UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E

MATEUS MAMEDE MOUSINHO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE RECICLAGEM DE PNEUS PARA PRODUÇÃO DE CBUQ EM TUCURUÍ, PA

Tucuruí - Pará
2019

MATEUS MAMEDE MOUSINHO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE RECICLAGEM DE PNEUS PARA PRODUÇÃO DE CBUQ EM TUCURUÍ, PA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Desenvolvimento Energético.

Orientador: André Luiz Amarante Mesquita

Tucuruí – PA

2019

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Mateus Mamede Mousinho.

TÍTULO: Análise da Viabilidade Técnico-econômica de Implantação de Reciclagem de Pneus para Produção de CBUQ em Tucuruí, PA.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

_____

Mateus Mamede Mousinho

Rua Francisco Filgueiras, nº 38, Nova Tucuruí.

68.456-620, Tucuruí - PA - Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Central / UFPA, Belém – PA

Mamede Mousinho, Mateus.

Análise da Viabilidade Técnico-econômica de Implantação de Reciclagem de Pneus para Produção de CBUQ em Tucuruí, PA / Mateus Mamede Mousinho, . — 2019.
140 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

1. Resíduo Sólido. 2. Pneu Inservível. 3. Usina de Reciclagem. 4. Asfalto-borracha. 5. Análise de Viabilidade. I. Título.

CDD 620

MATEUS MAMEDE MOUSINHO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE RECICLAGEM DE PNEUS PARA PRODUÇÃO DE CBUQ EM TUCURUÍ, PA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Desenvolvimento Energético.

Orientador: André Luiz Amarante Mesquita

Aprovada em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - Orientador

_____

Prof. Dr. Luiz Moreira Gomes

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ - Examinador Interno

_____

Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - Examinador Interno

_____

Prof. Drª. Fernanda Pereira Gouveia

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - Examinadora Externa

Aos meus pais, Maria e Raimundo, pelo amor e persistir nos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e permitir a realização de mais um grande sonho.

À minha mãe, meu pai e minhas irmãs, por propiciarem o que há de mais fundamental na vida, pelo exemplo, amor, incentivo e por fazerem-me acreditar de que sou capaz.

Ao professor Dr. André Luiz Amarante Mesquita pelo acompanhamento e orientações à conclusão do trabalho.

À minha namorada Marta Fernandes que me estimulou e ajudou durante todo tempo e compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

A todos os professores do Mestrado, pela convivência, ensinamentos durante esses 2 anos e pelo respeito. Com certeza, posso dizer que passar um tempo da minha vida com esses profissionais foram de grande aprendizado pessoal e profissional.

E especialmente aos meus amigos pelas horas de estudo, ajuda e lazer, Mísley Teixeira, Taiana Ferreira, Felipe Mesquita e a Vanessa Bona.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante todo o mestrado.

Agradeço a todos que colaboraram de maneira direta ou indireta para a pesquisa, as quais foram essenciais para que eu alcançasse o objetivo final.

RESUMO

O crescimento populacional e o rápido desenvolvimento tecnológico contribuíram para o aumento da geração de resíduos sólidos por meio do despejo de forma inadequada de pneus pós-consumo, que não são biodegradáveis e cujo tempo de decomposição ainda não é precisamente determinado. Para que seja defendido que a cultura da reciclagem não evidencie apenas aspectos de preservação ambiental e educacional, também é necessário justificar a reciclagem como uma atividade econômica que gera emprego e renda ao município, contribuindo para o bem-estar e qualidade de vida. Portanto, o objetivo principal dessa pesquisa foi quantificar o descarte de pneus inservíveis e analisar a viabilidade técnico-econômica para a implantação do processo de reciclagem de pneus inservíveis na fabricação de agregado borracha na mistura asfáltica a usina de asfalto da cidade. Para tanto, mensurou-se o descarte de pneus inservíveis em um determinado período em Tucuruí e estimou-se o volume de descarte das cidades adjacentes, além disso, analisou-se as atividades operacionais e os custos de produção do resíduo como agregado borracha. Na pesquisa em campo, foram aplicados 98 questionários em 30 bairros onde se encontram os estabelecimentos em janeiro de 2018. Desse modo, observou-se um montante mensal de 1.664 pneus nas borracharias, 2.347 pneus nas lojas mecânicas, totalizando em 4.011 pneus no município, o que permite concluir que a cidade apresenta um grande volume desse resíduo sólido. As cidades adjacentes apresentaram em sua estimativa um total de 8.031 pneus inservíveis ao mês. Para a produção do agregado borracha da mistura asfáltica, foi utilizado o traço do CBUQ convencional em relação ao CBUQ modificado desenvolvido por Coelho (2018), no qual foi estimado que um quilômetro de mistura asfáltica de espessura de 3,5 centímetros consegue-se utilizar aproximadamente 11,72 toneladas de agregado reciclado (8,79 toneladas de borracha e 2,93 toneladas de serragem de madeira), isso equivale a 1.465 pneus de automóveis ou 5.170 pneus de motocicleta, chegando a uma economia na compra de matéria-prima de R$ 56.075,41 por quilômetro. Conclui-se que os resultados dos três cenários são satisfatórios, as simulações do estudo foram apenas dos recursos disponíveis para a produção do agregado borracha gerado pelo município como um projeto pioneiro, com intuito que os outros municípios façam parte dessa identidade visual de cidade sustentável.

Palavras-chave: Resíduo Sólido. Pneu Inservível. Usina de Reciclagem. Asfalto-borracha. Análise de Viabilidade.

ABSTRACT

Population growth and rapid technological development have contributed to increased solid waste generation by improperly disposing of post-consumer tires, which are not biodegradable and their decomposition time is not yet precisely determined. To be defended that the recycling culture does not only show aspects of environmental and educational preservation, it is also necessary to justify recycling as an economic activity that generates employment and income to the city, contributing to the well-being and quality of life. Therefore, the main objective of this research was to quantify the discard of waste tires and to analyze the technical-economical feasibility for the implementation of the recycling process of waste tires in the production of rubber aggregate in the asphalt mixture at the city's asphalt plant. To do so, it was measured the disposal of waste tires in a given period in Tucuruí and estimated the disposal volume of the adjacent cities, in addition, it was analyzed the operational activities and production costs of the waste as a rubber aggregate. In the field survey, 98 questionnaires were applied in 30 neighborhoods where the establishments were in January 2018. Thus, there was a monthly amount of 1,664 tires in the rubber workshops, 2,347 tires in the mechanical stores, totaling 4,011 tires in the municipality, which allows to conclude that the city presents a large volume of this solid residue. Adjacent cities presented in their estimate a total of 8,031 tires unserviceable per month. For the production of the rubber aggregate asphalt mixture, the conventional CBUQ trait was used in relation to the modified CBUQ developed by Coelho (2018), in which it was estimated that one kilometer of asphalt mixture of thickness of 3,5 centimeters can be used approximately 11.72 tonnes of recycled aggregate (8.79 tonnes of rubber and 2.93 tonnes of wood sawdust), this is equivalent to 1,465 car tires or 5,170 motorcycle tires, leading to an economy in the purchase of raw material from R$ 56,075.41 per kilometer. It is concluded that the results of the three scenarios are satisfactory, the simulations of the study were only the resources available to produce the rubber aggregate generated by the municipality as a pioneer project, with the intention that other municipalities are part of this visual identity of sustainable city.

Keywords: Solid waste. Unserviceable Tire. Recycling Plant. Asphalt-rubber. Feasibility analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Histórico de reciclagem. 25
Figura 2.2 – Número de fábricas de pneus no Brasil. 29
Figura 2.3 – Linha do tempo da ANIP. 30
Figura 2.4 – Mercado de reposição de pneus novos.....31
Figura 2.5 – Pontos de coleta de pneus inservíveis declarados por estado.....34
Figura 2.6 – Partes que compõem o pneu radial, com apresentação da nomenclatura usada. 37
Figura 2.7 – Fluxograma do processo de logística reversa dos pneus usados no Brasil. 40
Figura 2.8 – Ciclo do processamento do pneu. 41
Figura 2.9 – Preparação, reparação e aplicação do piso. 43
Figura 2.10 – Pneu remoldado. 44
Figura 2.11 – Processo de recapagem. 45
Figura 2.12 – Layout de trituração de pneus inservíveis a temperatura ambiente. ...49
Figura 2.13 – Esquema de trituração pelo processo criogênico.....50
Figura 2.14 – Esquema de produção de concreto asfáltico usinado a quente modificado por asfalto-borracha. 52
Figura 3.1 – Mapa identificando a cidade de Tucuruí.....70
Figura 3.2 – Localização da área de estudo.....71
Figura 3.3 – Usina de CBUQ de Tucuruí.....72
Figura 3.4 – Processo de desenvolvimento do trabalho.....74
Figura 4.1 – Destinação em percentual do quantitativo de pneus inservíveis em Tucuruí (PA). 75
Figura 4.2 – Estabelecimentos na cidade. 76
Figura 4.3 – Local de armazenagem de pneus inservíveis. 77
Figura 4.4 – Quantidade de pneus inservíveis gerados mensalmente em média por bairro na cidade.....78
Figura 4.5 – Tipos de pneus inservíveis recolhidos em média mensalmente. 78
Figura 4.6 – Destinação dada aos pneus inservíveis. 79
Figura 4.7 – Fiscalização municipal sobre o tratamento dos pneus inservíveis. 80
Figura 4.8 – Preocupação das empresas sobre a preservação do meio ambiente...81
Figura 4.9 – Conhecimento real do destino do pneu pelas empresas.....82

Figura 4.10 – Fluxo do método para estimativa de pneus inservíveis. 84
Figura 4.11 – Estimativa mensal de pneus inservíveis nas cidades adjacentes. 85
Figura 4.12 – Localização da área de estudo.....87
Figura 4.13 – Fluxograma da coleta de pneus inservíveis à usina. 89
Figura 4.14 – Fluxograma do processo produtivo da reciclagem dos pneus inservíveis. 91
Figura 4.15 – Layout da proposta da usina de reciclagem. 92
Figura 4.16 – Fluxograma do novo processo produtivo da usina de CBUQ. 94
Figura 4.17 – Fluxo do processo dos materiais da usina de reciclagem para a usina de CBUQ da cidade. 94
Figura 4.18 – Balanço de produção do CBUQ, em quilogramas. 95
Figura 4.19 – Capacidade nominal e efetiva em horas de produção do agregado. ..97
Figura 4.20 – Capacidade de produção da usina de reciclagem por semana. 97
Figura 4.21 – Fluxo no processo de produção de CBUQ na proposta a usina de Tucuruí. 98
Figura 4.22 – Custo do transporte pelo frete das cidades escolhidas como destino. 107
Figura 4.23 – Áreas a serem pavimentadas nos bairros do município. 109
Figura 4.24 – *Payback* do cenário projetado no período de 10 anos da usina de reciclagem. 115
Figura 4.25 – *Payback* do cenário pessimista no período de 10 anos da usina de reciclagem. 117
Figura 4.26 – *Payback* do cenário otimista no período de 10 anos da usina de reciclagem. 118

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Definições para Logística Reversa. 39
Quadro 2.2 – Classificação do mercado para comercializar o pó de borracha de acordo com a granulometria. 51
Quadro 2.3 – Benefícios comprovados do asfalto-borracha. 55
Quadro 3.1 – Classificação da pesquisa. 67
Quadro 4.1 – Dados técnicos da usina de CBUQ de Tucuruí. 99
Quadro 4.2 – Capacidade de transporte e os tipos de coleta dos veículos de carga. 105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dados de produção por categoria. 31
Tabela 2.2 – Quantidade de pneus novos colocados no mercado de reposição. 31
Tabela 2.3 – Quantidade de pneus inservíveis destinados por Estado. 32
Tabela 2.4 – Quantidade de pneus inservíveis destinados por região brasileira. 33
Tabela 2.5 – Representatividade das empresas de destinação da Região Norte. 33
Tabela 2.6 – Pontos de coleta de pneus inservíveis cadastrados no estado do Pará. 35
Tabela 2.7 – Composição dos materiais utilizados nos pneus de automóveis e carga por peso. 36
Tabela 2.8 – Composição química dos pneus. 37
Tabela 2.9 – Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados no Brasil. 54
Tabela 2.10 – Investimentos públicos federais em infraestrutura de transporte – acumulado 2001 a 2017. 57
Tabela 3.1 – Quantidade de veículos por município. 68
Tabela 3.2 – Tipos de veículos no município. 70
Tabela 4.1 – Comparativo da pesquisa em campo e o cálculo estimativo de pneus inservíveis. 83
Tabela 4.2 – Frota de veículos das cidades adjacentes a proposta a usina de reciclagem. 83
Tabela 4.3 – Estimativa da quantidade mensal de borracha e aço. 86
Tabela 4.4 – Quantidade de borracha e aço disponível mensalmente em Tucuruí...86
Tabela 4.5 – Quantidade de borracha e aço disponível mensalmente das cidades adjacentes*.....86
Tabela 4.6 – Percentual em peso da mistura asfáltica convencional ao modificado. 93
Tabela 4.7 – Capacidade nominal da proposta da usina de reciclagem de pneus....95
Tabela 4.8 – Parâmetros do cálculo da produtividade da usina de reciclagem. 96
Tabela 4.9 – Capacidade de produção da usina de reciclagem. 96
Tabela 4.10 – Despesas para a instalação da linha de reciclagem de pneus. 100
Tabela 4.11 – Orçamento para o uso de equipamentos de proteção individual aos funcionários da usina. 101
Tabela 4.12 – Investimento inicial da usina de reciclagem de pneus. 101

Tabela 4.13 – Consumo de gás metano para o aquecimento do agregado reciclado. 103
Tabela 4.14 – Custo de matéria-prima utilizada para a produção do CBUQ.....103
Tabela 4.15 – Referência das especificações de aplicação do CBUQ.....104
Tabela 4.16 – Quantidade de matéria-prima na produção de um quilômetro de CBUQ. 104
Tabela 4.17 – Custo de aquisição do agregado entre o CBUQ convencional e o modificado. 105
Tabela 4.18 – Custo mensal do frete como Tucuruí sendo destino. 106
Tabela 4.19 – Custo mensal do frete como Marabá sendo destino. 106
Tabela 4.20 – Custo mensal do frete como Ananindeua sendo destino. 106
Tabela 4.21 – Cálculos para obtenção da quantidade total de CBUQ (t). 108
Tabela 4.22 – Grandeza e os quantitativos das vias a serem pavimentadas com CBUQ convencional. 108
Tabela 4.23 – Custos de usinagem/aplicação e custos totais. 110
Tabela 4.24 – Custo por metro quadrado da execução de pavimento e manutenção. 111
Tabela 4.25 – Custo por metro quadrado de manutenção e execução. 111
Tabela 4.26 – Receita mensal adotando o CBUQ modificado. 112
Tabela 4.27 – Custos para a operação da usina de reciclagem de pneus. 113
Tabela 4.28 – Projeção no período de 10 anos ao cenário projetado da usina de reciclagem. 114
Tabela 4.29 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário projetado. 114
Tabela 4.30 – Projeção no período de 10 anos ao cenário pessimista da usina de reciclagem. 116
Tabela 4.31 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário pessimista. 116
Tabela 4.32 – Projeção no período de 10 anos ao cenário otimista da usina de reciclagem. 117
Tabela 4.33 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário otimista. 118
Tabela 5.1 – Comparação dos cenários de viabilidade da usina de reciclagem. 120

LISTA DE SIGLAS

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto

ABIP – Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABR – Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CNT – Confederação Nacional de Transporte

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONCER – Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora – Rio

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IL – Índice de Lucratividade

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Payback – Período de recuperação do capital investido

PNGRS – Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos

PRODERNA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

RECICLANIP – Instituição sem fins lucrativos criada pela ANIP para cuidar exclusivamente das ações de coleta e reciclagem

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SEMMA – Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Tucuruí

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa de Mínima Atratividade

URPT – Usina de Reciclagem de Pneus em Tucuruí

VAL – Valor Atual Líquido

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

cm – Centímetro

cm² – Centímetro Quadrado

g – Grama

kg – Quilograma

kg/d – Quilograma por dia

kg/h – Quilograma por hora

kg/m – Quilograma por mês

kg/s – Quilograma por semana

km – Quilômetro

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

m – Metro

m² – Metro Quadrado

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

t/d – Tonelada por dia

t/h – Tonelada por hora

ton – Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17

1.1 Consideração geral 17

1.2 Objetivos 19

1.2.1 Objetivo Geral 19

1.2.2 Objetivos Específicos 20

1.3 Estrutura do trabalho 20

2 REFERENCIAL TEÓRICO 22

2.1 Resíduos sólidos e legislações ambientais 22

2.1.1 Definição 22

2.1.2 Classificação 23

2.1.3 Problemática e reciclagem 23

2.1.4 Legislação 26

2.2 O problema dos pneus inservíveis 27

2.2.1 Histórico do pneu 27

2.2.2 Os pneumáticos no Brasil 28

2.2.3 Composição e características dos pneus 36

2.2.4 Logística reversa 38

2.2.5 Redução, reutilização e reciclagem dos pneus usados 42

2.2.6 Métodos de reciclagem do pneu 42

2.2.6.1 Reforma ou recauchutagem 43

2.2.6.2 Remoldagem 44

2.2.6.3 Recapagem 44

2.2.6.4 Pirólise genérica 45

2.2.6.5 Trituração 45

2.2.6.6 Outros tipos de reciclagem 46

2.3 Reaproveitamento de borracha de pneus em pavimentação asfáltica 46

2.3.1 Introdução 46

2.3.2 Histórico 47

2.3.3 Processo de reciclagem de pneus....49
2.3.4 Produção do CBUQ via úmida e seca....51
2.3.5 Vantagens técnicas, ecológicas e econômicas do asfalto-borracha....53
2.3.6 Investimento em infraestrutura....56
2.4 Métodos de análise de investimentos.... 58
2.4.1 Análise de investimento....58
2.4.2 Fluxo de caixa....59
2.4.3 Capex e Opex....59
2.4.4 Valor presente líquido....60
2.4.5 Taxa mínima de atratividade....61
2.4.6 Taxa interna de retorno....61
2.4.7 Payback....63
2.4.8 Depreciação....64
2.4.9 Análise de cenários....65

3 METODOLOGIA.... 66
3.1 Classificação da pesquisa.... 66
3.2 Etapas de desenvolvimento.... 67
3.2.1 Estimativa de pneus inservíveis na Região do Lago de Tucuru´- PA....67
3.2.2 Determinação do local de implantação....69
3.2.3 Usina de asfalto de Tucuruí....71
3.2.4 Dimensionamento da usina de reciclagem....72
3.2.5 Custo operacional....73
3.2.6 Análise da viabilidade econômico-financeira....73

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.... 75
4.1 Pneu inservíveis na região.... 75
4.1.1Tucuruí....75
4.1.2Cidades Adjacentes....82
4.2 Processo de reciclagem de pneus na usina.... 87
4.2.1 Descrição da operação da usina de reciclagem....88
4.2.2 Especificações do processo para a produção....93

4.2.3 Estimativa de capacidade e produtividade 95
4.2.4 Processo e especificações da usina de CBUQ 98
4.3 Análise da viabilidade econômica 99
4.3.1 Investimento inicial 99
4.3.2 Infraestrutura 99
4.3.3 Taxas de instalação e operação 101
4.3.4 Custos e despesas 102
4.3.5 Custo dos agregados 103
4.3.6 Análise de cenários de transporte de matéria-prima 105
4.3.7 Custo de manutenção de pavimentação 108
4.3.8 Fluxo de caixa 112
4.3.9 Análise de viabilidade 113
4.3.10 Projetado 113
4.3.11 Pessimista 115
4.3.12 Otimista 117

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 119
5.1 Conclusão 119
5.2 Sugestões para trabalhos futuros 121

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 122

1 INTRODUÇÃO

1.1 Consideração geral

O crescimento populacional e o rápido desenvolvimento tecnológico contribuíram ao despejar de forma inadequada os pneus inservíveis acarretando no aumento na geração de resíduos sólidos, cuja disposição final ocorre principalmente em aterros sanitários, e por isso, os ambientalistas apontam que a questão do lixo já é um dos mais graves problemas ambientais urbanos da atualidade (DOS SANTOS GARCIA *et al.*, 2016).

