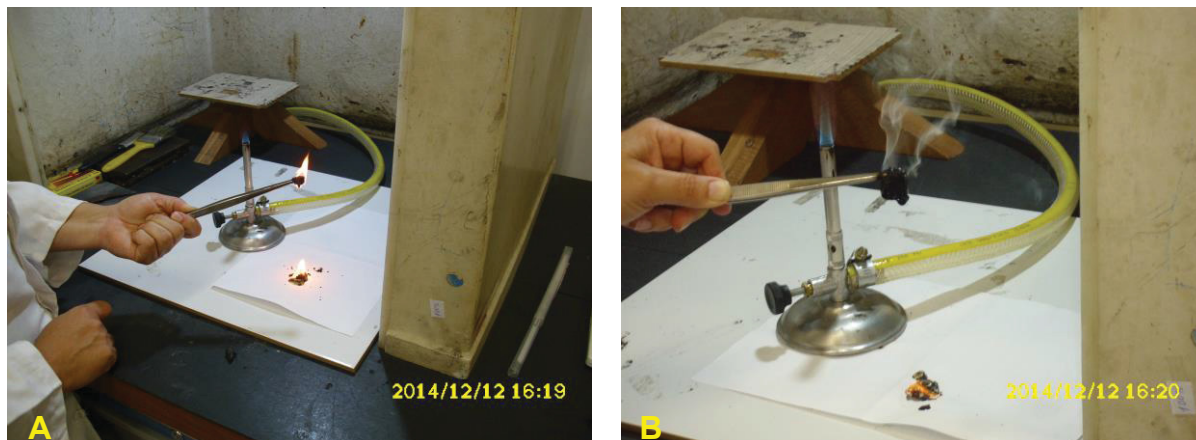
A verificação do resultado da produtividade do protótipo foi realizada também de maneira análoga ao item 4.2 TESTE DE EQUIPAMENTO, no qual mediu-se o número de dias necessários para processar 1200 kg de sucatas de cabo de bitolas média e grossa. Destaca-se que essa quantidade de sucata é remanescente da separação e classificação realizadas anteriormente.

A caracterização do material produzido compreendeu ensaios de laboratório para o polietileno, fibra de aramida e miolo do cabo.

A caracterização do polietileno envolveu as seguintes etapas, em ordem cronológica:

1. Pesquisa da ficha técnica do cabo óptico a fim de identificar o tipo do polímero constituinte;
2. Teste não normatizado de rigidez, chama, odor e ponto de fusão, conforme Carvalho (2012) (FIGURA 4.5).

FIGURA 4.5 - TESTE DE CHAMA E ODORES DO MATERIAL. A – QUEIMA DA AMOSTRA; B – LIBERAÇÃO DA FUMAÇA



FONTE: O autor (2019).

3. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Foram analisados os materiais pré e pós processamento via análise por calorimetria exploratória diferencial (DSC), de forma análoga à ASTM D3418-15.

A análise por DSC foi realizada no equipamento Netzsch modelo 200 F3 Maia e as amostras foram submetidas à programação com taxa de aquecimento e de resfriamento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e varredura de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. No caso da aramida, até $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A massa utilizada foi de aproximadamente 10 mg da amostra, a qual foi pesada e colocada em cadinho de alumínio fechado, sendo levada ao aparelho juntamente com um cadinho vazio como referência. A análise foi realizada sob fluxo de nitrogênio a uma taxa de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. O ciclo de aquecimento/resfriamento foi realizado em 4 repetições, sendo que os dados obtidos foram registrados a partir do último ciclo, favorecendo o contato da amostra com o cadinho, evitando a possibilidade de não homogeneidade do aquecimento, que pode levar a informações incorretas.

As condições de análise para um DSC são ajustadas de acordo com as características do material. Normalmente a atmosfera utilizando gás inerte nitrogênio é escolhida para evitar a degradação do material. O equipamento de DSC é calibrado com amostra de índio, cuja temperatura de fusão (T_m) é $156,50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A temperatura de transição vítrea (T_g) é a transição reversível em materiais amorfos entre um estado duro e relativamente rígido e um estado mole e

"borrachoso", sendo que a alta flexibilidade da cadeia principal influencia no valor da T_g . Já a T_m está relacionada diretamente com a cristalinidade do material, e aparece quando um material sai do estado sólido para líquido. É uma transição de primeira ordem, e ocorre numa faixa de temperatura, devido a distribuição de tamanho das regiões cristalinas. Já a temperatura de cristalinidade (T_c) é o contrário, a ordenação das moléculas para voltar ao estado sólido, é configurada pela liberação de calor, pico exotérmico. A área do pico de fusão deve ser igual à do pico de cristalização (depende do grau de superresfriamento) (Canevarolo, 2006).

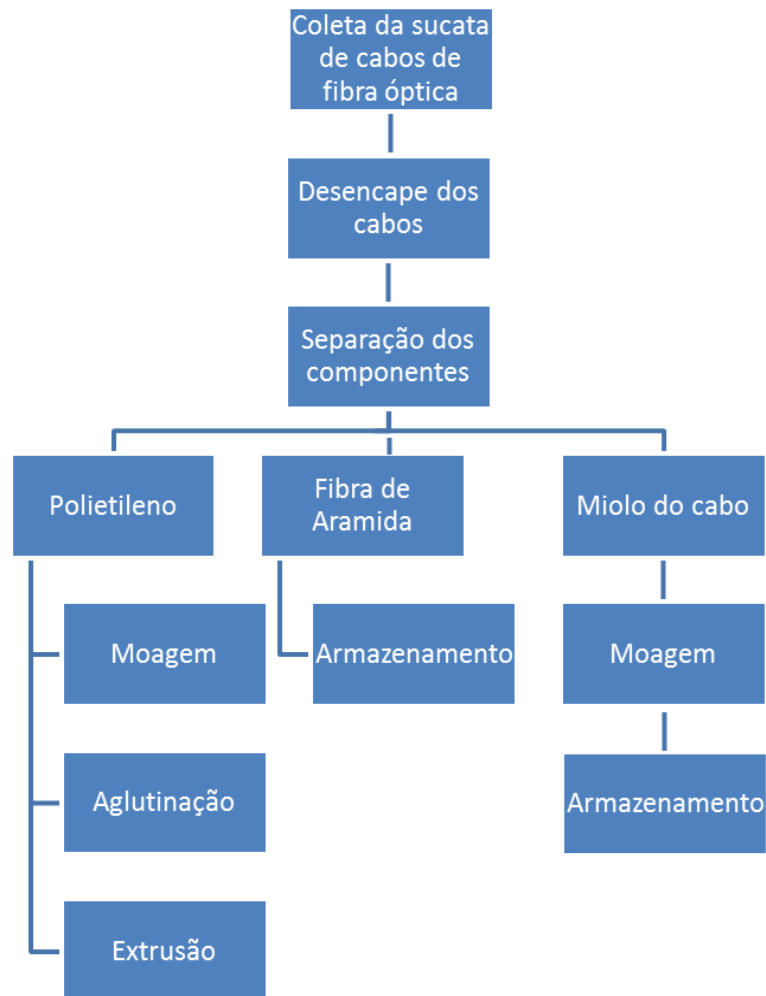
A caracterização da fibra de aramida foi realizada por meio da ficha técnica do cabo óptico, por inspeção visual do material em comparação a aramida pura e também por testes DSC.

A caracterização do miolo do cabo foi realizada no Laboratório Mérieux NutriSciences, laboratório técnico acreditado pela INMETRO (CRL 0655), participante da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio, para os testes de porcentagem de sólidos, poder calorífico inferior (PCI), umidade e cinzas (base seca).

4.5 POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DO CABO

Após o processamento no protótipo, o polietileno, a fibra de aramida e o miolo do cabo foram pesados e separados individualmente. Com os materiais separados foi dado um tratamento diferenciando a cada um deles, fazendo-se a reciclagem dos mesmos de forma individualizada (FIGURA 4.6).

FIGURA 4.6 – FLUXOGRAMA PARA TRATAMENTO INDIVIDUALIZADOS DOS MATERIAIS



FONTE: o autor (2018).

O polietileno passou por processos sequenciais de moagem, aglutinação, extrusão/granulação. Para tais processos unitários, foram utilizando os seguintes equipamentos:

- Moagem: Moinho tipo facas rotativas e contra facas fixas, com de 600 mm de abertura (“boca”), motor de 40 CV com 1400 rpm, com painel elétrico e capacidade de moagem de 1000 a 1200 kg/dia (FIGURA 4.7 - A);
- Um aglutinador com motor de 60 CV, com duas facas rotativas em forma de pá;
- Uma extrusora granuladora mono rosca (FIGURA 4.7 - B), canhão de 90 cm, com cinco resistências elétricas, cabeçote hidráulico, painel elétrico completo, partida start stop, com controladores de temperatura e com capacidade de produção de 90 a 130 kg/hora.

A fim de obter um produto de polietileno mais homogêneo e com menos impurezas, foram efetuadas duas bateladas de extrusão com quantidades diferentes de telas de filtragem do polímero, sob as mesmas condições de trabalho. Portanto, na Batelada 1 foram utilizadas duas telas de 40 mm e 60 mm. Na Batelada 2 foram utilizadas cinco telas de aço de 20, 40 e 60 mm de diâmetro dos furos (distribuídas na sequência 20, 40, 60, 40 e 20 mm) (FIGURA 4.7 - C).

FIGURA 4.7 – EQUIPAMENTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO. A – MOINHO; B – EXTRUSORA; C – TELAS



FONTE: o autor (2018).

O material extrusado/granulado foi então encaminhado para teste de produção de mangueiras industriais e outros artefatos plásticos (CONDUSFLEX). Neste teste foram utilizados 150 kg (cento e cinquenta quilos) do polietileno moído, extrudado e granulado, o qual foi passado em extrusora de 100 mm com inversor de frequência, marca LG e motor WEG.

Para a produção de mangueira de diâmetro externo de $\frac{3}{4}$ de polegada, com parede de 2,5 mm, utilizou-se na rosca a rotação de 800 rpm, com temperaturas de 120 °C no pé da rosca (início do canhão), 170 °C no meio do canhão e 220 °C no cabeçote saída.

A aramida separada, depois de encaminhada para a empresa que a processa, segue etapas listadas:

- Na chegada, a fibra é catalogada com o número de referência do fornecedor, passando então por uma classificação visual a fim de verificar a presença de contaminantes como cavacos de madeira ou pedaços de metal.
- A fibra pode ser armazenada ou encaminhada para o processo de desfibragem, o qual é realizado por uma desfibriladeira de tecido. Após a desfibragem o material segue para prensa hidráulica ou enfardadeira, sendo prensado em fardos de 60 kg, como o objetivo de reduzir o volume. Após enfardada, a aramida é processada internamente com outras fibras sintéticas (segredo industrial) onde a mesma entra na adição de outros filamentos, resultando em outro material, denominado de fio têxtil industrial (FIGURA 4.8).

FIGURA 4.8 - FIBRA ARAMIDA RECICLADA ANTES E DEPOIS DA DESFIBRAGEM



FONTE: o autor (2019).

O miolo do cabo foi moído e armazenado em big-bags de 600 kg para posterior destinação.

