



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
LUIZA ZANELATTO DOS ANJOS

RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Tubarão
2019

LUIZA ZANELATTO DOS ANJOS

RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Dr^a. Maria Ana Pignatel Marcon Martins

Tubarão

2019

LUIZA ZANELATTO DOS ANJOS

RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de dezembro de 2019.



Professor e orientador Maria Ana Pignatel Marcon Martins, Dr^a.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Mauricio Alberto Büchele Motta, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus pais, por todo amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por permitir que eu chegasse até aqui.

Acima de tudo aos meus pais que acreditaram em mim em horas que nem eu mesma acreditava mais, que não permitiram que eu desistisse nos momentos de dificuldade, que se sacrificaram de diversas formas para garantir minha formação, meu muito obrigada.

Ao Wagner, meu noivo e parceiro que esteve ao meu lado em boa parte desta jornada, me apoiando em todas as horas de dificuldade e compreendendo os percalços vividos ao longo do tempo de produção deste trabalho.

A minha orientadora Maria Ana que aceitou me conduzir durante este projeto incentivando e dedicando-se mesmo com seu tempo escasso.

A todos os professores que contribuem para a realização deste projeto e minha formação acadêmica.

Aos colegas que dividiram comigo as dificuldades e preocupações que nos surgiram no decorrer do caminho.

A minha família que direta ou indiretamente estiveram presente.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para este momento.

“A educação é o nosso passaporte para o futuro, pois o amanhã pertence as pessoas que se preparam hoje.” (Malcolm X).

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.” (Albert Einstein).

RESUMO

O aumento do uso desenfreado de polímeros no Brasil, desencadeou um grande volume de resíduos depositados em lixões pelo país, gerando um problema para a sociedade. Este trabalho trata do estudo de técnicas de reciclagem de resíduos de polímeros aplicada na pavimentação de estradas em alguns países, além de realizar um breve experimento de metodologia proposta para tais construções. Objetivando desta forma buscar solução para dois problemas do cenário atual do Brasil, sendo eles, excesso de resíduos poliméricos acumulados e a falta de estradas pavimentadas. Sua execução se deu por estudo bibliográfico de alternativas com menor impacto ambiental para construção de estradas já existentes que obtiveram sucesso em sua aplicação e devem ser difundidas ao longo dos próximos anos. Visando a diminuição do volume de resíduos poliméricos dispostos em aterros sanitários, lixões e demais locais de destino que tais materiais são depositados, além da diminuição do uso de recursos naturais para a pavimentação no Brasil. Com o conhecimento adquirido ao longo das pesquisas também executou-se experimentalmente uma metodologia para utilizar os resíduos poliméricos domiciliares e industriais encontrados na região, para a pavimentação das vias locais. Concluindo que é possível reciclar tais resíduos para a pavimentação local e demais estradas do país.

Palavras-chave: Reciclagem. Resíduos. Polímeros. Pavimentação.

ABSTRACT

The increase in unbridled use of polymers in Brazil, triggered a large volume of waste deposited in dumps across the country, creating a problem for society. This paper deals with the study of polymer waste recycling techniques applied in road paving in some countries, besides performing a brief experiment of proposed methodology for such constructions. Thus aiming to find a solution to two problems of the current scenario in Brazil, namely, excess accumulated polymeric waste and the lack of paved roads. Its execution was made by bibliographic study of alternatives with less environmental impact for the construction of existing roads that have been successful in their application and should be disseminated over the next years. Aiming at reducing the volume of polymeric waste disposed in landfills, dumps and other destination where such materials are deposited, as well as reducing the use of natural resources for paving in Brazil. With the knowledge acquired throughout the research was also experimentally implemented a methodology to use the household and industrial polymeric waste found in the region, for paving the local roads. Concluding that it is possible to recycle such waste for local paving and other roads of the country.

Keywords: Recycling. Waste. Polymers. Paving.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação cadeia polimérica.....	20
Figura 2- Esquema de obtenção de plásticos a partir do petróleo.	23
Figura 3- Modelo de gerenciamento de resíduos visando maior sustentabilidade.	34
Figura 4 - Símbolos, números e siglas utilizados para diferenciar as resinas poliméricas mais utilizadas.....	35
Figura 5 - Exemplos de aplicação e de reciclagem das resinas plásticas.....	36
Figura 6 - Esquema transversal pavimento.	39
Figura 7 - Classificação dos revestimentos.	42
Figura 8 - Composição granulométrica das misturas a quente.....	43
Figura 9 - Vantagens do pavimento reciclado.....	45
Figura 10 - Serviço de fresagem em uma rodovia.	47
Figura 11 - Esquema maquinário para reciclagem a quente in situ.	48
Figura 12 - Esquema maquinário para reciclagem a frio in situ.....	48
Figura 13 - Esquema de fabricação de asfalto-borracha.	51
Figura 14 - Projeto ciclovias PlasticRoad.....	57
Figura 15 - Projeto estradas da PlasticRoad.....	57
Figura 16 - Moinho utilizado para triturar os resíduos e tais materiais triturados.....	62
Figura 17 - Colocação de barra metálica e desmoldante na prensa.	62
Figura 18 - Resíduo polimérico granulado inserido na prensa e sendo prensada.....	63
Figura 19 - Moldagem e resfriamento.....	63
Figura 20 - Peça vazada produzida de resíduos poliméricos.....	65
Figura 21 - Peça maciça produzida de resíduos poliméricos.	65
Figura 22 - Ensaio à flexão realizado.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à Flexão de corpos de prova vazados produzidos de resíduos poliméricos.	67
Gráfico 2 – Resistência à Flexão de corpos de prova maciços produzidos de resíduos poliméricos.	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de Polímeros.....	21
Quadro 2 – Quantidade de toneladas de plástico produzido em diferentes países.....	54
Quadro 3 - Quantitativo Material Plástico em Tubarão.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS – Acrilonitrila-butadieno-estireno
ARE – Rejuvenescedor Emulsionado
CA – Concreto Asfáltico
CAP – Cimentício Asfáltico De Petróleo
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado A Quente
CEO - Chief Executive Officer
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPA – Camada Porosa De Atrito
CPVC – Policloreto De Vinila Clorado
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP – Emulsão Asfáltica De Petróleo
EPS – Poliestireno Expandido
EVA – Acetato De Vinila
HIPS – Poliestireno de Alto Impacto
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
PC – Policarbonato
PE – Polietileno
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PET – Poli (Tereftalato De Estireno)
PMF – Pré-Misturados A Frio
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PP – Polipropileno
PS – Poliestireno
PU – Poliuretano
PVC – Policloreto de Vinila
SB – Estireno-Butadieno
SBR – Borracha De Estireno Butadieno
SBS – Estireno-Butadieno-Estireno

SEBS – Etireno-Etileno-Butadieno-Estireno

SIS – Estireno-Isopreno-Estireno

SMA – Matriz Pétreas Asfálticas

XLPE – Polietileno Reticulado

WWF - World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	POLÍMEROS	20
2.1.1	Classificação Polimérica	21
2.1.1.1	Polímeros e a Indústria	22
2.1.1.1.1	Borrachas.....	22
2.1.1.1.2	Plásticos.....	22
2.1.1.1.3	Fibras.....	24
2.1.2	Polímeros mais Utilizados.....	25
2.1.3	Polímeros na Engenharia Civil.....	27
2.2	RECICLAGEM	30
2.2.1	Resíduos.....	32
2.2.1.1	Resíduos Plásticos.....	34
2.2.2	Reciclagem na construção Civil.....	37
2.3	PAVIMENTAÇÃO/ PAVIMENTO.....	37
2.3.1	Pavimento Flexível.....	38
2.3.2	Pavimento Rígido.....	39
2.3.3	Pavimento Semi-rígido.....	40
2.3.4	Camadas Constituintes da Pavimentação	40
2.3.4.1	Regularização do subleito.....	40
2.3.4.2	Reforço do Subleito.....	40
2.3.4.3	Sub-Base	41
2.3.4.4	Base	41
2.3.4.5	Revestimento.....	41
2.3.4.5.1	Revestimento reciclado	45
2.3.4.5.2	Revestimento asfáltico modificado por polímero.....	49
2.3.4.5.3	Revestimento asfalto-borracha.....	49
3	MATERIAIS E MÉTODOS	52

3.1	O ESTUDO REALIZADO	52
3.1.1	Instrumentos de coleta de dados.....	53
3.1.2	Dados do cenário atual.....	53
3.1.2.1	Tubarão	55
3.2	MÉTODOS DE UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS EM PAVIMENTAÇÃO EXISTENTES	55
3.2.1	Resíduos plásticos nas estradas “PlasticRoad”	55
3.2.2	Resíduos plásticos nas estradas “MacRebur®”	58
3.2.3	Resíduos plásticos nas estradas da Índia.....	59
3.2.4	Resíduos plásticos nas estradas do Brasil.....	60
3.3	METODOLOGIA PROPOSTA	60
3.3.1	Procedimento.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NA METODOLOGIA PROPOSTA	65
4.2	ANÁLISE DAS METODOLOGIAS EXISTENTES.....	69
4.3	RELAÇÃO DE PRODUÇÃO DE RESÍDUO X PAVIMENTAÇÃO.....	70
5	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A utilização desenfreada de materiais poliméricos no Brasil resulta em milhares de toneladas depositadas em lixões e aterros sanitários ao redor do país e a reciclagem ainda anda a passos curtos na nossa sociedade em comparação com a produção de resíduos pela sociedade.

A reciclagem é de suma importância no cenário atual e não é difícil entender o porquê, basta pensarmos que cada habitante acrescido no planeta necessitará automaticamente de uma gama de recursos naturais ao longo de sua vida, e que tais recursos são finitos, desta forma é necessário que haja a busca por reciclar aquilo que for capaz de ser reciclado, deixando o máximo de recursos naturais possível disponível ao futuro.

Além do problema de excesso de produção de resíduo contra a baixa reciclagem temos outra questão no país que é a pavimentação rodoviária.

No Brasil o meio de transporte mais usual é o rodoviário, ou seja, aquele feito por meio de estradas, vias, rodovias entre outras, estas podem ser pavimentadas ou não. Quando pavimentadas em sua maioria usam o pavimento flexível como forma de pavimentação, neste modo de pavimentar usa-se misturas betuminosas e materiais granulares que dispostos em camadas formam o pavimento flexível.

No pavimento flexível dentre diversos recursos naturais utilizados temos o petróleo que é parte constituinte do asfalto que tanto conhecemos, utilizamos e ainda precisaremos de mais tendo em vista que o aumento do fluxo de tráfego rodoviário cresce todos os anos.

Em 2017 o Brasil possuía uma malha rodoviária de 1.720.700,30 km, mas destes apenas 213.452,8 km são pavimentados de acordo com dados do ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE (2018). Desta forma além da manutenção das vias pavimentadas ainda será necessário recurso para pavimentar mais de 1.500.000,00 km de estradas. Portanto é necessário buscar alternativas ecológicas para a pavimentação sem deixar de ter como objetivo a qualidade, durabilidade e economia de tais construções.

Ao pensarmos nesses dois problemas da atualidade decidiu-se unir e procurar uma solução em conjunto que vise o meio ambiente, a economia de recursos financeiros e naturais, a possibilidade da engenharia atual, buscando conhecer o que já é feito sobre isto na área ao redor do mundo e se possível criar uma solução para a pavimentação no Brasil.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a crescente industrialização juntamente com o aumento da população, a produção de rejeitos cresce a todo momento, exigindo de empresas e pesquisadores soluções para o correto descarte dos resíduos desses materiais e a possível reutilização deles. Dentre os resíduos, os polímeros são grande parte da fração de materiais descartados no meio ambiente, um dos tipos de materiais mais utilizados e que mais demoram para se decompor causando danos enormes ao ecossistema.

Atualmente discute-se muito a reciclagem de materiais para que sejam dadas, a estes, novo destino impedindo-os de serem depositados inadequadamente em lixões e/ou aterros sanitários poluindo e contaminando gravemente lençóis freáticos e meio ambiente, causando, inclusive, a morte de muitos animais, sejam terrestres, aquáticos e aves, principalmente pela ingestão de plásticos. As reciclagens existentes são restritas a partes isoladas não sendo suficientes para suprir as necessidades geradas pelo consume desenfreado e pelo descarte inadequado.

Dentre os acontecimentos do avanço da humanidade e da ciência estão a multiplicação de rodovias e ferrovias que visam dar conta do deslocamento humano assim como o transporte da produção industrial que avança num crescente exponencial. As rodovias, por sua vez, estão cada dia mais sofisticadas, com pavimentos modernos, muitos de materiais reciclados e que apresentam uma grande durabilidade e resistência à rodagem de veículos, sejam leves ou de cargas. Todavia, a grande parte das pavimentações, especialmente no Brasil, ainda são feitas com derivados de petróleo como o pavimento flexível (asfalto), que além de apresentar constantes necessidade de reparos, é também gerador de problemas ambientais. Assim, podemos citar como consequência o uso de recursos naturais e energia para compor os materiais e os métodos construtivos para pavimentação das estradas e as manutenções periódicas necessárias para manter a qualidade das mesmas.

O termo pavimento reciclado vem ganhando espaço nos últimos anos em função da conscientização sobre limitação dos recursos naturais e novas possibilidades para o desenvolvimento sustentável para o cenário atual.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo estudar a técnicas de reciclagem de resíduos poliméricos aplicando para pavimentação.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as opções de utilização de resíduos poliméricos para uso em pavimentação rodoviária, visando contribuir para com a sustentabilidade ambiental, com a minimização de resíduos e contribuindo na fabricação de pavimentos rodoviários.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever métodos já existentes de reciclagem para pavimentação;
- b) Quantificar resíduos poliméricos produzidos na região;
- c) Identificar a viabilidade destes resíduos para a prática da pavimentação;
- d) Estudar métodos de utilização de resíduos;
- e) Propor experimentalmente nova metodologia de utilização de resíduos para pavimentação;
- f) Obter e analisar os resultados da pavimentação utilizando resíduos;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 POLÍMEROS

Historicamente os polímeros têm sua utilização datada dos tempos dos egípcios e romanos, estes os utilizavam para concertar e vedar peças cerâmicas assim como colar documentos. Durante a colonização das américas os portugueses tiveram contato com as seringueiras e a extração da seiva proveniente da tal árvore que após coagulada se transforma no látex, material com propriedade elástica e flexível que origina itens como borrachas, pneus, utensílios domésticos, preservativos e tantos outros.

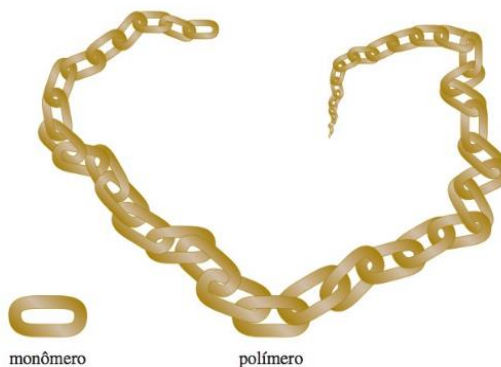
Os polímeros fazem parte do cotidiano dos humanos desde o início da evolução histórica, mesmo que inconscientemente, em quase todas as atividades de uma sociedade sejam elas para fins pessoais ou profissionais. Muita gente quando houve a palavra polímero já pensa logo em plásticos, porém a gama de materiais deste grupo é muito maior, indo desde materiais de construção até cosméticos.

Por definição, segundo Canevarolo JR. (2006, p. 21)

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: **Plásticos, Borrachas e Fibras.**

Conforme definido, os polímeros são de certa forma um conjunto de moléculas iguais, os monômeros, que se interligam e formam algo maior. Exemplo na figura 1:

Figura 1 - Representação cadeia polimérica.



Fonte: Mury (2016, p.374).

Polímero é uma grande gama de materiais oriundos de uma ligação entre elementos moleculares, os plásticos e borrachas citados são os mais comuns e populares, responsáveis por embalagens, pneus, encanamentos e tantos outros itens que se tornaram indispensáveis ao nosso dia a dia.

A necessidade de sintetizar os polímeros ocorreu para substituir os naturais como borracha e seda, já alguns foram desenvolvidos para garantir resistência iguais os de alguns elementos, mas com menor custo e peso, este é o caso do plástico nos automóveis que substituem o aço em muitas partes, e através de sua densidade em média quatro vezes menor proporciona mais leveza e por consequência permitem aos mesmos mais performance com menor consumo de combustível, o mesmo acontece com as embalagens que feitas a partir de plásticos se tornam leves e mais práticas de serem transportadas. (MURY, 2016).

2.1.1 Classificação Polimérica

A classificação dos polímeros pode ser conduzida conforme Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação de Polímeros.