Ao descartar de forma inadequada os pneus pós-consumo, os danos são irreversíveis ao meio ambiente, pois não são biodegradáveis e seu tempo de decomposição ainda não é precisamente determinado pelos pesquisadores. Ocupam muito espaço físico e são difíceis de comprimir, recolher e eliminar, tornando-se ideais para a reprodução do mosquito *Aedes Aegypti*, causando mal à saúde humana (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2010).

Segundo Lagarinhos *et al.* (2008), desde 1999 está proibida a disposição de pneus inservíveis em aterros, devido a sua forma e composição, dificuldade de compactação e decomposição, além do que, pneus podem reter ar e gases da decomposição de outros materiais em seu interior, interferindo assim na operação do aterro sanitário.

Para diminuir os impactos ambientais causados por pneus inservíveis no meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 26 de agosto de 1999 a resolução nº 258 obrigando as empresas nacionais e importadoras de pneus a recolher e dar destinação adequada a pneus no território nacional.

O CONAMA, através da Resolução nº 416 de 2009, determinou que os fabricantes de pneus com o peso unitário superior a dois quilos devem fazer a coleta e dar a destinação adequada desses itens quando se tornarem inservíveis.

Para que seja defendido que a cultura da reciclagem não evidencie apenas aspectos de preservação ambiental e educacional, também é necessário justificar a reciclagem como uma atividade econômica que gera emprego e renda aos *stakeholders*, contribuindo para o bem-estar e qualidade de vida da sociedade.

As borracharias da região apresentam algumas dificuldades sobre o descarte adequado dos pneus inservíveis, clientes com baixo poder aquisitivo adquirem pneus usados, tornando-se um risco a ele próprio e a sociedade. Em segundo plano, os pneus são destinados

aos barqueiros da região para uso como proteção do casco lateral. Alguns borracheiros informaram também que uma empresa recapadora coleta os pneus da cidade, entretanto, não possuem o contato para fornecer à empresa, por fim, quando a área de armazenamento da borracharia chega ao seu volume máximo, eles têm que desembolsar uma quantia financeira para descartar esses resíduos à empresa coletora de lixo domiciliar da cidade ou contratar alguma empresa para desfazer-se dos pneus.

A reutilização da borracha de pneus inservíveis como agregado na composição asfáltica surge como alternativa à problemática apresentada devido aos benefícios que proporciona (SALINI, 2000).

Para Dias *et al.* (2014) a utilização de asfalto modificado por borracha demonstra-se uma técnica promissora, as quais apresentam vantagens estruturas e ecológicas, como redução do envelhecimento, baixo custo de manutenção, aumento da flexibilidade. A substituição de uma parte dos agregados minerais pelo composto borracha/madeira faz com que a flexibilidade da mistura asfáltica seja aumentada, tornando-se o material com maior facilidade manual de trabalho (COELHO, 2018).

O pavimento de asfalto-borracha é cerca de 40% mais resistente, além da diminuição de custos de manutenção das vias, possui maior aderência, o que ajuda a evitar derrapagens dos pneus em dias de chuva (SANTOS *et al.*, 2017).

Santos (2013) explora os benefícios do asfalto-borracha, como aumentar a segurança do usuário da via se comparar àquela com o uso do asfalto convencional. Além disso, propiciam vantagens ecológicas, ambientais e sociais, pela destinação adequada aos pneus descartados e inservíveis. Callister (2012) comprovou-se que na execução e manutenção do pavimento asfalto-borracha pode haver economia de cerca de 12%, comparando-se ao asfalto sem borracha, porque a vida útil é aproximadamente 30% maior que o do convencional.

Além do mais, a reciclagem de materiais na forma de pavimentos flexíveis empregando asfalto com borracha, possui menor deterioração das estradas, reduz gastos com transportes de matéria-prima e prazos de execução da obra, tornando-se essa técnica ainda mais econômica (SERRAGLIO, 2014).

Dessa forma, a usina de asfalto de Tucuruí, no interior do Pará, deve ter como objetivo o lucro financeiro e desenvolvimento dos benefícios ambientais, como a diminuição do volume de pneus inservíveis que seriam lançados no meio ambiente, que após tratamento passarão a ser utilizados, junto com a serragem de madeira, na composição do concreto asfáltico definidos e analisados, seguindo a metodologia Marshall, melhorando seu

desempenho e vida útil para a pavimentação da região e a redução da compra da matéria-prima tradicional da composição.

O método da composição asfáltica segue a patente do asfalto modificado por borracha/madeira, de pedido de depósito BR102016006187-3, publicada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), durante o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) em 2016, pelo doutorando Johnny Gilberto Moraes Coelho.

A composição, aplicada na Rodovia Juscelino Kubitscheck, Km 05, Macapá-AP, utiliza-se resíduos de serragem de madeira de uso na construção civil e borracha de pneu na composição asfáltica, a substituição de uma parte dos agregados minerais pelo composto borracha/madeira faz com que a flexibilidade da mistura asfáltica aumente (COELHO, 2018).

Através dessa pesquisa, será possível determinar a viabilidade do ponto de vista econômico para a produção do agregado borracha ao traço da composição do asfalto convencional. Para Bernucci *et al.* (2007), a real noção da viabilidade financeira é necessária, de modo que se faça uma análise considerando-se a vida útil do pavimento com adição de borracha.

O objetivo principal dessa pesquisa é analisar a viabilidade técnico-econômica para a implantação do processo de reciclagem de pneus inservíveis na produção da mistura asfáltica na usina de CBUQ da cidade, como uma alternativa para a solução da problemática em relação ao gerenciamento dos pneus inservíveis da região do Lago de Tucuruí - PA.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Quantificar o descarte de pneus inservíveis e analisar a viabilidade técnico-econômica de uma Usina de Reciclagem de Pneus em Tucuruí - PA, para produção do CBUQ com agregado borracha.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Levantar o volume médio de descarte de pneus em um determinado período em Tucuruí e a estimativa das cidades adjacentes (Breu Branco, Tailândia, Jacundá, Novo Repartimento, Pacajá, Goianésia do Pará e Baião);

b) Analisar as atividades da usina de reciclagem, verificando o seu dimensionamento das necessidades de operação no município;

c) Verificar todos os custos de produção, encontrando o custo final de geração do resíduo como agregado borracha produzido;

d) Apresentar a viabilidade econômica da usina de reciclagem de pneus ao processo seco de produção do CBUQ convencional para modificado.

1.3 Estrutura do trabalho

Para alcançar o objetivo da pesquisa, este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos: introdução, referencial teórico, metodologia da pesquisa, proposta de implantação da usina de reciclagem, viabilidade econômica, e considerações finais.

O primeiro capítulo introduz o tema da pesquisa e a definição do problema, e apresenta os objetivos gerais e específicos da dissertação. O capítulo traz a justificativa da pesquisa e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre temas relevantes que servirão de base para o estudo de viabilidade técnica-econômica. Para tanto, buscou-se referências nacionais e internacionais recorrentes sobre os problemas dos resíduos e a legislação de pneus inservíveis para o reaproveitamento de borracha de pneus em pavimentação asfáltica. Além disso, descreve-se as características operacionais da usina de reciclagem de pneus para a produção do agregado para CBUQ modificado.

O terceiro capítulo detalha as técnicas e procedimentos utilizados para a metodologia de pesquisa com a classificação do estudo e uma explicação sobre os procedimentos metodológicos, desenvolvido para alcançar o objetivo da pesquisa.

No quarto capítulo é apresentada a proposta de criação da usina de reciclagem, com a estimativa do volume de pneus gerado no município de Tucuruí e em outros municípios da região, descrição do seu processo produtivo e dos itens necessários para sua implantação, como infraestrutura, localização e produtos.

O quinto capítulo é desenvolvido a análise de viabilidade econômica da usina, com o investimento inicial, custos e receitas, ponto de equilíbrio, fluxos de caixa e a viabilidade realizada através dos indicadores econômicos de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL), Rentabilidade e o Retorno Financeiro (*Payback*).

Por fim, no sexto capítulo são apresentados as conclusões e discussões sobre a viabilidade técnica econômica da usina de reciclagem e demais considerações finais da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se uma breve revisão bibliográfica relacionada aos pneus inservíveis, incluindo gestão de resíduos sólidos e legislações ambientais, composição física e química, métodos de reciclagem, reaproveitamento para pavimentação asfáltica e os métodos de análise de investimentos a usina de reciclagem. O conjunto destas informações contribuiu para o estudo e desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Resíduos sólidos e legislações ambientais

2.1.1 Definição

A geração de resíduos sólidos e o aumento expressivo da degradação ambiental diretamente relacionada ao consumo exagerado dos recursos naturais tornam-se preocupantes ao acúmulo desses materiais em todas as partes do mundo.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma brasileira (NBR) 10004 diz que os resíduos sólidos são:

> Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição e lodos provenientes de sistemas de tratamento de água incluídos nesta definição, sendo estes gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável os seus 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, 2004).

Segundo Pichtel (2005), resíduos sólidos podem ser definidos como um material sólido sem valores econômicos, que tornam o descarte mais barato do que seu uso ou reaproveitamento.

Para o Dictionary of Water and Waste Management (SMITH & SCOTT, 2005), inclui-se como definição os resíduos (comerciais, domésticos, industriais, construção e demolição), entretanto, esse termo pode excluir alguns resíduos sólidos e possui características importantes, como, resíduos perigosos e os radioativos.

No Brasil, de acordo com Oliveira (2000), a Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (PNGRS) teve inicialmente como objetivos principais a defesa ambiental e da saúde

pública, a partir desse apoio entre as cidades brasileiras de um sistema integrado de gestão, tendo como princípios, em seu artigo 5º: I – a não geração de resíduos; II – a minimização da geração; III – a reutilização; IV – a reciclagem; V – o tratamento; VI – a disposição final.

2.1.2 Classificação

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), a classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A norma classifica os resíduos em três classes: Resíduos Classe I – Perigosos: são aqueles resíduos ou misturas dos mesmos, que apresentam periculosidade, ou qualquer característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. Resíduos Classe II – Não Perigosos, divididos em: Resíduos Classe II A – Não Inertes: aqueles que não se enquadram nas classificação de resíduos Classe I. Resíduos Classe II B – Inertes: qualquer resíduos que, quando amostrado de uma forma representativa, a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Seguindo a classificação de resíduos sólidos pela NBR 10004/2004, o rejeito de borracha de pneus é considerado como Resíduo Inerte, Não Perigoso de Classe II.

2.1.3 Problemática e reciclagem

Um dos maiores desafios enfrentado pelo meio técnico ambiental é garantir uma destinação adequada ao imenso volume de resíduos sólidos gerados. Diariamente, toneladas de resíduos sólidos são depositadas nos lixões ou são descartados em locais inapropriados e de forma inadequada (ANDRADE, 2007).

Nos Estados Unidos, em virtude dos sérios problemas ambientais que os resíduos de pneus vêm causando, e tendo em vista os potenciais benefícios da reciclagem, 48 estados implementaram leis ou regulamentos que regem a coleta, manuseio, reciclagem/reutilização e descarte de pneus inservíveis (FIKSEL et al., 2011).

Na Itália, segundo Bartolozzi et al. (2012), o uso de resíduos de borracha de pneus para a construção de pavimentos asfálticos, que poderiam absorver quantidades significativas de pneus inservíveis, não está amplamente difundido.

No Canadá, em dezembro de 1990, registrados por Emery *et al*. (1993) e com resultados de deformação permanente melhores que o concreto asfáltico convencional.

Na França, teve início em 1981, a mistura de borracha ao cimento asfáltico, a borracha moída de pneu era incorporada à temperatura de 200º C, empregando óleo extensor. A borracha utilizada variava na proporção de 10 a 30% e a de óleo entre 3 a 15% em relação ao peso do cimento asfáltico (FAXINA, 2002).

Os resíduos sólidos são uma das principais preocupações atuais, crescendo exponencialmente nos países desenvolvidos e subdesenvolvidos. São descartadas aproximadamente 183 mil toneladas de resíduos no mundo por dia, sem passar por nenhum processo de reciclagem ou reutilização. Estes produtos contêm uma grande quantidade de materiais (chumbo, ferro, alumínio, entre outros) e substâncias tóxicas (mercúrio, cádmio, plúmbeo, entre outros) que causam danos irreversíveis ao meio ambiente e a saúde humana (BARBA-GUTIÉRREZ; ADENSO-DÍAZ; HOPP, 2008; ONGONDO; WILLIANS; CHERRETT, 2011).

Segundo Motta (2008), a falta adequada do destino apropriado aos detritos gera a poluição das águas, solo, ar, degradação da natureza, perda de biodiversidade, danos à saúde, qualidade de vida e geração de impactos sociais e culturais. Assim, podendo tornar-se uma situação irreversível e inclusive comprometer a médio e a longo prazo o próprio desenvolvimento econômico.

Quando os pneus usados são dispostos em locais inadequados, servem como lugar para a procriação de mosquitos e outros vetores, representando também um constante risco de incêndio, quando são deixados ao ar livre, além de contaminar água e o solo (FREIRES, 2008).

Para Bartolomeu e Caixeta-Filho (2011), o tempo de decomposição de pneus descartados incorretamente, ou seja, lançados na natureza ainda é incerto, porém, ultrapassam um período de 100 anos. Viana (2009) expõe que:

> Os pneus não devem ser dispostos em aterros sanitários, pois seu formato e resistência impedem que sejam compactados junto aos demais resíduos, formando “ocos” na massa compactada, afofando o solo e comprometendo o aterro; ou acumulam ar e explodem, ou emergem (VIANA, 2009, p.23).

Para Viana (2009), a solução parcial do problema dos pneus inservíveis poderia ser o processo da trituração desses pneus antes de destiná-los aos aterros sanitários, no intuito de facilitar sua compactação, entretanto, a dissolução da borracha junto ao lixo que produz óleos com potencial poluir aos córregos ou lençóis freáticos, podendo causar sérios danos ao meio ambiente. Além disso, segundo Horner (1996), a poluição resultante da decomposição de resíduos de pneus possui metais pesados como chumbo, cádmio e zinco que vazam para o solo causando um estresse perigoso para o ambiente.

Para minimizar esses impactos ambientais através da reciclagem, a RECICLANIP foi criada em março de 2007 pelos fabricantes de pneus novos, a Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli, em 2010 a Continental juntou-se à entidade, e em 2014 foi à vez da Dunlop (RECICLANIP, 2017).

Segundo dados da RECICLANIP (2017), criada pela indústria nacional de pneus para cuidar exclusivamente da coleta e destinação de pneus inservíveis em todo o país, o setor superou a meta de reciclagem estabelecida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) nos últimos sete anos, como ilustra a Figura 2.1.

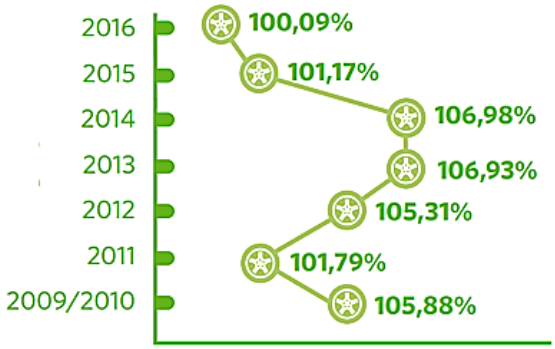


Figura 2.1 – Histórico de reciclagem.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), desde o início do Programa, em 1999, até 2014 a entidade contabilizou, através da logística reversa, mais de três milhões de toneladas de pneus inservíveis, equivalentes a cerca de 600 milhões de pneus de automóveis (ANIP, 2015). Até setembro de 2017, a RECICLANIP destinou mais de 359 mil toneladas de pneus inservíveis, isso equivale a 71,8 milhões de unidades de pneus de carros de passeio. Em 2017, os fabricantes nacionais investiram R$ 73,7 milhões somente na reciclagem (RECICLANIP, 2017).

Atualmente, a forma mais comum de destinação dos pneus inservíveis é como combustível alternativo para a indústria de cimento, que em 2014 respondeu por 69,7% do total. Em segundo lugar no ranking está a fabricação de granulado e pó de borracha para utilização em artefatos de borracha, ou asfalto-borracha, respondendo por 17,8% da destinação (ANIP, 2015).

2.1.4 Legislação

Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais causados por pneus inservíveis no meio ambiente, o CONAMA publicou em 26 de agosto de 1999, a resolução número 258, obrigando as empresas nacionais e importadoras de pneus a realizar a logística reversa adequada aos pneus no território nacional.

Desde 2002 para cada quatro pneus produzidos ou importados (novos ou reformados) um pneu inservível deveria ser reciclado. Em 2003 a relação deveria ser de dois pneus produzidos ou importados (novos ou reformados) para um pneu inservível reciclado. Já em 2004 a proporção foi de um pneu produzido ou importado novo para um pneu inservível reciclado. Em 2005 a relação cresceu para cada 4 pneus produzidos ou importados novos, cinco pneus usados deveriam ser reciclados; e, para cada 3 pneus importados reformados de qualquer tipo deveriam ser reciclados 4 pneumáticos usados (LAGARINHOS, 2008).

A Resolução do CONAMA nº 416/2009 estabelece que quem dispõe sobre a preservação à degradação ambiental causada pelos pneus de sua destinação a ser cumprida que é calculada a partir da conversão em peso dos pneus comercializados no mercado de reposição, considerando o desconto de 30%, em peso, pelo fator de desgaste do pneu novo. O mercado de reposição de pneus é o resultante da Equação 2.1, a seguir.

$$MR = (P+I) – (E+EO) \quad (2.1)$$

Sendo:

MR: Mercado de Reposição;

P: Total de pneus produzidos;

I: Total de pneus importados;

E: Total de pneus exportados;

EO: Total de pneus que equipam veículos novos.

A Lei N° 12.305, aprovada em 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O artigo 33 desta Lei institui que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus devem implementar sistemas de logística reversa para providenciar o retorno destes produtos após o uso pelo consumidor (BRASIL, 2010). Qualquer negligência com essas leis é considerada crime ambiental.

Segundo a Resolução CONAMA nº 416, que revoga as resoluções nº 258/1999 e nº 301/2002, o setor pneumático, representado pelos fabricantes e importadores juntamente com os revendedores, destinadores, o poder público e até mesmo o consumidor final, são responsáveis para se adequar ao planejamento, coleta e destinação final ambientalmente adequada de pneus inservíveis (CONAMA, 2009).

A resolução determina aos fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, a coleta e destinação adequada dos pneus inservíveis existentes no território nacional. Além disso, estabelece a implementação de pontos de coleta de pneus inservíveis em todos os municípios com população superior a 100 mil habitantes (IBAMA, 2017).