Após a consolidação dos processos de reciclagem, foi elaborado um documento organizacional, onde se demonstra todo o planejamento sequenciado do trabalho a ser executado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROSPECÇÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA SEPARAÇÃO DOS CABOS ÓPTICOS

A prospecção das soluções tecnológicas para a separação dos componentes dos cabos ópticos utilizando-se a ferramenta de busca *online* do Google resultou nas informações listadas no QUADRO 1.

QUADRO 1 – PESQUISA *ONLINE* E INFORMAÇÕES ÚTEIS AO PROJETO

Termo	Número de resultados	Informações obtidas	Informações selecionadas e úteis ao projeto
Reciclagem de cabo óptico	Aproximadamente 1.360.000	Iniciativas de empresas para reciclagem de cabos de rede ópticos; Anúncios de fabricantes de moinhos; anúncios de máquinas para separação de cabos ópticos; anúncio de máquina para separação de cabos metálicos; artigos de imprensa sobre o descarte e reciclagem do lixo eletrônico; notícias de imprensa relacionadas ao tema; informações sobre CEDIR ¹ ;	Fabricante 1 – Máquina para Descascar Cabos e Fios MDF 03/ com rolete (nacional) Instituição Informações sobre descarte correto de eletro eletrônicos
soluções reciclagem de fibras ópticas	Aproximadamente 168.000	Reciclagem de bobinas; programa <i>Green IT</i> de empresa fabricante de cabos; anúncios de fabricantes sobre materiais e componentes para uso em empresas de telecomunicações; artigo sobre reutilização de fibra de vidro; anúncios comerciais diversos de componentes da indústria de telecomunicações.	Fabricante de Cabos e fios - 1
Máquinas e equipamentos para reciclagem de sucatas de cabos ópticos	Aproximadamente 144.000	Anúncio de máquinas e equipamento; máquinas de abertura de fibras siliconizadas; guia para montagem de serviços de reciclagem; anúncio de empresas recicladoras de plásticos em geral; anúncio de empresa de reciclagem de cabos elétricos.	SEBRAE – Como montar uma empresa de reciclagem (Instituição 2) Fabricante 2- Empresa nacional que desenvolve projetos para construção de máquinas para desencapar fios e cabos elétricos; Fabricante 3 - Empresa Estrangeira que fabrica máquinas e equipamentos para desencape de cabos e fios elétricos (Portugal); Fabricante 4 - Empresa Estrangeira que fabrica máquinas e equipamentos para desencape de fios e cabos elétricos (Chinesa).

FONTE: o autor (2019).

¹ CEDIR – Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática.

Dessa forma, as empresas que apresentaram potenciais informações sobre soluções tecnológicas para a separação individualizada dos componentes e que foram selecionadas para este trabalho foram (Empresa 1, Empresa 2, Empresa 3 e Empresa 4), pois as mesmas eram especializadas em elaboração de projetos personalizados e ou fabricantes de máquinas e equipamentos que promoviam o desencape mecânico de fios e cabos.

As instituições selecionadas nesta busca foram acessadas através dos seus sites e neste foram colhidas informações sobre as atividades de reciclagem de eletro-eletrônicos e reciclagem em geral.

5.1.1 Fabricante de maquinas e equipamentos 1

Através do link de acesso a página da empresa (<https://pt-br.facebook.com/pg/juventinomaquinas/shop/>) e consulta pelo site das maquinas e equipamentos produzidas e disponibilizadas para processamento de desencape de fios e cabos, foi solicitado através do e-mail um orçamento e realizada a aquisição de um equipamento para desencape do cabo (FIGURA 5.1).

FIGURA 5.1 – EQUIPAMENTO PARA SEPARAÇÃO DOS COMPONENTES DOS CABOS DE FIBRA ÓPTICA E POSTERIOR RECICLAGEM



FONTE: Juventino Máquinas (2015).

Descrição geral do equipamento:

- ✓Peso aproximado de 12 Kg;
- ✓Motor monofásico bivolt 110 V / 220 V de ½ CV;
- ✓Cabeçote composto por duas facas em aço-especial temperado;
- ✓Carretilha;
- ✓Capacitada para abertura de fios com bitolas de 0,5 mm a 180 mm.

5.1.2 Fabricante 2

Através do link de acesso a página da empresa (<http://www.megacoil.com.br/>) e consulta pelo site pode-se verificar que a empresa poderia desenvolver um protótipo de uma máquina e ou equipamento para processamento mecânico de desencape de fios e cabos. Através do e-mail foi agendada uma reunião na sede da empresa localizada na cidade de São Carlos- SP.

A visita à fábrica teve como objetivo informar os dados necessários para a elaboração de um projeto técnico para desenvolvimento de um protótipo para desencapagem mecânica da sucata de cabo óptico. Na ocasião da visita foi apresentado o material que deveria ser processado, suas principais características e os resultados esperados.

Para os estudos preliminares foram deixados 3 (três) rolos de cabos com 10 a 20 metros de comprimento com 8, 12 e 24 mm de espessura, para que a empresa tivesse o conhecimento do tipo de material a ser processado.

Depois de 15 dias da visita o engenheiro da empresa informou que haveria um custo de R\$ 2.000,00 adicional para o desenvolvimento do projeto e seria necessário um prazo de até 90 dias para sua elaboração. Como havia a necessidade de agilizar para a tomada de decisão, optou-se por desistir desta opção.

5.1.3 Fabricante 3

Empresa 3

Através do link de acesso a página da empresa e consulta pelo site das máquinas e equipamentos produzido e disponibilizado para processamento de

desencape de fios e cabos, foram solicitados através do e-mail “prospectos e “folders” das mesmas para análise. A empresa era estabelecida em Portugal.

Após a análise do material, identificaram-se as necessidades inerentes ao processo de reciclagem esperado (separação individualizada dos componentes presentes nos cabos). Então foi solicitado um orçamento do equipamento mostrado na FIGURA 5.2.

Os dados técnicos básicos do equipamento compreendem:

- Marca: Guidetti 6/100;
- Dimensão: 700 x 700 x 1250 mm;
- Motores elétricos: 2,2 kW, de 380 V;
- Peso: 192,5 kg;
- Diâmetro cabos processados: de 6 mm até 100 mm;
- Velocidade de corte: 24 m/min;
- Valor aproximado: US\$ 7.500,00;
- Prazo estimado de entrega em até 45 dias.

FIGURA 5.2 – MÁQUINA DE DESENCAPAGEM



FONTE: Martins (2019).

Devido à distância, que impossibilitava a realização de testes *in loco* e, aliado ao custo dos equipamentos e transporte apresentados pelo fornecedor, decidiu-se pela não continuidade da negociação naquele momento.

5.1.4 Fabricante 4

Através de contato por e-mail com representante de empresa localizada em Shanghai – República Federativa da China, foi solicitado o envio de folders e prospectos de equipamentos que promovem a desencapagem mecânica de fios e cabos selecionados no site.

O fornecedor disponibilizou prospectos, sendo possível observar que este fabricante era especializado na produção de máquinas e equipamentos para reciclagem de sucatas de cabos elétricos (FIGURA 5.3).

FIGURA 5.3 – DESCASCADOR DE FIOS JINGLIANG.



FONTE: Jwell-Rachel (2019).

Os dados técnicos básicos do equipamento compreendem:

- Modelo: JL com três orifícios de diâmetros reguláveis (600, 580, 840 mm), automática;
- Capacidade: 400 até 1.000 kg/dia;
- Tensão de Alimentação: 220/380 V;
- Alimentação: 2.2 kW;
- Rotor: facas tipo triturador;
- Valor aproximado: US\$ 1.900,00.

Também como este fornecedor, devido à distância, a impossibilidade de realização de testes *in loco* aliadas a complexidade e custo dos equipamentos apresentados, decidiu-se pela não continuidade da negociação naquele momento.

5.1.5 Instituição 1

Dentro do site da instituição do Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática (CEDIR), verificou-se que nos resultados apresentados por estes em algumas capitais do Brasil, havia indicação de um número considerado de itens eletrônicos (computadores, impressoras, telefones celulares, etc.) mas, não havia indicação do recebimento e tratamento das sucatas de fibra-óptica, reforçando a impressão que não havia nenhuma entidade no Brasil reprocessando este resíduo.

5.1.6 Instituição 2

Através de contatos telefônicos realizados no mês de setembro de 2014 foram solicitados ao SEBRAE informações sobre como proceder para se cadastrar no site a fim de receber informações que pudessem contribuir para ideia de concepção de uma planta de reciclagem.

Após o cadastramento da empresa foram efetuadas consultas, mas como as informações disponíveis eram genéricas e estavam mais direcionadas a reciclagem de garrafas pet, as consultas deixaram de ser realizadas.

5.1.7 Fabricantes de Cabos e Fios 1

Em consulta ao site Companhia² foi possível conhecer o sistema denominado *Green It.*, o qual informa e descreve um processo de logística reversa de sucatas de cabos e fios com predominância dos elétricos.

Ficou constatado também que eles possuem um equipamento importado para processamento dos cabos elétricos, e que as sucatas de cabos ópticos recebidos do programa, bem como as sobras do processo produtivo, são descartadas em aterros industriais que recebem resíduos classe toxicológica II.

² Disponível em: <furukawa.latam.com>. Acesso em: 05 set. 2014.

5.2 TESTE DE EQUIPAMENTO

A etapa prévia de classificação e segregação das sucatas foi efetuada por 10 dias corridos de trabalho e resultou nos quantitativos descritos no QUADRO 2.

QUADRO 2 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA

DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	MASSA APROXIMADA (Kg)	PORCENTAGEM
Pilha de sucata	5000	100,0%
Quantidade cabos opticos:	4300	86,0%
Cabos curtos	780	18,1%
Cabos longos	3520	81,9%
Bitola fina	670	19,0%
Bitola média	1210	34,4%
Bitola grossa	1640	46,6%
Quantidade cabos <i>drop</i> :	700	14,0%

FONTE: o autor (2019).

Com base nos resultados apresentados no quadro de resultado da classificação da amostra que a “pilha” de sucata estocada no pátio da empresa apresenta uma diversidade maior de tipos de cabos em função de sua bitola, do que em função da sua especificação técnica, nota-se que o percentual de cabos tipo *drop* representa apenas 14% da massa amostral, cabos longos ou seja, *scraps* com mais de 10 m de comprimento são a maioria do material estocado com 82% do volume total, que para operação de desencape é um fator positivo, pois exige menos paradas para regulagens dos ângulos de corte das facas da desencapadora.

Durante o período de 30 dias corridos, 26 dias úteis, foi processada uma fração de 1200 kg de sucatas de cabo de bitolas média e grossa, totalizando aproximadamente 47 kg de material decapado por dia. Após esse processo de decapagem experimental com máquina adquirida foram obtidos os três materiais descritos abaixo:

- ✓ Capa protetora composta de polietileno;
- ✓ Fibras de fortalecimento/puxamento, compostas de fibra de aramida, denominada Kevlar®;
- ✓ Revestimento, casca e núcleo, que neste trabalho daremos o nome de miolo do cabo.

Após a separação e pesagem individualizada dos materiais descritos acima, foram encontrados os seguintes valores:

- ✓ 55% de polímero, correspondente a 660 kg;
- ✓ 5% de fibra de aramida, o que corresponde a 60 kg;
- ✓ 40% de miolo de cabo que corresponde a 480 kg.