Classificação de polímeros	
Critério	Classe do polímero
Origem do polímero	Natural Sintético
Número de monômeros	Homopolímero Copolímero
Método de preparação do polímero	Polímero de adição Polímero de condensação Modificação de outro polímero
Estrutura química da cadeia polimérica	Poli-hidrocarboneto Poliamida Poliéster etc.
Encadeamento da cadeia polimérica	Sequência cabeça-cauda Sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda
Configuração dos átomos da cadeia polimérica	Sequência <i>cis</i> Sequência <i>trans</i>
Taticidade da cadeia polimérica	Isotático Sindiotático Atático

Fusibilidade e/ou solubilidade do polímero	Termoplástico Termorrígido
Comportamento mecânico do polímero	Borracha Plástico Fibra

Fonte: Mano e Mendes (1999, p. 14)

Os polímeros conforme descritos têm vasta classificação, visto quanto a sua origem os naturais como madeira, algodão e lã por exemplo, mostram quanto é antigo o material, em contrapartida os sintéticos que surgiram a não muito tempo possuem alto poder tecnológico e atualização constante em suas tecnologias, com alto potencial de uso. Dentre eles temos o PVC e PET, materiais dos quais se fazem a utilização todos os dias e por este motivo são grandes geradores de resíduos.

2.1.1.1 Polímeros e a Indústria

Industrialmente falando os polímeros podem ser divididos conforme sua classificação quanto ao comportamento mecânico, ou seja, plásticos, borrachas e fibras.

2.1.1.1.1 Borrachas

“Dentre todos os tipos de materiais poliméricos, as borrachas, ou elastômeros, se distinguem por sua característica única de permitir grande alongamento, [...]. Esse fenômeno foi primeiramente observado na borracha natural, e passou a ser conhecida como *elasticidade*.” (MANO e MENDES, 1999, p. 75).

A borracha é um polímero de origem natural, (MANO e MENDES, 1999, p. 75) diz que “Numerosas espécies botânicas, espalhadas pelo planeta, produzem borracha. Entretanto, a única espécie que gera borracha de alta qualidade e em condições econômicas é a *Hevea brasiliensis*, a seringueira, da família das Euforbiácias.”

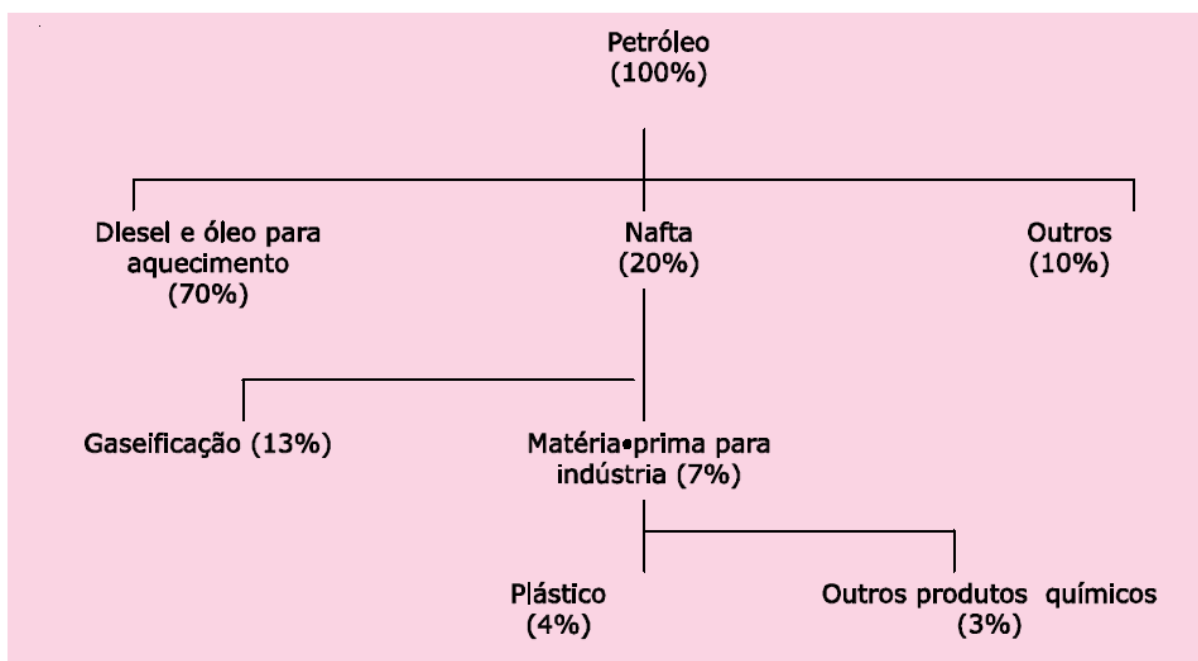
São diversas os tipos de borrachas existentes e suas aplicações, sem pensar muito podemos citar itens como materiais cirúrgicos, Neoprene utilizados em roupas de mergulho, pneus, borracha utilizada para apagar anotações de alunos de todos os lugares durante os estudos, entre tantos outros.

2.1.1.1.2 Plásticos

“A palavra plástico vem do grego *plástikos*. Ela é empregada em várias áreas do conhecimento humano, apresentando um espectro de significados, mas em geral se refere a algo moldável.” (PIATTI e RODRIGUES, 2005, p. 12).

O plástico é moldável e apresenta boa maleabilidade de trabalho, porém ao contrário da borracha se “esticado” tende a não voltar a sua forma original naturalmente, pois seu comportamento plástico o difere de um elastômero.

Figura 2- Esquema de obtenção de plásticos a partir do petróleo.



Fonte: Piatti e Rodrigues (2005, p. 16).

Conforme figura acima a origem primordial dos plásticos é o petróleo e apesar de ter uma grande produção, representa apenas 4% do total de petróleo utilizado na indústria.

Mano e Mendes (1999, p. 90) diz que “Os plásticos (“plastics”) industriais mais importantes são todos de origem sintética. Poucos, como o acetato de celulose, são obtidos por modificação química de polímeros naturais.”

Dentre os plásticos mais importante para a indústria temos os que a nomenclatura é mais conhecida, como por exemplo, Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Poli (cloreto de vinila) (PVC), Policarbonato (PC) e Poliuretano (PU). (MANO e MENDES, 1999).

A indústria de embalagem, construção civil, automobilística e tantas outras não teriam a mesma capacidade de produção, qualidade, economia e lucro se não fossem os polímeros sintéticos.

Os plásticos se subdividem em duas categorias os termoplásticos e os termofixos.

- A. **Termoplásticos** – são polímeros que amolecem e deformam através de aquecimento, isto é característico de moléculas poliméricas lineares, por se deformarem através de altas temperaturas se assemelham aos metais, que ganham ductilidade em temperaturas maiores e perdem ao se resfriarem, claro que as temperaturas de trabalho dos metais são muito mais altas que as necessárias para trabalhar os plásticos. Alguns exemplos de termoplásticos são polietileno, policloreto de vinila, poliestireno, polipropileno, poliéster, náilon, policarbonatos, dentre outros. (SHACKEFORD, 2008).
- B. **Termofixos** – São materiais que ao contrário dos termoplásticos não se moldam através de aquecimento e sim se tornam mais rígidos e duros ao sofrerem variação de temperatura e isso não muda ao serem resfriados. Dentre os polímeros termofixos temos o poliuretano que também é termoplástico, poliésteres do tipo termofixo, epóxis, isopreno (borracha natural), silicones, entre outros. (SHACKEFORD, 2008).

2.1.1.1.3 Fibras

Fibras não necessariamente serão polímeros, existe inclusive fibra alimentar, presente geralmente em vegetais e alimentos integrais, sendo estes importantes ao sistema digestório, proporcionando mais saúde.

Mano e Mendes (1999, p. 107), nos diz que

[...] *fibra* é um termo geral que designa um corpo flexível, cilíndrico, pequeno, de reduzida seção transversal e elevada razão entre o comprimento e o diâmetro (superior a 100), podendo ou não ser polimérico. As fibras industriais, naturais e sintéticas, representam uma vasta proporção do total de polímeros consumidos no mundo [...].

Ao tratar de fibras industriais “As fibras são matérias termoplásticas que possuem cadeias poliméricas posicionadas paralelamente em sentido longitudinal. Elas apresentam alta resistência à deformação, mas podem sofrer alongamentos.” (PIATTI e RODRIGUES, 2005, p. 24).

Conforme já dito existem as fibras em alimentos estas assim como as de origem animal são fibras naturais. E assim como ocorreu com outros materiais, tais como as borrachas, as sintéticas foram produzidas utilizando os naturais como modelo. (MANO e MENDES, 1999).

Dentre os diversos materiais composto a partir das fibras temos o PET, o nylon, a seda, a celulose etc.

2.1.2 Polímeros mais Utilizados

- a) **PVC (Policloreto de Vinila)** – O PVC tem seu uso largamente difundido, tendo por exemplo algumas aplicações como: embalagens em geral do tipo: garrafas de água, produtos hospitalares, brinquedos do tipo bolas e boias, estruturas para computadores, móveis etc.

Em sua forma tradicional o PVC possui rigidez considerável, porém de acordo com (MURY, 2016, p. 384)

O PVC pode ser amaciado com plastificantes, compostos que são adicionados aos polímeros em pequenas quantidades para torná-los mais macios e mais flexíveis. [...]. O PVC flexível que contém plastificantes é comum em cortinas de chuveiros, botas de “borracha”, mangueiras de jardim, sacos transparentes intravenosos para transfusões de sangue, couro artificial (“couro envernizado”) e coberturas isolantes e flexíveis de fios elétricos.

Por ser um material de grande fabricação e utilização torna-se também grande parcela dos resíduos descartados todos os dias, necessitando desta forma de atenção para sua reciclagem.

- b) **PET poli (tereftalato de estireno)** – O PET de acordo com ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET) “é classificado quimicamente como um polímero poliéster termoplástico.” O PET é um copolímero, ou seja, formado pela combinação de dois monômeros, e isto pode ser uma vantagem ou um problema, seus monômeros são o etilenoglicol e o ácido tereftálico, e cada um tem sua função. (MURY, 2016). A vantagem do PET se dá por sua resistência aliada a leveza do material, em contrapartida por não ser biodegradável levanta questões ambientais onde percebe-se a necessidade de ser reciclado. O uso mais conhecido é como embalagem de bebidas, como por exemplo garrafas de refrigerante, mas também é utilizado em cerdas de vassoura, filmes fotográficos, raio-X, telhas etc.
- c) **Polipropileno (PP)** – O PP é obtido pelo processo de polimerização no monômero propeno que também é conhecido como propileno, obtido através do craqueamento do derivado do petróleo nafta. (PETRY, 2011). O polipropileno tem uso diversificado por conta de suas propriedades como a resistência mecânica e química, baixo custo, isolamento térmico, fácil processamento, dentre outras. Seu uso pode ser aplicado em cadeiras (utilizadas a beira de piscinas) e outros móveis de área externa, peças automobilísticas, brinquedos, entre outros. (PIATTI e RODRIGUES, 2005).

- d) **Polietileno (PE)** – O PE é um polímero do etileno que possui ligação $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. Etileno é o nome do eteno que é o menor membro da família dos hidrocarbonetos e possui ligação dupla $\text{C}=\text{C}$. Apesar de vir de um único material o mesmo pode apresentar diferentes propriedades de acordo com suas cadeias moleculares, e é utilizado na fabricação de garrafas como as de detergente e amaciante, dentre outros vasilhames e sacos de empacotamento como o plástico bolha. (MURY, 2016). O polietileno se divide em alta e baixa densidade. O polietileno de alta densidade (HDPE), como o nome indica é um material mais denso e, portanto, apresenta maior resistência como propriedade sendo assim as garrafas/vasilhames que necessitam de dureza e durabilidade são composta por ele, desta forma o polietileno de baixa densidade (LDPE) se caracteriza por um material de menor resistência, mas apesar de ser menos denso, possui aplicação no cotidiano da sociedade nas embalagens do setor de hortifruti dos supermercados, por exemplo. (COUTINHO et al., 2003).
- e) **PS (Poliestireno)** – O PS assim como o polipropileno (PP), o cloreto de polivinila (PVC), os polietilenos (de alta densidade; baixa densidade; e baixa densidade linear) e o polietileno tereftalato (PET) é uma resina plástica. (MONTENEGRO e SERFATY, 2003). O poliestireno é mais rígido e portando menos flexível, também se apresenta como outros dois materiais com propriedades um pouco diferente do poliestireno tradicional sendo eles o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno de alto impacto (HIPS).
- i. Poliestireno Expandido - No Brasil conhecemos o EPS popularmente como o Isopor (marca registrada), material de peso muito leve e excelente isolante térmico, utilizado de diversas formas, como por exemplo para proteção durante o transporte de produtos, embalagem térmica para alimentos e bebidas, também é adicionado em lajes de concreto na construção civil.
 - ii. Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) – “A tenacificação da matriz vítrea de poliestireno (PS) pela adição de borracha polibutadiênica, que tem como consequência um aumento de sua resistência ao impacto, origina [...] o Poliestireno de Alto Impacto (HIPS).” (GRASSI e FORTE, 2001, p. 158). Como o nome indica o HIPS é um poliestireno mais resistente ao impacto, utilizado na indústria de itens automobilísticos, embalagens, brinquedos, utensílios domésticos etc.

- iii. Poliestireno Cristal (PS) – Material translúcido e rígido, utilizado na fabricação de capas de cd's e dvd's, descartáveis como copos, pratos e talheres, largamente utilizados em festas, assim como bandejas de ovos e outros.
- f) **Borracha de butadieno estireno (SBR)** – A borracha SBR é um polímero sintético que faz parte do grupo dos elastômeros, no Brasil é um dos principais componentes dos pneus e é disposto na forma de látex, pode ser produzido a partir de quantidades diferentes de estireno, seu maior uso é na indústria de pneumáticos. (BERNUCCI et al., 2006).

O copolímero SBR é umas das borrachas sintéticas mais importantes, antes de passar pelo processo de vulcanização, é um termoplástico e possui pouca resistência mecânica, características essas que alteram após o material ser vulcanizado, tornando-se um termorrígido com propriedades parecidas com a borracha natural, mas com menor elasticidade. (MANO e MENDES, 1999).

2.1.3 Polímeros na Engenharia Civil

Polímero é uma classificação de materiais existentes em diversas áreas de trabalho, na engenharia os materiais mais utilizados são cerâmicos, vidros, metais, madeiras, plásticos e borrachas. Os polímeros são um dos materiais mais usados na construção civil.

(MANO, 1991) classifica os polímeros em clássicos e não clássicos, em outras palavras os naturais e os sintéticos que são os materiais desenvolvidos mais recentemente sem origem natural, muitos dos quais ficaram conhecidos apenas no fim da década de XX. Por sua grande aplicabilidade no atual cenário da vida humana, exige mais atenção e estudos.

Suas propriedades físicas e químicas garantem ao setor da engenharia liberdade de trabalho aliados a resistência e trabalhabilidade, tornando assim a construção civil o segundo maior mercado consumidor de polímeros.

As instalações hidráulicas hoje em dia são feitas basicamente a partir do uso de polímeros, ao contrário do passado em que as tubulações eram de cobre ou ferro galvanizado, hoje para água fria e esgoto usa-se quase que 100% dos casos o PVC, já quando é necessário resistência maior a temperatura nas canalizações de água quente se utiliza CPVC (poli cloreto de vinila clorado), semelhante ao PVC porém com uma concentração maior de cloro para ter maior resistência à temperaturas. O uso destes polímeros na construção civil permite aos profissionais da área baixo custo aliado a qualidade, resistência, durabilidade e facilidade de

instalação e manutenção das obras podendo ser elas tanto em instalações residenciais, comerciais ou industriais.

As instalações elétricas também são feitas utilizando polímeros, estes são empregados ao longo de todo o processo das instalações elétricas. Entre sua aplicação temos os eletrodutos utilizados para passar os fios das instalações, tal material se apresenta na forma de um tubo corrugado flexível composto de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), as caixas para disjuntor, tubos condutores de fios para uso externo das paredes, tomadas e seus espelhos, interruptores e assim por diante todos estes materiais são feitos a partir de polímeros plásticos, o isolamento das fiações elétricas, de telefonia, comunicação e dados também são envoltos por polímeros onde os mais comuns são polietileno reticulado (XLPE) ou policloreto de vinila (PVC). Tais materiais citados assim como outros utilizados no setor elétrico são empregados graça a sua resistência as intempéries, baixa condutividade elétrica, flexibilidade, fácil trabalhabilidade aliados a economia.

Ao se falar de polímeros na construção civil também deve-se pensar em esquadrias já que hoje em dia nem só de madeira ou metal tais objetos são fabricados, o PVC novamente pode ser empregado neste ramo da construção civil. No Brasil estas esquadrias ainda não têm tanta representatividade no mercado, mas espera-se que isso mude nos próximos anos, tendo em vista o menor consumo de energia elétrica para a fabricação destes itens. (HIPOLITO et al., 2013).

Outro uso em material polimérico que já vem sendo utilizado a bastante tempo para substituir a madeira natural é o forro de PVC, este pode ser tradicional branco ou possuir coloração que tem por objetivo dar a impressão de ser realmente madeira, tal material algumas vezes também é utilizado para revestimento ou divisórias em ambientes.

Ao falar de polímeros na construção civil não podemos deixar de citar as tintas e vernizes, utilizados para dar acabamento e proteção nas edificações.