O IBAMA é o responsável por regular as formas de destinação para os pneus inúteis ou inservíveis, determinando pelos processos de coprocessamento, granulação, laminação e a pirólise. O IBAMA, por meio da Coordenação de Controle de Resíduos e Emissões, vinculada à Coordenação-Geral de Gestão da Qualidade Ambiental, da Diretoria de Qualidade Ambiental, é o responsável pelo controle e fiscalização da Resolução.

Com esse intuito, publicou em 18 de março de 2010 a Instrução Normativa nº 01, que institui o Relatório de Pneumáticos, Resolução Conama nº 416/2009, inserido no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadora de Recursos Ambientais (CTF/APP), que é preenchido pelos fabricantes e importadores de pneus novos, bem como pelas empresas destinadoras de pneumáticos inservíveis (IBAMA, 2017).

2.2 O problema dos pneus inservíveis

2.2.1 Histórico do pneu

Em 1839, Charles Goodyear, descobriu casualmente o processo de vulcanização da borracha, deste modo, em 1845 aproveitando-se desta descoberta, R. W. Thomson criou o pneu de borracha. Durante décadas muitas experiências foram sendo realizadas para o

melhoramento das propriedades da borracha natural. Na Primeira Guerra Mundial, na Alemanha, foi criada uma tecnologia para a fabricação da borracha sintética, até este período os pneus dependiam em sua totalidade da matéria-prima borracha natural para sua confecção (RAMOS, 2005).

Etapas iniciais de desenvolvimento dos pneus ainda incluíram o feito do inglês Robert Thompson que, em 1847, colocou uma câmara cheia de ar dentro dos pneus de borracha maciça. A partir de 1888, com a utilização do pneu em larga escala, as fábricas passaram a investir mais em sua segurança (ANIP, 2015).

2.2.2 Os pneumáticos no Brasil

De acordo com a ANIP, representante da indústria de pneus e câmaras de ar instaladas no Brasil, a produção de pneus no terceiro trimestre apresentou um crescimento de 9,4%. Os aumentos mais significativos foram verificados na produção dos pneus de passeio (12,4%) e de comerciais leves (14,5%) os pneus de carga e para veículos duas rodas não tiveram um crescimento tão acentuado (3,6% e 0,3% respectivamente), sobre as vendas, o terceiro trimestre de 2017 registrou um aumento de 8,6% (19.442.619 unidades). O índice de vendas foi puxado principalmente pelos pneus de passeio, que cresceram 10,3%, seguidos por ônibus e caminhões (9,7%) e comerciais leves (8,5%) (ANIP, 2017).

Atualmente o Brasil conta com a instalação de 20 fábricas de pneus, das quais seis são internacionais: Bridgestone, Continental, Goodyear, Michelin Group, Pirelli e Continental AG (ANIP, 2015). A Figura 2.2 apresenta um mapa geral onde estão localizadas as principais fábricas de pneus no Brasil.

Figura 2.2 – Número de fábricas de pneus no Brasil.

A parceria de convênio, a RECICLANIP, localizada em Parnamiri, no Rio Grande do Norte, fica responsável por toda gestão da logística de retirada dos pneus inservíveis do ponto de coleta e pela destinação ambientalmente adequada deste material em empresas destinadoras licenciadas pelos órgãos ambientais competentes e homologados pelo IBAMA (RECICLANIP, 2017).

Segundo Veloso (2010), ao transportar os pneus inservíveis para destinação final, que muitas vezes ocorre em outros estados daquele que gerou o resíduo sólido, há uma movimentação de vetores de várias doenças, entre elas a dengue, febre amarela e a *chikungunya*. O comitê de Saúde Ambiental do Quebec, no Canadá, notou que o transporte de pneus usados de uma região a outra, foi identificado como o principal fator da propagação do *Aedes Albopictus* nos Estados Unidos.

Segundo o Relatório de Pneumáticos do IBAMA, em 2016, foram analisadas as destinações de 18 fabricantes nacionais e 501 importadores de pneus novos. A Figura 2.3 ilustra as parcerias das empresas nacionais com a reciclagem dos pneus inservíveis no país.

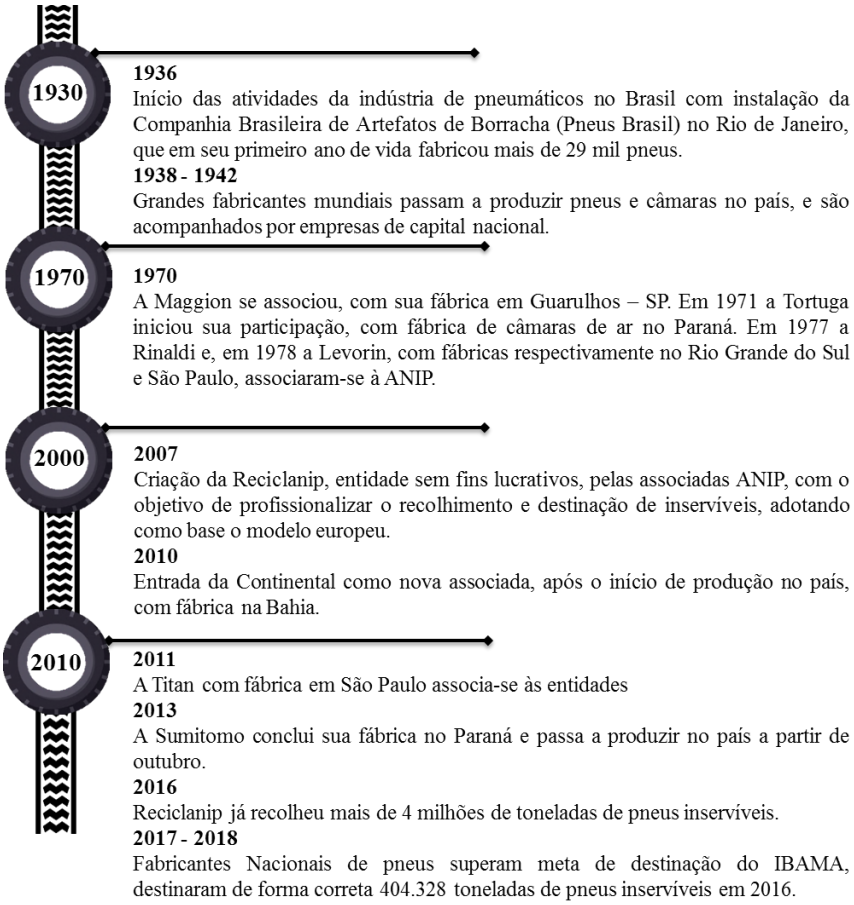


Figura 2.3 – Linha do tempo da ANIP.
Fonte: Adaptado pelo autor.

Segundo dados da ANIP (2017), foram vendidos 6.680.650 de pneus para montadoras no primeiro semestre, 9,1% a mais do que os 6.125.758 ao mesmo período de 2016. A venda de pneus para veículos de passeio para montadoras registrou um crescimento de 11,9%, reflexo do aumento da produção de veículos. Segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), a diferença positiva na produção de veículos foi de 23,3% quando comparado ao mesmo período de 2016. Os dados negativos ficaram por conta dos pneus de moto (-9,7%) e de carga (-4,6%), a Tabela 2.1 mostra os dados de produção por categoria nos últimos 11 anos no país.

Tabela 2.1 – Dados de produção por categoria.

PRODUÇÃO POR CATEGORIA (Milhares de unidades)									
ANO	**CARGA**	**CAMIONETA**	**PASSEIO**	**MOTO**	**AGRÍCOLA**	**OTR**	**INDUSTRIAL**	**AVIÃO**	**TOTAL**
2006	6.947,4	5.894,0	28.948,7	11.438,8	559,3	129,3	498,5	51	**54.467**
2007	7.319,3	6.058,4	28.791,4	13.725,5	698,2	131,9	462,1	0,9	**57.247,7**
2008	7.367,1	5.841,9	29.585,9	15.249,3	776	127,2	716,4	7,6	**59.711,4**
2009	6.033,6	5.599,8	27.489,3	13.158,1	593,3	86,7	1.083,3	41,8	**54.085,9**
2010	7.735,3	7.940,8	33.812,8	15.205,6	781,4	136	1.633,2	60	**67.305,1**
2011	7.448,8	8.470,6	32.568,2	16.078,5	793,8	109,7	1.396,9	60,1	**66.926,6**
2012	7.138,0	8.267,8	30.406,4	14.519,5	807,2	107,8	1.360,3	54	**62.661,0**
2013	8.231,3	9.904,5	32.554,3	15.041,6	928,5	103,3	2.072,8	52,6	**68.888,9**
2014	7.894,3	8.860,7	33.266,7	15.514,3	873,85	118,42	151,55	50,52	**66.730,5**
2015	6.829,0	8.843,0	37.399,8	14.614,7	719,4	103,2	120,8	0,79	**68.631**
2016	7.431,2	10.014,6	36.584,9	12.888,1	796,6	105,72	49,3	0	**67.870,3**

As vendas para o mercado de reposição fecharam em 2017 com aumento de 1%, em relação ao mesmo período de 2016. O resultado positivo foi puxado principalmente pelo aumento de 12,6% nas vendas de pneus de moto. Já os destaques negativos ficaram por conta dos pneus para veículos industriais e de passeio, que viram seus volumes de vendas caírem 6,4% e 2,6%, respectivamente (ANIP, 2017). A Tabela 2 apresenta a quantidade total, em unidades e em toneladas, de pneus novos colocados no mercado de reposição no ano de 2016.

Tabela 2.2 – Quantidade de pneus novos colocados no mercado de reposição.

Mercado de Reposição	
Em unidades	Em toneladas
53.411.924	729.214,04

A Figura 2.4 apresenta o percentual de participação, por setor, no mercado de reposição, por fabricantes e importadores por unidade.

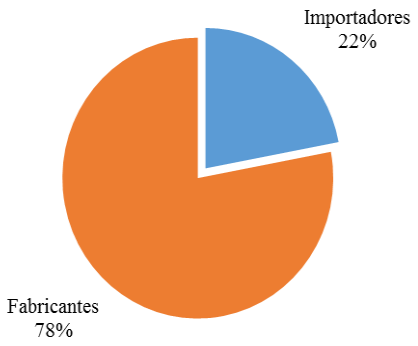


Figura 2.4 – Mercado de reposição de pneus novos.

Segundo informações do IBAMA (2016), por ano são destinadas 493.399,13 toneladas de pneus inservíveis no Brasil, com o Estado do Pará, apresentando um percentual de 0,06% (cerca de 282,18 toneladas). As destinações realizadas por Estado da Federação e sua representatividade nacional, para o cumprimento da meta, considerando a localização da empresa destinadora declarante, são mostradas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Quantidade de pneus inservíveis destinados por Estado.

UF	Destinação (t)	Percentual/País
SP	135.538,95	27,47%
PR	95.245,04	19,30%
MG	89.646,06	18,17%
MT	26.103,66	5,29%
RJ	25.973,36	5,26%
SC	20.791,17	4,21%
GO	15.832,20	3,21%
BA	15.337,33	3,11%
DF	14.187,32	2,88%
RS	13.891,58	2,82%
PI	11.160,13	2,26%
SE	9.869,41	2,00%
AM	9.270,45	1,88%
MS	6.178,12	1,25%
AL	3.213,84	0,65%
CE	878,33	0,18%
PA	282,18	0,06%
Total	**493.399,13**	**100,00%**

Com a base de dados do IBAMA (2016), os maiores volumes de pneus inservíveis estão mais concentrados na região sudeste (50,90%) e sul (26,33%), a Tabela 2.4 apresenta a quantidade, em toneladas, e a distribuição percentual do total de pneumáticos inservíveis destinados, por região do Brasil.

Tabela 2.4 – Quantidade de pneus inservíveis destinados por região brasileira.

Região	Destinação (t)	Percentual/País
Sudeste	251.158,37	50,90%
Sul	129.927,79	26,33%
Centro-Oeste	62.301,30	12,63%
Nordeste	40.459,04	8,20%
Norte	9.552,63	1,94%
Total	**493.399,13**	**100%**

A empresa Rubberbras Ltda, cadastrada como destinadora de pneus para placas de revestimento feitas de pneus radiais, para equipamentos de mineração (ferro, ouro, cobre, zinco, níquel e bauxita), siderurgia, cimenteiras e pedreiras absorve cerca de 282,18 toneladas/ano. A Tabela 2.5 apresenta as empresas destinadoras, o percentual de pneus inservíveis destinados, relativo ao total destinado da Região Norte.

Tabela 2.5 – Representatividade das empresas de destinação da Região Norte.

UF	Empresa Destinadora	Quant. destinada (t)	Percentual/País
AM	Amazon Clean Serviços de Incineração Limitada	6.547,55	1,33%
AM	Riolimpo Indústria e Comercio de Resíduos Ltda	2.073,93	0,42%
AM	Itautinga Agro Industrial S/A	335,69	0,07%
AM	Ecomix- Moagem e Tratamento de Resíduos Ltda.	13,28	0,06%
PA	Rubberbras Ltda	282,18	0,06%
	Total	**9.552,63**	**1,94%**

A Figura 2.5 demonstra a quantidade de pontos de coletas cadastrados em cada estado. Em 2016, foram cadastrados 1.723 pontos de coleta, sendo 932 localizados em municípios com população residente acima de 100 mil habitantes, restando 13 municípios com essa característica, sem nenhum ponto de coleta declarado (IBAMA, 2017).

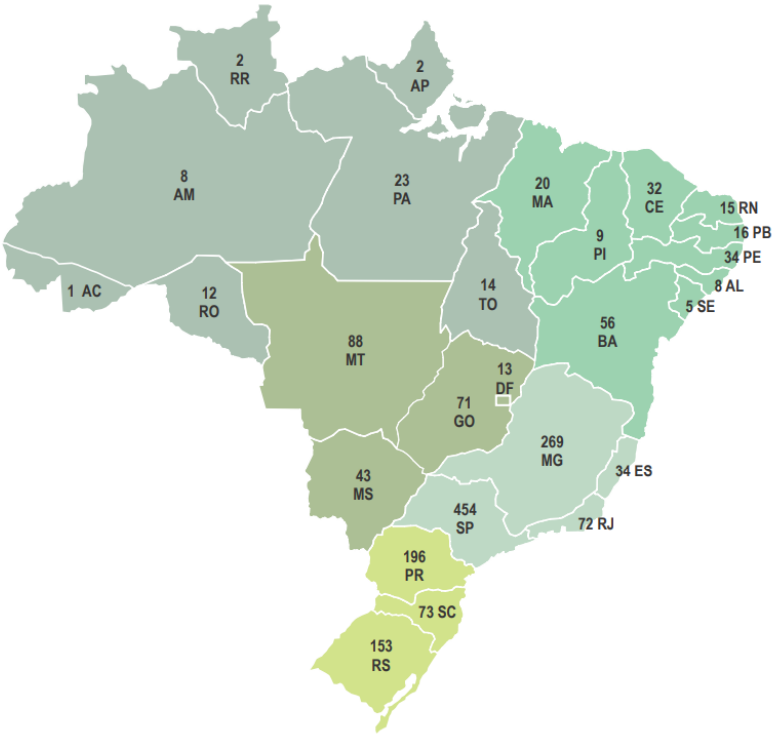


Figura 2.5 – Pontos de coleta de pneus inservíveis declarados por estado.

No Pará, os municípios com asterisco (*) ao lado do nome, possuem população estimada acima de 100 mil habitantes. Ao final, são apresentados os municípios com população residente estimada acima de 100 mil habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e com data de referência em 1º de julho de 2016 e que não possuem nenhum ponto de coleta declarado. Na Tabela 2.6 estão declarados os pontos de coleta de pneus inservíveis cadastrados no estado do Pará.

Tabela 2.6 – Pontos de coleta de pneus inservíveis cadastrados no estado do Pará.

MUNICÍPIO	ENDEREÇO	CAPACIDADE (unidade)
Abaetetuba (*)	RODOVIA JOÃO MIRANDA, KM 03, N° 3244	2.000
Alenquer	RAVESSA DOUTOR LAURO SODRÉ COM A RUA JARBAS PASSARINHO – PLANALTO	2.000
Altamira (*)	AVENIDA ALACID NUNES, 2341	2.000
Altamira (*)	ESTRADA VICINAL CIPO AMBÉ, KM 17 DA RODOVIA PA 415	2.000
Ananindeua (*)	ESTRADA MAGUARI 2100	2.000
Ananindeua (*)	RODOVIA BR 316, KM 94	100
Ananindeua (*)	RODOVIA BR 316, KM 05, BLOCO 01, GALPÃO 01 – COQUEIRO	75
Belém (*)	AVENIDA DUQUE DE CAXIAS, N° 586 – BAIRRO FÁTIMA	2.000
Belém (*)	AVENIDA SENADOR LEMOS, 4357 – SACRAMENTA	2.000
Benevides	AVENIDA DAS NAÇÕES UNIDAS, 360 – MADRE TERESA	75
Bragança (*)	ENIDA NAZARENO FERREIRA, N° 585 – MOZIHO	2.000
Cametá (*)	AVENIDA SIQUEIRA, ESQUINA COM A RUA “O” - BAIRRO CENTRAL	2.000
Canaã dos Carajás	RUA VICINAL 45 – MINA DO SOSSEGO	1.500
Castanhal (*)	AVENIDA PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS, 3555	2.000
Castanhal (*)	RODOVIA BR 316, KM 57, S/N – APEU	2.000
Castanhal (*)	AVENIDA PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS, 176	4.000
Marabá (*)	QUADRA ESPECIAL LOTE G1, S/N – FOLHA 31 – NOVA MARABÁ	2.000
Marituba (*)	RUA DA REICON D/A 10, BOX 10	2.000
Parauapebas (*)	AVENIDA JÂNIO QUADROS, S/N, QUADRA 10, LOTE 05 E 07	2.000
Parauapebas (*)	AVENIDA REDENÇÃO, S/N, QUADRA 15, LOTE 14 A 16 – LINHA VERDE	2.000
Parauapebas (*)	RUA F, 672 – UNIÃO	2.000
Parauapebas (*)	RUA VS 11, N° 230 – NOVO BRASIL	2.000
Santarém (*)	AVENIDA ANTÔNIO SIMÕES, S/N	2.000
	CAPACIDADE TOTAL DO ESTADO	**41.750**

Para que os custos envolvidos na coleta dos produtos descartados sejam reduzidos, recomenda-se que as empresas responsáveis pela coleta, sejam elas fabricantes, distribuidores, comerciantes, forneçam pontos de coleta, com localização centralizada (KWATENG *et al.*, 2014).

De acordo com Roy, Nollet e Beaulieu (2006), para que seja viável a logística de coleta em larga escala, principalmente em áreas de baixa densidade demográfica, faz-se necessário organizar uma rede logística envolvendo empresas terceiras com a finalidade de reduzir custos.

2.2.3 Composição e características dos pneus

Os processos e matérias primas, como borracha natural, borracha sintética, derivados de petróleo como o negro de fumo, cabos de aço, cordonéis de aço ou náilon, produtos químicos como enxofre, são essenciais ao pneu. A parcela de utilização de cada um desses itens na fabricação dos pneus varia de acordo com o uso que será dado ao produto, por exemplo, é a diferença da composição entre os pneus destinados aos automóveis de passeio e pneus de caminhões de carga, nos compostos da banda de rodagem dos pneus de automóveis empregados predominantemente em estradas pavimentadas (ANIP, 2017).