De posse destes materiais individualizados, foi realizada a moagem e granulação do polietileno, visando seu reaproveitamento no processo produtivo de outros materiais, a fibra de aramida foi armazenada e o miolo do cabo passou pelo processo de moagem. A moagem foi realizada em um moinho 600 mm de diâmetro de admissão (“boca”).

O equipamento adquirido no mercado interno para o experimento inicial, como descrito anteriormente, não apresentou resultados satisfatórios nos quesitos produtividade e qualidade do produto final.

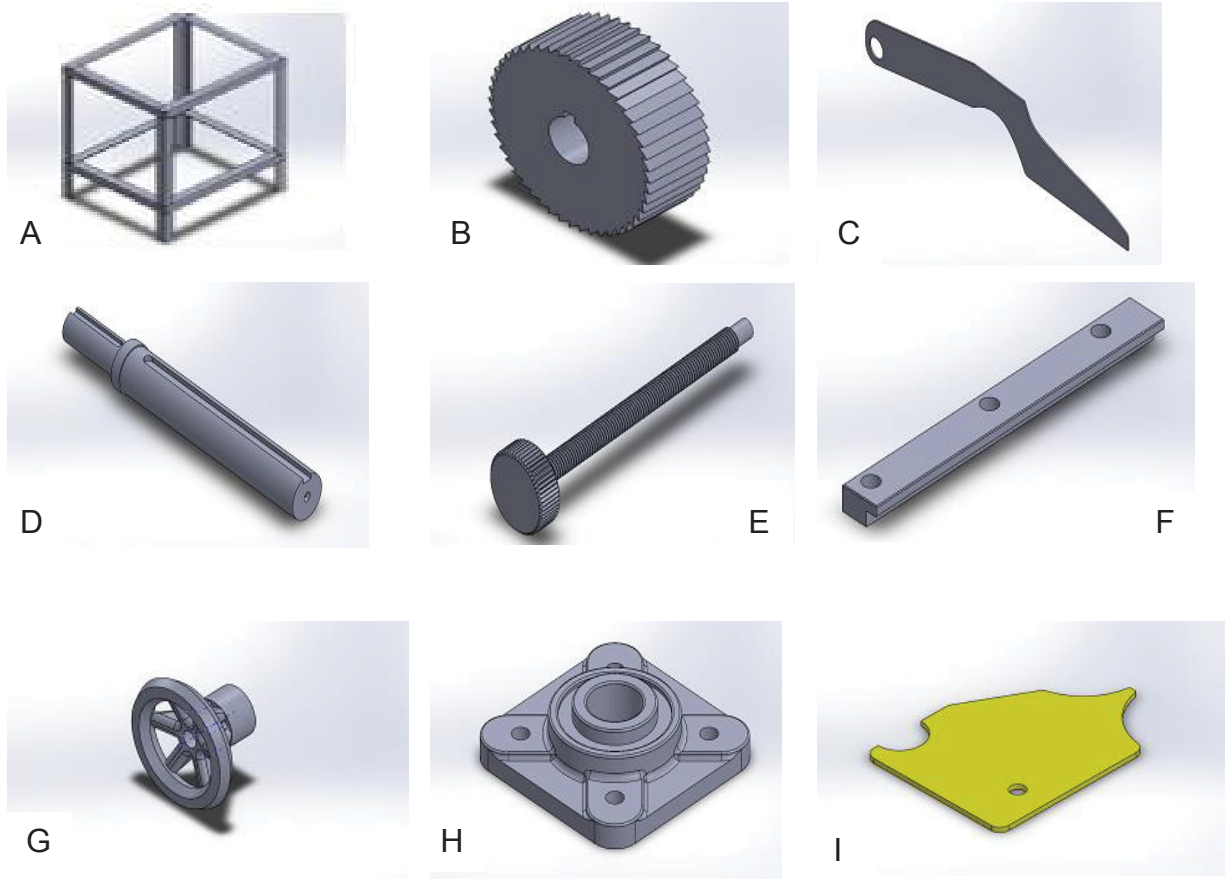
5.3 PROTÓTIPO

A fim de viabilizar a operação de reciclagem, partiu-se para o desenvolvimento de um novo protótipo conforme descrito abaixo.

O novo protótipo é constituído dos elementos listados abaixo e ilustrados na FIGURA 5.4.

- Bancada de aço;
- Engrenagens tracionadoras;
- Conjunto de facas;
- Eixos de engrenagem;
- Guias de suporte das engrenagens;
- Manipulo de regulagem;
- Mancais;
- Chapas guia; e
- Motor elétrico.

FIGURA 5.4 - PEÇAS DO PROTÓTIPO (SEM ESCALA). A) BANCADA EM AÇO; B) ENGRENAGENS TRACIONADORAS; C) FACAS; D) EIXO DE ENGRENAGENS CHAVETADO; E) MANIPULO DE REGULAGEM; F) GUIA CORREDIÇA; G) MANÍBULO REGULAGEM DE ABERTURA; H) MANCAL PARA ROLAMENTO; I) CHAPAS GUIA DE REGULAGEM.



FONTE: o autor (2019)

Para a bancada foi utilizado aço 1020, com tapo medindo 750 mm², altura de 900 mm e hastes em cantoneiras ISO 2'x 3/16'.

O conjunto de engrenagens tracionadoras é formado por 04 peças de diâmetro 100 mm, espessura 45 mm e canal de chaveta em aço 1045 temperado a 52 Rockwell (dureza).

O conjunto de facas é formado por duas lâminas em aço rápido (liga de aço composta por 0,67 a 1,3% C, 5 a 12% Co, 3,75 a 4,5% Cr, 0,3% Mn, 4 a 9% Mo, 2 a 20% W, 1 a 5% V e apropriado tratamento térmico) para corte do material.

Os eixos de engrenagem (quatro peças) foram usinados como engrenagens chavetado, em material aço SAE 1020. As guias de suporte (duas peças) das engrenagens foram produzidas em aço SAE 1045, assim como os manípulos de regulagem abertura das facas rosca M12.

O manípulo regulagem abertura conjunto de engrenagens foi confeccionado em material aço/baquelite.

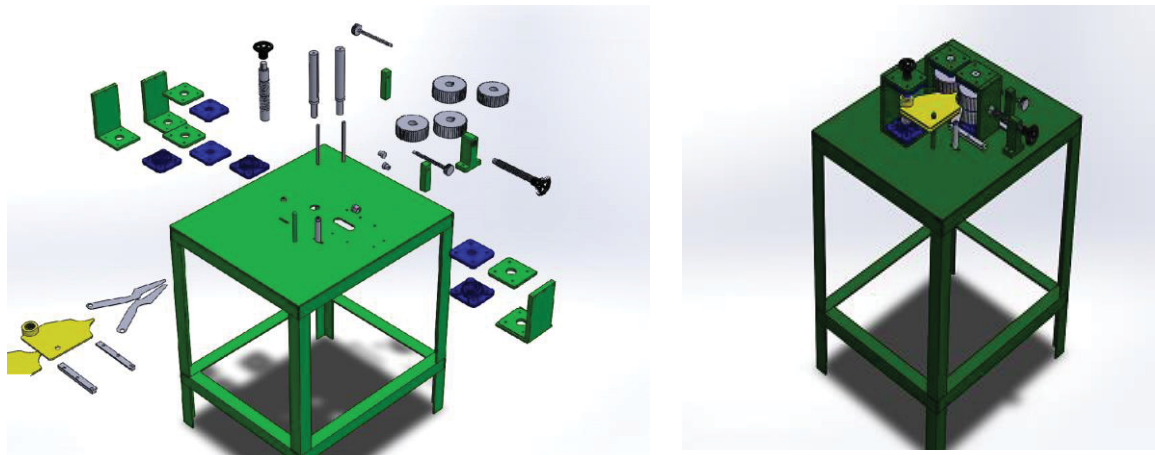
Os mancais para rolamento dos eixos engrenagem (06 peças) e as chapas guia de regulagem espessura dos cabos (02 peças) foram adquiridas em loja especializada em peça normatizada, em aço SAE 1020.

Ainda fazem parte do conjunto arruelas e parafusos de ajuste e regulagem e um moto-reductor de 0,75 cv de 80/01 e um inversor de frequência da marca WEG CFW 10.

A elaboração do projeto do protótipo foi realizada pelo autor, com o auxílio de um engenheiro mecânico também funcionário do grupo. Para fabricação do protótipo foi contratado a empresa Industria de Marombas Vitoria – localizada em Mandirituba/PR.

Dessa forma, o protótipo proposto é ilustrado na FIGURA 5.5.

FIGURA 5.5 - DESENHO DO PROTÓTIPO DO EQUIPAMENTO.



FONTE: o autor (2019).

5.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES INDIVIDUALIZADOS DA RECICLAGEM ORIUNDOS DO PROTÓTIPO

A etapa de classificação e segregação das sucatas utilizou o saldo de material não processado no Teste do Equipamento (item 5.2), a qual resultou nos quantitativos descritos no QUADRO 2.

QUADRO 3 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA

DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	MASSA APROXIMADA (Kg)
Bitola média	1210
Bitola grossa	1640
Quantidade utilizada no teste do equipamento	1200
Quantidade remanescente para teste no protótipo	1650
Quantidade utilizada no protótipo	1200

FONTE: o autor (2019).

Portanto, no teste do protótipo foi processada uma fração de 1200 kg de sucata de cabos ópticos longos de bitola média e grossa, a qual demandou 8 dias úteis de trabalho ou 10 dias corridos. Ou seja, reciclou-se aproximadamente 150 kg de material decapado por dia.

Os materiais obtidos foram o polietileno, a fibra de aramida e miolo do cabo, nas mesmas proporções do equipamento teste, ou seja, de 55% de polímero, 5% de fibra de aramida e 40% de miolo de cabo.

A pesquisa da ficha técnica dos cabos ópticos disponibilizados pelos fabricantes em seus sites reforçou a informação de que a capa externa era constituída de material termoplástico da família dos polietilenos de cor preta e com proteção anti-UV.

Baseado nos resultados apresentados por Carvalho (2012), os testes de rigidez, chama, odor e ponto de fusão mostram que o material termoplástico amostrado é da família do polietileno, apresentando as características concatenadas no QUADRO 4.

QUADRO 4 – TESTES DE IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DO POLÍMERO

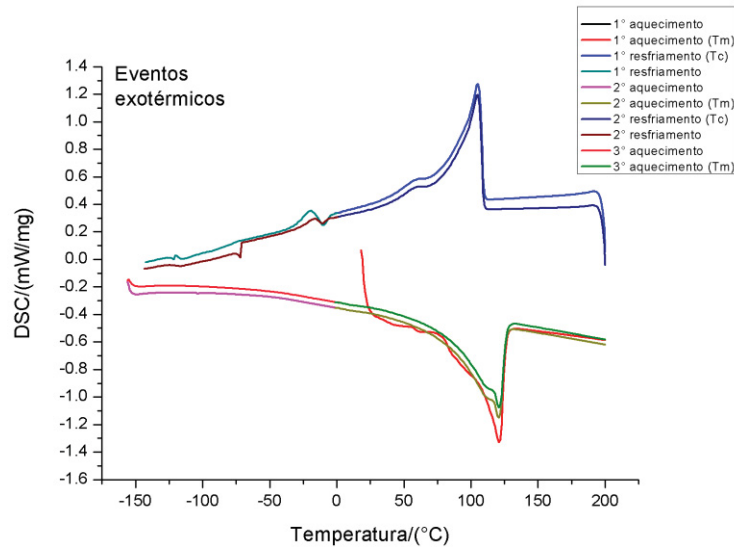
Teste	Resultado
Rigidez	Flexível
Chama	Azul com vertical amarelo
Odor	Vela
Ponto de fusão	120°C

FONTE: O Autor, 2019.