Principais Polímeros utilizados na Construção Civil

- I. **PVC (poli cloreto de vinila)** – Polímero sintético que de acordo o Instituto Brasileiro do PVC (2019) sua composição é “O PVC contém, em peso, 57% de cloro, obtido através da eletrólise do sal marinho (um recurso natural inesgotável) e 43% de eteno, derivado do petróleo.”, material este que tem seu uso difundido já a anos, tanto na construção civil como em outros mercados/ indústrias. Toda via o Instituto Brasileiro do PVC nos lembra que a resina pura do PVC assim que é fabricada não tem utilidade

industrial, pois se trata apenas de um pó branco não processável devido às suas características físicas e químicas, para a mesma chegar a condições de uso é necessário adição de aditivos que dão origem ao composto de PVC (esses aditivos e resinas é que são responsáveis por características como cor, flexibilidade e afins), essa fórmula composta então é inserida em máquinas típicas ao produto que se deseja obter e então a mesma é transformada no item final desejado.

Na construção civil segundo o Instituto Brasileiro do PVC “Sua principal aplicação é na fabricação de tubos e conexões, [...] na qual se destacam por não sofrerem corrosão e terem alta durabilidade, evitando a perda de água, recurso escasso em todo mundo.” Tubulações essas que conduzem água em temperatura ambiente e esgoto, também é utilizado como isolantes em cabos e fios elétricos, e ainda vem substituindo metais e madeiras em portas, janelas, forros, pisos e até por vezes em paredes. Isto faz com que sua produção corresponda a 64% do PVC produzido no Brasil de acordo com Piatti e Rodrigues (2005, p. 39).

De acordo com o Instituto Brasileiro de PVC ([sd]) suas principais características são:

- Atóxico, inerte e seguro;
- Leve ($1,4 \text{ g/cm}^3$), o que facilita seu manuseio e aplicação;
- Resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores;
- Resistente à maioria dos reagentes químicos;
- Bom isolante térmico, elétrico e acústico;
- Sólido e resistente a choques;
- Impermeável a gases e líquidos;
- Resistente às intempéries (sol, chuva, vento e maresia);
- Durável: sua vida útil em construções é superior a 50 anos;
- Não propaga chamas: é auto extingüível;
- Versátil e ambientalmente correto;
- 100% Reciclável;
- Fabricado com baixo consumo de energia.

- II. Poliestireno Expandido (EPS)** - Sendo um material plástico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, na cor branca, reciclável, não poluente, fisicamente estável, é sem dúvida um material isolante da melhor qualidade. (TESSARI, 2006, p. 28). Popularmente chamado pela marca registrada ISOPOR®, na construção civil é comumente utilizado para substituir as lajotas cerâmicas em lajes, através de placas que costumam medir e ocupar o espaço correspondente de três lajotas comum e serem muito mais leves, proporcionando a construção menor peso próprio, além de isolamento térmico maior. Por serem comercializados em placas geram pouquíssimo desperdício e sujeira nas

obras em que são instaladas. Também são utilizadas já na fase de acabamento como forro, em obras comerciais.

III. Polietileno de Alta densidade (PEAD) – O PEAD é o polietileno com maior densidade e, portanto, maior resistência e qualidade, ele tem diversos usos e na construção civil o mais conhecido são os tubos corrugados para passagem de fiação elétrica, dados e comunicação. O mesmo é produzido por extrusão e sopro ou injeção. Através da moldagem por injeção este origina baldes, bandejas utilizadas para pintura, assentos sanitários, brinquedos, dentre outros. Por sopro o mesmo origina bombonas e tanques de volume grande que devem possuir resistência a queda. Por extrusão são fabricados revestimentos e isolamento para fiação metálica, sacos de congelamento, tubos de gás e saneamento, dutos de mineração e dragagem, entre outras aplicações. (COUTINHO et al., 2003).

2.2 RECICLAGEM

O Ministério do Meio Ambiente ([sd]) define reciclagem como:

A reciclagem é um conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, reintroduzindo-os no ciclo produtivo. É uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos (lixo) mais vantajosas, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social: ela reduz o consumo de recursos naturais, poupa energia e água, diminui o volume de lixo e dá emprego a milhares de pessoas.

Quando ouvimos a palavra reciclagem logo associamos a dar nova destinação ou uso a algum tipo de material, mas nem sempre para que isso aconteça é necessário que o material passe por algum tipo de processamento ou transformação, ao guardar as embalagens de alimentos que consumimos, para uso posterior já estamos de certa forma reciclando, já que não estamos descartando aquele item simplesmente por ter cumprido sua finalidade inicial.

Por meio da preocupação ambiental que o lixo trouxe a sociedade surgiu o que se chamou de política de sustentabilidade dos 3 Rs, que visa reutilizar, reduzir e reciclar. Pelas palavras de (ALVES, 2016) “são ações práticas que visam minimizar o desperdício de materiais e produtos, além de poupar a natureza da extração inesgotável de recursos.”

I. **REUTILIZAR** - De acordo com Ministério do Meio Ambiente ([sd]) “Reutilizar é, por exemplo, usar novamente as embalagens. Exemplo: os potes plásticos de sorvetes servem para guardar alimentos ou outros materiais.” A reutilização visa dar nova

destinação a algum item sem a necessidade de passar por um processo de transformação. Esta ação acarreta em economia doméstica há quem pratica, pois ao invés de comprar um pote como é o exemplo ou algo do gênero reutilizamos um objeto que temos disponível, economizando o orçamento individual e os recursos naturais que são necessários para a produção de um bem igual. A ideia de reutilização não deve ficar presa apenas a embalagens, roupas, móveis, utensílios em geral, as vezes as coisas perdem utilidade para seu dono inicial mas isso não significa que deva ir para o lixo e sim para a doação, já que o que não tem utilidade para um pode ter sim para outro.

- II. **RECICLAR** – O ato de reciclar não deve ser visto como uma obrigação e sim como uma atitude natural do cotidiano, e isto deveria começar em casa através da separação dos resíduos e destinação para coleta seletiva, esta atitude evitaria que muito do lixo reciclável se misturasse aos não recicláveis e perdesse a capacidade de voltar a indústria para um novo ciclo de uso. CASTILLIONI, 2016 diz que “A reciclagem envolve o processamento de um material com sua transformação física ou química, seja para sua reutilização sob a forma original ou como matéria-prima para produção de novos materiais com finalidades diversas.” Temos como exemplo atual na engenharia a pavimentação feita a partir da reciclagem de pneus, e na indústria temos o plástico que é triturado e destinado novamente a fabricação de itens plásticos como as garrafas PET, as latinhas metálicas que também são trituradas e misturadas na fabricação de novas latas etc.
- III. **REDUZIR** – Este passo da política da sustentabilidade é primordial para a continuação da vida no planeta, pois se não reduzimos a quantidade de insumos consumidos logo eles cessarão. Para reduzir deve-se ter consciência de comprar apenas o que é necessário evitando desperdiçar bens e serviços, esta ação gera economia ambiental e econômica. Dentre os exemplos de redução temos o uso racional de água e energia elétrica assim como combustíveis e todos os demais insumos utilizados no dia a dia. (CASTILLIONI, 2016).

A criatividade é primordial para os três processos e por consequência para a sustentabilidade, deve-se sempre buscar e criar alternativas de reuso ou destino para os resíduos gerados.

2.2.1 Resíduos

Através da evolução industrial e econômica do mundo os processos passaram a ser mecanizados, a produção passou a ser feita em massa e a partir daí a quantidade de resíduos descartados começaram a aumentar e por isso começou a ser um problema para a sociedade inserida nestas transformações.

Com o crescimento populacional vem junto também o aumento da quantidade de resíduos gerada. No Brasil os resíduos sólidos urbanos no ano de 2013 nos seus 5.570 municípios foi de 76.387.200 toneladas esse valor representa um aumento de 4,1% referente ao ano anterior, enquanto o índice de crescimento populacional no mesmo período foi de 3,7%, trazendo assim uma grande preocupação com a situação do planeta. (ZANIN E MANCINI, 2015).

Os resíduos são segregados em sólidos, líquidos e gasosos; estes dois últimos podem ser exemplificados como os efluentes sanitários e os gases causados pela queima do combustível dos automóveis, do tipo chamado efeito estufa. Os resíduos sólidos são os que geram maior volume ao ser descartados e como o nome indica são sólidos e, portanto, palpáveis, estes formam grande quantidade de lixo se não forem destinados a reciclagem.

Por conta do grande problema que estes resíduos geram em 2010 foi instituída uma lei denominada Política Nacional dos Resíduos Sólidos (LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente “[...] (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.”

A lei da política nacional dos resíduos sólidos trata entre outros, sobre a responsabilidade dos resíduos gerados, a proibição dos locais aos quais o descarte não pode ser efetuado, além de incentivar a redução da geração dele, assim como também introduz a logística reversa na realidade brasileira.

Segundo a PNRS instituída pela Lei nº 12.305/2010, capítulo II art. 3º a definição de logística reversa é a seguinte:

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10.004/2004 como:

3.1 resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, p. 01, 2004)

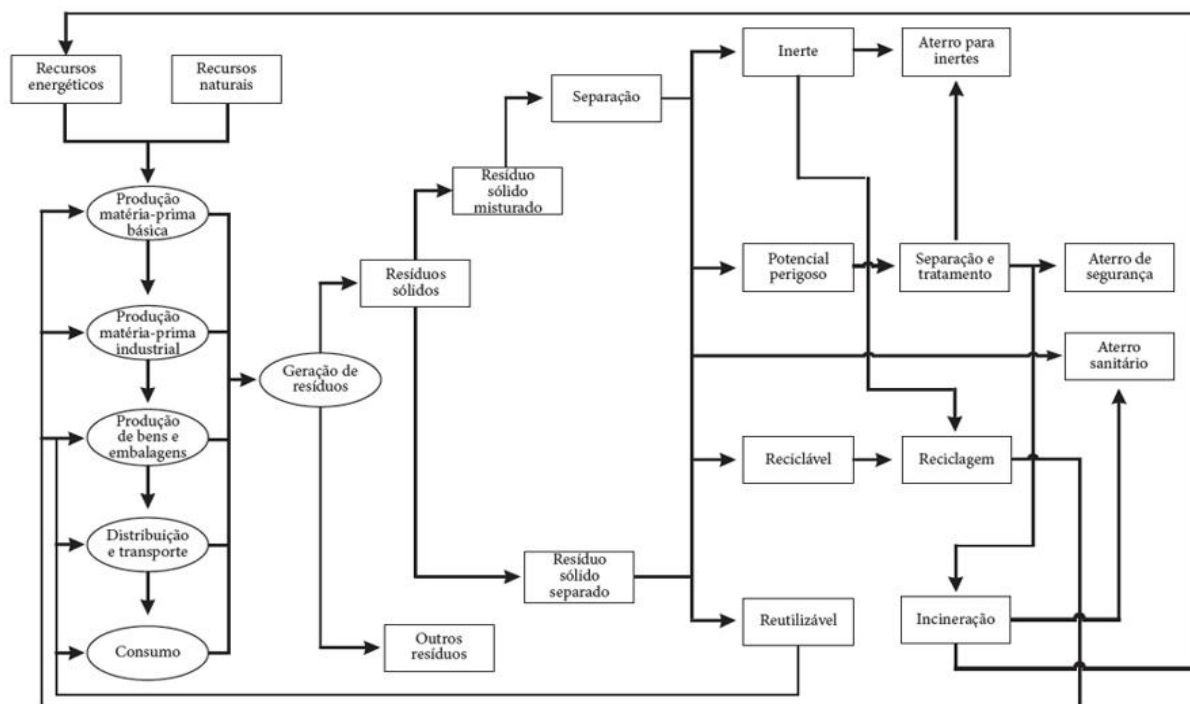
De acordo com sua definição os resíduos sólidos correspondem a grande parcela de todos os resíduos provenientes das ações humanas, estes são classificados conforme sua fonte geradora e o risco que pode causar ao meio ambiente. Desta forma são classificados em perigosos, não perigosos, não inertes e inertes. (NBR 10.004/2004).

Dentre os resíduos classificados temos os resíduos sólidos urbanos que são aqueles provenientes de atividades humanas em cidades/municípios, estes englobam resíduos de origem doméstica, comercial, hospitalar, indústrias, construção civil, agrícola e órgãos públicos e são classificados como não perigosos. (CASTILHOS JR., 2003).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil “O montante coletado em 2017 foi de 71,6 milhões de toneladas, registrando um índice de cobertura de coleta de 91,2% para o país, o que evidencia que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio.” (ABRELPE, 2017).

Visando uma solução para a sustentabilidade do planeta em meio ao aumento desenfreado de resíduos, criou-se um modelo de gerenciamento de resíduos ilustrado na figura 3.

Figura 3- Modelo de gerenciamento de resíduos visando maior sustentabilidade.



Fonte: Zanin e Mancini (2015, p. 20).

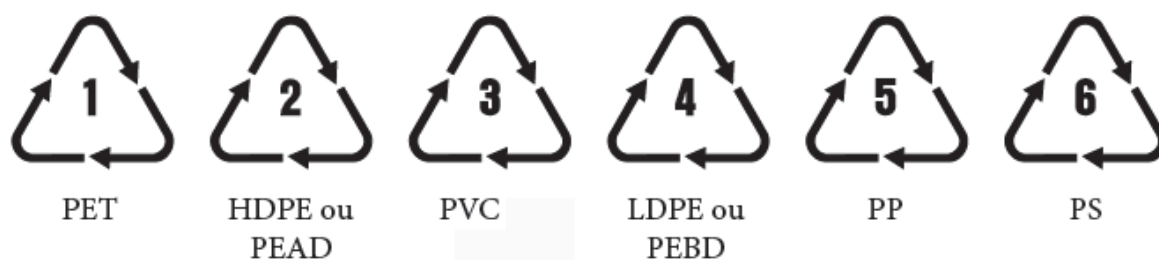
Esse modelo de gerenciamento ilustrado tem por finalidade mostrar viabilidade de diminuição de resíduos gerados a partir de sua separação, mostrando que todo material que tem condições de ser reutilizado deve voltar ao processo de produção e então retornar como algum bem de consumo.

2.2.1.1 Resíduos Plásticos

Os plásticos por serem uma gama de materiais largamente utilizadas geram um volume grande de resíduos. Tão grande a necessidade de reciclar os plásticos que em geral são embalagens, devido ao seu grande volume produzido e que rapidamente se transforma em resíduo, foi desenvolvido a norma técnica NBR 13230/2008 que é intitulada como Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Através desta norma são classificados os resíduos de acordo com o material utilizado na sua fabricação, visando a posterior reciclagem.

A figura 4 ilustra a simbologia utilizada na norma citada acima a fim separar os resíduos plásticos.

Figura 4 - Símbolos, números e siglas utilizados para diferenciar as resinas poliméricas mais utilizadas.



Fonte: Zanin e Mancini (2015, p. 38).

Essa classificação consiste nos tipos de plásticos mais utilizados, os separando, pois o material misturado dificulta a reciclagem e nem todos os tipos de plástico tem o mesmo processo de reciclagem. O número inserido no símbolo de reciclagem tem a função de identificar o tipo de polímero utilizado na fabricação do objeto em questão a fim de facilitar a separação do resíduo para a posterior reciclagem. Simplesmente por estar sem a simbologia correta o material pode deixar de ser reciclado, causando um acúmulo desnecessário de resíduos no país.

Quando a resina polimérica utilizada for diferente dessas seis citadas na figura deve representar através do símbolo das três setas com o número 7 dentro que representa “outros”, podendo ou não conter embaixo a sigla do material utilizado para a fabricação daquele item. (COLTRO et al., 2008)

De acordo com Coltro e Duarte (2013) existem duas razões pelas quais se tornam mais difíceis o processo de reciclagem através de logística reversa no nosso país, sendo eles, “[...] falta de informação no mercado brasileiro sobre o tipo de resina que compõe a embalagem plástica, ou seja, ausência do símbolo de identificação; e falta informação sobre o símbolo correto de identificação do material da embalagem.”

No Brasil o índice de reciclagem de plásticos é quase tão grande quanto em países de primeiro mundo, toda via a cultura local acarreta em alguns problemas que acabam gerando necessidade de mais alguns passos para a reciclagem deste material. Dentre os problemas locais, temos a falta de separação do lixo o que resulta em resíduos sujos (algo que deixa o material com menor qualidade) e que precisam ser lavados para o processo de reciclagem. Por ser um país de extensa área continental gera também a necessidade de transporte dos resíduos até um centro específico e por vezes isso se torna um empecilho pela grande quantidade volumétrica e grandes distâncias até os pontos de coleta. Temos também o preconceito com itens feitos a partir de material reciclado onde sua aceitação só acontece se o

mesmo apresentar menor custo que o mesmo item feito a partir de matéria prima virgem. (ZANIN e MANCINI, 2015).

Outro problema local é que muitas vezes falta resíduos destinados para as indústrias, já que muito é gerado, mas pouco recolhido para tal fim ou as vezes são destinados para pequenas empresas recicladoras o que faz com que a linha de produção de itens a partir de materiais reciclados seja encerrada. (ZANIN e MANCINI, 2015).

Tais fatores revelam que a sustentabilidade ainda possui menor peso que o valor econômico das atividades industriais e o retorno monetário gerados por elas. Esse pensamento a cada dia que passa está mudando, mas ainda é uma realidade no setor industrial.