A composição física, química e a porcentagem em peso de cada material utilizado para a construção dos pneus de automóvel, caminhão e ônibus (carga) são apresentadas nas Tabela 2.7 e 2.8.

Tabela 2.7 – Composição dos materiais utilizados nos pneus de automóveis e carga por peso.

MATERIAIS	VEÍCULO DE PASSEIO (%)	VEÍCULO DE CARGA (%)
Borracha Natural	14	27
Borracha Sintética	27	14
Negro Fumo (*carbon*)	28	28
Aço	14-15	14-15
Tecido, aceleradores, anti-ozônio, óleos, etc.	16-17	16-17
Peso Total	Peso médio do pneu novo 8,5 Kg. No Brasil, o pneu inservível pesa 5 kg conforme instrução normativa de nº 8 do IBAMA, de 15 de maio de 2002.	No Brasil o pneu inservível pesa 40 Kg, conforme a instrução normativa de nº 8 do IBAMA, de 15 de maio de 2002.

(*) Na Instrução Normativa no 008/02 consta a informação da equivalência em peso dos pneus de automóveis, ônibus, caminhões, motos e pneus fora de estrada. Em 2010, com a aprovação da Instrução Normativa no 001/10, foi revogada a Instrução Normativa no 008/02. Não existe um levantamento de campo do peso dos pneus inservíveis de automóveis, motos, ônibus e caminhões, realizado com as empresas de pré-tratamento e destinação desses produtos. (Adaptado de Adhikari, De e Maiti (2000); Brasil (2003)).

Tabela 2.8 – Composição química dos pneus.

Elemento/Composto	Quantidade (%)
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Todos os itens têm fundamental importância na fabricação dos pneus, com destaque para a banda de rodagem, o corpo (ou carcaça) e o talão construído conforme especificações do diâmetro, de forma a garantir a segurança de que o pneu não se solte do aro, quando submetido a esforços laterais.

O processo de construção da carcaça é responsável por aspectos importantes de dirigibilidade, como o balanceamento, geometria e simetria, além disso, há o ombro, a parede lateral, lonas de corpo, estabilizadoras e lâminas de estanque (ANIP, 2017). A Figura 2.6 ilustra a nomenclatura usada das partes de um pneu radial e identificar os índices numéricos apresentados as partes que compõem o pneu.

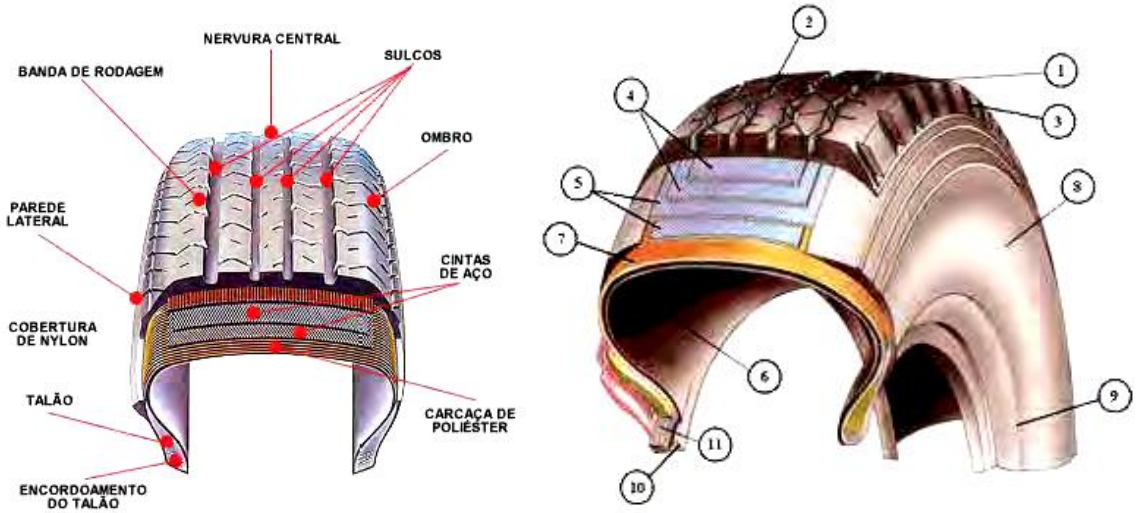


Figura 2.6 – Partes que compõem o pneu radial, com apresentação da nomenclatura usada.

A presença do negro de fumo ou carbono amorfo é fundamental em todos os compostos de borracha, o que confere a imprescindível resistência à abrasão e obviamente deixa o pneu preto, além do enxofre, elemento vulcanizante, somado com variados produtos

químico, catalisadores, plastificantes e cargas reforçantes o pneu, as lonas emborrachadas de cordonéis de aço, de náilon ou outros materiais como o *kevlar*.

Estes materiais são combinados conforme a capacidade de carga requerida, a velocidade de emprego e principalmente o tipo de aplicação, para cada veículo e de estrada. (ANIP, 2017).

A resolução do CONAMA n° 258/1999 (BRASIL, 1999), em seu Art. 22 define o pneu das seguintes formas:

e) Pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos;

f) Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma;

g) Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial como fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem;

h) Pneu ou pneumático inservível: aquele que não é mais viável ao processo de reforma que permita condições de rodagem adicional.

2.2.4 Logística reversa

A logística reversa é uma nova área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valores de diversas naturezas, como: econômico, ecológico, legal, competitivo e de imagem corporativa, entre outros (LEITE, 2003).

Para Pereira *et al.* (2013), o conceito de logística reversa é umas das áreas da logística empresarial, que engloba seu conceito tradicional, agregando conjuntos de operações e ações voltadas desde à matéria-prima até a destinação final correta do produto. No Quadro 2.1, outras importantes definições para o conceito de Logística Reversa.

Quadro 2.1 – Definições para Logística Reversa.

AUTOR	DEFINIÇÕES PARA LOGÍSTICA REVERSA
Pohlen e Farris (1992)	Movimento de mercadorias do consumidor em direção ao produtor, no canal de distribuição.
Fleischmann et al. (1997)	Processo que engloba as atividades logísticas de produtos não mais utilizados pelo usuário, para produtos novamente utilizáveis em um mercado.
Carter e Ellram (1998)	Processo pelo qual as empresas podem se tornar ambientalmente mais eficientes através da reciclagem, reutilização e redução da quantidade de materiais utilizados.
Dowlatshahi (2005)	Processo pelo qual uma indústria recupera produtos ou peças a partir do ponto de consumo, para uma possível reciclagem, remanufatura ou descarte.
Lagarinhos e Tenório (2013)	É uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e com as informações logísticas do retorno de bens do pós-venda e pós-consumo, aplicando técnicas que garantam valores econômico, ecológico, legal, competitivo, imagem corporativa e outros.

A Logística Reversa de pós-consumo, tratada por Barbieri e Dias (2002), como Logística Reversa Sustentável, é uma ferramenta importante para programar planejamentos de produção e consumo sustentáveis, ou seja, sua preocupação é a recuperação de materiais pós-consumo, sendo, portanto, um instrumento de gestão ambiental.

Para Lagarinhos e Tenório (2013), no Brasil, a logística reversa é um novo conceito da logística empresarial, reconhecido pelos profissionais de logística que matérias-primas, componentes e suprimentos representavam custos significativos que devem ser administrados de forma adequada, quando seu retorno de pós-venda ou pós-consumo.

Aguiar e Furtado (2010), o caso dos pneus inservíveis, fibras de borrachas servem como matéria-prima na composição de asfalto, além de outros aproveitamentos, como do aço as siderúrgicas.

Com o objetivo da logística reversa de pneus usados no país, a Figura 2.7 ilustra o processo da logística direta e reversa. Segundo Lagarinhos e Tenório (2013), o IBAMA realiza a fiscalização, controle e reportagem das metas de reciclagem, recebendo informações dos fabricantes e empresas de reciclagem. Os distribuidores possuem duas opções para o encaminhamento dos pneus, os quais são empresas de triagem ou destinação final.

O consumidor ao trocar o pneu atual por um novo, pode deixar o mesmo na loja para a reciclagem ou levá-lo para casa. Os borracheiros que vendem os pneus meia-vida, ou trocam pneus novos que geralmente são levados pelos proprietários dos veículos para a troca, devem levar os pneus inservíveis até um ponto de coleta: distribuidores e revendas (Lagarinhos e Tenório, 2013).

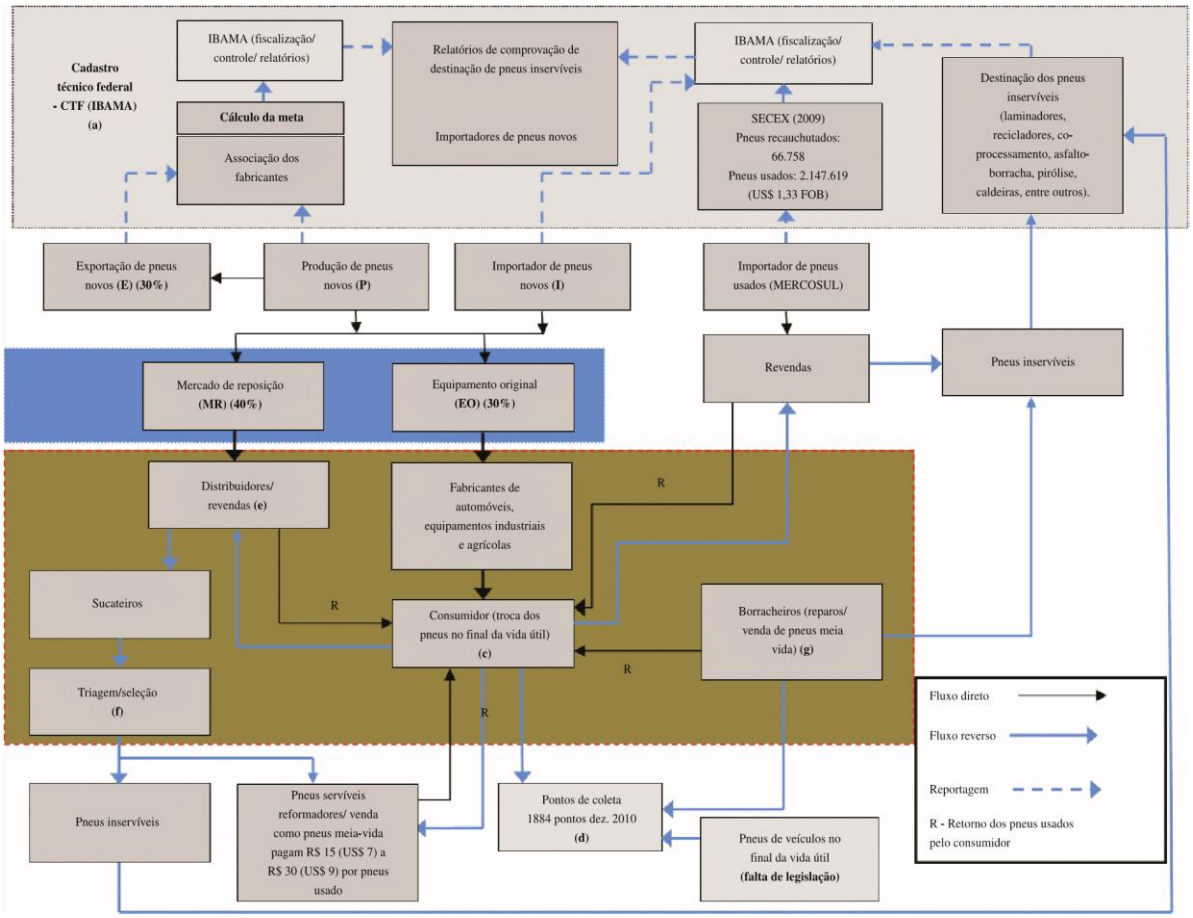


Figura 2.7 – Fluxograma do processo de logística reversa dos pneus usados no Brasil.

A Figura 2.8 ilustra os fluxos do ciclo do processamento do pneu usado, desde quando é fabricado até o momento em que é destinada a reciclagem. Consiste basicamente de cinco ciclos: extração, produção, consumo, coleta dos pneus descartados e o gerenciamento da destinação do lixo. O mesmo sai da fábrica e vai para o ponto de venda ou revenda, onde é vendido ao consumidor que deve ser orientado pelo revendedor sobre o descarte ambientalmente correto dos pneus inservíveis, quando sai não possui mais condições de uso, deve ser levado ao ponto de coleta mais próximo do consumidor, a RECICLANIP retira esse material do ponto de coleta e encaminha para a usina de reciclagem, o material é reaproveitado para ser utilizado como fonte de energia ou matéria-prima para a indústria.

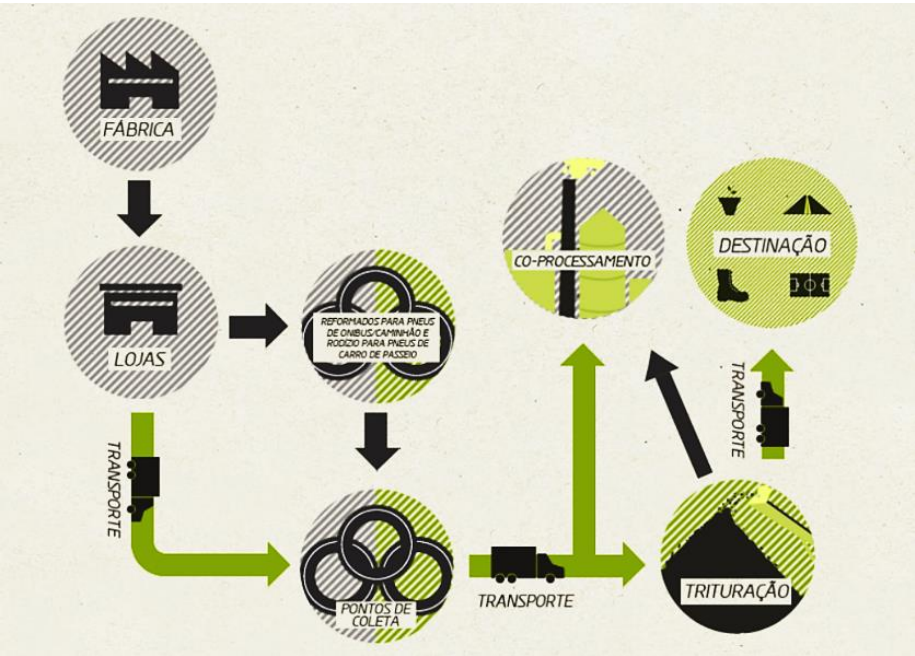


Figura 2.8 – Ciclo do processamento do pneu.

Conforme o Decreto de Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa que define a Logística Reversa como:

> "[...] 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".

Segundo Lei Federal citada, pode-se concluir que a destinação do pneu inservível para o seu reaproveitamento desse material ao asfalto impacta positivamente no desenvolvimento econômico e social e é ambientalmente correto que deixaria de ser lançado ao meio ambiente, evitando de se transformar em lixo e causar possíveis danos à saúde pública.

A logística reversa é um dos principais processos que viabiliza economicamente toda a cadeia, seja no processo de reutilização, reciclagem ou valorização energética. Para as empresas envolvidas, devem ser levados em consideração o melhor ponto de vista econômico, ambiental e da comunidade (TEPPRASIT; YUVANONT, 2015).

2.2.5 Redução, reutilização e reciclagem dos pneus usados

Os 3 R's da sustentabilidade (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) são ações práticas que visam minimizar o desperdício de materiais e produtos, além de poupar a natureza da extração inesgotável de recursos. O processo de reciclagem da borracha é tão antigo quanto seu próprio uso na indústria. Em 1909, na cidade alemã de Leipzig (a maior do estado da Saxônia), já havia a trituração e a separação da borracha de vários artefatos (LAGARINHOS, 2008; BALLOU, 2005).

Muitos destes pneus encontram-se em borracharias, que segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), podem ser definidas como pequenos ou grandes empreendimentos que realizam basicamente o conserto ou troca de pneus (SEBRAE, 2010).

Segundo Parra *et al.* (2010) os artesanatos de pneus são gradativamente produzidos e ganham incentivo no Brasil. Além de colaborar com o meio ambiente, a reciclagem através da arte, gera renda e promove a inclusão social sendo de fato uma atividade sustentável. Inclusive, no aspecto de recuperação ambiental, podem ser enterrados em grandes erosões ou utilizados para construir barreiras de assoreamento (MARTINS, 2004; PARRA *et al.*, 2010).

Segundo Kamimura (2002), nas obras de drenagem, os pneus são unidos em módulos de aproximadamente 15 pneus e formam um tubo que substitui as manilhas de concreto, prática tem sido adotada nos EUA e tem apresentado desempenho aceitável.

2.2.6 Métodos de reciclagem do pneu

Quando um pneu chega ao fim de sua vida útil, ele deve ser deixado em local apropriado, como estabelecimento comercial de revenda de pneus ou um ponto de coleta de pneus criado pela Prefeitura Municipal, entretanto, isso deixa de acontecer com o passar do tempo pelo consumidor ou pela ausência do ponto de coleta (RECICLANIP, 2018).

No Brasil, uma das formas mais comuns de reaproveitamento dos pneus inservíveis é como combustível alternativo para as indústrias de cimento. Outros usos dos pneus são na fabricação de solados de sapatos, borrachas de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poliesportivas, pisos industriais, além de tapetes para automóveis. Mais recentemente, surgiram estudos para utilização dos pneus inservíveis como componentes para a fabricação

de manta asfáltica e asfalto-borracha, processo que tem sido acompanhado e aprovado pela indústria de pneumáticos (RECICLANIP, 2018).

2.2.6.1 Reforma ou recauchutagem

A recauchutagem é o processo de remoção da banda de rodagem e dos ombros do pneu (LAGARINHOS, 2004). A Figura 2.9 ilustra a troca da banda de rodagem.

Figura 2.9 – Preparação, reparação e aplicação do piso.

O processo de recauchutagem é utilizado em cerca de 70% dos veículos de carga no Brasil, pois é um processo que pode aumentar a vida útil do pneu em até 40%, além de gerar uma economia energética e de matéria-prima de 80%, se comparados com a produção de novos pneus (FIORITI; INO; AKASAKI, 2010; SUGIMOTO, 2004).

Existem dois processos para recauchutagem, os quais são o processo a frio, um método mais eficiente, e a recauchutagem a quente, que demanda menos espaço e oferece um ganho de produtividade (LAGARINHOS e TENÓRIO, 2008).

Segundo Resende (2004), a recauchutagem de pneus é largamente utilizada em pneus destinados às frotas de transporte de carga. Isso se deve ao fator econômico, devido ao preço de um pneu recauchutado ser em torno de um terço de um novo. O mesmo autor afirma ainda que nos pneus de passeio a economia não chega a ser tão vantajosa, chegando a custar cerca de 60% do valor de um pneu novo.

Segundo a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus (ABR), mesmo com uma reforma de qualidade, nada pode garantir que a durabilidade seja semelhante a um pneu novo. Isso porque as condições das estradas e o peso das cargas variam, assim como os cuidados com os pneus após a reforma (ABR, 2018).

2.2.6.2 Remoldagem

Para Lagarinhos e Tenório (2008), a remoldagem de pneus consiste em remover os talões das carcaças; em seguida, o pneu é totalmente reconstruído e vulcanizado sem qualquer emenda, proporcionando balanceamento, apresentação e segurança de uso, como se observa na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Pneu remoldado.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados (ABIP), ao final do processo, o pneu será reconstituído de talão a talão, com as mesmas características de um pneu novo, gerando uma economia de 20 litros de petróleo se comparado a um pneu novo de automóvel (ABIP, 2018).