Após a análise de DSC (Calorimetria exploratória diferencial) do material termoplástico, pré e pós processamento, os dados obtidos foram comparados com

os valores das transições de polietileno encontrados na literatura (WYPYCH, 2016; BRANDALISE *et al*, 2009; COUTINHO *et al*, 2003; LIMA *et al*, 2006) (FIGURA 5.6).

FIGURA 5.6 - TERMOGRAMA COMPLETO



FONTE: o autor (2019).

Na FIGURA 5.7, se encontra a primeira corrida do material antes do processamento. Foi determinado que a temperatura de fusão do material é de 120,8°C. A curva para determinação da T_m , de acordo com Wypych (2016) tem característica de curva bimodal, ou seja, o valor fica entre uma faixa entre duas curvas. Essa característica foi observada no termograma obtido.

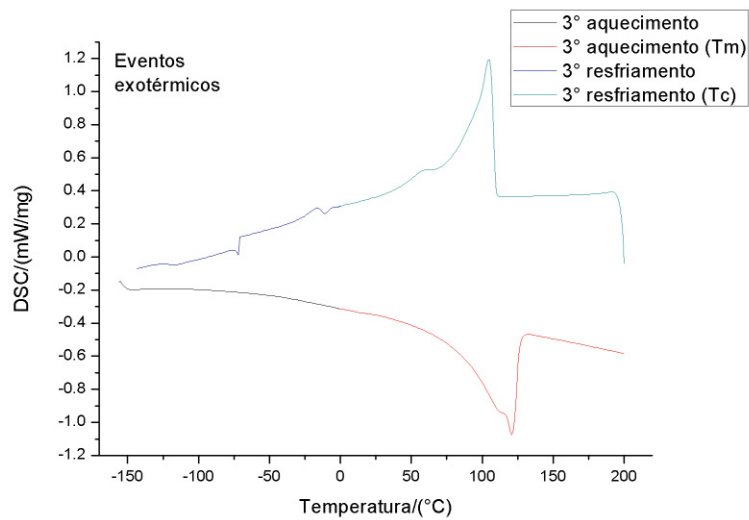
O valor foi comparado com dados encontrados na literatura, que indicam que a T_m de um polietileno de alta densidade (PEAD) pode chegar a ser 130°C (COUTINHO *et al*, 2003).

Costa *et al* (2015) mostra que borrachas de EPR não possuem T_m ou T_c , indicando que o material tem composição primordial de PE com algum aditivo. Também, para Wypych (2016), o valor de T_m para PEAD fica na faixa entre 125-135 e 130°C, acordo com o obtido.

Segundo o trabalho de Brandalise *et al* (2009), os valores das transições (T_m e T_c) para polietilenos de alta densidade são de respectivamente 133,5°C e 118°C. A rede cristalina dos materiais de PE é muito maior em comparação com a fração amorfa, o que dificulta a análise da T_g , mas por outro lado, favorece a obtenção de

picos bem estruturados para determinação dos valores das transições T_m e T_c , caracterizando o material.

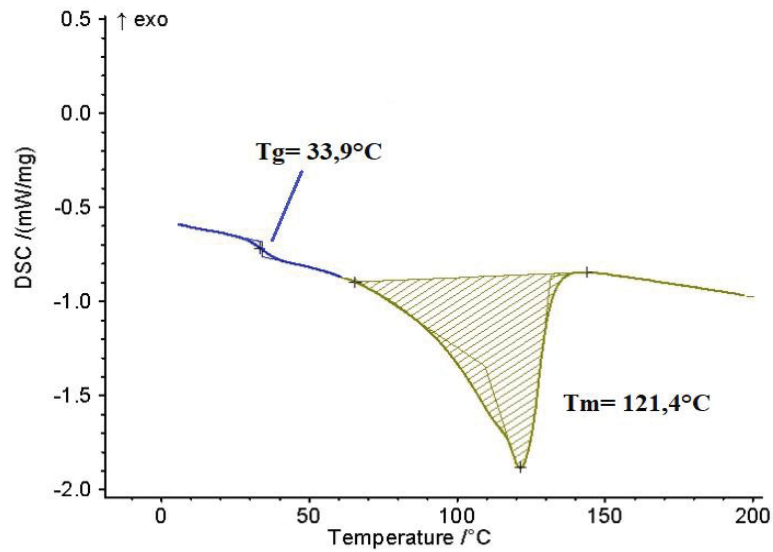
FIGURA 5.7 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL ANTES DO PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE T_m E T_c



FONTE: o autor (2019).

No trabalho de Lima *et al* (2006), como a T_g do PE não é bem definida e difícil de se determinar via DSC, foi feita a análise por DMA, onde a T_g do material a base de PE (PEAD) foi determinada em $-23,0$ °C. No termograma obtido na FIGURA 5.8, foi determinado o valor (possível) de 33 °C. Essa diferença de valor pode ser explicada pela provável presença de aditivos e diferente composição do material em comparação com um PE puro.

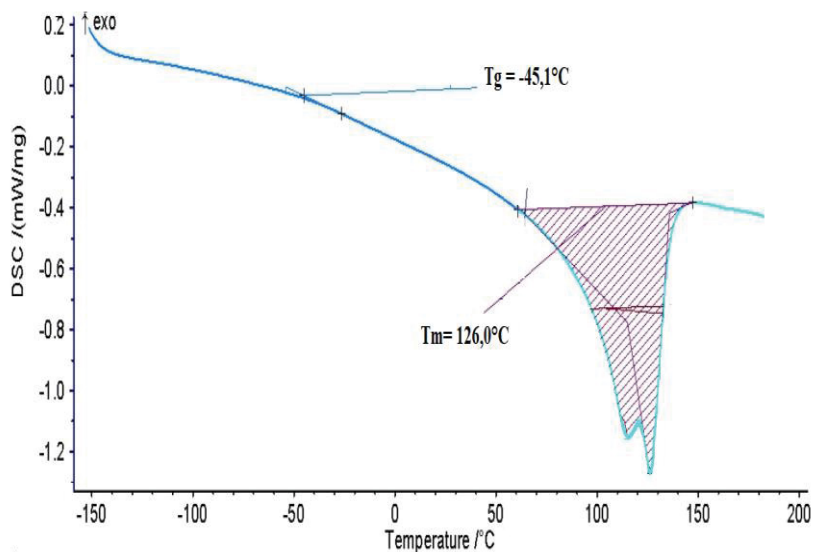
FIGURA 5.8 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL ANTES DO PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE T_g E T_m



FONTE: o autor (2019).

Já esses valores comparados com o termograma encontrado na FIGURA 5.9 referente ao material pós processamento, tem uma mudança. O valor da T_g do material se encontra agora na faixa entre -20 °C e -45,1 °C, valores próximos ao encontrado na literatura (Lima et al, 2006). A temperatura de fusão (T_m), se manteve na mesma faixa de 130°C, faixa padrão para PE (COUTINHO *et al*, 2003).

FIGURA 5.9 - TERMOGRAMA DA AMOSTRA DE MATERIAL PÓS PROCESSAMENTO, COM INDICAÇÃO DE VALORES DE T_g E T_m



FONTE: o autor (2019).

Nas fichas técnicas consultadas, o elemento de tração não metálico presente nos cabos ópticos foi caracterizado como sendo a fibra de aramida.

A inspeção visual comparativa realizada pelo autor, corroborou para a identificação do material como sendo fibra de aramida, a qual é ilustrada na FIGURA 5.10.

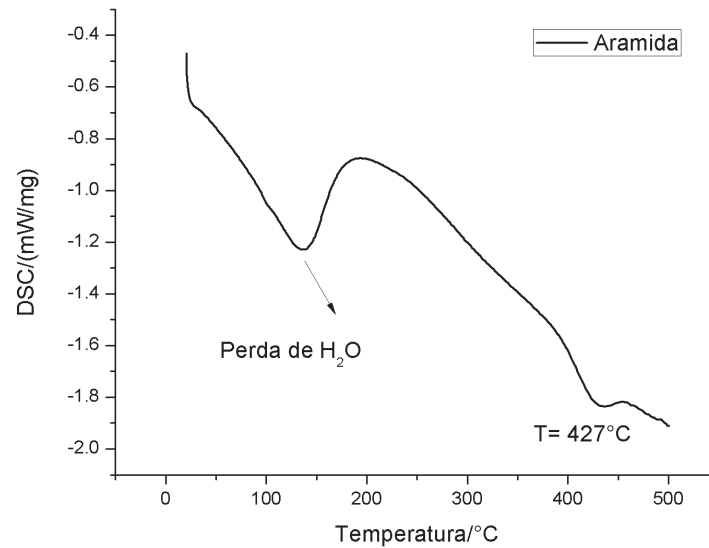
FIGURA 5.10 – FIBRA DE ARAMIDA



FONTE: O Autor, 2019.

Já nos testes laboratoriais através do termograma da aramida (Kevlar[®]), foi determinado que não existe nenhuma transição até a temperatura de 500 °C. As curvas acentuadas indicadas são de perda de água presente no material. A poliaramida tem o início da sua degradação em 510 °C, com o início da perda de massa, decorrente da decomposição térmica das ligações simples, e a degradação completa pode chegar até 575 °C (BOUKOUVALAS; WIEBECK, 2007). Esses valores não são observados na curva devido a limitação de temperatura em 500 °C do equipamento utilizado (FIGURA 5.11).

FIGURA 5.11 - RESULTADO DO TESTE DA ARAMIDA



FONTE: o autor (2019).

O resultado dos testes realizados com o miolo do cabo é apresentado no Anexo I e concatenado na TABELA 5.

TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES REALIZADOS COM A AMOSTRA DE MIOLO DOS CABOS DE FIBRA ÓPTICA

Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos
Porcentagem de sólidos	% pp	0,05	66,5
Poder calorífico inferior	Kcal/kg	150	6180
Umidade	% pp	0,05	33,5
Cinzas (base seca)	% pp	0,05	4,22

LEGENDA: LQ/ Faixa = Limite de quantificação ou faixa de trabalho.

FONTE: o autor (2015).

Tissot (2018) cita que as principais características do CDR são a gravimetria, a granulometria e o poder calorífico dos resíduos. O estado físico do CDR deve ser sólido, com poder calorífico inferior (PCI) no mínimo de 4.000 Kcal/kg e cuja classificação da ABNT seja de resíduo Classe II-A (TABELA 6).

TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DO CDR

Parâmetro	Valor específico	Unidade
Umidade	< 20	%
Cinzas	< 25	%
Poder Calorífico Inferior PCI	3.582-5.970	Kcal/kg
Granulometria	50	Kg/m ³
Enxofre	<0,4	%
Cloro	<0,3	%
Total de metais pesados	<750	Mg/kg
Merúrio	<5	Mg/kg
Cádmio/Tálio	<10	Mg/kg
Chumbo	<300	Mg/kg

FONTE: Tissot (2018).

5.5 REAPROVEITAMENTO DOS ELEMENTOS CONSTITUIVOS DA SUCATA DE CABO

No processamento das duas bateladas, a extrusora utilizada foi do tipo rosca cônica simples, com uma matriz perfurada, que permite que o material fundido seja picotado diretamente na saída da matriz e sob um fluxo de água contínuo em circuito fechado.

Após passar pela moagem, aglutinação e extrusão (FIGURA 5.12), o polietileno obtido ficou em formato de *pellet*, tipo tronco de cilindro, com dimensão aproximada de 5 mm, devido à espessura da matriz do corte da cabeça da extrusora. A coloração é preto-bilhante, característica importante na produção de mangueiras industriais (FIGURA 5.13).

FIGURA 5.12 – RECICLAGEM DO POLIETILENO. A – MOAGEM; B – MATERIAL AGLUTINADO; C/D – MATERIAL EXTRUSADO (*PELLET*)



FONTE: o autor (2018).

O *pellet* resultante da Batelada 1 (utilizando-se 2 telas) apresentou má formação, fissuras e defeitos como furos e ranhuras (FIGURA 5.13 - A). O *pellet* resultado da Batelada 2 (utilizando-se 5 telas) apresentou uma melhora significativa na aparência do grão, além da redução dos defeitos, fissuras e furos (FIGURA 5.13 - B).

FIGURA 5.13 - PELLETS RESULTANTES DAS BATELADAS 1 (A) E 2 (B)

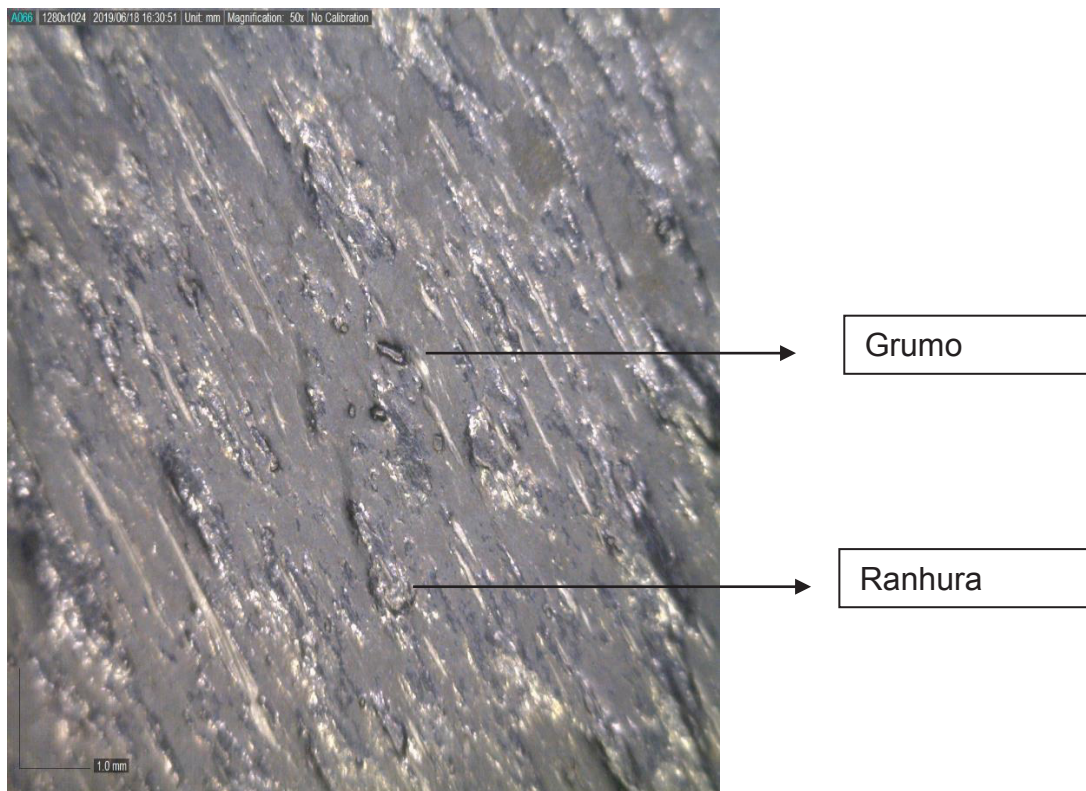


FONTE: O autor (2019).

Em relação a produção de mangueiras industriais e outros artefatos plásticos, a Batelada 1 resultou em um produto final com flexibilidade, elasticidade e coloração preto-brilhante, que são características positivas para o processo. Mas, a presença de impurezas nos pellets produziu um fenômeno de heterogeneidade, ranhuras e grumos, indicando que o material precisava ser mais “limpo”.

A presença destas ranhuras no interior da mangueira indicou que a sujeira presente no material migrou no processo de extrusão para o centro da mangueira, isto reforçou a convicção que existia além do polietileno outros componentes da estrutura dos cabos ópticos. Ou seja, as impurezas (resíduos de fibra de aramida e de miolo do cabo) tenderam a concentrar-se nas paredes internas da mangueira (FIGURA 5.14).

FIGURA 5.14 - FACE INTERNA DA MANGUEIRA PRODUZIDA COM POLIETILENO PROVENIENTE DA BATELADA 1, EXTRUDADO NA EMPRESA CONDUSFLEX



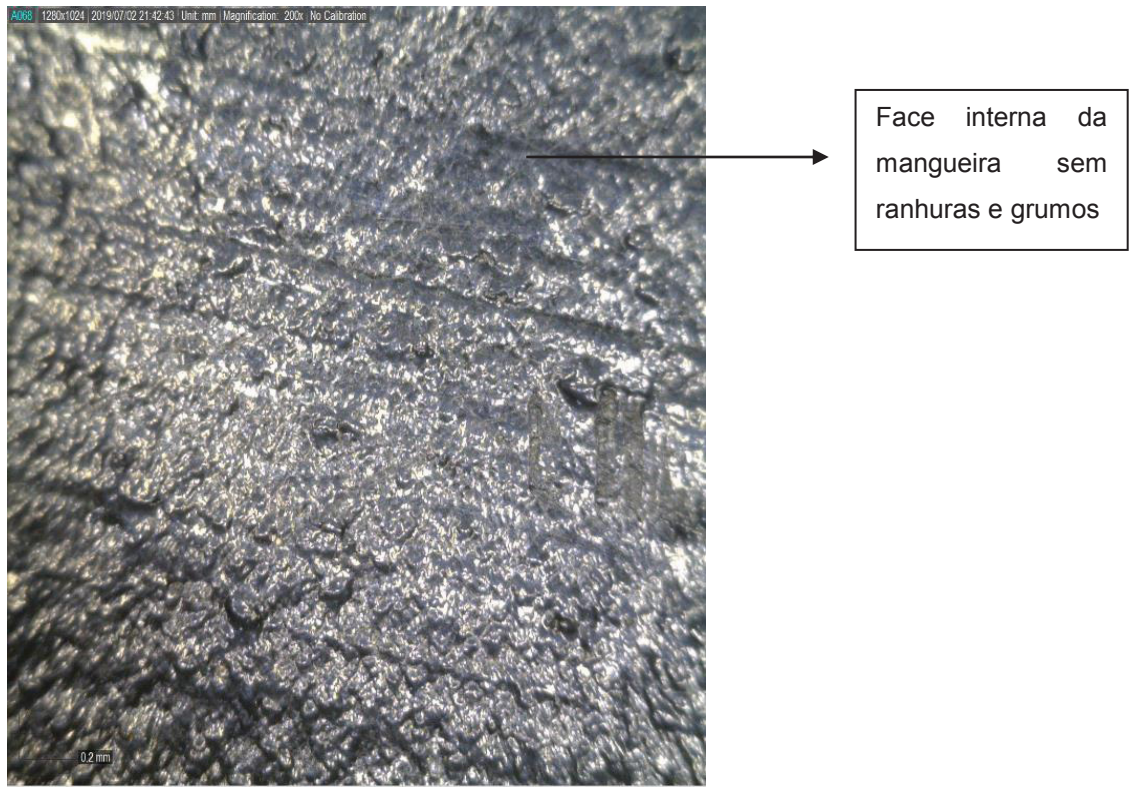
Obs.: Equipamento Dino Plus – Resolução 1280x1024. Aumento de 50x.

FONTE: O Autor (2019).

Em relação a produção de mangueiras industriais e outros artefatos plásticos, a Batelada 2 também resultou em um produto final com flexibilidade, coloração preto-brilhante.

Visualmente, notou-se que os pellets estavam mais bem formados, o que caracteriza a diminuição da presença de impurezas. Com isso, a mangueira apresentou a face interna mais homogênea e livre de grumos e ranhuras (FIGURA 5.15).

FIGURA 5.15 – FACE INTERNA DA MANGUEIRA PRODUZIDA COM POLIETILENO PROVENIENTE DA BATELADA 2, EXTRUDADO NA EMPRESA CONDUSFLEX



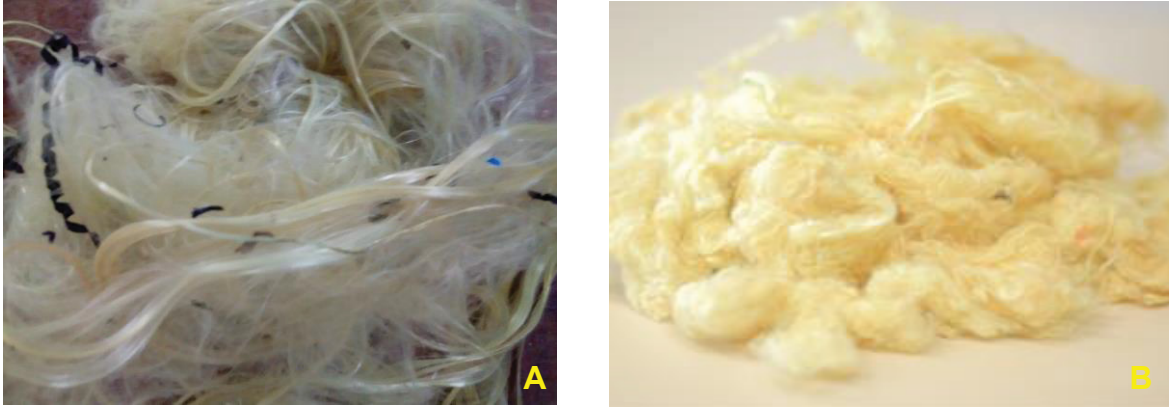
Obs.: Equipamento Dino Plus – Resolução 1280x1024. Aumento de 200x.

FONTE: O Autor (2019).

A fibra de aramida resultante do processo de reciclagem apresentou impurezas advindas do processo de reciclagem, como *scraps* do polietileno moído e de outros componentes do miolo do cabo (FIGURA 5.16 - A).

Visando reduzir as contaminações foi adotado o procedimento de colocação do material diretamente dentro de sacos de armazenamento de 50 kg antes de ser encaminhado para os *bags*, dispostos na área de expedição para posterior envio ao clientes (FIGURA 5.16 - B).