A indústria de embalagem é uma das maiores consumidoras de plástico e por este fator também é uma grande geradora de resíduos. De acordo com Coltro e Duarte (2013, p. 128) “Os polímeros mais utilizados em embalagens plásticas são o poli (tereftalato de etileno) – PET, polipropileno – PP, polietileno de baixa densidade - PEBD e polietileno de alta densidade – PEAD [...]”

Para exemplificar a possibilidade de reciclagem de resinas poliméricas a ilustração a seguir mostra as resinas na sua fabricação original e no que podem ser aplicadas quando recicladas.

Figura 5 - Exemplos de aplicação e de reciclagem das resinas plásticas.

Resina	Aplicação	Reciclagem
 PET	Garrafas para refrigerante, água, óleo comestível, molho para salada, anti-séptico bucal, xampu	Fibra para carpete, tecido, vassoura, embalagem de produtos de limpeza, acessórios diversos
 PEAD	Garrafas para iogurte, suco, leite, produtos de limpeza, potes para sorvete, frascos para xampu	Frascos para produtos de limpeza, óleo para motor, tubulação de esgoto, conduíte
 PVC	Filmes estiráveis, berços para biscoitos, frascos para anti-séptico bucal, xampu, produtos de higiene pessoal, blister	Mangueira para jardim, tubulação de esgoto, cones de tráfego, cabos
 PEBD	Filme encolhível, embalagem flexível para leite, iogurte, saquinhos de compras, frascos <i>squeezable</i>	Envelopes, filmes, sacos, sacos para lixo, tubulação para irrigação
 PP	Potes para margarina, sorvete, tampas, rótulos, copos descartáveis, embalagem para biscoitos, xampu	Caixas e cabos para bateria de carro, vassouras, escovas, funil para óleo, caixas, bandejas
 PS	Copos descartáveis, pratos descartáveis, pote para iogurte, bandejas, embalagem para ovos, acolchoamento	Placas para isolamento térmico, acessórios para escritório, bandejas
 OUTROS	Embalagem multicamada para biscoitos e salgadinhos, mamadeiras, CD, DVD, utilidades domésticas	Madeira plástica, reciclagem energética

Fonte: (COLTRO et al., 2008, p. 121).

A reciclagem do plástico pode ser efetuada de quatro maneiras, sendo elas, re-extrusão, mecânica, química e recuperação energética. O material obtido a partir de reciclagem mecânica deve ser observado quanto a sua qualidade. (COLTRO e DUARTE, 2013).

2.2.2 Reciclagem na construção Civil

Na construção civil a sustentabilidade é uma preocupação (principalmente pois ela é uma grande consumidora de materiais extraídos da natureza) e é utilizada como marketing para diferenciar os empreendimentos, sendo muitas vezes o fator que faz a conquista do cliente possível.

Os materiais utilizados como forma de reciclagem na construção civil, podem ser de origem do próprio setor ou de origem variada.

Resíduos (entulhos de obras) podem ser utilizados para “substituir em grande parte os agregados naturais empregados na produção de concreto, blocos e base de pavimentação”. (PAIVA e RIBEIRO, 2005).

Diversas são as formas de elaborar e construir um empreendimento para considerá-lo sustentável. Podemos citar algumas a seguir, sendo elas:

- 1) Pode-se usar concreto com material reciclado que pode ser aplicado em edifícios, residências, calçadas etc.
- 2) Pode-se usar energia limpa para o empreendimento, como energia fotovoltaica.
- 3) A pavimentação é usual a reciclagem de pneus e a reciclagem in loco de pavimento.

2.3 PAVIMENTAÇÃO/ PAVIMENTO

De acordo com (BERNUCCI et al., 2006, p. 9) a definição de pavimento é:

Uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com o conforto, economia e segurança.

Tradicionalmente os pavimentos são divididos e diferenciados em três tipos sendo eles flexível, semirrígido e rígido de acordo com Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006).

A construção de qualquer um dos tipos de pavimentos exige alto investimento financeiro, todavia o valor do investimento pode ser justificado, se pensado nos benefícios oriundos de uma estrada pavimentada, de acordo com (PINTO e PREUSSLER, 2002, p. 3 e 4) são eles:

- ✓ redução do custo de transporte;
- ✓ diminuição do tempo de viagem;
- ✓ diminuição do consumo de combustível;
- ✓ aumento do conforto e da segurança;
- ✓ diminuição das despesas de conservação;
- ✓ redução do índice de acidentes.

Com o aumento do fluxo e a necessidade de maior rapidez no trânsito essas melhorias provenientes de estradas pavimentadas são cruciais para o funcionamento do sistema atual de trânsito, principalmente no Brasil onde o modo de transporte mais utilizado para transportar cargas e passageiros é o rodoviário.

2.3.1 Pavimento Flexível

Segundo (SOUZA, 1980, p. 9) “**Pavimentos flexíveis** – são os constituídos por camadas que não trabalham a tração. Exemplo típico, citam-se os pavimentos constituídos por um revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares”.

Este é o tipo mais usado na nossa região podendo citar a BR 101 presente no nosso dia a dia assim como a maioria das rodovias do país. Também pode ser visto como de maior complexibilidade pelas suas camadas.

As camadas constituintes dos pavimentos flexíveis são separadas em cinco itens, (SOUZA, 1980, p. 9,11) as define da seguinte forma:

Revestimento – camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições de rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança e transmitir de forma atenuada, as ações do tráfego as camadas inferiores.

Base – camada destinada a resistir às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente ao subleito.

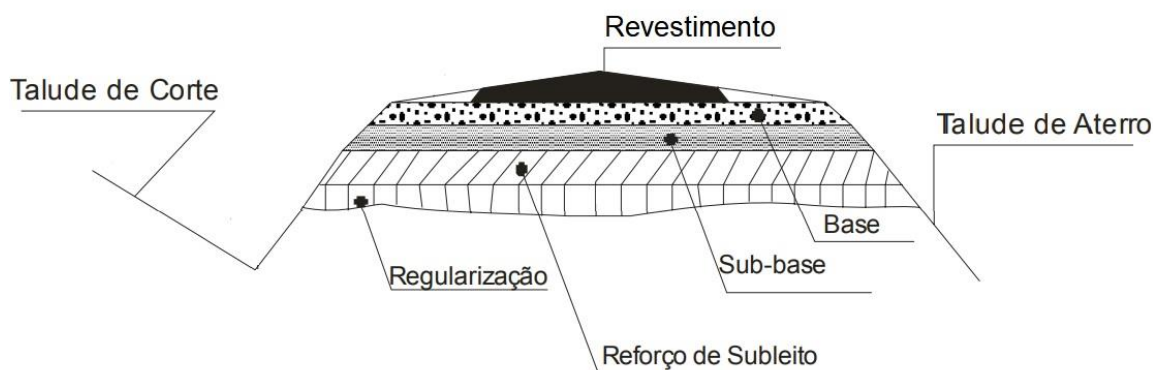
Sub-base – camada complementar à base, com a mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.

Reforço do subleito – camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executada com o objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base.

Regularização do subleito – camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada para receber o pavimento: a regularização não constitui, propriamente, uma camada de pavimento, pois tem espessura variável podendo ser nula em um ou mais pontos da seção transversal.

O pavimento flexível pode ser ilustrado através do corte representado na figura 6.

Figura 6 - Esquema transversal pavimento.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p. 106).

O dimensionamento do pavimento e de suas camadas constituintes depende de uma série de fatores técnicos e econômicos, como por exemplo, o solo existente onde a construção será realizada, e também do método de dimensionamento que o profissional responsável decidir utilizar, entretanto podemos afirmar que o volume de tráfego é sempre um fator de ponderação imprescindível para determinação da pavimentação.

2.3.2 Pavimento Rígido

Os pavimentos rígidos de acordo com (SOUZA, 1980, p. 9) são classificados da seguinte forma “são os formados, predominantemente, por camadas que trabalham sensivelmente à tração. Exemplo típico são os pavimentos de concreto de cimento”

Enquanto o pavimento flexível é conhecido pela sua necessidade de várias camadas para sua formação o pavimento rígido pode ser considerado mais simples no quesito quantidade de passos pelo fato de necessitar apenas de dois desses itens: a placa de concreto e uma sub-base preparada para recebê-lo.

O pavimento rígido é composto de acordo com (SOUZA, 1980, p. 11) por:

- placa de concreto de cimento – camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base.
- sub-base – camada construída algumas vezes, com o objetivo de evitar o bombeamento dos solos do subleito.

Apesar de não ser o método de maior uso na região, recentemente em Imbituba – SC, a recuperação da Rodovia Cônego Itamar Luiz da Costa que liga a BR 101 ao porto de Imbituba foi feita através de pavimento rígido, este trajeto lida todos os dias com grande

quantidade de caminhões indo e vindo do porto com grandes quantidades das mais diversas cargas e portanto necessita ser resistente aos esforços solicitados pelos mesmos.

2.3.3 Pavimento Semi-rígido

Os pavimentos semi-rígidos não são tão popularmente utilizados quanto os outros dois existentes, e de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p. 95) são definidos como “[...] caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica”

2.3.4 Camadas Constituintes da Pavimentação

Para a pavimentação de uma rodovia ser bem efetuada algumas camadas são necessárias e possuem definições que as distinguem entre si.

2.3.4.1 Regularização do subleito

A camada de regularização conforme denominada é executada de modo a alinhar a superfície que servirá de base para a pavimentação. A mesma pode ser produzida com solo obtido através de corte de taludes que se encontrem ao longo de onde a rodovia irá ser executada ou se não for suficiente deverá ser providenciado de outro local. Esta camada não tem uma cota contínua justamente por ser responsável por regularizar o terreno. Para garantir o sucesso ao fim da obra a correta compactação deve ser executada desde a regularização, tendo em vista que as demais camadas terão cotas contínuas. Quando existirem trechos com curvas a inclinação projetada deve ser respeitada também na regularização. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

2.3.4.2 Reforço do Subleito

A necessidade de reforço no subleito indica normalmente que o solo natural possui pouca qualidade, ou insuficiência do mesmo para o tráfego do qual será exposto. A fim de tornar a construção mais econômica reforça-se o subleito com material que visa ter as melhores características físicas e resistência necessárias para o pavimento a ser executado, deste modo a camada de sub-base que virá acima desta, deverá ter menor espessura

proporcionando economia. Esta camada possui cota constante no eixo longitudinal e transversal e assim como a regularização deve respeitar as inclinações necessária ao longo da via a ser executada. Em geral são utilizados materiais argilosos, este reforço resulta em um pavimento de maior espessura. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

2.3.4.3 Sub-Base

A sub-base localiza-se entre as camadas de reforço do sub-leito e a base. Pode ser produzida a partir de uma ou mais camadas de materiais, dos quais devem ser compactados. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

Os materiais utilizados para sub-base podem ter origem natural através de materiais granulométricos como solos, britas, saibros entre outros, ou podem ser beneficiadas com aditivos, tais como por exemplo, solo-cimento, solo-cal, solo-betume, entre outras. Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006).

A sub-base responde como camada estrutural e deve ter ótima capacidade de drenagem, ser capaz de suportar as camadas e esforços que estarão acima da mesma, assim como reduzir as variações volumétricas. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

2.3.4.4 Base

A base estará localizada imediatamente abaixo do revestimento, possui função estrutural, onde deve promover resistência e rigidez ao pavimento a fim de suportar todas as solicitações que o tráfego de veículos trará ao local. A base também é a responsável por dissipar as cargas atuantes nas demais camadas de modo a não danificar ou a minimizar os danos causados a cada veículo que trafegará pelo local. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

Os materiais utilizados na base devem ser rigorosamente escolhidos e em geral são compostos de misturas de materiais granulométricos e aglomerantes tais como cimento, cal, betume, cinzas, ou a mistura destes. A escolha do material de base também dependerá do revestimento que será executado acima dela. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

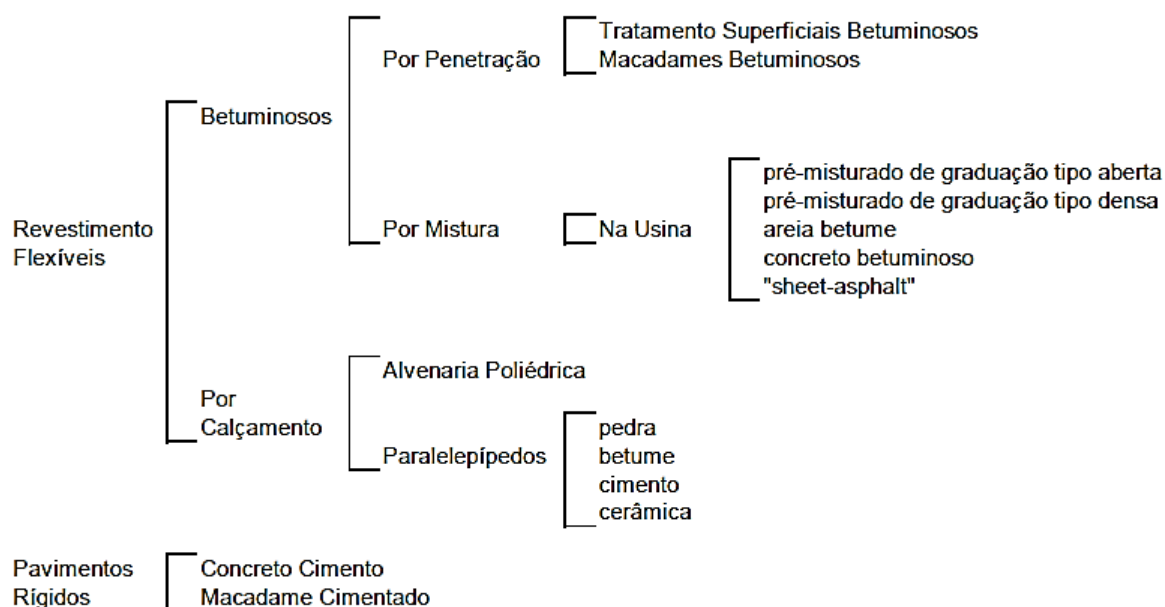
2.3.4.5 Revestimento

Como o próprio nome diz, esta camada reveste todas as demais, desta forma é o acabamento da pavimentação.

A camada de revestimento se localiza acima da base e deve ser composta pela adição de materiais betuminosos e agregados, esta deve possuir certa flexibilidade, impermeabilizar o pavimento, resistir a abrasão e as cargas oriundas do tráfego de veículos, resistir as condições de tempo e clima onde forem inseridas, além de proporcionar maior conforto para o trânsito dos veículos. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

Os revestimentos podem ser separados de acordo com o esquema mostrado na figura 7.

Figura 7 - Classificação dos revestimentos.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p. 98).

Os materiais betuminosos que fazem parte do revestimento podem ser definidos de acordo com Souza (1980, p.145), como: “[...], associações de hidrocarbonetos solúveis em bissulfeto de carbono e que têm propriedades de aderência aos agregados.”

Existem diversos tipos de revestimentos que dependem dos materiais utilizados na sua preparação, dentre os materiais betuminosos existem duas grandes categorias sendo elas os asfaltos que se originam a partir do petróleo e os alcatrões que são produzidos a partir do carvão. (SOUZA, 1980).

As misturas asfálticas podem ser misturas usinadas, usinadas *in situ* e recicladas. (BERNUCCI et al., 2006).

Os revestimentos podem ser obtidos através de misturas que geralmente são a quente, produzidas em usinas próprias para tal como por exemplo, o concreto asfáltico. As misturas a quente são mais indicadas para rodovias com tráfego de moderado a elevado. As

misturas usinadas também podem ser preparadas a frio através de emulsões asfálticas. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

As misturas usinadas compostas de agregados e ligantes são preparadas em usinas próprias para tal fabricação e transportadas até o local de lançamento, onde é feito a partir de um caminhão e equipamento adequado para este trabalho, chamado de vibroacabadora, após lançada deve ser compactada conforme projetada anteriormente para atingir a resistência e estabilidade necessária ao pavimento. (BERNUCCI et al., 2006).

As misturas usinadas asfálticas a frio são “Os pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente.” (BERNUCCI et al., 2006, p. 183).

Os pré-misturados a frio devem ser empregados em áreas de tráfego leve, ou como camada intermediária e podem ser densos (possuindo baixo índice de vazios) ou aberto (com grande índice de vazios). (BERNUCCI et al., 2006).

As misturas a quente se diferenciam conforme a granulometria, localidade onde serão empregadas e particularidades mecânicas que serão exigidas das mesmas, no Brasil um dos mais utilizados é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), originário da fusão de agregados de diversos tamanhos e cimentício asfáltico, onde tanto um quanto outro devem ser aquecidos de acordo com a viscosidade-temperatura do ligante. (BERNUCCI et al., 2006).

As misturas a quente podem se separar conforme granulometria dos agregados, existem três grupos que mais se destacam, são eles, os de graduação **densa**; graduação **aberta**; e graduação **descontínua**.

A diferenciação granulométrica citada acima é ilustrada na figura 8.

Figura 8 - Composição granulométrica das misturas a quente.



Fonte: (BERNUCCI et al., 2006, p. 160).