2.2.6.3 Recapagem

É um processo mais simples que os demais, pois neste, apenas a banda de rodagem é substituída integralmente no pneu. A Figura 2.11 ilustra este processo.

Figura 2.11 – Processo de recapagem.

Existem outros processos de reutilização de pneus “velhos”, porém, que não voltem a rodar pelas estradas brasileiras, devido ao seu desgaste excessivo, como é o caso da reciclagem, onde serão triturados e posteriormente cada material formado será encaminhado para um destino diferente (HENKES e RODRIGUES, 2015).

2.2.6.4 Pirólise genérica

Este processo não é poluente e é possível reaproveitar em média cerca de 90% dos componentes do pneu, sendo desta maneira completamente sustentável, e por este fato, considerado o método mais eficaz (SOUZA, 2009).

De acordo com Lagarinhos e Tenório (2008), os principais resultados da decomposição química dos pneus são, o óleo negro (utilizado como combustível), negro de fumo (para indústria de borracha) e o aço (para a indústria siderúrgica), matérias-primas essenciais nos processos industriais.

Segundo Bartholomeu (2010), o processo aceita 5% do peso da rocha de xisto, podendo atingir uma marca de 11 milhões de pneus reciclados no ano. Considerada uma destilação destrutiva, visa reaproveitar componentes do pneu como matérias-primas ou combustíveis através da decomposição química por calor na ausência de oxigênio.

2.2.6.5 Trituração

Segundo o Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), os processos mais utilizados para a

trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico. No Brasil, o processo mais utilizado é a trituração à temperatura ambiente (EPUSP, 2018).

2.2.6.6 Outros tipos de reciclagem

Existem vários outros processos de reutilização de pneus inservíveis, como, muros de arrimos, na mistura com asfalto para a pavimentação de vias e pátios, na produção de saltos e solados de calçados, nos fornos de fábricas de cimento é usado como combustível, reformas, regeneração, e entre outras (PACHECO, 2006).

2.3 Reaproveitamento de borracha de pneus em pavimentação asfáltica

2.3.1 Introdução

A mistura asfáltica é chamada de CAP (cimento asfáltico de petróleo), exercendo a função de ligante, pois, quem suporta as cargas é a pedra (brita), mas é preciso envolver a pedra, e é por isto que se usa o CAP. Quando fabricado, apresenta tonalidade negra e vai ficando cinza até chegar ao cinza bem claro, e quanto mais velho, mais rígido e quebradiço (BERTOLLO *et al.*, 2000).

Além disso, Bertollo *et al.* (2000) afirma que a mistura do asfalto com a borracha granulada não é uma tecnologia atual no mundo. Desenvolvida no Arizona em 1963, Estados Unidos, por um técnico chamado Charles Mac'Dowell, que registrou sua patente depois de 10 anos de experiências, estudos e análises experimentais.

O asfalto-borracha, que é empregado na pavimentação é um asfalto modificado por borracha moída de pneus. Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (ZATARIN *et al.*, 2016).

Para Chiu (2008) a incorporação de materiais reciclados aos pavimentos, substituindo os agregados, é percebida como oportunidade de poupar os recursos naturais, evitar os impactos ambientais da extração e do transporte desses materiais.

A possibilidade de substituição dos materiais de construção, abre um leque de aplicações para os pneus inservíveis, seja na forma original (inteiro) ou processada (triturada),

como, por exemplo: material para pavimentação asfáltica; material para obras geotécnicas (muros de contenção, barragens, aterros, etc); sistemas de drenagem e armazenamento de água; entre outras (KAMIMURA, 2002).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas viabilizando a utilização de materiais alternativos na construção civil e criando práticas ambientalmente sustentáveis da engenharia sustentável (BOLDEN *et al.*, 2013).

2.3.2 Histórico

O asfalto-borracha começou na década de 40, quando a Companhia de Reciclagem de Borracha, *U.S. Ruber Reclaiming Company*, introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada denominada RamflexTM. Na década de 60 no Arizona, nos EUA, suas primeiras utilizações foram em reparos e pequenas revestimentos asfálticos (WICKBOLDT, 2005).

Conforme Wickboldt (2005), a incorporação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários e urbanos tem sido empregada há décadas no exterior. Pesquisas e aplicações de numerosas técnicas utilizando asfalto-borracha são uma realidade inconteste em alguns estados americanos.

As misturas de asfalto-borracha têm sido bastante empregadas nos Estados Unidos, principalmente nos estados do Arizona, Califórnia, Flórida e Texas, em trabalhos de recuperação estrutural de pavimentos degradados, em camadas de revestimentos de pavimentos novos e em serviços de manutenção corretiva (EDEL, 2002).

McQuillen *et al.* (1988), construções de pavimentos asfálticos utilizando o processo seco de incorporação pode ser viável. A análise estrutural permitiu avaliar a influência da borracha na espessura do revestimento asfáltico, para as misturas modificadas, pode-se obter uma redução de 20 a 40% na espessura do revestimento em relação a uma mistura asfáltica convencional.

Segundo *Rubber Pavement Associaton-RPA* (2001), misturas com asfalto-borracha tem demonstrado uma performance superior às das misturas convencionais. As especificações da Califórnia chegam a permitir uma redução de 50% na espessura das camadas betuminosas.

No Brasil este processo foi utilizado pela primeira vez somente em 2001 em um trecho experimental de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) confeccionado com asfalto-borracha na rodovia BR116/RS, trecho Guaíba-Camaquã camada aplicada de

aproximadamente 3,5 cm (GRECA, 2003). Outros locais onde a pavimentação foi executada com asfalto-borracha:

a) 2003: Outro estudo foi desenvolvido a partir de julho de 2003 na área de pesquisas e testes de pavimentos localizada no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre (MORILHA JR, 2004);

b) 2004: trecho experimental em Salvador (BA), na Av. General Graça Lessa. O revestimento conferiu ganhos de atrito e de drenabilidade superficial ao trecho experimental, o que garantiu boa visibilidade e redução da aquaplanagem, o pavimento não apresentou deformação permanente e houve uma redução no nível de ruído (ODA; NASCIMENTO; EDEL, 2005);

c) 2006: o Sistema Anchieta-Imigrantes, administrado pela concessionária Ecovias, recapeou todo o trecho de serra da Via Anchieta utilizando cerca de 130 mil toneladas de asfalto-borracha e recuperou outros trechos da Via Anchieta e Rodovia dos Imigrantes (GRECA, 2009). ;

d) 2011: asfalto-borracha foi usado no recapeamento de trechos da rodovia dos Imigrantes e da Rodovia Anchieta (km 40-55) e, no futuro, toda a extensão da Rodovia Padre Manoel da Nóbrega, sob a concessão da Ecovias, da Rodovia Cônego Domênico Rangoni e da SP 248 (MAZZONETTO, 2011);

e) 2011: Rodovia RJ-122: recapeamento do trecho da rodovia que liga Cachoeiras de Macacu a Guapimirim no estado do Rio de Janeiro. Nessa obra, foram utilizados cerca de 430 mil pneus reciclados (MAZZONETTO, 2011);

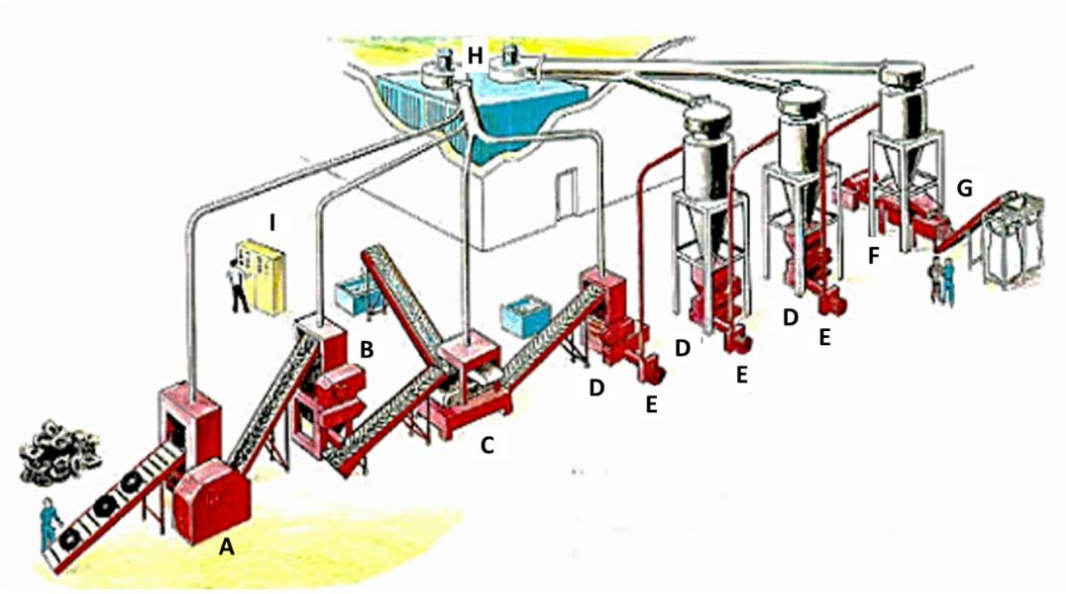
f) 2018: Rodovia Juscelino Kubitscheck, Km 05, Macapá-AP. Utilizado resíduo de serragem de madeira de uso na construção civil e borracha de pneu na mistura asfáltica com o CAP 50/70, graduação utilizada para as misturas de Faixa C do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a substituição de uma parte dos agregados minerais pelo composto madeira/borracha faz com que a flexibilidade da mistura asfáltica aumente no trecho em uma área de 10 metros de comprimento por 3 metros de largura. (COELHO, 2018).

No Brasil, poucas empresas estão presentes nesse grupo, mesmo sendo considerado como um dos países com um dos maiores potenciais de inovação ambiental e social do mundo (YUNUS, 2017). Com o avanço nas pesquisas, além da viabilidade técnica do produto, vem se estudando principalmente os benefícios desta utilização ao meio ambiente.

2.3.3 Processo de reciclagem de pneus

A reciclagem de pneus com tecnologias modernas é um investimento atrativo com grandes benefícios nesse processo. Segundo Balaguer (2012), existem dois processos de moagem dos pneus:

a) **Processo Ambiente:** consiste em uma série de trituração em moinhos martelo, em seguida passa por peneiras para obter a granulometria desejada e em aspiradores e tambores magnéticos para reter as partículas indesejadas como o *nylon* e o aço. A Figura 2.13 mostra o sistema de trituração de pneus inservíveis pelo processo ambiente.

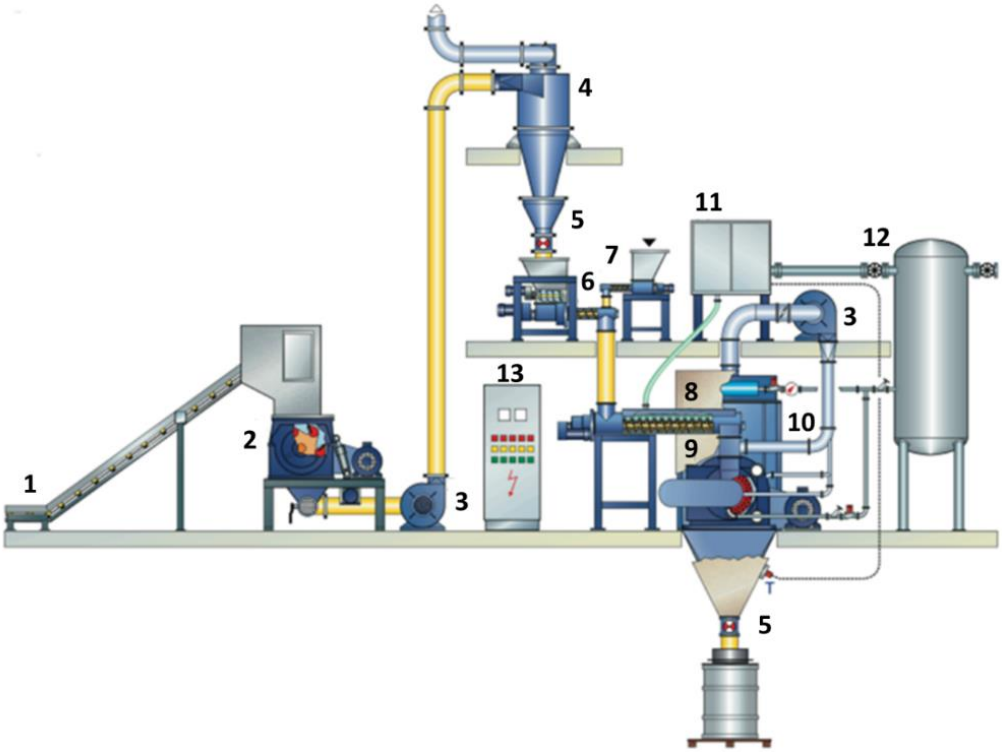


Legenda: A – Triturador preliminar; B – Granulador; C – Remoção de aço e fibras; D – Etapas consecutivas de trituradores; E – Sistema pneumático de transporte; F – Esteira vibratória; G – Separação magnética secundária; H – Remoção de fibras e partículas finas; I - Painel de controle.

Figura 2.12 – Layout de trituração de pneus inservíveis a temperatura ambiente.

No sistema de reciclagem a temperatura ambiente, os pneus inservíveis são, em primeiro lugar, triturados em pedaços de 50 mm no moinho de facas (A). Os pedaços de pneus entram no granulador (B). Nesta etapa os pedaços são reduzidos em pequenos pedaços de 10 mm, enquanto é liberada a maior parte do aço, nylon e poliéster do granulado de borracha. Depois, o aço é removido em uma esteira magnética e as frações de nylon e poliéster são removidas com uma combinação de parafusos e peneiras vibratórias (C). Enquanto existe demanda por granulados de borracha de 10 mm, muitas aplicações são solicitadas para materiais finos, na faixa de 10 a 30 mesh. Por essa razão, muitas plantas de trituração têm um número consecutivo de passos de trituração (D) (LAGARINHOS, 2004).

b) **Processo Criogênico:** consiste no congelamento dos pneus em um tanque com nitrogênio a temperaturas de -90ºC a -200ºC, tornando a borracha quebradiça para ser facilmente triturada. Em seguida passa por peneiras para obter a granulometria desejada. Com esse processo, ocorre o retardamento do tempo de reação com o ligante do asfalto. A Figura 2.14 mostra o esquema de trituração de pneus inservíveis pelo processo criogênico.



Legenda: 1 - Correia transportadora de pneus; 2 - Granulador com calha de alimentação; 3 - Ventiladores; 4 - Ciclone; 5 - Válvula rotativa; 6 - Medidor de alimentação e agitador; 7 - Termostato; 8 - Moinho; 9 - Filtro automático; 10 - Unidade de controle de LN2; 11 - Tanque de suprimento de LN2; 12 - Tanque.

Figura 2.13 – Esquema de trituração pelo processo criogênico.

Para a obtenção do pó de borracha é realizada a moagem do pneu em usinas recicladoras, ou mesmo em empresas especializadas em recapagem de pneu. Existem três tipos de processos para obtenção do pó (ODA e FERNANDES Jr., 2002):

a) Criogenia: é acrescentado nitrogênio líquido a borracha moída, após seu congelamento é feito um esmagamento até se adquirir a granulometria desejada;

b) Regeneração: é feita uma extração por solvente onde se separa a borracha dos demais componentes, como metais, tecidos entre outros. As lascas moídas do pneu são submetidas a vapores d'água junto com produtos químicos, como álcalis e óleos minerais, até se adquirir o produto necessário;

c) Moagem a frio: tipo de obtenção mais comum e barato, onde o pneu é moído e peneirado, depois é passado por imãs que retiram as partes metálicas restantes.

No Brasil o processo utilizado para a trituração dos pneus inservíveis é à temperatura ambiente. Por esta razão as empresas de moagem realizam consecutivas trituração (RESCHNER, 2008; SILVA, 2015). O Quadro 2.2 mostra as classificações das granulometrias de borracha e suas diferentes aplicações de comercialização.

Quadro 2.2 – Classificação do mercado para comercializar o pó de borracha de acordo com a granulometria.

GRANULOMETRIA DA BORRACHA	APLICAÇÃO
2 a 5 mm	Superfícies esportivas. Circuitos de corrida para cavalos e áreas para passeios a cavalo. Modificações em terras agrícolas. Tapetes.
0,85 a 2 mm	Cones para sinalização de trânsito. Sinais de pés. Tijolos entrelaçados Esteiras para golfe-tees. Pavimentos desportivos Estradas de asfalto (uso limitado).
0,60 a 0,85 mm	Estradas de asfalto. Sapatas de freio Produtos moldados <50% de borracha reciclada. PVC, PE. Guarda-lama. Revestimentos para pavimentos. Selador de fissuras: reparos em estradas, barreiras de água. Pintura antiderrapante.
Menos de 0,60 mm	Pneus fabricados recentemente. Estradas de asfalto. Mangueiras.

Segundo Specht e Ceratti (2003), a temperatura e tempo da mistura dependem, principalmente, da granulometria da borracha. Quanto mais fina, maior a área superficial e menor temperatura e tempo de mistura para se obter um material homogêneo.

2.3.4 Produção do CBUQ via úmida e seca

Após a trituração, a incorporação da borracha de pneus aos materiais asfálticos para a produção de concreto asfáltico pode ser feita de duas formas: por via úmida ou via seca.

No processo por via úmida, a borracha é moída (cerca de 5 a 25% do peso total de ligante) e incorporada ao ligante asfáltico, antes de se adicionar o agregado, atuando como modificadora do cimento asfáltico, que passa a ser chamado de asfalto-borracha (ODA, 2000).

Geralmente, a borracha substitui até 15% do CAP, o que, traz alguma vantagem na fabricação do material modificado, já que atualmente seu custo é da ordem de 60% do CAP (MENEGUINI, 2011). A Figura 2.14 a seguir mostra o processo de produção do concreto asfáltico com asfalto-borracha ao ligante.

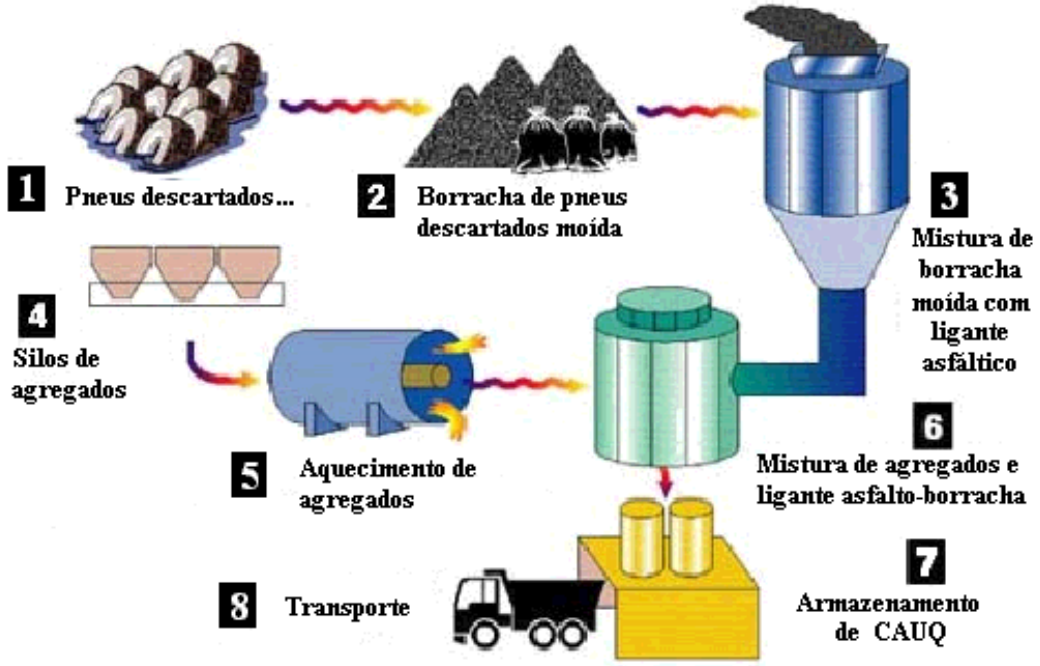


Figura 2.14 – Esquema de produção de concreto asfáltico usinado a quente modificado por asfalto-borracha.