FIGURA 5.16 - FIBRA DE ARAMIDA PÓS PROCESSO DE RECICLAGEM. A - FIBRA COM CONTAMINAÇÃO; B – FIBRA ISENTA DE CONTAMINAÇÕES



FONTE: o autor (2018).

A fibra foi então encaminhada para a empresa NorteFios, que produz materiais de fricção para a indústria automotiva.

O material depois de enfardado entra na constituição de um produto denominado fio têxtil industrial que possui diversos usos entre eles o mercado automobilístico (FIGURA 5.17).

FIGURA 5.17 - FASES DO PROCESSAMENTO DA ARAMIDA – DO PROCESSO DE RECICLAGEM ATÉ A FORMAÇÃO DE FIO TÊXTEL INDUSTRIAL



FONTE: o autor (2019).

Quanto ao miolo do cabo, o material moído (FIGURA 5.18) foi armazenado em *bags*. Destaca-se que a análise laboratorial demonstrou que o mesmo possui alto poder calorífico inferior, indicando que poderia ser utilizado como combustível derivado de resíduo (CDR) para alimentação de caldeiras. Esse resultado é

apresentado item 5.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES INDIVIDUALIZADOS DA RECICLAGEM.

FIGURA 5.18 - MATERIAL DO MIOLO DO CABO MOÍDO GRANULOMETRIA 7MM PARA UTILIZAÇÃO COMO CDR



FONTE: o autor (2018).

Após consolidação comercial de partes dos produtos oriundos da reciclagem das sucatas de cabos, elaborou-se um procedimento interno que descreve o planejamento e execução da operação (FIGURA 5.19).

FIGURA 5.19 - NOVO FLUXOGRAMA DO PROCESSO.



FONTE: o autor, (2018).

A. Recebimento de material

Os colaboradores incumbidos de receber as sucatas de cabos de fibra óptica encaminhados para o processo de reciclagem têm como responsabilidade auxiliar na descarga do material, direcionando ao ponto destinado para descarga; efetuar a triagem do material, separando-o por bitolas e numerar o lote para controle de processo. É importante que o material não tenha contato direto com o solo e, por isso, deve ser acondicionado em ambiente coberto, piso de concreto e sobre *pallets*.

B. Decapagem primária

Nessa etapa do processo é necessária a regulação de maquinário para cada tipo de cabo a ser processado. A partir da utilização da máquina de corte da capa, a primeira camada de polietileno deve ser separada do miolo remanescente e da malha de fibra de aramida. A primeira camada do cabo, composta pelo material plástico, deve ser armazenada em *big-bag* sobre *pallet*, facilitando a logística interna na linha de produção. O miolo de cabo, composto por mais uma camada de PEBD, duto luz e fibra de vidro (elemento de tração), deve ser acondicionado para posterior processamento.

A Fibra de Aramida (Kevlar®), preferencialmente, não deve entrar em contato com o solo durante a separação da primeira camada de PEBD, evitando a contaminação com impureza que possam estar presentes no local. A malha, advinda da separação, deve ser ensacada, selada, pesada e disposta nos pallets destinados ao material.

C. Moagem

Nessa etapa são utilizados dois equipamentos: o moinho e o soprador. O moinho deve ter sua carenagem aberta, facas inspecionadas e limpas, bem como a câmara interior vistoriada, a fim de garantir que não haja nenhum tipo de objeto causador de dano ou contaminação.

Monitorar o fluxo de material emitido pelo soprador é de suma importância para que não haja entupimento do sistema. Deve-se garantir a eficácia da moagem dos flocos plásticos, pois se os mesmos estiverem muito grandes, podem

comprometer a eficiência da próxima etapa produtiva. O produto final do processo de moagem é armazenado em *bags* com movimentação facilitada quando dispostos em *pallets* de madeira

D. Extrusão

Os equipamentos utilizados nessa etapa são: aglutinador, extrusora, bacia de resfriamento, centrífuga, peneira e silo de armazenagem. Primeiramente, deve ser realizada a aglutinação, que tem por objetivo a homogeneização do material plástico, a diminuição do volume total por meio de picotagem dos flocos advindos do processo de moagem, e um pré-aquecimento juntamente com um complemento de secagem. Após aglomerado, o material na forma de grãos cisalhados, deve facilitar o fluxo no funil de alimentação da extrusora, contribuindo com seu bom funcionamento e qualidade do produto final.

O operador deve zelar pela integridade da máquina, tendo responsabilidades como a checagem das facas do dispositivo rotatório, evitando a entrada de materiais contaminantes ou que possam causar qualquer tipo de dano ao maquinário a exemplo de parafusos ou material orgânico. O período de aglutinação tem duração entre 20 a 25 minutos, com capacidade de processamento de aproximadamente 50 kg por ciclo de processamento.

Após a aglutinação, inicia-se a extrusão, cujo maquinário para extrusão consiste basicamente em três principais zonas de trabalho, sendo elas: alimentação, compressão e dosagem.

A zona de alimentação é constituída pelo funil de alimentação, parte traseira da rosca de transporte e cabeçote traseiro. Após o processo de aglutinação, o material deve ser inserido no funil de alimentação, podendo ser por força da gravidade ou por soprador. Ocorrendo a alimentação na rosca no cabeçote traseiro, dotado de resistências elétricas, ocorre o aquecimento do material tanto pela corrente elétrica, quanto por atrito com as paredes da rosca.

Inicia-se então a fase de compressão, a qual consiste na movimentação proporcionada pelo motor elétrico. Dentro da rosca, os sulcos que antes, na fase de alimentação, eram de profundidade maior, agora tem seu volume reduzido progressivamente, gerando assim um aumento na pressão sobre o material plástico e conseqüentemente aumentando também sua temperatura.

Durante a passagem pela zona de dosagem, os orifícios da rosca têm profundidade continua controlando assim a vazão e pressão do material processado. O plástico é então forçado por entre telas de aço, denominadas filtros, para contenção de sólidos particulados diversos, passando então para o granulador.

No processo de granulação utilizado – denominado corte na cabeça - o material processado passa pela matriz formadora do *spaghetti* plástico e já é cortada por uma lâmina giratória. O sistema de corte conta com uma proteção para a hélice, a mesma tem por objetivo conter a movimentação dos grãos após o corte, direcionando-os para uma bacia de resfriamento. Sua manutenção envolve a limpeza da matriz formadora e a lubrificação do rolamento presente no aparato de corte.

Após o grão passar pela bacia de resfriamento, é coletado por uma centrífuga, que por sua vez o encaminha ao silo de armazenagem. O material deve permanecer acumulado, com a escotilha de vigia aberta para a perda de umidade, durante alguns minutos, para então ser despejado no bag.

E. Análise técnica- econômica da amostra de descartes de cabo óptico reciclado.

A fim de se mensurar os valores de descartes do volume do material utilizado nos pilotos de reciclagem (equipamento comprado no mercado interno e com o protótipo desenvolvido) chegou-se aos resultados mostrados na TABELA 7.

TABELA 7 - RESULTADO COMPARATIVO DE DESPESAS E RECEITAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL E RECICLAGEM DOS CABOS OPTICOS.

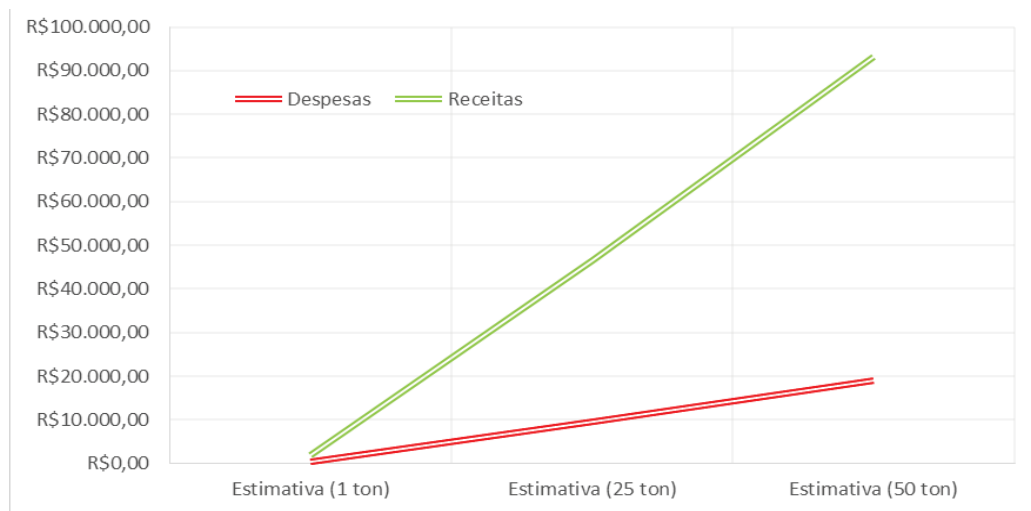
Material	Custo de destinação para aterro (R\$/kg)	Receita por componente reciclado (R\$/kg)
PEAD granulado		R\$2,80
Aramida	R\$0,38	R\$6,50
Miolo		R\$0,00

Amostra	Quantidade (kg)	Porcentagem (%)
PEAD granulado	660,00	55%
Aramida	60,00	5%
Miolo	480,00	40%
TOTAL	1200,00	100%

	Custo de destinação para aterro (R\$)	Receita por componente reciclado (R\$)
Destinação da amostra (2400 kg)	R\$912,00	R\$4.476,00
Estimativa (1 ton)	R\$380,00	R\$1.865,00
Estimativa (25 ton)	R\$9.500,00	R\$46.625,00
Estimativa (50 ton)	R\$19.000,00	R\$93.250,00

FONTE: o autor (2018).

FIGURA 5.20 - ESTIMATIVA DE VALORES DE RECEITAS E DESPESAS (EM R\$) PARA DESTINAÇÃO FINAL DE AMOSTRAS DE 1, 25 E 50 TON.



FONTE: o autor (2018).

O custo atual para descarte da sucata de cabo óptico em aterro controlado (Hera Sul) por empresa especializada (Taborda Ambiental) é de R\$ 0,38/kg. Considerando que o volume reciclado nos dois equipamentos foi de 2.400 kg, geraria um custo de destinação de R\$ 912,00. Se levarmos em conta que o volume estimado de sucata armazenados na matriz e filiais da Radiante era de 120.000 kg, estimaríamos uma previsão de gasto de R\$ 38.400,00.

Com a reciclagem do volume das amostras (2400 kg), foi obtido 1.320 kg de PEAD reciclado com um preço de venda estimado de R\$ 2,80/kg após o processamento (separação, desencape, moagem, aglutinação e granulação), gerando uma receita estimada de R\$ R\$ 3.696,00.

Com a fibra de aramida reciclada (120 kg), com um preço de venda estimado em R\$ 6,50/kg após o processamento (separação e desencapagem), estimaríamos uma receita de R\$ 780,00.

Após a reciclagem do PEAD e da fibra de aramida teríamos uma receita estimada de R\$ R\$ 4.476,00, contra um custo de descarte na ordem de R\$ 912,00.

Se levarmos em conta que o volume estimado de sucata armazenados na matriz e filiais da Radiante era de 120.000 kg, estimaríamos uma previsão de gasto de R\$ 45.600,00.