A graduação aberta apresenta grãos predominantemente do mesmo tamanho, formando numeroso vazios ao longo da camada, desta forma a camada tem maior potencial de drenagem, levando a água até o interior da mistura, como exemplo de uso temos a mistura asfáltica drenante que no Brasil é conhecida como camada porosa de atrito (CPA). Seguindo temos a graduação descontínua, nesta temos grãos predominantemente maiores que são completados por outros de granulometria média e finalizados com material fino, tornando a camada mais resistente a deformação, como exemplo deste seguimento podemos citar: mistura sem agregados de certa graduação (gap-graded) e matriz pétrea asfáltica (SMA). No item (c) da figura os grãos são bem diversificados de forma a acarretar um menor índice de vazios, exemplo de uso deste tipo é o concreto asfáltico (CA). (BERNUCCI et al., 2006).

As misturas também podem ser executadas *in situ* através de usinas móveis, geralmente utilizadas para recuperação do pavimento, toda via pode ser utilizada em misturas de agregados-ligantes. Tal material é caracteristicamente fluido, tendo como exemplo o micro revestimento e a lama asfáltica. O micro revestimento asfáltico se trata de uma técnica evoluída da lama asfáltica, onde emprega-se emulsões modificadas com polímeros para obter maior vida útil, este é uma mistura a frio, seu uso é empregado geralmente para reparar e revestir pavimentos já danificados, assim como capa selante e capa intermediária para reforço estrutural. A lama asfáltica é constituída basicamente da junção de agregados minerais, emulsão asfáltica, material de enchimento e água, em consistência fluida e homogênea que deverão ser aplicadas no local a frio, é aplicada principalmente para manutenção dos pavimentos. (BERNUCCI et al., 2006).

Conforme a figura 7 apresentou os revestimentos a partir de materiais betuminosos podem ser obtidos por misturas e por penetração. O uso por penetração se subdivide em dois tipos, sendo eles o tratamento superficial e o macadame betuminoso.

O tratamento superficial são aplicações alternadas de ligante asfáltico e agregados minerais, podem ser categorizados em simples, duplo ou triplo de acordo com a relação aplicada de agregado e ligante. Também podem ser classificados conforme a maneira que penetram, podendo então ser direta ou invertida. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

O tratamento superficial invertido pode ser definido de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p. 98). “São os revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida(s) de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas.” Este é o mais utilizado durante a execução de revestimentos superficiais por penetração.

Já o tratamento superficial direto são revestimentos executados de forma a espalhar e compactar as camadas de agregados de acordo com a granulometria correta, é feito em cada camada a compressibilidade e na sequência se faz aplicação de material betuminoso e por fim agregado miúdo, exemplo deste tipo de revestimento o macadame betuminoso. Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006).

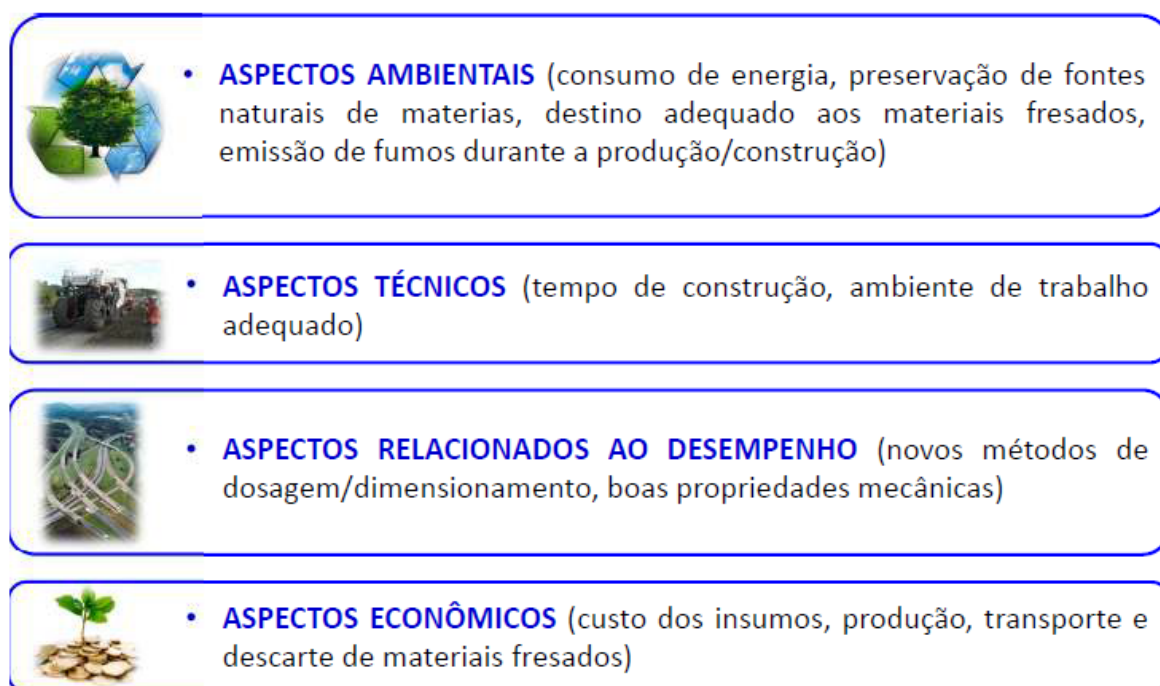
Macadame betuminoso pode ser utilizado como revestimento e como base, porém na primeira forma de uso deve ser aplicado uma capa selante. (PINTO e PREUSSLER, 2002).

O revestimento utilizado para pavimentos rígidos é menos complexo e é composto “[...] por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensado. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento.” Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p.100).

2.3.4.5.1 *Revestimento reciclado*

A reciclagem é fundamental para um ambiente sustentável atualmente e possui diversas vantagens, tais vantagens são ilustradas na figura 9.

Figura 9 - Vantagens do pavimento reciclado.



Fonte: (VASCONCELOS, 2016).

Conforme apresentado na figura diversos são os motivos para utilizar pavimento reciclado, fator de suma importância no cenário atual.

De acordo com Santos e Demuelenaere (2018) “O pavimento tem, de certa forma, um período de vida útil que pode ser diminuído devido a fatores naturais como as intempéries físicas, químicas e biológicas, assim como a degradação proveniente de cargas excessivas, [...]”

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (BRASIL, 2006, p.175), a reciclagem de pavimentos traz os seguintes benefícios:

- “a) conservação de agregados, de ligantes e de energia;
- b) preservação do meio ambiente; e
- c) restauração das condições geométricas existentes.”

Através da reciclagem de pavimentos assim como nas demais modalidades de reciclagem, diminuimos o uso de material natural e energia utilizada tanto para retirada do material como para o transporte do mesmo até seu ponto de uso, fatores esses fundamentais para a sustentabilidade ambiental e continuidade dos recursos através dos tempos.

Reutilizando ligantes asfálticos gera economia de recursos para asfalto novo, além de ter o benefício sustentável de ser reciclado, obtém-se também redução de valores tendo em vista que em um revestimento reciclado usa-se em média 50% a menos de asfalto que outro feito a partir de matéria prima pura. (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DO DNIT, BRASIL, 2006).

A reciclagem de pavimento acontece quando é necessário fazer a recuperação de um pavimento existente que se encontra deteriorado, este processo pode ser feito através do corte parcial ou total do pavimento danificado através de um equipamento chamado fresadora, desta forma o material retirado pode ser reciclado através da mistura de tal material na produção de nova camada utilizada na recuperação de vias. Este procedimento acontece através da adição de agente rejuvenescedores, espuma de asfalto, cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou EAP novos, no material que foi fresado. (BERNUCCI et al., 2006).

De acordo com (BERNUCCI et al., 2006, p. 188) “Fresagem é a operação de corte, por uso de máquinas especiais, de parte ou de todo o revestimento asfáltico existente em um trecho de via, ou até englobando outra camada do pavimento, [...]” este procedimento pode ser ilustrado conforme figura 10.

Figura 10 - Serviço de fresagem em uma rodovia.

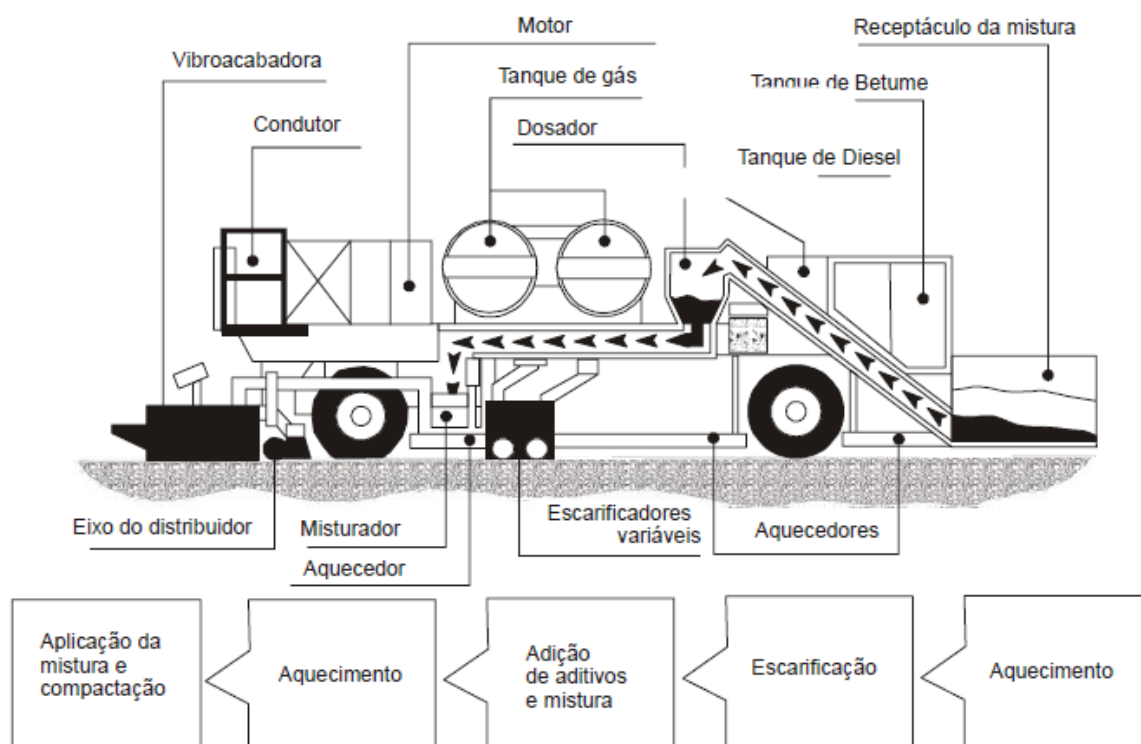


Fonte: (BERNUCCI et al., 2006, p. 190).

A reciclagem de pavimento pode ser feita a quente com concreto asfáltico CAP, onde é misturado o material fresado aquecido com agente rejuvenescedor. Pode ser feito também a frio através da mistura do material fresado em temperatura ambiente, junto de agente rejuvenescedor emulsionado (ARE) e emulsão asfáltica (EAP). Pode ser realizada de forma usinada ou *in situ*. (BERNUCCI et al., 2006).

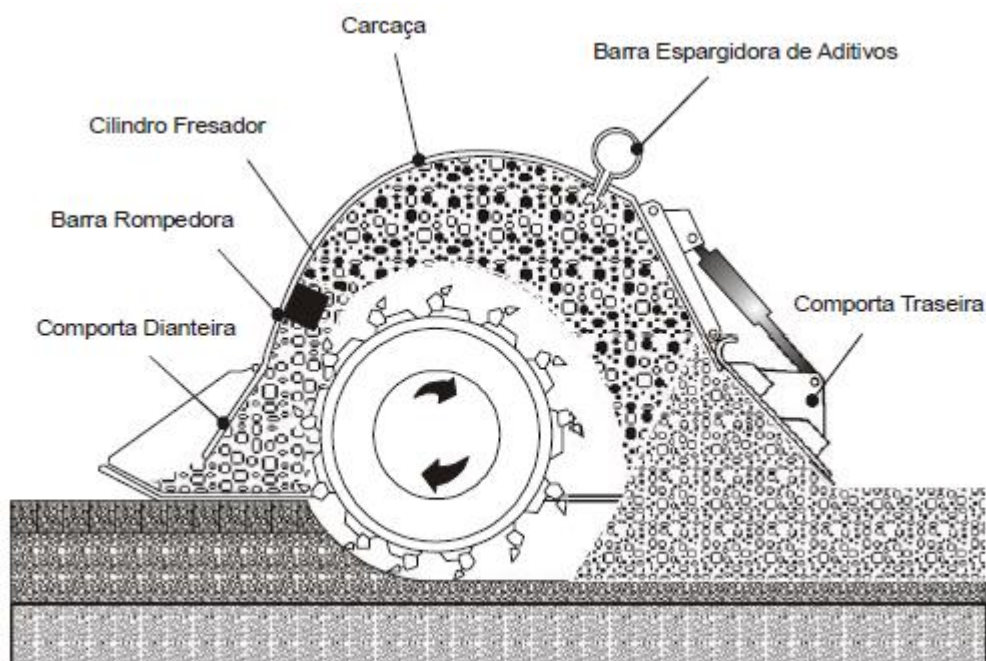
Os maquinários utilizados para reciclagem de pavimento a quente e a frio *in situ* são ilustrados nas figuras 11 e 12 respectivamente.

Figura 11 - Esquema maquinário para reciclagem a quente in situ.



Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (BRASIL, 2006, p. 183).

Figura 12 - Esquema maquinário para reciclagem a frio in situ.



Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (BRASIL, 2006, p. 200).

Com o uso de reciclagem para recuperar os asfaltos tem-se a liberdade de executar o serviço apenas na parte danificada assim evita a construção de diversas camadas de recuperação uma acima da outra aumentando a sua espessura e carga, fatores esses que podem

influenciar na capacidade estrutural de vias e pontes. (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DO DNIT, BRASIL, 2006).

Assim como os demais tipos de pavimentos, o asfalto reciclado deve seguir suas respectivas normativas para ser executado corretamente. Para o asfalto usinado a quente deve-se seguir a normativa do DNIT 033/2005-ES, especifica como o serviço deve ser executado, desde a temperatura dos materiais utilizados até a forma que devem ser transportados e espalhados no local de destino. Para concreto asfáltico reciclado a quente no local deve seguir a norma DNIT 034/2005-ES. (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DO DNIT, BRASIL, 2006).

2.3.4.5.2 Revestimento asfáltico modificado por polímero

Os revestimentos tradicionais são capazes de satisfazer e desempenhar os requisitos necessários para seu uso. Entretanto com o aumento do fluxo de tráfego e da capacidade volumétrica dos caminhões que transitam todos os dias em rodovias e aeroportos, juntamente com a variedade térmica em que estão localizados, tornou-se necessário pensar em alternativas com propriedades que enriqueçam os asfaltos, entre os materiais estudados para tal fim, os polímeros acrescentam uma melhora significativa ao ligante, por conta de suas propriedades elásticas. (BERNUCCI et al., 2006).

Como já se sabe polímeros são inúmeros materiais com variedades de propriedades físicas e químicas, portanto nem todos os polímeros são próprios para a pavimentação.

Dentre os tipos de polímeros existentes os termoplásticos são geralmente utilizados para a modificação do CAP, dentre os principais temos: estireno-butadieno (SB), estireno-butadieno-estireno (SBS), (SBR), estireno-isopreno-estireno (SIS), etireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS), (ABS), e acetato de vinila (EVA). (BERNUCCI et al., 2006).

2.3.4.5.3 Revestimento asfalto-borracha

Outro tipo de material polimérico utilizado na pavimentação é a borracha de pneus, este processo pode ser considerado uma via de mão dupla tendo em vista que além de melhorar as características do asfalto ainda é uma prática sustentável, pois aproveita os pneus após terem sido utilizados nos veículos.

Para garantir que os pneus descartados não fiquem em lixões e aterros sanitários foi criada pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 2009, a resolução nº 416, que trata do destino que os pneus devem ter pelas empresas que os produzem e/ou importam. O primeiro artigo da resolução nº 416 do CONAMA diz que “Art.1º Os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução.” (RESOLUÇÃO CONAMA nº 416, 2009)

Para que ocorra a reciclagem de pneus, os mesmos devem ser coletados, transportados até o ponto de trituração e efetuado a separação de seus elementos (aço, borracha e lona). Após este passo a borracha deve possuir forma de granulométrica e então estará pronta para ser adicionada as misturas de asfalto, ou outros fins que sejam destinadas. (BERTOLLO et al., 2002).