O processo seco possui suas técnicas de produção e mistura semelhante ao de produção de concreto asfáltico usinado, onde a borracha moída tem de 1% a 3% do total da mistura, é adicionada ao agregado (asfalto-borracha) antes de inserir o ligante asfáltico. Quando se adiciona borracha em uma mistura asfáltica por este processo seco, as partículas mais finas da borracha reagem com o ligante enquanto que as partículas maiores atuam como "agregado elásticos" no concreto asfáltico.

Quanto ao asfalto-borracha incorporado, a taxa de até 15% de borracha no ligante, geralmente é empregada para misturas asfálticas densas. Os asfaltos modificados na faixa de 18% a 25% de borracha apresentam elevada viscosidade e são preferencialmente empregados na confecção de misturas asfálticas abertas ou descontínuas (BALBO, 2005).

A norma DNIT 111/2009-EM, sobre cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, define que o teor de borracha deve ser no mínimo 15% em peso, incorporado ao asfalto. Essa substituição traz economia na fabricação do

concreto asfáltico pois o custo do asfalto-borracha é da ordem de 60% do CAP (MENEGUINI, 2011).

O asfalto-borracha tem sido aplicado em vários serviços de pavimentação, além da produção do concreto asfáltico, como selagem de trincas, tratamento superficiais, camadas intermediárias entre o pavimento existente e a camada de reforço (KAMIMURA, 2002, p. 16).

Segundo Meneguini (2011), além dos processos, úmido e seco, existe um terceiro, denominado processo misto, no qual a mistura é feita de forma semelhante ao da via seca, porém, com o uso do ligante modificado com borracha. A melhor interação entre os ligantes modificados e os granulados de borracha leva a concretos asfálticos de boa qualidade e um grande consumo de borracha, o que torna o processo misto bastante atrativo, do ponto de visto ambiental.

De acordo com Coelho (2018), a produção do CBUQ do processo via seca é operacionalmente mais simples comparado com o processo via úmida, além disso, existe o potencial de consumir maiores quantidades de borracha de pneus, em relação ao processo da via úmida, resultando em um maior benefício ambiental.

2.3.5 Vantagens técnicas, ecológicas e econômicas do asfalto-borracha

Os pneus inservíveis dispostos em aterros sanitários são um perigo ambiental significativo e, possivelmente, resultarão na contaminação do meio ambiente. Podem-se citar três problemas que estão pressionando as autoridades para a resolução desse problema: a) o aumento da quantidade de pneus inservíveis; b) o aumento nos custos dos aterros; e c) o aumento da pressão da opinião pública e dos ambientalistas para limitação do número de aterros sanitários disponíveis, resultando em um movimento que tentará proibir a eliminação de pneus inteiros nos aterros (REDA TAHA *et al*., 2008).

De acordo com Rodrigues e Santos (2013), os agregados reciclados de borracha de pneu são materiais bastante promissores no ramo da construção civil devido às suas características como: leveza, elasticidade, absorção de energia e propriedades térmicas e acústicas.

Coelho (2018), os resultados de Relação do Módulo de Resiliência e Resistência à Tração (Mr/Rt) indicam melhoria das propriedades devido à adição do material borracha/madeira. Para as misturas asfálticas projetadas, a menor relação Mr/Rt foi obtida na

mistura de CBUQ com a borracha/madeira no valor de 5.159,26 comparado com CBUQ convencional, no valor de 6.607,67, indicando mais flexibilidade na mistura devido um aumento na resistência a tração e redução no módulo de resiliência.

Segundo Romualdo *et al*. (2011), a reutilização da borracha de pneu em concretos como substituto dos agregados pode assumir um papel importante na preservação do meio ambiente, pois, além de diminuir a exploração de recursos naturais (como areia e brita), também ocasiona a redução dos resíduos sólidos acumulados na natureza. A Tabela 2.9 informa o total de pneus destinados, em toneladas e por tecnologia, para o período de janeiro a dezembro de 2016.

Tabela 2.9 – Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados no Brasil.

Tecnologia	**Destinação (t)**	**País**
Coprocessamento	297.168,80	60,23%
Granulação	133.940,43	27,15%
Laminação	56.945,41	11,54%
Pirólise	5.344,49	1,08%
Regeneração da borracha	Não utilizado	0,00%
Industrialização do xisto	Não utilizado	0,00%
Total	**493.399,13**	**100,00%**

Na dimensão econômica, outra destinação importante é a granulação, que atinge 33% do total de pneus descartados. Segundo informações retiradas do mercado, o preço de 100 kg de borracha granulada, com espessuras de 2 a 3 mm, pode chegar a R$ 75,00 (MERCADO LIVRE, 2018).

Para a aplicação dessas tecnologias descritas, muitas vezes, é necessária a transformação do pneu inservível em lascas ou *chips*, por meio da trituração. As empresas trituradoras coletam ou recebem pneus inteiros, radiais e convencionais, bem como os resíduos de borracha provenientes do processo de laminação. Os principais benefícios comprovados do asfalto-borracha são, técnicos, ecológicos, sociais e econômicos (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Benefícios comprovados do asfalto-borracha.

Categoria	Benefício do asfalto-borracha	Autor
Técnico	Aumento da vida útil do pavimento;	ODA *et al.* (2005)
	Maior resistência à formação de trilhas de roda;	
	Maior resistência ao envelhecimento;	
	Aumento do ponto de amolecimento;	
	Melhor aderência pneu-pavimento e a redução do ruído gerado pelo tráfego, acarretando maior conforto aos usuários;	
	Redução dos riscos de aquaplanagem em dias de chuva.	
Ecológicos e sociais	Surgimento de novas empresas especializadas na reciclagem de pneus e, como consequência, a criação de novos empregos diretos e indiretos.	NOHARA *et al.* (2005)
	Inibição de criação de focos de insetos prejudiciais à saúde pública.	ALBUQUERQUE NETO (2005) NOHARA *et al.* (2005) REDA TAHA *et al.* (2008) SAYÃO *et al.* (2009)
	Redução de lixo ocasionado pelo descarte de pneus em locais inadequados, como aterros, terrenos baldios, rios, lagos etc.	NOHARA *et al.* (2005)
	Diminuição do número de pneus usados em depósitos, reduzindo os riscos de incêndios e a não disposição em aterros sanitários.	FIKSEL *et al.* (2011) NOHARA *et al.* (2005) RAMOS (2005)
	Redução do uso de recursos naturais, como borracha e petróleo (asfalto), pela substituição parcial por borracha moída de pneus.	CHUNG; HONG (2009) NOHARA *et al.* (2005)
	Solução de problemas ambientais.	BARTOLOZZI *et al.* (2012) GRECO (2004)
Econômicos	Pavimentos empregando asfalto-borracha podem ter a espessura da camada de revestimento reduzida e sua vida útil prolongada.	CURY *et al.* (2002)
	Os processos para incorporação de borracha moída de pneus em misturas asfálticas não foram desenvolvidos por razões ambientais, mas, sim, econômicas, ligadas ao alto custo dos polímeros.	GRECO (2004)
	O volume de pneus utilizados em pavimentos modificados com adição de borracha de pneus. Supondo pneus de 7,5 kg cada (dos quais 85% são de borracha), utilizar-se-ia, a cada 100 m, 124 pneus e, em uma rodovia de 100 km, 124.235 unidades de pneumáticos inservíveis.	SPECHT (2004)
	Os custos produtivos dos pavimentos empregando asfalto-borracha, em relação ao tradicional, praticamente não se alteram, pois, a parcela maior de custo fica por conta da logística associada à obtenção da borracha resultante da reciclagem do pneu.	CURY et al. (2002)

O asfalto contendo borracha em sua mistura reaproveitada de pneus usados têm valor de venda cerca de 30% acima do convencional, podendo ser considerado um investimento, pois, além de ajudar a combater o passivo de pneus descartados no ambiente, dura mais que o convencional. Além disto, a incorporação da borracha ao pavimento apresenta melhoria nas suas propriedades físicas, tais como resistência à deformação permanente, resistência à fadiga e resistência de aderência, entre outros – aumentando a sua durabilidade, com redução nos custos dos materiais (SANTOS, 2013; MATTOS, 2009).

Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis resolvendo um grande problema ecológico, o uso de borracha moída de pneus, no asfalto, melhora, em muito, as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (MENEGUINI, 2011).

As vantagens do asfalto-borracha (cimento asfáltico modificado), quanto à sua utilização são:

a) Alta elasticidade, resistência ao envelhecimento e alta coesão;
b) Excelente relação custo/benefício;
c) Maior durabilidade do pavimento, com propagação de trincas e formação de trilhas de roda em velocidade menor que o cimento asfáltico de petróleo puro;
d) Alta viscosidade, possibilitando maior recobrimento do pavimento, o que propicia redução da sensibilidade a variações térmicas;
e) Aumento da elasticidade, que melhora a aderência do pneu ao pavimento, aumenta a resistência à ação química de óleos e combustíveis e reduz o ruído;
f) Maior resistência ao envelhecimento, que propicia o aumento da deformação de tração admissível e, assim, a redução da propagação de trincas.

Com o objetivo de seguir essa abordagem ambiental e econômica, as industriais devem trabalhar conforme o ciclo biológico da natureza, diminuindo a procura por matérias-primas, consumo de energia e a produção de resíduos, logo, promovendo simultaneamente a eficiência econômica (STAHEL, 2010).

2.3.6 Investimento em infraestrutura

De acordo com os dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. A norma ABNT NBR-7207:1982 define que pavimento é uma estrutura construída

após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a resistir e distribuir ao subleito, os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e à segurança e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT, 1982).

Segundo dados estatísticos da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2018), as construções de rodovias pavimentadas reduziram 1,58% no Brasil em um período de 15 anos, gerando uma média de menos de 0,108% ao ano. A matriz de transporte brasileira é mais concentrada no transporte rodoviário, que é responsável pelo deslocamento de 61,1% das cargas e de 95,0% dos passageiros que transitam pelo país. No mesmo período, no Pará, as rodovias pavimentadas cresceram 2,56%, uma média de 0,182% ao ano.

Entre 2001 e 2017, esse segmento recebeu R$ 101,71 bilhões em investimentos, o que representa 71,4% dos aportes do governo federal no sistema de transporte brasileiro no período (Tabela 2.10). Em 2017, os desembolsos efetuados que beneficiavam o transporte rodoviário somaram R$ 7,98 bilhões (76,7%) e a maior parte desses recursos destinaram-se a ações de manutenção.

Tabela 2.10 – Investimentos públicos federais em infraestrutura de transporte – acumulado 2001 a 2017.

Modal	2017		2001-2017	
	Bilhões (R$)	Part. %	Bilhões (R$)	Part. %
Total	10,4	100,00%	142,35	100,00%
Rodoviário	7,98	76,70%	101,71	71,40%
Ferroviário	0,61	5,90%	17,62	12,40%
Aquaviário	0,38	3,70%	6,5	4,60%
Aéreo	1,43	13,80%	16,52	11,60%

Fonte: CNT, 2018.

O transporte aéreo foi o segmento que obteve o segundo maior volume de investimentos em 2017, R$ 1,43 bilhão, o equivalente a 13,8% dos aportes do setor de transporte desse ano. Já os transportes ferroviários e aquaviário tiveram participação de 5,9% (R$ 611,34 milhões) e de 3,7% (R$ 384,17 milhões), respectivamente.

Uma grande parcela da literatura relatou maior custo de construção de pavimentos asfálticos modificados com borracha granulada quando comparado aos convencionais. O

custo unitário das misturas asfálticas varia entre 1 e 3,6 vezes as misturas asfálticas convencionais (WAY G., 2000; AMIRKHANIAN SN, 2001; HUANG *et al*., 2002).

O uso de borracha de pneus inservíveis tem destaque no processo de modificação de ligante asfáltico nas concessionárias das rodovias privatizadas, além de conferir à mistura asfáltica menor deformação permanente e maior resistência à fadiga. A utilização da borracha evita que os pneus sejam dispostos em locais inadequados sendo prejudicial ao meio ambiente (RODRÍGUEZ-ALLOZA, 2013; CONG, 2013).

Para Way (2003) o emprego da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação, se mostra como uma técnica promissora para aumentar a durabilidade das estradas e ruas.

2.4 Métodos de análise de investimentos

2.4.1 Análise de investimento

A viabilidade de um projeto começa pela determinação dos gastos nos investimentos necessários para operacionalizar os processos envolvidos no negócio e finaliza em uma análise econômica. Na avaliação, deve-se verificar qual é a melhor opção que trará os melhores resultados para os investidores. A análise de investimentos envolve um conjunto de métodos que fazem possível comparar essas alternativas econômicas em um período para auxiliar na tomada de decisão (VERGARA *et al*., 2017).

Buarque (1984) afirma que “a determinação do nível dos investimentos necessário para o projeto é um aspecto fundamental, pois ela será básica na definição da viabilidade ou não na unidade de produção. Essa determinação consiste na realização de cálculos com base na etapa da engenharia”.

Os indicadores econômicos como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* descontado são usualmente usados nas avaliações determinísticas. O Valor Presente ou *Present Value* é um conceito matemático que indica o valor atual de uma série uniforme de capitais futuros, descontados a uma determinada taxa de juros compostos, por seus respectivos prazos (WERNKE, 2000).

2.4.2 Fluxo de caixa

De acordo com Santos (2001), o fluxo de caixa visa demonstrar as estimativas de caixa de um determinado período.

Laponni (2009, p. 317) diz que “o fluxo de caixa operacional em qualquer período do projeto é o resultado da soma algébrica de três estimativas: a receita R, o custo C e o imposto sobre o lucro limpo”.

De acordo com Silva (2006), é possível, a partir da elaboração do fluxo de caixa, verificar e planejar eventuais excedentes e escassez de caixa, o que provocará medidas que venham sanar tais situações.

De acordo com Gonçalves e Conti (2011, p. 175): “o fluxo de caixa permite que a empresa visualize sua real situação econômica e assuma o controle de suas finanças, estando ciente das suas obrigações para conduzir corretamente seus investimentos de curto e longo prazo”.

2.4.3 Capex e Opex

CAPEX em inglês da expressão Capital Expenditure (Custos de Investimento) e designa o montante de recursos investidos na aquisição ou melhoria de bens (máquinas, equipamentos, instalações, terrenos e demais itens de investimento fixo) de uma determinada empresa, visado as operações. É um termo utilizado em análises de investimentos em projetos, como medida de base ao exame do retorno sobre o investimento que será realizado. Esses investimentos podem ser feitos através de aquisição ou desenvolvidos pela própria empresa (CALDAS e AMARAL, 2015).

OPEX em inglês da expressão Operational Expenditure (Custos de Operação), designa o montante de recursos gastos (custos ou despesas) necessários para o funcionamento de uma empresa. Portanto, OPEX é o gasto cotidiano (custo ou despesa, conforme a destinação) realizado constantemente para manter tanto o funcionamento das atividades do negócio, envolvendo custos com manutenção de equipamentos, custos com empregados, combustíveis, entre outros, além das despesas gerais como as da alçada administrativa, comerciais e tributárias, quanto os gastos para realização dos serviços contratados com terceiros (CALDAS e AMARAL, 2015).

2.4.4 Valor presente líquido

O VPL, também conhecido como Valor Atual Líquido (VAL), é o critério mais recomendado por especialistas em finanças para decisão de investimento (DA FONSECA, 2010).

Para o método do Valor Presente Líquido (VPL), por exemplo, os valores do fluxo de caixa são descontados para o valor presente, a partir de uma taxa mínima de atratividade. Na análise, se o valor presente for "positivo" significa que o projeto é viável, porque a redução do custo ou o retorno é "maior do que o valor do investimento". Na comparação de vários investimentos por este método, a melhor opção será aquela alternativa que apresentar o maior resultado positivo (CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2010).

Segundo BREALEY e MYERS (1992) são quatro as ações básicas para o gestor decidir sobre determinado investimento:

1. Prever os fluxos de caixa futuros;

2. Identificar o custo de oportunidade do capital investido que deve refletir o valor do dinheiro no tempo e o risco envolvido no projeto;

3. Utilizar este custo para atualizar os fluxos futuros e somá-los (identificação do valor presente);

4. Calcular o VPL subtraindo-se do valor presente o investimento inicial necessário. Conforme Folmann (2011), o VPL é expresso pela Equação 2.2:

$$\mathbf{VPL} = -\mathbf{I_0} + \sum_{t=1}^{n} + \frac{\mathbf{FC_t}}{(1+K)^t} + \frac{\mathbf{VR_t}}{(1+K)^n} \qquad (2.2)$$

Onde:

VPL: valor presente líquido;

FC_t: fluxos previstos de entradas de caixa em cada período de vida do projeto (benefícios de caixa), t = 1, 2, .., n;

n: número de períodos de avaliação;

I_0: investimento inicial ou montante no início do projeto;

K: taxa de juros ou custo de capital ou taxa mínima de atratividade;

VR: valor residual do projeto.

Sob a ótica do acionista só é interessante investir em um novo projeto se o valor presente dos fluxos futuros for maior do que a disponibilidade atual, pois representará aumento do valor da empresa e, consequentemente, maximização da sua riqueza (DA FONSECA, 2010).

2.4.5 Taxa mínima de atratividade

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2000), a TMA é a taxa mediante a qual o investidor consegue ponderar o investimento, se o mesmo está alcançando rentabilidades financeiras. Uma das maneiras de avaliar o investimento é conferir a TIR com a TMA.

Souza e Clemente (1998, p. 155), afirmam que a Taxa de Mínima Atratividade (TMA) deve apresentar o custo de oportunidade do capital para empresa. Dessa forma, a taxa mínima de atratividade é a taxa de juros que deixa de ser obtida na melhor aplicação alternativa quando há emprego de capital próprio, ou é a menor taxa de juros obtenível quando recurso de terceiros são aplicados.

Ao analisar uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. A nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2000, p. 108).

2.4.6 Taxa interna de retorno

Segundo Gitman (1998) afirma que:

> A taxa interna de retorno apesar de ser consideravelmente mais difícil de calcular à mão do que o VPL é possivelmente a técnica sofisticada mais usada para avaliação de alternativas de investimentos. A taxa interna de retorno (TIR) é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial referente a um projeto. A TIR em outras palavras, é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale a zero (Gitman, 1998, p. 330).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que "zera" o fluxo de caixa num determinado período, isto é, prefixando-se um fluxo de investimentos, um fluxo de receitas e um período "n", a TIR é definida quando o VPL é igual a zero. O valor encontrado (TIR) é

comparado com a Taxa Mínima de Atratividade e, se ela for maior que a TMA significa que o investimento é rentável.