Considerando a mesma massa estimada na matriz e filiais, mais agora destinando a sucata para reciclagem, observando os percentuais de cada elemento individualmente, teríamos:

- 66.000 kg de sucata de PEAD que depois de reciclada e processada, apresentaria uma receita de R\$ 184.800,00
- 6.000 kg de sucata de Fibra de Aramida que depois de reciclada, apresentaria uma receita de R\$ 39.000,00

Teríamos então um faturamento total com a comercialização do PEAD e da fibra de aramida na ordem de R\$ 223.800,00, ou seja, uma receita positiva.

Vale ressaltar que ainda sobrariam 48.000 kg de miolo de cabo, que como demonstra o resultado da amostra laboratorial, poderia ser comercializado com combustível derivado dos resíduos, o que poderia gerar mais receita para a operação, ficando esta análise como sugestão para ser apreciado mais à frente.

6 CONCLUSÃO

Os levantamentos de alternativas de soluções para reciclagem dos descartes de cabos ópticos não mostrou os resultados esperados, pois no mercado brasileiro não existe alternativas específicas para a reciclagem dos cabos ópticos que permitissem uma comparação direta dos resultados. Por outro lado, foi possível vislumbrar uma oportunidade de negócio, já que o volume dos descartes de cabo de fibra óptica tem como tendência um aumento devido à expansão do mercado de transmissão de dados. Aliados a este fator, pode-se somar ainda a consolidação das diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos no que tange a aplicação da Lei Federal nº 12.305/10.

A prospecção das soluções tecnológicas para separação dos componentes dos cabos ópticos mostrou que há equipamentos no mercado voltados para a reciclagem de cabos elétricos, e não para os cabos ópticos.

Em função do equipamento não ser específico para a reciclagem de sucatas de cabos ópticos, os testes no equipamento adquirido no mercado nacional apresentaram um baixo índice de produtividade (47 kg/dia de material processado), inviabilizando a operação, pois seriam necessários aproximadamente 2553 dias de trabalho para consumir o estoque.

Baseado na máquina adquirida no mercado nacional e nas consultas aos prospectos das empresas estrangeiras foi possível o desenvolvimento de um protótipo com as peças disponíveis no mercado nacional.

O desenvolvimento de um protótipo baseado na máquina adquirida e nas consultas aos prospectos permitiu um incremento de produção na reciclagem de em 319%, totalizando 150 kg/dia de material processado. Nesse caso, seriam necessários aproximadamente 800 dias de trabalho para consumir o estoque, tornando factível o projeto.

Quanto à classificação e segregação das sucatas, conclui-se que a amostra apresentou menor quantidade de cabos tipo *drop*. Quanto aos cabos de fibra óptica, a amostra apresentou maior quantidade de cabos longos e de bitolas médias e grossas.

Quanto à constituição, o percentual médio dos componentes individualizados perfaz 55% de polímero, 5% de fibra de aramida e 40% de miolo de cabo.

Pelo teste de identificação do plástico, pode-se constatar que o polímero termoplástico constituinte é da família do polietileno.

Pela pesquisa de ficha técnica, associada à identificação visual, pode-se constatar que o elemento de tração presente nos cabos é a aramida.

Já o miolo de cabo produzido não foi testado em nível de mercado, apenas enviado para laboratório acreditado, e os resultados mostraram que o material apresentava as características mínimas necessárias para sua utilização como combustível derivado de resíduo (CDR).

O polietileno extrudado no processo com duas telas não apresentou resultado satisfatório para ser utilizado na produção de mangueiras industriais. Por outro lado, a extrusão com cinco telas apresentou menos defeitos e irregularidades, sendo aprovado para uso nesse mercado. A fibra de aramida, após a implementação da melhoria no processo de acondicionamento pós reciclagem teve seu uso aprovado para utilização de materiais de fricção na indústria automotiva. O miolo do cabo permanece estocado para posterior destinação.

Pode-se considerar que foi possível desenvolver um processo tecnológico para reciclagem dos descartes de cabos de fibra óptica. Apesar de ainda precisar de melhorias, o equipamento desenvolvido está em fase de estudos para a patente, e atende, hoje, uma grande operadora nacional de prestação de serviços em telecomunicações (COPEL). Com este parceiro, já foram recicladas 193 toneladas no período de 2017/ 2018 e o contrato foi renovado para reciclagem de mais 176 toneladas.

Atualmente, o projeto atende o mercado de mangueiras industriais com 100% do polietileno proveniente da reciclagem das sucatas de cabos ópticos. Além disso, 100% da fibra aramida, proveniente da reciclagem, também estão sendo comercializada por empresa de fabricação de componentes automotivos.

Diante do exposto até aqui, pode-se afirmar que o processo proposto tem forte apelo sustentável, pois permite o aumento do ciclo de vida do material, mostrando que é viável reintroduzir os materiais reciclados no processo produtivo industrial, ao invés de descartá-los em aterro. Atualmente, o projeto já reciclou mais de 500 toneladas de sucatas de cabos ópticos e gera dez empregos diretos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto iniciou há quase cinco anos, tendo como o objetivo principal de desenvolver um processo tecnológico para a reciclagem dos descartes de sucatas de cabos ópticos. Neste tempo como já demonstrado neste projeto de dissertação, foram realizadas diversas atividades visando otimizar os fluxos operacionais para modernização do equipamento e do processo, para que se pudessem atender com abrangência nacional a reciclagem deste importante resíduo.

Vencidas as primeiras etapas, hoje o projeto se mostra viável, mas a situação atual nos obriga a evoluir pois o mercado de telecomunicações cresce de forma vertiginosa. A passagem deste projeto pela instituição Universidade Federal do Paraná foi mais uma etapa visando a evolução.

Diante do contexto do estudo, as sugestões para trabalhos futuros são:

- Desenvolver um estudo de custos de materiais reciclados;
- Promover a avaliação do valor agregado x valor aplicação dos componentes individualizados depois de reciclados;
- Desenvolver um protótipo de equipamento que promova a reciclagem das sucatas de cabos ópticos de maneira otimizada;
- Requisitar a patente do equipamento e ou do processo.

Estas sugestões serão consolidadas e incorporadas no curso de desenvolvimento da operação e apresentadas no momento oportuno.

REFERÊNCIAS

AOKI, A.; HORI, A.P.K.; PEREIRA, N.C. **Reciclagem do termoplástico poliestireno (PS) modificado pela presença de resíduos de borrachas vulcanizadas**. Universidade Plesbiteriana Mackenzie. 3° CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 7, 2004. **Anais...** São Paulo, SP, 2004.

AMERICAN CHEMISTRY. **Plásticos - Recuperar e redirecionar: manter os plásticos fora do ambiente**. Disponível em: <<https://plastics.americanchemistry.com/recycling-and-recovery/>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

AMERICAN CHEMISTRY. **Legislação sobre reciclagem de embalagens na Califórnia**. Disponível em: <<https://www.americanchemistry.com/Media/PressReleasesTranscripts/ACC-news-releases/California-Packaging-Recycling-Legislation-Stalls.html>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Dados sobre coprocessamento**. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto/>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Coleta de lixo no Brasil, 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama do Resíduo Sólido no Brasil, 2013**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ALMEIDA, M. B. B de. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gásóleo em craqueamento catalítico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

ANATEL. **Dados de transmissão por fibra óptica**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/relatorios-de-acompanhamento/2016>>. Acesso em: 03 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 13230**: Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro-RJ, 1994.

BABETTO, A. C.; CANEVAROLO, S. **Efeito do tipo de elemento de rosca de degradação de polipropileno durante múltiplas extrusões**. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, SP vol. 10, n°2, p. 90-99, 2000.

BARROS, R.M; BRANCIFORTI, M.C. **Polietileno**: principais tipos, propriedades e aplicações. São Carlos-SP. 2018.

BEZERRA, E. B. *et al.* **Comportamento reológico do Bio-PEgAA e PEgMA**. Rio Janeiro- Brasil, 2017.

BOEMO, R. V. *et al.* **O processo de logística reversa como prática de preservação do meio ambiente**: O caso dos produtores agrícolas no Distrito de Santa Flora/RS. UFSM, Santa Maria, RS, 2015.

BOUKOUVALAS, N. T.; WIEBECK, H. Caracterização térmica de fios de poliaramida. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n.4, p. 284-288, 2007.

BRANDALISE, R. N. *et al.* Morphology, mechanical and dynamic mechanical properties of recycled high density polyethylene and poly (vinyl alcohol) blends. **Polymer Bulletin**, n. 62, 33–43, 2009. DOI 10.1007/s00289-008-0989-4.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 226, 22 nov. 2002.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 2010.

CARVALHO, A. J. F. **Notas de aula**: 1ª Aula prática – Identificação de polímeros. São Carlos: Escola de Engenharia, 2012.

CHEN, D., YIN, L., WANG, H., HE, P. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. **Waste management**, v. 34, 2014.

CAPONERO, J. **Reciclagem de Pneus**. 2002. 164 p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 2002.

CIANET. Cabos dielétricos. Disponível: < https://www.cianet.com.br/produtos/rede-optica/cabo-drop/cabo-drop-low-friction-outdoor-cabo-dieletrico?utm_source=adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=cabo_drop_qualidade&utm_content=cabo_drop&gclid=Cj0KCQiAt_PuBRDcARIsAMNIBdqn5NWMulvVGhc3HsXtCV7JjMoUwY7-CizjRkE6ml_INyw01oSFWLUaAti8EALw_wcB>. Acesso em: 26 nov. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia Ambiental Sindiplast: da Indústria de Transformação e Reciclagem de Materiais Plásticos – Serie P+L**. São Paulo, 2011.

COSTA, V. A. F.; OLIVEIRA, J. M.; LIMA, P. S. Crystallization kinetics of thermoplastic elastomeric blends based on ground tyre rubber. **J. Appl. Polym. Sci**, 2015, DOI: 10.1002/APP.42589.

COELHO, J. P. A.; SILVA, M. R. S.; MENDES, P. H. R. **Protótipo de Transmissão por Fibra Óptica**. Brasília: Universidade Centro de Ensino Unificado de Brasília, 2017.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTAMARIA, L. C. **Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações**. São Carlos-SP. 2003.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONAL (CSCMP). **Definições de Logística**. Disponível em: < <https://cscmp.org/>>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

DOWLATSHAHI, S. **Developing a theory of reverse logistics**. Interfaces, v.30, 2000.

DuPont. **Informações sobre fibra de aramida - Kevlar®**. Disponível em: <<http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/tecidos-fibras-e-nao-tecidos/fibras/marcas/kevlar/produtos/cabos-de-fibra-optica-feitos-com-kevlar.html>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (EPE). **Relatório da gestão da Empresa de Pesquisa Energética - exercício de 2008**. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/aceso-a-informacao/auditorias/processo-de-contas-anuais/Contas%20Anuais/Relat%C3%B3rio%20de%20Gest%C3%A3o%202008%20EPE.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

ESTRE. **Combustível Derivado de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.estre.com.br/solucoes-para-empresas/combustivel-derivado-de-residuos/>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

FARIA, P. C.; WISBECK, E.; DIAS, L. P. **Biodegradação de polipropileno reciclado(ppr) e poli(tereftalato de etileno) reciclado (pert) por *Pleuroto Osteoastus***. Rio de Janeiro: [s.n], 2015.