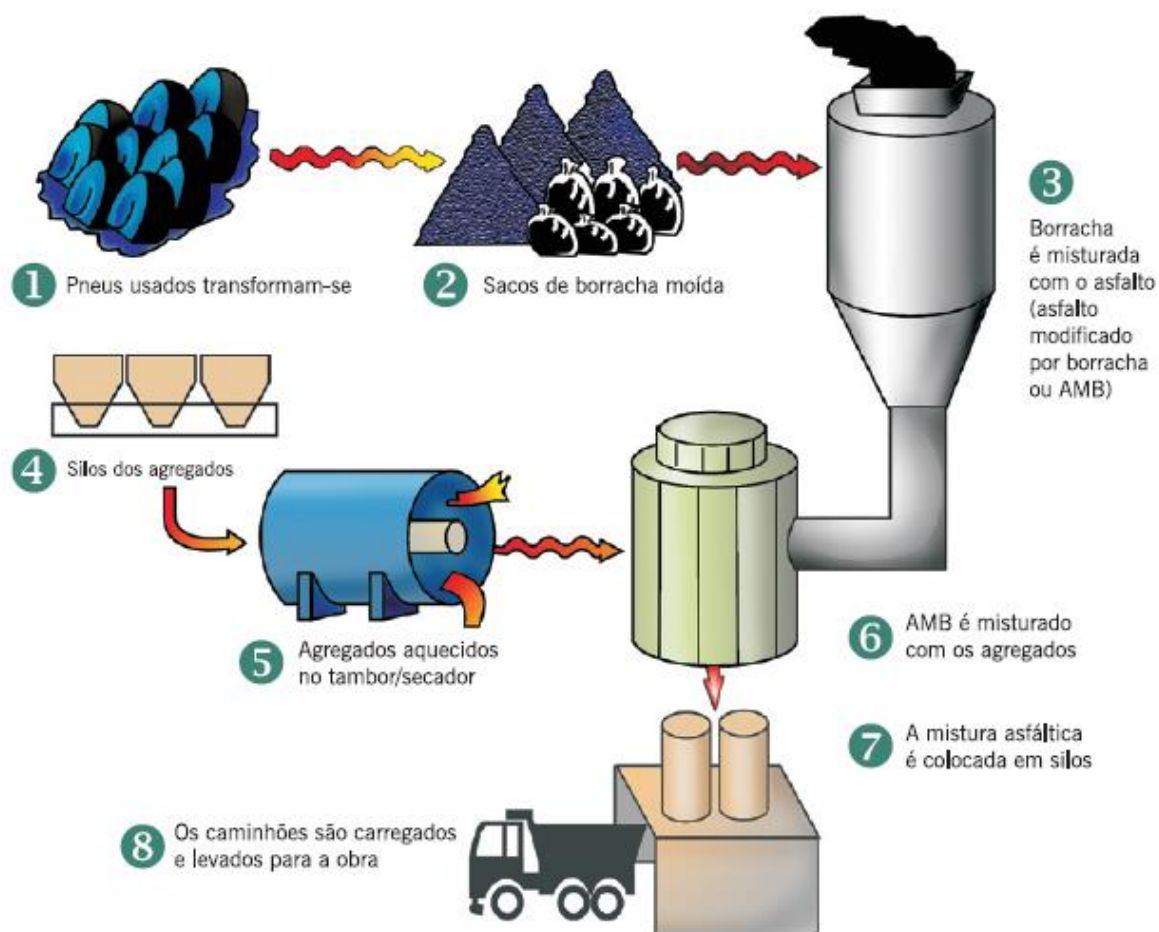
De acordo com (BERNUCCI et al., 2006, p.75), “Os pneus inservíveis são problemas para a sociedade e sua utilização em pavimentação tem sido uma das técnicas mais utilizadas em todo o mundo porque se emprega grande volume desse resíduo com melhorias para as misturas asfálticas sob vários aspectos.”

O processo de incorporação de pneus nos revestimentos de pavimentação é de duas formas de acordo com (BERNUCCI et al., 2006, p. 76), sendo elas: “processo úmido (*wet process*) e o processo seco (*dry process*).”

Como o nome dos processos já define, a borracha é misturada seca e na outra a mistura é úmida. O processo úmido acontece de acordo com (BERNUCCI et al., 2006, p. 76) através “[...], a borracha finamente triturada é adicionada ao CAP aquecido, produzindo ligante modificado, que tem sido denominado de asfalto-borracha [...]”. Já no processo a seco “[...], a borracha triturada entra como parte do agregado pétreo da mistura e juntamente com o ligante asfáltico dá origem ao produto “agregado-borracha” ou concreto [...]”, segundo (BERNUCCI et al., 2006, p. 78).

Um esquema do processo úmido é ilustrado na figura 13.

Figura 13 - Esquema de fabricação de asfalto-borracha.



Fonte: (BERNUCCI et al., 2006, p. 76).

O processo ilustrado vem acontecendo cada vez mais no Brasil, tendo em vista que o volume de resíduos de pneus aumenta a cada ano, necessitando desta forma de uma destinação sustentável para o produto após ser descartado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O ESTUDO REALIZADO

O estudo proposto e realizado caracterizou-se como de abordagem quali-quantitativa, deste modo determinamos que a mesma foi efetuada a partir de estudo bibliográfico de obras de outros autores e também com testes, estudos e dados obtidos de outras fontes ou elaborados pela autora. Ao chamarmos este estudo de quali-quantitativa dizemos que o mesmo irá seguir característica mista entre a abordagem qualitativa e quantitativa.

A abordagem, qualitativa, permite a redefinição do processo durante sua execução dado o caráter de subjetividade que apresenta em função das indefinições do quadro a ser analisado pelo investigador. A fenomenologia está presente enquanto definimos (TRIVIÑOS, 2006) “esferas de essência” para o estudo. Estas constituem-se em fenômenos considerados e isolados que serão o objeto do estudo. No caso específico desta investigação, pretende enfocar uma situação pontual, a utilização de resíduos poliméricos para a construção de rodovias.

Araújo e Oliveira (1997, p. 11) definem pesquisa qualitativa como um estudo que “[...] se desenvolve numa situação natural, é rico em dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto, se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes, tem um plano aberto e flexível e focaliza a realidade de forma complexa e contextualizada.”

A abordagem qualitativa utiliza-se da revisão de literatura para aprofundar os pesquisadores na temática desenvolvida e, ao mesmo tempo, mostra novos caminhos e reforça a argumentação utilizada.

A revisão bibliográfica é sempre útil para fazer comparações com outros casos semelhantes, buscar fundamentação teórica e também para reforçar a argumentação de quem está descrevendo o caso. A discussão permite avaliar os caminhos seguidos (como se desenvolve o caso), desde a elaboração dos objetivos (porque estudar o caso) até as conclusões (o que se aprendeu com o estudo do caso). (VENTURA, 2007, p. 75).

Dessa forma, uma revisão adequada de literatura permitirá uma correspondente análise e discussão dos resultados obtidos.

Quando falamos de abordagem quantitativa Fonseca (2002, p. 20), nos diz que:

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem

matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

Portando a pesquisa quantitativa terá o envolvimento de dados, números, experimentos e demais características das ciências exatas, utilizando ferramentas como a estatística para seu pleno desenvolvimento, porém não significa que ao final desta resultará em uma resposta concreta e afirmativa do que se busca.

Através da metodologia quali-quantitativa identificada deve-se alcançar a capacidade de responder à pergunta central, através dos objetivos pré-estabelecidos.

3.1.1 Instrumentos de coleta de dados

Para a pesquisa realizada, os instrumentos de coleta de dados foram artigos científicos – analisados por especialistas e resgatados a partir de bases de dados, fornecidas pela universidade ou de livre acesso disponíveis na rede de computadores. Também foram utilizados livros físicos e e-books além da indispensável observação direta da pesquisadora.

Os demais dados necessários para o estudo que não foram respondidos por pesquisa bibliográfica tiveram sua resposta a partir de pesquisa exploratória ou em campo, como por exemplo, através de buscas de informações nas entidades locais sobre os dados necessários para a viabilidade do estudo em questão. Dentre os dados necessários deve-se atender as incógnitas tais como, quantidade de resíduos disponíveis para trabalhar o estudo?; como são utilizados os polímeros na construção civil?; de que forma pode-se usar resíduos poliméricos na pavimentação?

3.1.2 Dados do cenário atual

A produção de resíduos sólidos no Brasil sofre crescimento ano após ano, somente em 2018, segundo dados do Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019, “Os dados revelam que, em 2018, foram geradas no Brasil 79 milhões de toneladas, um aumento de pouco menos de 1% em relação ao ano anterior. Desse montante, 92% (72,7 milhões) foi coletado” (ABRELPE, 2019, p. 11). Devemos lembrar que além dos custos de geração dos materiais que após o uso se destinam ao lixo, estes geram outra aplicação de recursos (naturais e financeiros), para serem recolhidos e destinados aos locais apropriados.

Com o passar dos anos os polímeros passaram cada vez mais a serem imprescindíveis no cotidiano da sociedade moderna e dentro da gama de materiais poliméricos, o plástico é um dos, se não o material com maior uso na sociedade atualmente.

O crescimento da produção de plástico virgem se deu após os anos 2000 devido ao baixo custo de produção e a grande variabilidade de uso do componente, que ganhou a confiança de todos e passou a substituir outros materiais. O grande problema é que cerca de 50% de todo o plástico produzido se torna resíduo em cerca de três anos. E de todo o resíduo plástico gerado estima-se que um terço tenha seu destino a natureza, causando uma grande poluição terrestre assim como degradação das águas e vidas aquáticas. (WWF, 2019).

De acordo com ANCAT (Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2018), somente nos anos de 2017 e 2018 no Brasil foi coletado pelas entidades associadas a eles 26 mil toneladas de plástico o que representa 17% de todo material coletado, ficando atrás apenas do papel.

Segundo a WWF ([s.d.]) o Brasil é o quarto maior produtor de plástico do mundo e em contrapartida um dos que menos recicla tal material como nos mostra o quadro 02.

Quadro 2 – Quantidade de toneladas de plástico produzido em diferentes países.

País	Total de lixo plástico gerado*	Total incinerado	Total reciclado	Relação produção e reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.220	0	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

Fonte: WWF / Banco Mundial (2019).

* Valor total de lixo plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano.

O Brasil é um grande consumidor de plástico e, portanto, também deveria ser um grande reciclador de tal material, porém a realidade não é essa e tal problema se dá por diversos fatores, mas o que acredito que tenha maior relevância ao cenário atual é o custo para separação, higienização e finalmente a reciclagem. Tornando-se mais cômodo para as indústrias trabalhar com material virgem ao invés de material reciclado.

3.1.2.1 Tubarão

Através de dados fornecidos no plano de gerenciamento de resíduos da AMUREL e dados obtidos a partir de contato com a empresa Serrana Engenharia foram calculadas os quantitativos de material plástico recolhido na cidade de Tubarão SC, conforme quadro 03.

Quadro 3 - Quantitativo Material Plástico em Tubarão.

Municípios AMUREL	Porcentagem correspondente de Material Plástico* (Y)	Total lixo recolhido 2014 (T/dia) *	Plástico (T/dia)	Plástico (T/mês)	Total lixo recolhido 2019 (T/mês) **	Plástico 2019 (T/mês)
Tubarão	29,35	67,49	19,808	594,24945	2804,5	823

Fonte: Adaptado de Prognóstico Dos Resíduos Sólidos do Plano Municipal De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Tubarão (2015).

*Dados retirados do plano de gerenciamento resíduos de Tubarão

**Dados obtidos através da empresa Serrana Engenharia

Através deste simples quadro podemos ver que em um mês Tubarão uma cidade de aproximadamente 105.686 habitantes de acordo com o IBGE ([s.d.]), geral 823 toneladas, isso significa 9.876 toneladas de resíduo plástico gerado em um ano. Infelizmente não foi possível quantificar o volume reciclado de plástico na cidade.

3.2 MÉTODOS DE UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS EM PAVIMENTAÇÃO EXISTENTES

Estradas e/ou pavimentos com adição de polímeros já são realidade da atualidade, o único porém deste método de produção é a origem dos polímeros que em sua maioria são materiais virgens. Mas atualmente já existem algumas iniciativas ao redor do mundo que utilizam resíduos poliméricos para pavimentar vias. Os próximos itens às descrevem.

3.2.1 Resíduos plásticos nas estradas “PlasticRoad”

Em contra partida a realidade tradicional de pavimentação, na Holanda A KWS, uma empresa da Royal VolkerWessels, Wavin e Total, desenvolveu o conceito de estradas de plástico onde a matéria prima é originária dos resíduos.

Denominada “PlasticRoad” se trata de “uma estrada baseada em plástico reciclado. É pré-fabricado e possui um espaço oco que pode ser usado para diversos fins. Isso inclui armazenamento de água, trânsito de cabos e tubulações, aquecimento de estradas, geração de energia etc.” (PLASTICROAD, 2015)

Ao pensar sobre a ideia proposta pode-se perceber a vantagem do uso das propriedades do polímero em estradas, mas outro fator muito importante do projeto é que a origem do material vem de resíduos. A empresa responsável pelo produto informa que sua construção é quatro vezes mais leve, três vezes mais resistente e pode ser feita 70% mais rápida que construção padrão em material betuminoso, ou seja, além de ser incrivelmente melhor para o meio ambiente ainda é menos onerosa e mais prática de construir.

A empresa pontua as vantagens de seu produto da seguinte forma:

- Uma construção pré-fabricada leve;
 - Construção mais rápida (meses mais curtos) e menos tempo de manutenção;
 - Maior qualidade e vida útil mais longa (homogênea e pré-fabricada);
 - Necessita de pouca ou nenhuma manutenção. O material é praticamente impermeável a condições como clima e ervas daninhas;
 - A inovação é consideravelmente mais sustentável. O objetivo é tornar o PlasticRoad com 100% de plástico reciclado e torná-lo totalmente reutilizável. Está perfeitamente alinhado com a filosofia Cradle to Cradle e os princípios da economia circular;
 - Uso duplo do espaço. O espaço vazio no design pode ser usado para armazenar água ou como espaço para cabos e tubulações;
 - A possibilidade de segurança constante (tráfego) e drenagem de água;
 - Tudo dentro e fora da estrada pode ser pré-fabricado (marcações de estradas, grades de proteção);
 - O conceito oferece oportunidades para mais inovações. Exemplos incluem estradas com aquecimento solar, postes de luz e sensores de malha de tráfego;
 - Contribuição para o problema social do lixo plástico.
- (PLASTICROAD, 2015)

A empresa KWS teve sua primeira ciclovía entregue no segundo semestre do ano de 2018 em Zwolle, Overijssel, na Holanda, a peça piloto conta com 30m de extensão e em sua constituição possui o equivalente a 218.000 copos plásticos ou 500.000 tampas de garrafas PET. A mesma está sendo monitorada quanto ao seu desempenho a variáveis como temperatura, comportamento ao passar ciclistas e sua integridade. (PLASTICROAD, 2018).

O projeto recebeu o prêmio Cobouw como melhor produto no mesmo ano que seu primeiro piloto ficou pronto. No próprio site a KWS diz que com o monitoramento das primeiras peças será possível analisar e implantar melhorias e assim aumentar a gama de possibilidades de aplicação do produto.

A ideia é ilustrada conforme figuras 15 e 16.

Figura 14 - Projeto ciclovia PlasticRoad.



Fonte: (PLASTICROAD, 2019).

Figura 15 - Projeto estradas da PlasticRoad.



Fonte: (PLASTICROAD, 2019).

Em ambas as imagens podemos entender como o conceito da empresa é válido, pois além da utilização dos resíduos em questão, ainda é possível diminuir as obras para passagem de encanamentos em geral, sem contar que a água das chuvas pode fluir tranquilamente pelo interior das peças e posteriormente destinada ao local apropriado para tratamento e/ou uso.

3.2.2 Resíduos plásticos nas estradas “MacRebur®”

A empresa MacRebur® ([s.d.]) através de seu CEO Toby McCartney desenvolveu o produto que leva o nome da empresa com o intuito de criar uma mistura de resíduo plástico em forma granular e adicioná-la na mistura asfáltica, com o intuito de melhorar a performance das estradas e ainda ajudar o meio ambiente retirando toneladas de resíduo de aterros sanitários, oceanos e afins. Toby teve a ideia quando visitava a Índia e viu trabalhadores locais tapando os buracos com resíduo plástico, que adicionado óleo e incinerado no local necessário formavam um remendo para as estradas. Após diversos testes e criação de misturas eles afirmam que “Todos os produtos atendem a vários padrões mundiais de estradas e foram rigorosamente testados contra asfalto, betume e betume modificado com polímeros.” (MACREBUR, 2016).

A patente MacRebur® ([s.d.]) afirma que a cada km produzido por sua técnica usa-se material de 684.000 garrafas ou 1,8 milhões de sacolas plásticas finas como as que usamos todas as vezes que fazemos compra no supermercado, ela também garante que em 1 tonelada de sua mistura contêm o equivalente a 80.000 garrafas. Outra afirmação é de que as estradas com o aditivo se tornam até 60% mais duradouras e resistentes.

A empresa também tem a preocupação de usar resíduos do local onde será implantada a estrada, de modo a diminuir o problema ambiental daquele local e ainda proporcionar melhores vias, onde segundo eles são menos propensas a buracos devido as propriedades dos materiais utilizados.

Sua forma de trabalho é vendendo a mistura de aditivo de resíduo plástico para as usinas de asfalto de modo a substituir parte do betume da mistura asfáltica por seu aditivo.

A MacRebur em seu site procura empresas que desejam produzir seu material ou distribuí-lo pelo mundo, difundindo seu produto que promete ajudar o meio ambiente.

MacRebur® ([s.d.]) informa que foram criados três tipos de modificadores de ligantes para serem misturados no asfalto de modo a diminuir o volume de betume, estes são denominados MR06, MR08 e MR10, cada um com uma aplicação específica.

- MR 06 – desenvolvido através de uma composição de polímeros com o objetivo de aprimorar o betume de estradas, é indicado para áreas de deformação crítica como cruzamentos, rótulas, trevos, onde o tráfego é em menor velocidade podendo receber veículos pesados.