O capital é maior que a taxa interna de retorno, o empreendimento do projeto acaba impondo um custo sobre os atuais adicionais. Essas características de equilíbrio que torna a TIR útil na avaliação dos projetos (BRIGHAM e HOUSTON, 1999).

Segundo Folmann (2011), a representação da taxa percentual de retorno do investimento realizado no empreendimento, de modo que é expressa pela Equação 2.3:

$$I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{I_t}{(1+k)^t} = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+k)^t} \qquad (2.3)$$

Onde:

I_0: montante do investimento no momento zero (início do projeto);

I_t: montantes previstos de investimento em cada momento subseqüente;

k: taxa interna de retorno (TIR);

n: número de períodos de avaliação;

FC_t: fluxos previstos de entradas de caixa em cada período de vida do projeto (benefícios de caixa), t = 1, 2, .., n

Como regra geral para investimento, temos:

TIR > Taxa de Desconto → Aceitar

TIR = Taxa de Desconto → Indiferente

TIR < Taxa de Desconto → Rejeitar

Associando ao VPL:

TIR > Taxa de Desconto → VPL Positivo

TIR = Taxa de Desconto → VPL Nulo

TIR < Taxa de Desconto → VPL Negativo

Estes critérios inversamente servem como regra geral para financiamento:

TIR > Taxa de Desconto → rejeitar

TIR = Taxa de Desconto → indiferente

TIR < Taxa de Desconto → aceitar

Associando ao VPL:
TIR > Taxa de Desconto → VPL Negativo
TIR = Taxa de Desconto → VPL Nulo
TIR < Taxa de Desconto → VPL Positivo

De uma maneira geral, o critério da TIR é mais fácil de usar do que o critério do VPL. Ambos se baseiam nos fluxos de caixa atualizados, mas devem ser ajustados para que forneçam a mesma resposta (DA FONSECA, 2010).

2.4.7 Payback

Gitman (1997, p. 327) afirma que os períodos de payback são geralmente usados como critério para avaliação de investimento proposto. O período de payback é o período exato necessário para a empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, a partir das entradas de caixas. No caso de anuidade, o período de payback pode ser encontrado dividindo-se o investimento inicial pela entrada de caixa anual. Para uma série mista, as entradas de caixa anuais devem ser acumuladas até que o investimento inicial seja recuperado. De acordo com Rocha (2005), o tempo de retorno pode ser determinado a partir da Equação 2.4:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Valor de Entrada Médio}} \tag{2.4}$$

Outro método que também pode ser utilizado na avaliação é o método do Custo-Benefício (C/B) ou Índice de Lucratividade (IL). Ele reflete a maior ou menor conveniência de um projeto – é o resultado da divisão do valor atualizado dos benefícios pelo valor atualizado dos custos do projeto, incluindo o investimento inicial (SAMANEZ, 2009).

O índice de lucratividade (Equação 2.5) é conhecido também como índice de rentabilidade ou como resultado custo-benefício. É traduzido no somatório dos valores presentes dos fluxos de caixa futuros, dividido pelo investimento inicial. De um modo geral

indica quanto será obtido, a valor presente, para cada unidade investida (DA FONSECA, 2010).

$$IL = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Receita Total}} \tag{2.5}$$

E os critérios de decisão são:

Se IL> 1, o projeto deverá ser aceito (VPL > 0).

Se IL < 1, o projeto deverá ser rejeitado (VPL < 0).

Se IL = 1, é considerado como atraente, pois remunera o investidor em sua taxa desejada de atratividade.

O VPL será positivo sempre que o índice de rentabilidade for maior do que 1 (um). Este é o critério que mais se aproxima do VPL, embora ainda que seja um critério mais seguro por possuir uma propriedade aditiva (DA FONSECA, 2010).

A rentabilidade (Equação 2.6) pode ser definida como a medida final do grau de êxito econômico obtido por uma empresa, em relação ao capital nela investido. Esse êxito econômico é determinado pela magnitude do lucro líquido contábil (PIMENTEL e BRAGA, 2010).

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Investimento Total}} * 100 \tag{2.6}$$

2.4.8 Depreciação

A depreciação ou desvalorização é o custo ou a despesa decorrente do desgaste ou da obsolescência dos ativos imobilizados, como por exemplo máquinas, veículos, móveis, imóveis ou instalações (DENARDI *et al*., 2017).

De acordo com Motta (2009), a depreciação é um custo sem desembolso, o qual, sendo abatido dos lucros, em cada exercício fiscal, acarreta menor lucro tributável, o qual, por sua vez, mantida uma alíquota de imposto de renda, resulta em menor imposto de renda.

A “Depreciação” é definida, conforme Sá e Sá (2008, p. 137), como sendo o fenômeno contábil que expressa a perda de valor que os valores imobilizados de utilização sofrem no tempo, por força de seu emprego na gestão. É a perda de valor pelo uso.

Segundo Santos (2007, p. 138), “a depreciação pode ser conceituada como o sistema contábil que objetiva distribuir o custo total de um ativo tangível, líquido do seu valor residual, se houver, durante a vida útil estimada do bem”.

2.4.9 Análise de cenários

A principal utilidade da análise de cenários é verificar quão sensível é a variação do VPL. Aqueles parâmetros que durante a análise, provocarem maior variação no Valor Presente Líquido do Projeto, demandam uma investigação mais a fundo para a sua realização da sua estimativa, pois o mesmo pode ser considerado fatores críticos para rentabilidade do projeto. Sendo assim, a análise de cenários consiste em uma ferramenta imprescindível para tomada de decisão, pois permite uma visão macro do projeto em diferentes situações, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis (CLEMENTE, 1998).

A análise de cenários permite amenizar as deficiências da análise de sensibilidade para as variáveis inter-relacionadas. São estimados os piores e melhores valores de entrada, em relação ao básico, e para cada cenário MOP (mais provável, otimista e pessimista) escolhido, é atribuída uma probabilidade de ocorrência de cada um, podendo ser usadas diferentes possíveis combinações de variáveis, mas com consistência (DA FONSECA, 2010).

3 METODOLOGIA

Nesta seção, são abordados os procedimentos utilizados para alcançar os objetivos do trabalho. A metodologia utilizada no estudo à viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de pneus inservíveis na utilização de mistura parcial para mistura asfáltica com borracha e serragem.

3.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza, a pesquisa caracterizou-se como aplicada por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade. Segundo Appolinário (2006), a pesquisa básica estaria mais ligada ao incremento do conhecimento científico, sem objetivos comerciais, ao passo que a pesquisa aplicada seria suscitada por objetivos comerciais através do desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades do mercado.

Em relação à abordagem do problema, foi classificada como qualitativa e quantitativa. Na pesquisa qualitativa, de acordo com Dantas e Cavalcante (2011), seus objetivos são a observação, a descrição, a compreensão e o significado. Já na pesquisa quantitativa, as informações são colhidas por meio de questionário estruturado com perguntas claras e objetivas.

No que se trata dos objetivos, a pesquisa foi vista como exploratória, na pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão (TURRIONI; MELLO, 2012).

Tratando-se de método científico, prevaleceu o indutivo que, para chegar ao conhecimento ou demonstração da verdade, parte de fatos comprovados, e tira uma conclusão genérica (VILAÇA, 2010).

Por último, pelos procedimentos técnicos, a pesquisa foi identificada como estudo de caso. O estudo de caso envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento (TURRIONI; MELLO, 2012). O Quadro 3.1 apresenta a classificação geral da pesquisa.

Quadro 3.1 – Classificação da pesquisa.

Natureza	Abordagem	Objetivos	Método	Técnica
Aplicada	Qualitativa e Quantitativa	Exploratória	Indutivo	Estudo de Caso

Fonte: Autor, 2018.

3.2 Etapas de desenvolvimento

O procedimento empregado neste trabalho se desenvolveu em três etapas. A primeira etapa se constituiu a pesquisa bibliográfica sobre resíduos sólidos, mais especificamente em resíduos de pneus, a segunda trata da coleta de dados e a terceira da análise da viabilidade técnica-econômica do empreendimento.

Conforme esclarece Pinheiro (2008) essa atividade científica possui "objetivos diversos, tais como: a descrição, o controle, a predição e a explicação dos aspectos naturais e sociais formadores da natureza". Além disso, esse empreendimento envolve colaboração e competição entre seus atores sociais, além de uma estrutura coordenada de ações.

Tendo base com a pesquisa bibliográfica, a coleta de dados com o interesse de levantar as informações para a realização do trabalho. Foi necessário coletar e avaliar informações sobre a quantidade de pneus inservíveis e o destino pós-consumo, para, dessa forma, analisar a viabilidade da implantação da usina, através de técnicas como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL) e a Rentabilidade e o Retorno Financeiro (Payback). A observação desempenha papel importante, pois obriga o investigador a estabelecer um contato direto com a realidade estudada (MARCONI; LAKATOS, 2002).

3.2.1 Estimativa de pneus inservíveis na Região do Lago de Tucuru´- PA

Para prosseguir com as técnicas de viabilidade técnica-econômica, foi essencial o conhecimento da quantidade de resíduos de pneus inservíveis que os clientes abandonam nas borracharias e lojas mecânicas na região. Essas informações foram coletadas a partir de um questionário no Anexo A, elaborado pelo autor. Além disso, elaborou-se uma carta de apresentação que foi entregue ao responsável pelo estabelecimento, como contato preliminar, explicando o objetivo da pesquisa e uma carta de agradecimento pela colaboração dos dados fornecidos ao estudo.

Foram aplicados 98 questionários em 30 bairros onde se encontram os estabelecimentos que manuseiam pneus em Tucuruí em janeiro de 2018. Essas informações permitiram prever o volume de resíduos sólidos mensal de pneus nas borracharias e lojas mecânicas e, consequentemente, a caracterização do objeto da pesquisa, ou seja, a usina de reciclagem de pneus recomendada. Conforme Richardson (1999, p. 160), "é uma técnica importante que permite o desenvolvimento de uma estreita relação entre as pessoas. É um modo de comunicação no qual determinada informação é transmitida".

É essencial a aquisição dos dados relativos à estimativa do volume mensal de pneus inservíveis das outras cidades adjacentes de Tucuruí pela quantidade de veículos, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Quantidade de veículos por município.

MUNICÍPIO	TOTAL
Tucuruí	31.131
Tailândia	20.937
Jacundá	16.000
Novo Repartimento	15.649
Breu Branco	7.993
Pacajá	6.903
Goianésia do Pará	5.975
Baião	1.986
TOTAL	106.574

Fonte: DENATRAN, 2017.

Utilizou-se para o cálculo da estimativa de descarte os dados da frota de veículos registrados existentes, fornecidos pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), e a estimativa do tempo de vida útil médio dos pneus pela categoria dos veículos, que foram inseridos na Equação 3.1:

$$DM = \frac{QPneus \ x \ \sum Qpneus.veículo}{TM} \quad (3.1)$$

Fonte: Lopes *et al.* (2002).

Sendo:

DM = Descarte mensal.

QPneus = Quantidade de pneus por categoria de veículo.

∑Qpneus.veículo = Somatória de veículo por categoria.

TM = Tempo de vida (meses) médio útil mensal do pneu.

Segundo Lopes et al. (2002), para parâmetros de comparação, o cálculo estimativo de descarte de pneus inservíveis e produção de reciclado, utiliza dados da frota de veículos para quantificar o número de pneus inservíveis descartados mensalmente na cidade do Natal, capital do Rio Grande do Norte, através de um levantamento em borracharias, locais de comércio de pneus e outros estabelecimentos, utilizando-se a metodologia de entrevistas com aplicação de questionário.

Na pesquisa em campo, 20.450 pneus descartados mensalmente. Este número foi comparado ao valor resultante do cálculo realizado com base na frota de veículos existente de Natal, cerca de 21.808 pneus, de automóveis e camionetas, são renovados mensalmente. A diferença observada entre os dois métodos de avaliação, cerca de 6%, situa-se dentro da margem de erro.

A viabilidade técnica-econômica de beneficiamento de resíduo para mistura asfáltica, foi dividido em dois pilares: a identificação e a caracterização do objeto de estudo e a aplicação do método proposto para análise econômica.

A identificação do objeto de estudo abrangeu a caracterização do processo de reciclagem de pneus, a definição da localização, a descrição da infraestrutura necessária para operação, as Licenças Prévia, de Instalação e de Operação, os produtos que serão produzidos pela usina (borracha granulada e aço) e a capacidade de produção. Essas informações serão relevantes para identificar o investimento inicial do projeto, os custos e a receita da operação, que proporcionaram ao ponto de equilíbrio da usina e elaborar os fluxos de caixa para um período de 10 anos como base ao percentual de depreciação do maquinário da usina de reciclagem a 10% ao ano.

3.2.2 Determinação do local de implantação

De acordo com o IBGE, o município de Tucuruí – PA (Figura 3.1), está localizado na mesorregião do sudeste paraense, a 457,8 km da capital, Belém – PA. Estima-se uma população de 110.516 habitantes distribuída em 2.086,196 km² de área, o que resulta em uma densidade demográfica de 46,56 hab./km² (IBGE, 2017).

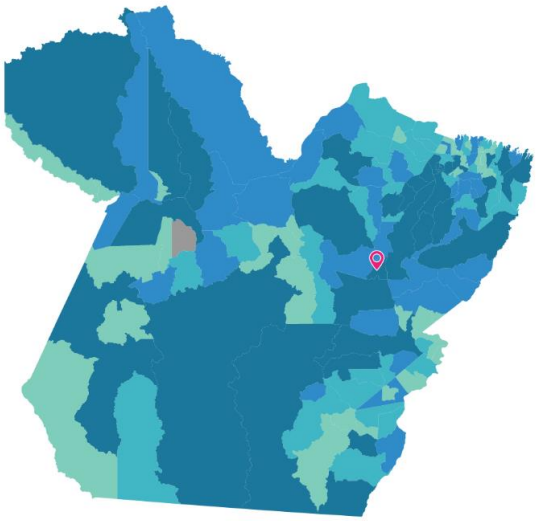


Figura 3.1 – Mapa identificando a cidade de Tucuruí.
Fonte: IBGE, 2017.

O número de veículos distribuídos foi obtido por meio do DENATRAN, referente ao mês de novembro de 2017 (Tabela 3.2). Estes dados mostram que as cinco maiores frotas de Tucuruí - PA são motocicleta, que representam 47,06 % (14.650 unidades), automóveis com 23,88% (7.434 unidades), motoneta com 13,78% (4.290 unidades), caminhonete com 7,06% (2.198 unidades), caminhão com 3,15% (980 unidades) e, por último as camionetas com 1,42% (441 unidades).

Tabela 3.2 – Tipos de veículos no município.

Veículo	Quantidade	%
Automóvel	7.434	23,88%
Caminhão	980	3,15%
Caminhão Trator	112	0,36%
Caminhonete	2.198	7,06%
Camioneta	441	1,42%
Ciclomotor	25	0,08%
Micro-ônibus	93	0,30%
Motocicleta	14.650	47,06%
Motoneta	4.290	13,78%
Ônibus	247	0,79%
Reboque	294	0,94%
Semirreboque	169	0,54%
Sidecar	4	0,01%
Outros	2	0,01%
Triciclo	33	0,11%
Utilitário	159	0,51%
TOTAL	**31.131**	**100%**

Fonte: DENATRAN, 2017.

O local proposto para implantação da usina de reciclagem de pneus prevê o projeto como uma central de tratamento de resíduos sólidos no atual terreno Municipal de Tucuruí onde é fabricado o asfalto convencional da cidade, no qual utiliza-se (seixo, areia e ligante), entretanto, iremos utilizar o traço proposto pelo Coelho (2018). A área atual possui como como vantagem logística na redução de custos e tempo no transporte, compartilhamento de mão de obra e uma melhor comunicação para abastecimento. As coordenadas geográficas do local são latitude 3°47'03.5"S sul e longitude 49°43'00.2"W (Figura 3.2).

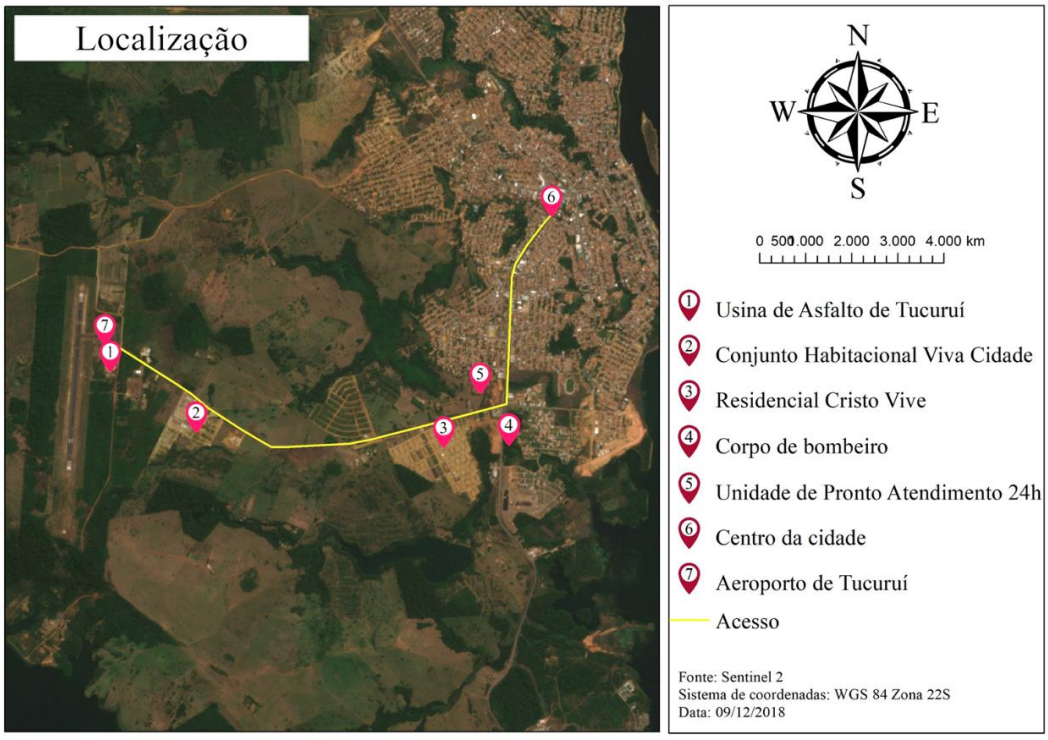
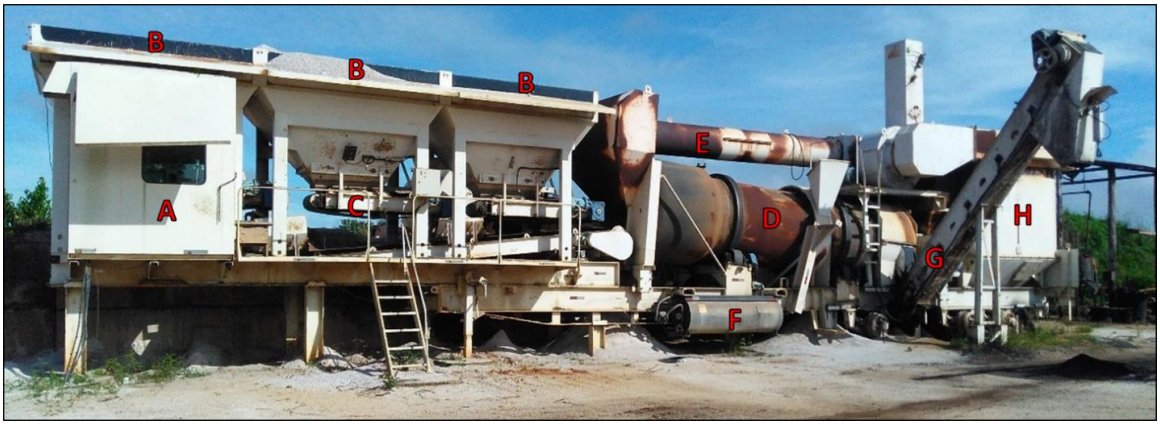


Figura 3.2 – Localização da área de estudo.
Fonte: Autor, 2018.