FIGUEIREDO, A. L. *et al.* **Reciclagem terciária do poli(etileno tereftalato) visando a obtenção de produtos químicos e combustível: uma revisão**. Revista virtual de química, 2015.

FOSTER, R. da S. **Correlação de propriedades físicas e óticas de filmes planos de pebdl sob diferentes condições de processamento**. Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/66123/000870413.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

FURUKAWA ELETRIC. **Especificação técnica ET01174 v.0.** Cabos ópticos de terminação – CFOT – UB – ABNT. Maio, 2018.

FURUKAWA ELETRIC. **Especificação técnica ET03499 v.0.** Cabos ópticos de terminação – CFOA – DD (CATV-24F/T), para dutos com 24 fibras por tubo loose. Março, 2019.

GILES JR., H. F.; WAGNER JR., J. R.; MOUNT III, E. M. **Extrusion - The Definitive Processing Guide and Handbook.** 2. ed. Editora: William Andrew, 2013.

HELERBROCK, R. **Fibra óptica.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fibra-optica.htm>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

HESS, S. **Plásticos podem ser perigosos?** Instituto Química da Universidade Federal de Santa Catarina. 2012. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/os-plasticos-podem-ser-perigosos/>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento 2011.** Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2011.

JWELL-RACHEL, J. **Plastic Machinery** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <salbj@jwell.cn>. 25 jul. 2014.

KEISER, Gerd. **Comunicação por fibras ópticas.** 4ª edição – Porto Alegre: AMGH, 2014.

KERSTING, D. de F.; MARINUCCI, G.; WIEBECK, H. **Reciclagem de compósitos carbo/epóxi: Uso de reciclagem química associada a outros métodos.** Joinville-SC.-Brasil, 2012.

LACERDA, L. **Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais.** Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ, 2002.

LEITE, P. R. **Logística Reversa – Sustentabilidade e Competitividade.** 3ª edição. São Paulo: Saraiva, 2017.

LIMA, F. C. *et. al.* **Determinação da temperatura de transição vítrea (T_g) de três tipos de polietileno por análise dinâmico-mecânica (DMA).** CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, 2006. **Anais...** 15 a 19 nov. 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

LUDWIG, C., HELLWEG, S.; STUCKI, S. **Municipal Solid Waste Management - Strategies and Technologies for Sustainable Solutions.** [S.l.]: Editora Springer, 2003.

MAMEDE, M. C. dos S. **Avaliação econômica e ambiental do aproveitamento energético de resíduos sólidos no Brasil.** 2013. 123 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em:

<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/265334>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

MARTINS, A. **Maquinário**. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <alberto.martins@vastema.com>. 17 jul. 2014.

MARQUES, M. A. M. **O Meio Físico no Processo de Avaliação de Impacto Ambiental do Aterro Industrial Brunelli**. Piracicaba- SP - São Carlos, 2000.

MAURER, Eduarda Bruna; LANES, Leticia, B.F. **Práticas sustentáveis em TI**. Joaçaba, SC: UNOESC & Ciência. 2012.

MOREIRA, A. M. **Materiais Compósitos**. Instituto Politécnico de Tomar – Escola Superior de Tecnologia. Tomar - Portugal, 2009.

MORTON-JONES, D.H.; **Polymers Processing**. London: Chapman & Hall, 1989.

NIESSEN, W. R. **Combustion and incineration processes: applications in environmental engineering**. N.Y., M. Dekker, 1995.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; DE BARROS, K. R. **Guia para Elaboração de Projetos para Resíduos Sólidos Urbanos**. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, 2009.

Oi S.A- Brasil. **Informações sobre destinação de resíduos**. Disponível em: <http://ri.oi.com.br/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=43589>. Acesso em: 23 de novembro de 2018.

PAOLI, M.A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. São Paulo: Artliber. Edição: 2009. 286p.

PARANÁ. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná**. Disponível em: <<http://www.residuossolidos.sema.pr.gov.br/>>. Acesso em: 09 out. 2018.

PARENTE, R. A. **Elementos estruturais de Plásticos reciclados**. São Carlos (SP):, 2006.

PARRO, A. C.; COSTA F. C. da; COELHO, S. T. Estudo Comparativo para Tratamento de Resíduos Sólidos urbanos: Aterros Sanitários x Incineração. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 14, n. 2, 2008.

PEREIRA, R. J. G. **Fibras Ópticas e WDM**. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Fibraspticas-ConceitoseComposio.html>. Acesso em: 10 jan. 2019.

PESSÔA, V. A. de F. **Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos**. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024679.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

PINTO, J. T. de M.; AMARAL, K. J.; JANISSEK, P. **Potencialidades da análise de fluxo de materiais no processo produtivo da fibra óptica poliméricas**. São Carlos, SP, 2014.

PLASTIVIDA. **Informações referentes aos plásticos**. Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br/index.php/conhecimento/35-os-plasticos?lang=pt>>. Acesso em: 12 out. 2018.

REGO, A. S. **Logística reversa do mercado de embalagens caso Tetra Pak**. Brasília, 2005.

RIBEIRO, J. A. J. **Comunicações Ópticas**. Brasil: Érica, 2006.

RUIZ, I. A. S. **Adição de EPDM ou anidrido maleico na blenda LDPE/PA6 e suas propriedades finais**. São Paulo, 2008.

SANTAELLA, S. T. **Resíduos Sólidos e a atual política ambiental brasileira**. Fortaleza, CE: UFC/ LABOMAR/ NAVE, 2014.

SILVA, Albino Costa. **A sustentabilidade nos serviços de telecomunicações do operador de serviços de telecomunicações fixas ao consumidor final**. Porto, Portugal, 2017.

SILVA, J. R. S. Produção sustentável na reciclagem mecânica de resíduos plásticos. **Revista on-line IPOG Especialize**, n.9, v.1. dez. 2014.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Coprocessamento**. Disponível em: <<http://snic.org.br/sustentabilidade-coprocessamento.php>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SPINACE, M. A. S; DE PAOLI, M. A. A Tecnologia da reciclagem de Polímeros. **Revista Química Nova**, v. 28, São Paulo, 2005.

SPINACE, M. A. S; PAOLI, M. A. de **Correlação entre orientação molecular, cristalinidade e permeabilidade de filmes biaxialmente orientados de polietileno linear de baixa densidade**. Rio de Janeiro, RJ, 2018.

TELEBRASIL. **Evolução dos acessos utilizando fibra óptica no Brasil**. Disponível em: <<http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/desempenho-do-setor>>. Acesso em: 23 set. 2018.

TELEBRASIL. **O Desempenho do Setor de Telecomunicações no Brasil - Séries Temporais**. 2016.

TELEFÔNICA. **Informações sobre destinação de resíduos**. Disponível em: <<http://www.telefonica.com.br/servlet/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1385589590242&ssbinary=true>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

TORRES, J. M. P. **Environmental analysis of vitreous optical fiber fabrication**. Birkenfeld, Germany, 2014.

TISSOT, M. **Viabilidade ambiental e econômica da recuperação energética de resíduos por meio de combustível derivado de resíduo – CDR**. Conferência Waste Energy. Curitiba, 2014.

TROMBETA, Fabiane. **Uso de Fibras de Aramida para Melhoria de propriedades de Compostos de Borrachas Nitrílicas**. Porto Alegre, RS. 2012.
UFSC. Fibra de Aramida. Disponível em: <<http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/fibras-de-aramida/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

ZANIN, M., MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: EduFSCAR, 2015.

WYPYCH, G. Handbook of polymers/HDPE. **High density polyethylene**. 2. ed. ChemTec Publishing, 2016. p. 156-163.

ANEXO I – RELATÓRIO DE ENSAIO LABORATORIAL COM MIOLO DE CABO DE FIBRA ÓPTICA



RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 137629/2016-0 Processo Comercial Nº 11353/2016-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	RADIANTE ENGENHARIA DE TELECOMUNICACOES LTDA
Endereço:	Rodovia BR 277, 748 - - MOSSUNGUE - Curitiba - PR - CEP: 82.305-100 .
Nome do Solicitante:	Antonio Belin

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Resíduo Miolo cabos Fibra Optica - Moido		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	23/05/2016 13:30:00
Data da entrada no laboratório:	25/05/2016 10:59	Data de Elaboração do RRA:	01/06/2016

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	66,5
Poder Calorífico Inferior	kcal/kg	150	6180
Umidade	% p/p	0,05	33,5
Cinzas (Base Seca)	% p/p	0,05	4,22

Notas

"Merieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Biogri Ambiental Ltda.
LQ / Faixa = Limite de Q uantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

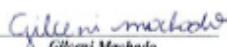
Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 137629/2016-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 137629/2016-0 - Praticaba anexados a este documento.

Chave de Validação: fdfcf002e899a60441e948e3bd4583e78


Gilceni Machado
Controlador de Qualidade
CRQ 804481956 - 4ª Região


Joice Maria Ballow
Gerente Técnica
CRQ 09200516 - 9ª Região

RELATORIO DE ENSAIO N° 137629/2016-0 - Piracicaba
Processo Comercial N° 11353/2016-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	RADIANTE ENGENHARIA DE TELECOMUNICACOES LTDA
Endereço:	Rodovia BR 277, 748 - - MOSSUNGUE - Curitiba - PR - CEP: 82.305-100 .
Nome do Solicitante:	Antonio Belin

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Resíduo Miolo cabos Fibra Optica - Moido		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	23/05/2016 13:30:00
Data da entrada no laboratório:	25/05/2016 10:59	Data de Elaboração do RE:	01/06/2016

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	Incerteza	Data do Ensaio
Porcentagem de Sólidos	---	% p/p	0,05	66,5	6,7	31/05/2016 09:52
Poder Calorífico Inferior	---	kcal/kg	150	6180	62	01/06/2016 09:41
Umidade	---	% p/p	0,05	33,5	3,4	31/05/2016 09:52
Cinzas (Base Seca)	---	% p/p	0,05	4,22	0,42	31/05/2016 09:52

Notas

"Merieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.

LQ/ Faixa = Limite de Q identificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

n.a. = Não Aplicável.

Incerteza = Incertezas expandida (U), que é baseada na incerteza padrão combinada, com um nível de confiança de 95% (k=2).

Abreviações

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Responsabilidade Técnica

Os ensaios foram realizados na unidade da Bioagri Ambiental Ltda. - Matriz, situada na Rua Azevêdo Martins, 177/201, Bairro Dois Côrregos, Cep. 14420-833, Piracicaba/SP, registrada no CRQ 4º Região sob nº 16082-F e responsabilidade técnica do profissional Marcos Domício Cecotto, CRQ nº 04364387, 4º Região.

Referências Metodológicas

Poder Calorífico: POP PA 143 - Rev. 06


Porcentagem de Sólidos e Cinzas: POP PA 058 - Rev. 06

Revisores

Débora Fernandes da Silva

André Alex Colletti

Chave de Validação: fdcf002d899a60441d94b3b5d583e7f8


 Gilson Machado
 Controle de Qualidade
 CRQ 004481956 - 4º Região


 Juliana Maria Billore
 Gerente Técnica
 CRQ 09200516 - 9º Região