- MR 08 – uma mistura assim como o MR06, porém sua aplicação é indicada para pavimentos de estacionamentos, entradas de automóveis leves e estradas locais, visando em principal o fator econômico e ambiental.
- MR 10 – aditivo composto por um copolímero em bloco projetado para a extensão e aprimoramento do betume de asfalto, este é ideal para pavimentar rodovias de maior tráfego em que a rigidez e a resistência à trincas são críticas.

A composição de seus aditivos não é revelada obviamente, mas seu uso já vem sendo utilizado em diversas estradas do Reino Unido assim como de outros países: EUA, Austrália, Turquia, Bahrain, Eslováquia e Nova Zelândia.

3.2.3 Resíduos plásticos nas estradas da Índia

Na Índia o plástico na composição das estradas é realidade desde o ano de 2001, através da preocupação e estudos do professor de Química Rajagopalan Vasudevan, ele desenvolveu uma técnica, vista por ele como simples para diminuir o uso de combustíveis fósseis, matéria prima “virgem” e a emissão de gás carbono. (PICPLAST, 2018).

“O processo 'caseiro' começa com o aquecimento das pedras e dos pedregulhos a 170°C. Com a adição do plástico fragmentado, o calor provoca uma reação química que cria um revestimento de plástico derretido nas pedras, dando maior durabilidade ao material.” (PICPLAST, 2018).

Sua técnica consiste em misturar o resíduo ao betume que será utilizado para a pavimentação. Tratando de proporção, a cada 1 km de pavimento utiliza-se normalmente dez toneladas de betume e com a técnica de Vasudevan passa-se a utilizar nove toneladas de betume a uma de resíduo plástico. Neste método o plástico é triturado e misturado a areia e betume, depois aquecidos de modo a formar a mistura para aplicação. (REIS, 2018).

Vasudevan foi procurado por empresas dos EUA para vender sua metodologia, mas este nunca foi seu intuito ele patenteou sua ideia e a disponibilizou totalmente de graça para seu país e atualmente dos 29 estados indianos 11 já contam com estradas com reutilização de plástico. As vias indianas feitas a partir desta criação apresentam ótimos resultados, mesmo após anos de uso ainda não apresentaram patologias. (REIS, 2018).

3.2.4 Resíduos plásticos nas estradas do Brasil

No Brasil existem alguns estudos sobre utilização de resíduos poliméricos em vias, pavimentos estradas e afins, mas infelizmente ainda não se tem conhecimento de nenhuma via feita a partir desta origem.

Dentre os estudos existentes um se destaca por seus resultados, o chamado “Poliway” foi um produto oriundo de muito estudo e tentativa de duas estudantes gaúchas, Leticia Padilha e Samantha Karp que iniciaram a ideia ainda no ensino médio e após muita insistência para conseguir patrocínio comprovaram sua viabilidade e funcionalidade. Com esta criação as meninas ganharam diversos prêmios no Brasil e no mundo. (RIBEIRO, 2016).

(RIBEIRO, 2016) escreveu que o poliway segundo Padilha

[...]é cerca de cinco vezes mais resistente que os pavimentos convencionais. Enquanto um asfalto normal se rompe, ao suportar mil quilos, **o Poliway aguenta cerca de cinco mil quilos e se deforma três vezes menos**. Além disso, nosso produto é, aproximadamente, 15% mais barato que o pavimento convencional e, em relação a material, cerca de 50%. Tudo isso com a vantagem de preservar o meio ambiente, trazer mais segurança, evitando acidentes e salvando vidas”.

As estudantes que ingressaram em faculdades de engenharia mecânica e civil não conseguiram ainda comercializar o seu produto por falta de recursos financeiros, porém o estudo existe com resultados positivos e é uma ideia promissora tanto para a ciência quanto para o meio ambiente. O resíduo polimérico utilizado por elas para fabricação do Poliway é o PEAD amplamente utilizado em embalagens de shampoo, amaciante e químicos em geral. (RIBEIRO, 2016).

3.3 METODOLOGIA PROPOSTA

Através do conhecimento obtido no estudo do presente trabalho foi proposto e realizado experimentalmente uma metodologia para uso de resíduo polimérico para pavimentação de estradas.

Para tal experimento foram usados diversos tipos de polímeros encontrados nos resíduos produzidos pela sociedade em seu cotidiano, sem delimitação por grupo de polímeros, tendo em vista que na coleta realizada nas residências, mesmo que sendo seletiva não os separa por classe de polímero mas sim em grupos de materiais, como vidros, plásticos, papéis, orgânicos e metais. Desta forma os materiais plásticos/poliméricos chegam aos locais de destino agrupados em uma única porção de material.

Além de resíduos poliméricos foram utilizados também resíduos de pavimentação retirados de obra de recuperação da SC 434 localizada em Garopaba, que passou por reparos no segundo semestre de 2019, o material foi coletado diretamente com a empreiteira (Britagem Vogelsanger) responsável pelas melhorias em pontos críticos da via informada.

Optou-se por executar dois modelos de peças, sendo um deles vazado e outro maciço. Dentre esses dois modelos separou-se duas misturas de materiais, onde a primeira mistura é composta por diversos resíduos poliméricos e a segunda opção é a junção desta mistura com porcentagens diferentes de resíduo de pavimento fresado.

Para realizar os testes de flexão obteve-se uma amostragem de três peças de cada mistura de mesmo formato.

Para que se obtivesse ao final peças com maior desempenho pretendido os resíduos poliméricos foram triturados no moinho de faca do laboratório de polímeros localizado no Centec – Unisul, de modo a resultarem em grãos finos que passaram na peneira Nº 17, desta maneira os mesmos são capazes de se distribuir e misturar-se uns aos outros.

O material proveniente da fresagem da rodovia SC 434 também foi peneirado sendo retido e utilizado apenas a parte de granulometria fina o suficiente a se misturar com os demais resíduos utilizados na fabricação das placas de amostragem, a peneira utilizada para passar o material foi a de Nº 21.

Com o intuito de obter peças com possibilidade de passagem de encanamentos, dutos e outros foram confeccionadas peças com a parte inferior central oca, e para tal utilizou-se uma peça de metal maciço com comprimento de 19,5 cm (mesmo comprimento que as peças moldadas), largura de 3 cm e altura de 1,5cm.

As demais peças foram confeccionadas em formato maciço não necessitando nenhum acessório além da prensa utilizada. Com 19,5cm de comprimento e 2 cm de altura.

3.3.1 Procedimento

Com o material já triturado na granulometria desejada foram misturados de modo a distribuir bem todos os grãos de diversas origens entre si. O Moinho e o material em estado granulométrico podem ser visualizados na figura 16.

Figura 16 - Moinho utilizado para triturar os resíduos e tais materiais triturados.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Para a fabricação das peças foi utilizada a prensa localizada no laboratório de polímeros e na mesma colocou-se em seu centro a barra de metal utilizada como molde do “furo” de nosso experimento, em volta de seu recipiente foi aplicado desmoldante, para que os resíduos poliméricos não ficassem aderidos na prensa. Tais procedimentos podem ser visualizados na figura 17.

Figura 17 - Colocação de barra metálica e desmoldante na prensa.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Após este a mistura 1 composta apenas de diversos polímeros foi colocado na prensa que já estava a temperatura de 250 °C, então foi deixado por um tempo entre 10 e 15 minutos até o amolecimento e união dos grãos inseridos. A figura 18 demonstra a matéria prima granulada ao ser inserida na prensa e então sendo prensada.

Figura 18 - Resíduo polimérico granulado inserido na prensa e sendo prensada.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Em seguida com a mistura já aquecida e fundida entre si, é moldada, retirada a barra metálica e deixou-se resfriar, conforme figura 19.

Figura 19 - Moldagem e resfriamento.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

As duas misturas trabalhadas na confecção das peças vazadas continham as seguintes características.

- A mistura 1 é composta por: Material polimérico granulado, nestas o peso das peças ficou entre 200g e 230g, tal variação se explica pelo não controle tecnológico de cada resíduo polimérico ali adicionado;
- A mistura 2 é composta por: Material polimérico granulado + material fresado moído, sendo dividida pelas seguintes proporções de materiais que não foram exatas levando em conta a não possibilidade de administrar cada resíduo com seu peso próprio inserido na mistura:

- 10% de fresa – Peso da peça: 192,85 gramas de polímeros + 20,00 gramas de fresa;
- 20% de fresa – Peso da peça: 180,00 gramas de polímeros + 40,00 gramas de fresas;
- 30% de fresa– Peso da peça: 159,00 gramas de polímeros + 60,00 gramas de fresas;
- 40% de fresa – Peso da peça: 154,00 gramas de polímeros + 80,00 gramas de fresa;
- 50% de fresa – Peso da peça: 140,50 gramas de polímeros + 95,00 gramas de fresa;

Para a mistura 2 a temperatura necessitou ser diminuída para em média 230 °C, por conta da temperatura de trabalho da fresa e para compensar a necessidade de temperatura dos polímeros aumentamos o tempo para um intervalo entre 15-20 minutos.

Para a produção das peças maciças o procedimento seguiu o mesmo padrão, com a temperatura a 250°C, a única diferença obviamente se dá pelo fato de não ser adicionado na prensa a barra metálica utilizada anteriormente. Para estas peças o tempo de aquecimento também se manteve em aproximadamente 15 minutos.

No formato maciço onde utilizou-se a mistura 1, o peso das peças produzidas ficou em média 275 gramas.

Após no mínimo 24 horas de descanso as amostras produzidas foram encaminhadas para o laboratório de engenharia civil passando por ensaio de flexão, que consiste na aplicação de uma carga crescente no centro da peça que se encontra bi apoiada. O ensaio foi realizado da mesma forma para todos os corpos de prova produzidos durante este trabalho.

O teste seguiu a normativa ISO 178:2019 - Plásticos - Determinação de propriedades de flexão, com o método de três pontos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS OBTIDOS NA METODOLOGIA PROPOSTA

Seguindo o procedimento de confecção descrito no item 3.3.1 do presente documento, obteve-se corpos de prova em formato retangular que pode ser visualizado nas figuras 20 e 21.

Figura 20 - Peça vazada produzida de resíduos poliméricos.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Figura 21 - Peça maciça produzida de resíduos poliméricos.



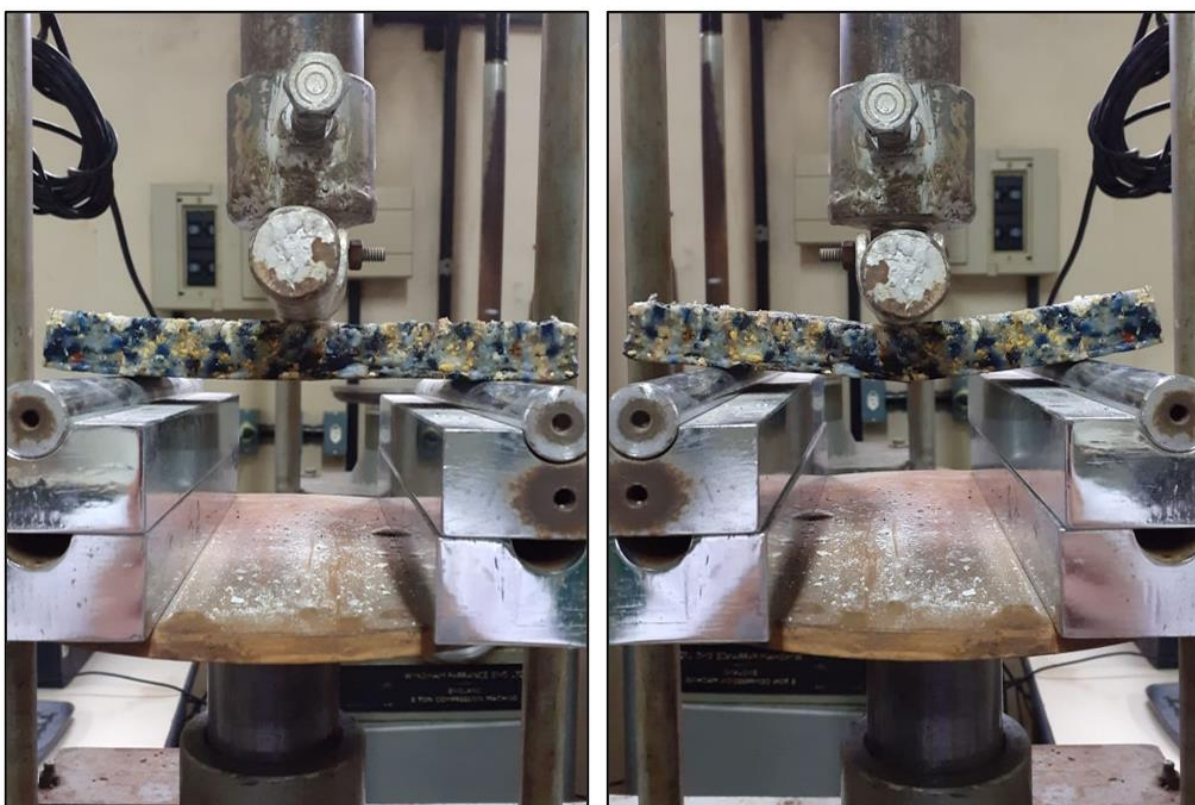
Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

As duas misturas apresentaram boa aparência e resistência ao serem resfriadas. A superfície das peças aparentou textura homogênea e contínua sem ser escorregadia, proporcionando atrito ao contato com o material.

Para que se tivesse conhecimento do desempenho das peças realizadas estas passaram por teste de flexão, realizado no laboratório de Engenharia Civil como ilustrado na figura 19. Foram analisados cinco corpos de prova vazados com a mistura 1 e mais cinco peças com o que denominamos mistura 2, nesta cada peça possuía uma porcentagem de material de fresa. Para as peças maciças foram confeccionadas três amostras.

O ensaio realizado resulta na resistência à flexão que o material é capaz de suportar, tal comportamento se dá pelo fato de ser aplicado carga no centro da peça, onde seu eixo longitudinal é deformado através de força de compressão na parte superior, gerando a tração (alongamento) e rompimento na parte inferior. Tal ensaio pode ser visualizado na figura 22.

Figura 22 - Ensaio à flexão realizado.

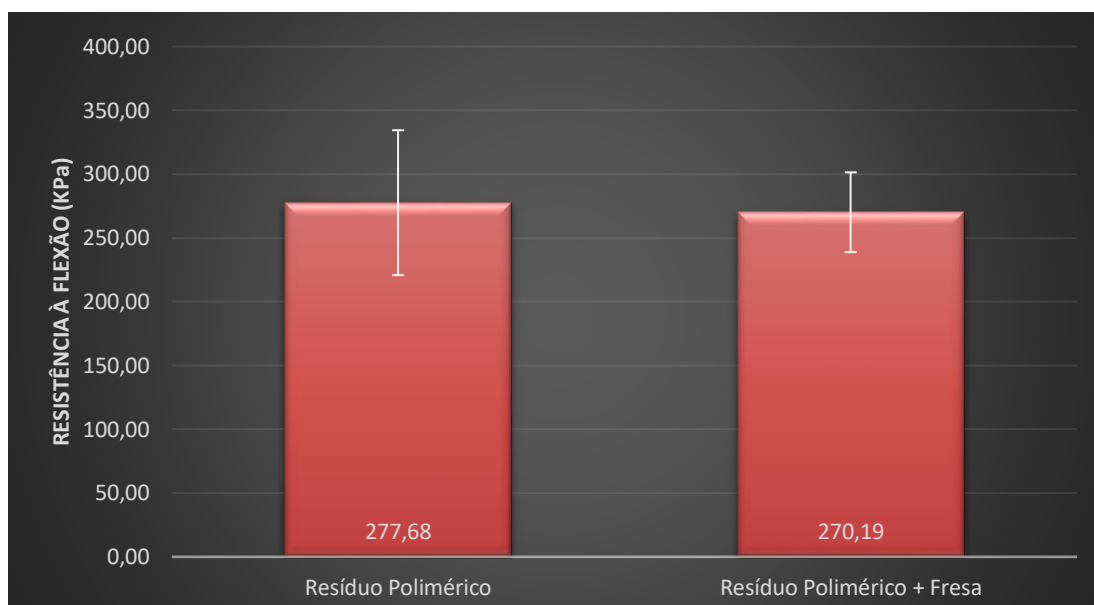


Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

O vão utilizado no ensaio foi de 14cm. O cálculo de tensão é efetuado em função da carga suportada, o vão em que o ensaio foi efetuado e as dimensões da peça, onde neste presente trabalho obteve-se peças de 19,5 cm de comprimento, em média 8 cm de largura e

espessura de 2 cm. Nos corpos de prova vazados a espessura central (onde foi colocado a barra metálica), variou entre 3mm e 5mm. Os resultados obtidos para as peças produzidas em formato vazado são sintetizados no gráfico 01 abaixo.

Gráfico 1 – Resistência à Flexão de corpos de prova vazados produzidos de resíduos poliméricos.

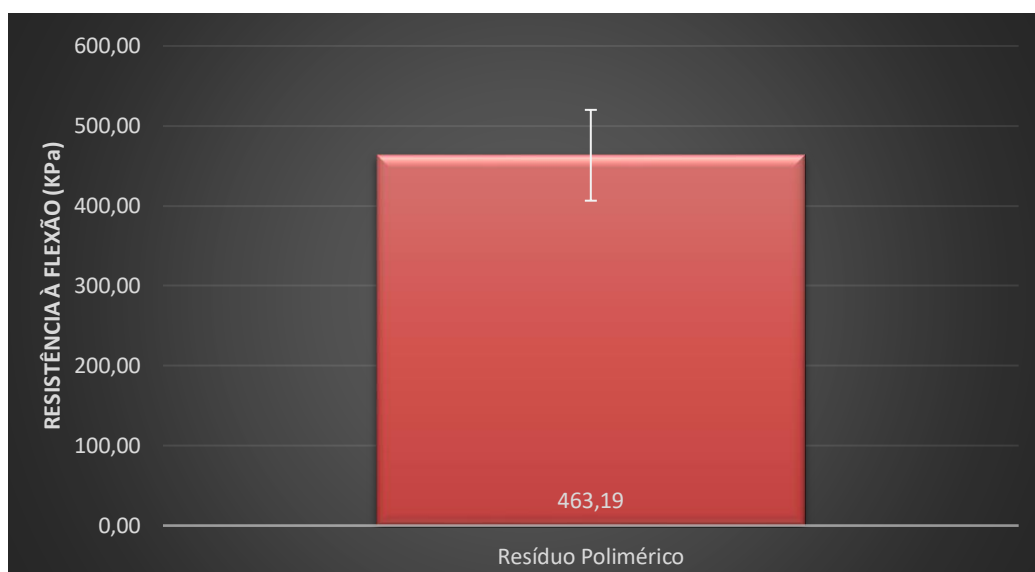


Fonte: Autora (2019).

O gráfico 01 acima mostra que em média as peças compostas apenas de resíduos poliméricos ensaiadas, resistem uma tensão de 277 KPa, enquanto ao ser adicionado fração de resíduo de fresa esse valor obteve uma pequena queda para 270 KPa, tal diferença pode ser explicada pela diferente natureza de tais materiais já que os polímeros em sua maioria apresentam comportamento flexível, que deforma mais até atingir o rompimento, enquanto que a fresa é composta de material com menos flexibilidade, ou seja, tem seu rompimento antes. A diferença entre os dois é pequena nos levando a pensar que é sim possível usar os dois resíduos juntos sem perder capacidade de trabalho dos materiais.

Para a amostragem em peças maciças foram produzidas apenas da mistura 1, pois a matéria prima disponível era insuficiente a produção com a mistura 2. O gráfico 02 mostra os resultados obtidos no ensaio.

Gráfico 2 – Resistência à Flexão de corpos de prova maciços produzidos de resíduos poliméricos.



Fonte: Autora (2019).

É notável que no formato maciço a resistência obteve resultado mais promissor, o que já era de se esperar, pois o centro que antes tinha entre 3 e 5 mm de espessura, neste modelo passa a ser de 2 cm conforme o restante da largura testada. Se formos ver em proporção o resultado de 463,19 KPa é 1,67 vezes mais resistente que o anterior.

Resultado que acredito ser promissor tendo em vista que ao ser aplicado ao uso real a espessura de trabalho necessitaria ser muito maior aumentando também a capacidade de carga e a resistência.

Deve-se ter a clara noção que para levar este experimento ao uso real será necessário ainda estudo aprofundado das características do material trabalhado e da necessidade que o mesmo deve atender, além de diversos ensaios próprios da área de execução desejada.

Por se tratar de material plástico, é capaz de sofrer certa deformação e retornar a forma original sem rompimento, tal comportamento é benéfico para a pavimentação ao levarmos em conta que as cargas aplicadas em questão são variáveis quanto ao tempo, peso e posição.

Quanto a forma de aplicação da metodologia proposta entende-se que pode ser executada tanto in loco, como com peças pré-moldadas. Na execução de método pré-moldado deve ser estudado a necessidade de materiais ligantes capazes de entregar a resistência necessária ao uso da pavimentação, além de existir a possibilidade de adaptar a metodologia proposta para misturas em outros materiais, como o concreto por exemplo em peças de

concreto para pavimentação; quanto a execução in loco será necessário equipamento capaz de aquecer os resíduos e tornar a aplicação viável.

4.2 ANÁLISE DAS METODOLOGIAS EXISTENTES

Perante todas as pesquisas realizadas para produção do presente trabalho, e através de análise das metodologias de utilização de resíduos poliméricos para pavimentação ao redor do mundo descritas no item 3.2, confirmou-se que a reciclagem de resíduos poliméricos é possível e pode ser realizada de diversas formas já existentes.

Foi constatado que recurso financeiro não é necessariamente imprescindível para que ocorra a reciclagem em questão, exemplo disto vem da Índia, onde uma única pessoa preocupada com a situação de infraestrutura local e com o meio ambiente, foi capaz de solucionar sem grandes recursos monetários duas questões.

Em contra partida foi perceptível que com a ciência e tecnologia atual, entidades empresariais criaram produtos que podem ser utilizados em outros locais além dos que já estão sendo estudados e aplicados, como é o caso da MacRebur®, que realizou seu estudo comprovando sua funcionalidade e hoje disponibiliza a venda de tal tecnologia para todo o mundo. Outro ponto positivo desta metodologia é que podem ser utilizados os resíduos dos locais que serão pavimentados, diminuindo o volume de resíduo de tal região e ainda entregando estradas com rendimento superior a aquelas produzidas através de métodos tradicionais.

A ideia do pré-moldado da PlasticRoad traz mais uma facilidade ao mercado além da vantagem para o meio ambiente, este produto pode diminuir o valor de mão de obra aliado a rapidez de entrega de uma obra rodoviária.

Em todas as metodologias analisadas existem vantagens em relação a pavimentação em seu método tradicional de execução, sendo elas:

- a durabilidade das vias é igual ou superior;
- os custos de matéria prima são menores;
- melhor resistência;
- menor uso de recursos naturais;
- peso próprio menor
- custo geral equivalente ou ainda menor.

4.3 RELAÇÃO DE PRODUÇÃO DE RESÍDUO X PAVIMENTAÇÃO

Em uma breve análise sobre dados quantitativos de resíduos no Brasil e as metodologias existentes para reciclagem de polímeros para pavimentação verificou-se que seria possível pavimentar 26 mil quilômetros de estradas com o que foi coletado de plástico nos anos de 2017 e 2018 pelas entidades associadas a ANCAT (Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis), utilizando a proporção de material utilizada pelo professor Indiano Rajagopalan Vasudevan, que diz que para 1 km de estrada produzida é necessário 9 toneladas de betume e 1 de resíduo plástico.

Essa possibilidade de produção de vias pavimentadas representa 0,58% da malha rodoviária do Brasil que em 2017 possuía uma malha rodoviária de 1.720.700,30 km, mas destes apenas 213.452,8 km são pavimentados de acordo com dados do ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE -2018.

Obviamente que parte do volume coletado é destinado a algum tipo de reciclagem e que portanto tal quantidade não estaria livre para o uso em pavimentação, mas o que se deve pensar é que ainda existe grande quantidade de resíduo que não é coletado ou que acaba tendo algum destino irregular, onde não chega a ser contabilizado.

Somente com o quantitativo anual estimado para Tubarão neste ano de 2019, com aproximadamente 9.000 toneladas, podemos pensar que seria possível suprir as obras rodoviárias locais e ainda restaria para outras demandas de reciclagem.

5 CONCLUSÃO

A reciclagem de polímeros é de suma importância por diversos fatores, dentre eles podemos citar o fato de que polímeros compreende uma grande gama de materiais utilizados em diversos setores todos os dias e que a matéria prima básica e origem destes materiais é o petróleo. Recurso natural que assim como os demais é finito deve ser preservado para que não ocorra sua escassez.

Outro uso frequente de derivados do petróleo é para pavimentação de estradas, tendo em vista que o Brasil possui uma malha rodoviária gigantesca e utilizar meios de reciclagem neste setor é uma prática sensata.

Através da metodologia quanti-qualitativa utilizada neste trabalho, foi possível conhecer as metodologias de emprego de resíduos poliméricos para pavimentação em outros países e ainda criar experimentalmente uma metodologia nova e propor que esta venha a ter seu uso posteriormente.

Sendo possível concluir que reciclar polímero para utilizar na pavimentação no Brasil também é viável, se embasando nos seguintes fatores:

- a) Com o aumento do tráfego, o cimento asfáltico não é capaz de deformar-se sem haver rompimento levando a pavimentação com aditivo de polímeros ser uma solução, pois proporciona melhor trabalhabilidade em tais construções devido as propriedades do material. (BERNUCCI et al., 2006).
- b) Foi possível utilizar os resíduos poliméricos em outros países e os responsáveis por tais produtos garantem que podem ser utilizados em qualquer lugar do mundo. Exemplo disto são os aditivos da MacRebur® que são vendidos de forma a serem exportados ou produzidos através da técnica patenteada e aplicados onde for desejado. Outro exemplo é a PlasticRoad que criou o pré-moldado que pode ser transportado e utilizado em outra área, assim como na Índia o processo é mais simples e pode ser replicado em outro local.
- c) No Brasil as autoras que criaram provaram em seus testes que é viável seu uso e ainda garantem que:

(RIBEIRO, 2016) escreveu que o poliway segundo Padilha

[...]é cerca de cinco vezes mais resistente que os pavimentos convencionais. Enquanto um asfalto normal se rompe, ao suportar mil quilos, **o Poliway aguenta cerca de cinco mil quilos e se deforma três vezes menos.** Além disso, nosso produto é,

aproximadamente, 15% mais barato que o pavimento convencional e, em relação a material, cerca de 50%. Tudo isso com a vantagem de preservar o meio ambiente, trazer mais segurança, evitando acidentes e salvando vidas”.

Através de análise aos objetivos descritos no início deste documento, podemos responder que foram atendidos, pois foram descritos as metodologias existentes de reciclagem para pavimentação; foi conhecido a quantidade de resíduos poliméricos produzidos na região; através do estudo dos métodos existentes foi constatado a viabilidade de tais resíduos para a pratica da pavimentação; foi proposto experimentalmente nova metodologia de reciclagem de resíduos para pavimentação; e por fim analisado os resultados obtidos.

Desta forma acredita-se que a metodologia proposta neste trabalho possui viabilidade para ser aplicada e que ainda deve ser minuciosamente estudada para que se chegue em um produto com garantia de resistência, funcionalidade e durabilidade.

Quanto as metodologias já existentes concluíram-se que todas poderiam ser aplicadas no Brasil. E que contribuem para um meio ambiente mais limpo e promissor.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2017, **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acessado em 13 de maio 2019.

ABRELPE. **DOWNLOAD PANORAMA 2018/2019**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acessado em 10 de outubro 2019.

ALVES. **Reduzir, reutilizar e reciclar – 3rs da sustentabilidade** (2016). Disponível em <http://www.naturezabelavida.com.br/reduzir-reutilizar-e-reciclar-3-rs-da-sustentabilidade/>. Acesso em 11 de maio de 2019.

ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE. **Malha rodoviária total**. 2019. Disponível em <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/Rodoviario/1-3-1-1-1-/Malha-rodovi%C3%A1ria-total>. Acessado em 18 de outubro de 2019.

ARAÚJO, Aneide Oliveira; OLIVEIRA, Marcelle Colares. **Tipos de pesquisa**. Trabalho de conclusão da disciplina Metodologia de Pesquisa Aplicada a Contabilidade - Departamento de Controladoria e Contabilidade da USP. São Paulo, 1997.

ABIPET. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Resina PET – Fabricação**. Disponível em <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=65>. Acessado em 27 de abril de 2019.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

BERTOLLO, S. M.; JÚNIOR, J. L. F.; SCHALCH, V. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. In: XVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. 2002.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**, (IPR. Publ., 719). 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, (IPR. Publ., 720). 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Lei nº 12.305** de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acessado em 11 de maio de 2019.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 416, de 01/10/2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acessado em 10 de maio de 2019.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Princípio dos 3R's**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs.html>. Acessado em 11 de maio de 2019.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Reciclagem**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>. Acessado em 11 de maio de 2019.

CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos Polímeros** 2ª Edição. Editora Artliber, 2006.

CASTILHOS JR. Armando Borges de. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RiMa. 2003.

Disponível em

<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/492/1/Res%c3%adduos%20s%c3%b3lidos%20urbanos%20aterro%20sustent%c3%a1vel%20para%20munic%c3%adpios%20de%20pequeno%20po>.pdf. Acessado em 13 de maio de 2019.

CASTILLIONI. **Reduzir, reutilizar e reciclar – 3 r's da sustentabilidade** (2016).

Disponível em <http://sustentabilidade.com/reduzir-reutilizar-e-reciclar-3-rs-da-sustentabilidade/>. Acesso em 11 de maio de 2019.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. de. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. *Polímeros*[online]. 2003, vol.13, n.1, pp.01-13. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/%0D/po/v13n1/15064.pdf>. Acessado em 01 de maio de 2019.

COLTRO, L.; DUARTE, L. C. - **Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis: contribuição da identificação correta**. *Polímeros*[online]. 2013, vol.23, n.1, pp.128-134. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282013000100022. Acessado em 11 de maio de 2019.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. C. **Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* [Internet]. 2008, vol.18, n. 2, pp.119-125.

DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GRASSI, V. G.; FORTE, M. M. C.; PIZZOL, M. F. D. **Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto**. *Polímeros* [online]. 2001, vol.11, n.3, pp.158-168. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/po/v11n3/7001.pdf>>. Acessado em 27 de abril de 2019.

HIPOLITO, I.S.; HIPOLITO, R.S.; LOPES, G. A. **Polímeros Na Construção Civil**. 2013. Disponível em <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/5518429.pdf>. Acessado em 30 de abril de 2019.

IBGE. **População**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/tubarao/panorama>. Acessado em 18 de outubro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO do PVC. **O que é PVC**. Disponível em <https://pvc.org.br/o-que-e-pvc>. Acessado em 27 de abril de 2019.

ISO. **ISO 178: 2019 Plásticos - Determinação de propriedades de flexão**. 2019. Disponível em <https://www.iso.org/standard/70513.html>. Acessado em 01 de novembro de 2019.

MACREBUR. **É o fim do caminho para o desperdício de plásticos**. 2019. Disponível em: <https://www.macrebur.com/>. Acessado em: 15 de outubro de 2019.

MANO, E. B.; MENDES, L. C; **Introdução a polímeros**, 2a ed., Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1999.

MURY, Michael T. e LTDA. **Química para um futuro sustentável**. 8 ed. Porto Alegre: editora: AMGH editora LTDA, 2016. 579 p. Disponível em <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555400/cfi/388!/4/4@0.00:35.4>. Acessado em 10 de maio de 2019.

MNCR. **Anuário da Reciclagem 2018-2018**. 2019. Disponível em <http://www.mnrc.org.br/biblioteca/publicacoes/relatorios-e-pesquisas/anuario-da-reciclagem-2018-2018>. Acessado em 10 de outubro 2019.

PAIVA, P. A.; RIBEIRO, M.S. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos**. REA. Revista Eletrônica de Administração [online]. v.4, n.1, 2005.

PETRY, André. **Mercado Brasileiro de Polipropileno com Ênfase no Setor Automobilístico**. 2011. 35 p.

PIATTI, Tânia Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas, p.15. EDUFAL, 2005. Disponível em http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf. Acesso em 25 de abril de 2019.

PISPLAST. **Indiano Transforma Plástico Em Asfalto**. 2018. Disponível em <http://www.picplast.com.br/detalhe-blog/indiano-transforma-plastico-em-asfalto>. Acessado em 16 de outubro 2019.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: S. Pinto, 2002.

PLASTICROAD. **Uma Revolução na Construção de Estradas**. 2019. Disponível em: <https://www.plasticroad.eu/en/>. Acessado em: 15 de outubro de 2019.

REIS, Luciana. **Plástico reciclado é misturado ao betume na construção de estradas na Índia**. Engenharia 360. 2018. Disponível em <https://engenharia360.com/plastico-reciclado-estradas-india/>. Acessado em 16 de outubro de 2019.

RIBEIRO, Clara. **Estudantes gaúchas criam o Poliway, um inovador asfalto ecológico**. Engenharia 360. 2016. Disponível em <https://engenharia360.com/estudantes-gauchas-criam-o-poliway-um-inovador-asfalto-ecologico/>. Acessado em 15 de outubro de 2019.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**/ James F. Shackelford; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Nilson C. Cruz. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação Rodoviária**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Editora S.A., 1980.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 2006.

VASCONCELOS, Kamilla. **Reciclagem De Pavimentos E Uso De Resíduo De Construção E Demolição**. Escola politécnica USP, 2016.

VENTURA, Magda Maria. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. Rev SOCERJ. Vol. 20, nº. 5, p.383-386, setembro/outubro 2007. Disponível em http://unisc.br/portal/upload/com_arquivo/o_estudo_de_caso_como_modalidade_de_pesquisa.pdf. Acesso em 23 mai 2017.

WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. 2019. Disponível em <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acessado em 18 de setembro de 2019.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Tradução: Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZANIN, M., e MANCINI, SD. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia** [online]. 2nd ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015.