3.2.3 Usina de asfalto de Tucuruí

No dia 9 de outubro de 2017, realizou-se a visita à usina de CBUQ do município com o objetivo de conhecer o processo de fabricação da mistura asfáltica, capacidade de produção desse material e o possível local para a usina de reciclagem de pneus. A área está situada a 500 metros do Aeroporto de Tucuruí, onde estão sendo realizadas confecções de manilhas de concreto, bloquetes pré-moldados e mistura asfáltica. Na Figura 3.3 ilustra o maquinário alocado para a produção do CBUQ para o município.



Legenda: A - Cabine de comando; B - Dosador de agregados (Moega); C - Correias; D - Secador contrafluxo; E - Queimador; F - Retificador de temperatura; G - Elevador inclinado; H - Filtro de mangas.

Figura 3.3 – Usina de CBUQ de Tucuruí.

Fonte: Autor, 2018.

Por meio de entrevista com os funcionários, foi verificada que a capacidade máxima produtiva é de 80 t/h, no entanto, atualmente a produção tem sido de 100 t/semana devido à baixa quantidade de matéria-prima disponível pela Prefeitura Municipal.

3.2.4 Dimensionamento da usina de reciclagem

O projeto da usina de reciclagem de pneus, local pertecente a Prefeitura Municipal, concentra-se a produção de manilhas de concreto, anteriormente relatado, não foram acrescentados na aquisição nos cálculos os custos e investimentos para a análise de viabialidade econômica, o terreno, galpão e os funcionários.

Para o maquinário da usina de reciclagem, foram orçados em quatro empresas com seis orçamentos, situadas em Farroupilha (RS), Belo Horizonte (MG), Indaiatuba (SP) e São Paulo (SP). As avaliações foram realizadas através de propostas por meio de e-mail e telefonema às empresas.

Além disso, referente a instalação da usina, preço não incluso na aquisição, foram orçados a hospedagem, alimentação, passagens (área e terreste), frete do maquinário e o transporte local (hotel a usina e vice-versa), no período informado pelas empresas entre sete a doze dias para três funcionários para a conclusão da instalação.

O maquinário para realização da mistura da borracha e madeira na composição do agregado borracha, foram orçados dois tipos de máquinas, o Misturador Planetário e a Betoneira. O misturador planetário (frete não incluso na aquisição), destinado a mistura de

argamassas e concretos refratários, foram orçados em quatro empresas no Brasil e a betoneira em quatro empresas da cidade.

Na aquisição do botijão e carga de gás para aquecer no período de quinze minutos a borracha e a serragem de madeira, conforme informado por Coelho (2012), cinco empresas da cidade informaram as suas propostas. As avaliações foram realizadas através de propostas por telefone.

A respeito a operação da usina, foram levantados os custos estimados em empresas no município de Tucuruí, como Equipamento de Proteção Individual (EPI), custo de abertura (CNPJ, Alvará , Jucepa, Sefa e Vigilância Sanitária) e as licenças com apoio do escritório contábil, Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Tucuruí (SEMMA) e o Corpo de Bombeiros.

3.2.5 Custo operacional

Os custos operacionais, para manter a usina em execução, foram considerados somente: energia elétrica, gás e os EPI's. Os custos de operação referente a água (isento de cobrança no município), internet, despesas fixas e variáveis administrativas e combustível dos veículos, não serão necessários para este tipo de empreeendimento.

A determinação dos custos de energia elétrica da usina e consumo de gás foram próximas da realidade, através das informações fornecidas por cada maquinário das empresas de reciclagem e as fornecedoras de gás.

3.2.6 Análise da viabilidade econômico-financeira

Para analisar a viabilidade econômico-financeira da usina de reciclagem de pneus para pavimentação asfáltica, utilizou-se os seguintes indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (Equação 2.2), Taxa Interna de Retorno (Equação 2.3), Payback (Equação 2.4), Índice de Lucratividade (Equação 2.5) e a Rentabilidade (Equação 2.6).

Na execução dos cálculos abordados na pesquisa, utilizou-se software Microsoft® Office Excel® 2016, como ferramenta na realização dos resultados financeiros. Posteriormente, na simulação de cenários, através de alterações de hipóteses para as variáveis, foram possíveis estimar as seguintes situações da usina de reciclagem:

a) Projetado – sem alteração nos custos e despesas;

b) Pessimista – aumentar os custos em 10% e os investimentos em 15%;

c) Otimista – reduzir os custos em 10% e os investimentos em 15%.

Além disso, será analisado os custos de manutenção pela atual licitação (20180107) do município como método comparativo de infraestrutura urbana para o CBUQ convencional pelo CBUQ modificado, para o orçamento da massa asfáltica CAP-50/70 de 5 cm de espessura (convencional) com o revestimento com agregado borracha (modificado) com redução de espessura de 30%, ou seja, com 3,5 cm de reforço, através do acervo disponibilizado pelo GRUPO GRECA ASFALTOS, pioneira no Brasil com a linha Ecoflexpave (GRECA ASFALTOS, 2009).

Através da análise viabilidade econômico-financeira é possível demostrar a viabilidade ou não da implantação da usina de reciclagem de resíduos de pneus inservíveis, tornando-se município em estudo, Polo Industrial de reciclagem desse material. A Figura 3.4 demonstra as etapas de realização deste trabalho.

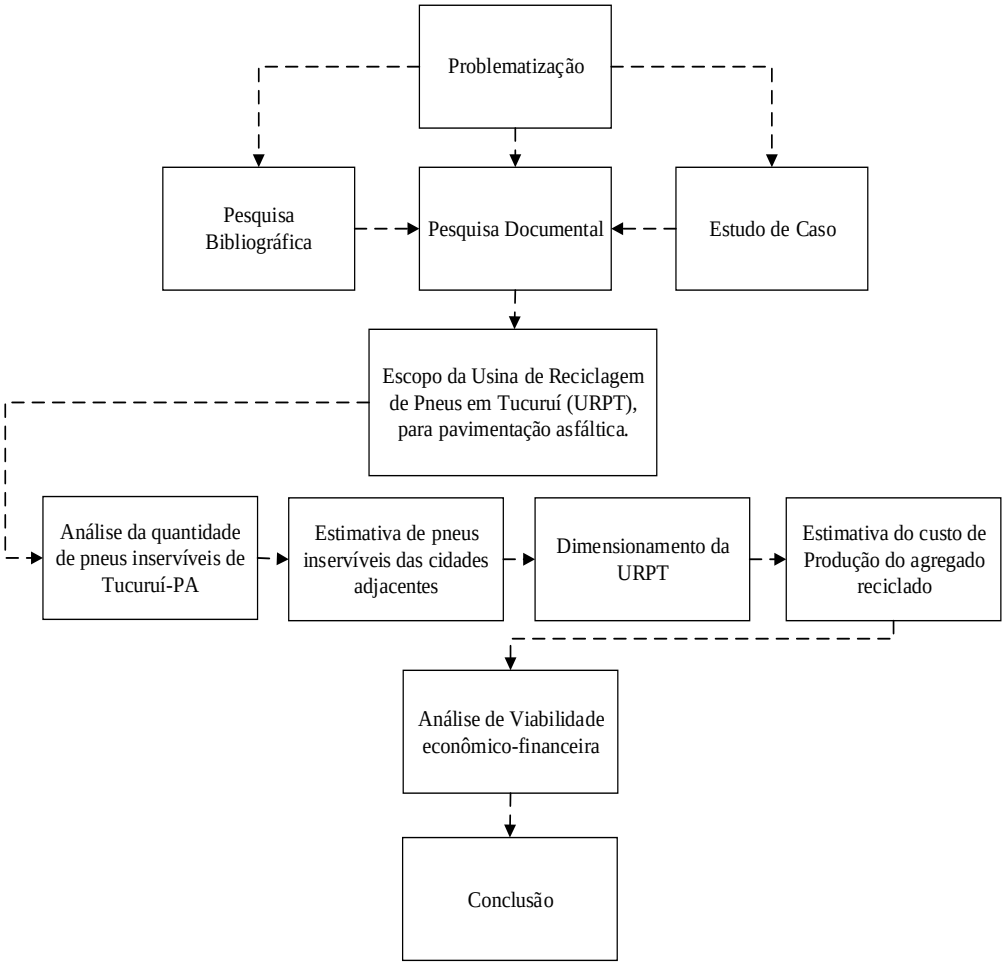


Figura 3.4 – Processo de desenvolvimento do trabalho.
Fonte: Autor, 2018.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização do planejamento da usina de reciclagem de pneus, foram levantadas informações importantes para a natureza do projeto, tais como o volume de pneus inservíveis, incluindo o do município polo e a estimativa das cidades adjacentes da região, localização da usina, compra, implantação e operação de máquinas e equipamentos do processo produtivo. Essas informações são apresentadas na sequência.

4.1 Pneu inservíveis na região

4.1.1 Tucuruí

O questionário foi aplicado nas lojas mecânicas e borracharias apenas em Tucuruí com os objetivos deste estudo. Para definir o perfil da quantidade de pneus inservíveis, foram coletadas algumas informações como nome da empresa, número, bairro e o contato para criação de um banco de dados de fornecedores.

Segundo informações das lojas mecânicas, 6,36% repassam os pneus inservíveis aos borracheiros que buscam esse material para revenda. A Figura 4.1 ilustra o fluxo da destinação em percentual do quantitativo de pneus inservíveis na cidade com base nas informações coletadas da pesquisa em campo.

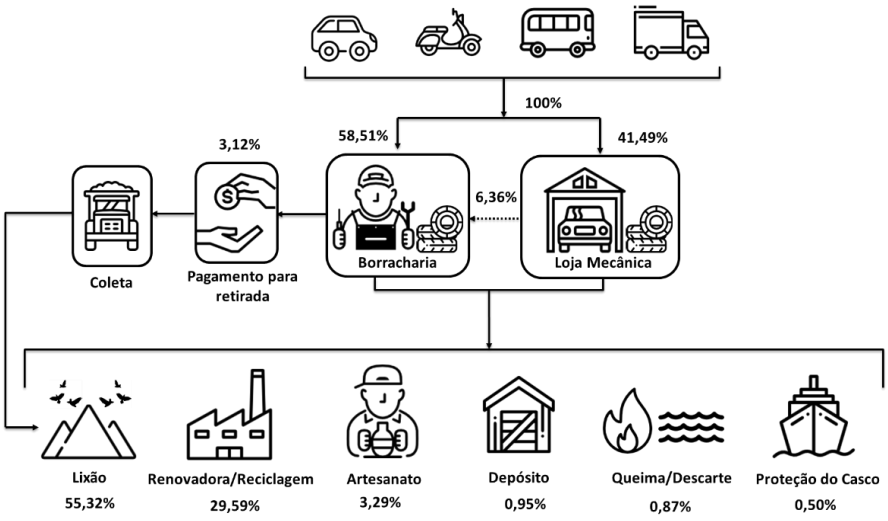


Figura 4.1 – Destinação em percentual do quantitativo de pneus inservíveis em Tucuruí (PA).
Fonte: Autor, 2018.

Com o objetivo de explorar o perfil das empresas, permitindo a identificação do número de estabelecimentos pelos 55 bairros do município, foram encontradas 54 lojas mecânicas e 44 borracharias, totalizando 98 em exercícios em 30 bairros na cidade, manuseiam de alguma forma pneus. Ainda neste item são demonstrados, o quadro funcional, sendo que em média 2,09 são funcionários na borracharia e 5,44 são de lojas mecânicas.

A Figura 4.2 apresenta a quantidade de borracharias, prestadores de serviços e demais segmentos que manuseiam pneus inservíveis.

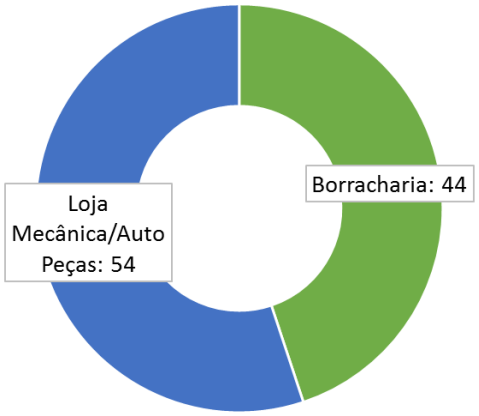


Figura 4.2 – Estabelecimentos na cidade.
Fonte: Autor, 2018.

Sobre o local de armazenagem dos pneus inservíveis, verificou-se que 56% das empresas armazenam em áreas cobertas ou depósitos até uma destinação final dos resíduos, 41% informaram que não possuem um local de armazenagem para os pneus inservíveis, tendo que colocá-los em áreas externas, muitas vezes acumulando água parada.

Quanto à forma do local de armazenagem dos pneus inservíveis pelas empresas, a Figura 4.3 apresenta o perfil total dos estabelecimentos ao local de armazenagem.

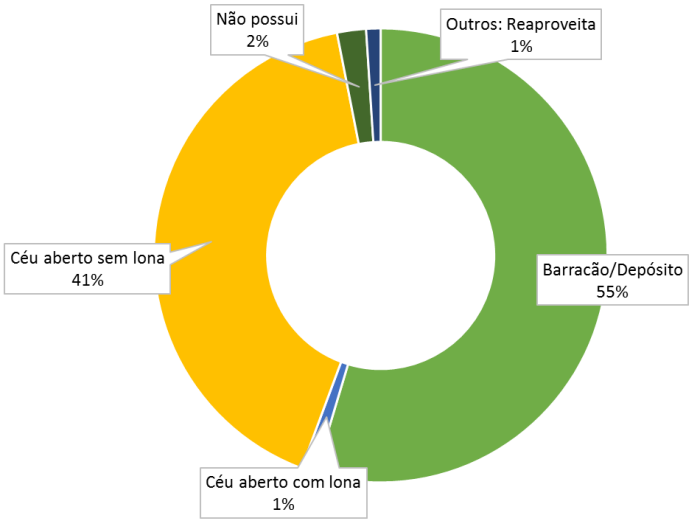


Figura 4.3 – Local de armazenagem de pneus inservíveis.
Fonte: Autor, 2018.

Quanto à origem dos pneus, é possível constatar que cerca de 86,19 % dos clientes são pessoa física e 13,81 % pessoa jurídica. Neste segundo grupo estão inclusos pequenas e médias empresas e órgãos privados ou públicos da cidade, pois, geralmente as empresas de transporte de pessoas e cargas possuem setor de manutenção interna (matriz) e não procuram as borracharias para a realização de troca de pneus.

Em relação da estimativa média de pneus pelo perfil do estabelecimento, foi verificado que em média 44 borracharias recebem de 20 a 50 pneus e nas mecânicas em média 30 a 70 pneus recolhidos por mês. Nas borracharias são recebidas mensalmente 1.664 pneus e nas lojas mecânicas 2.347, totalizando 4.011 pneus inservíveis. A Figura 4.4 ilustra a quantidade de pneus inservíveis gerados mensalmente em média por bairro na cidade.

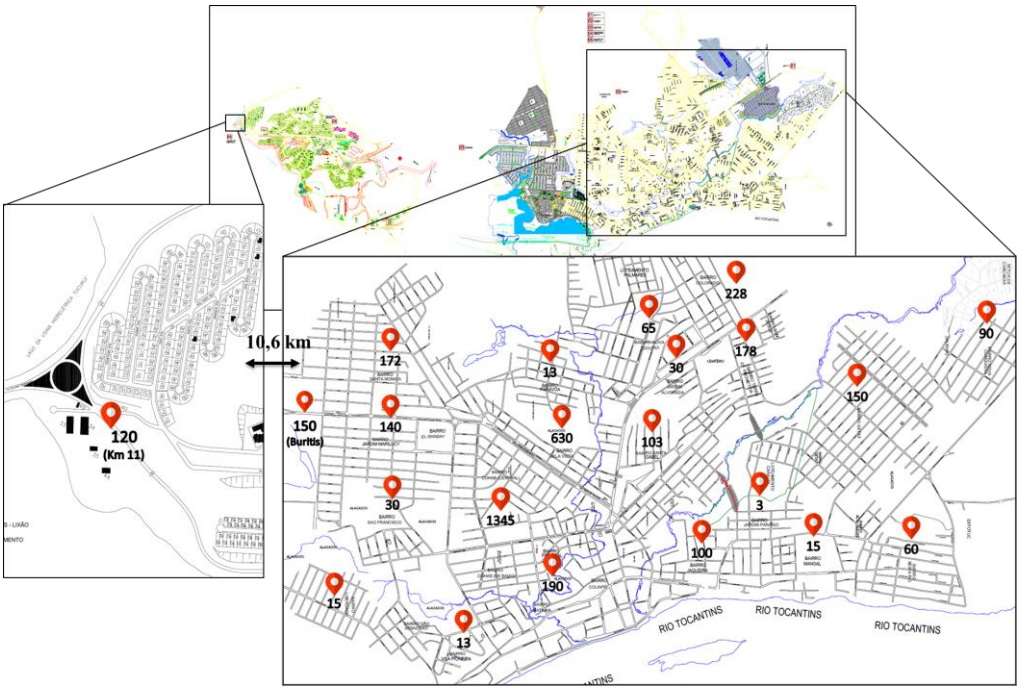


Figura 4.4 – Quantidade de pneus inservíveis gerados mensalmente em média por bairro na cidade.
Fonte: Autor, 2018.

A Figura 4.5 mostra a quantidade mensal de pneus recolhidos pelos estabelecimentos de acordo com os diferentes modais de transporte estudados na pesquisa. Aproximadamente, duas empresas repassam aos seus clientes os pneus inservíveis no momento da troca. Os automóveis apresentam cerca de 49,31% e moto com 40,29%. O menor volume, 2,64%, tem origem de ônibus, caminhão e máquinas agrícolas. Quanto aos pneus das bicicletas correspondem a 7,75% do total de descarte mensalmente.

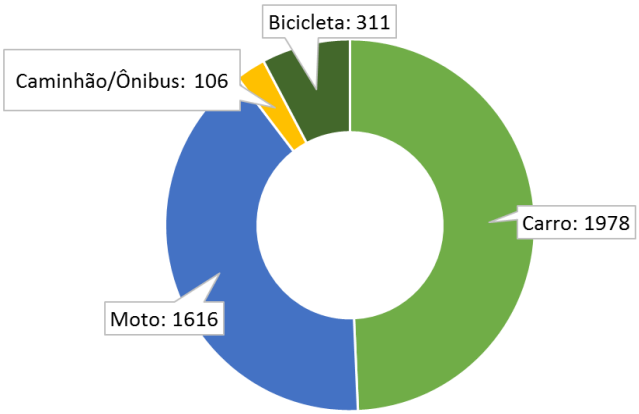


Figura 4.5 – Tipos de pneus inservíveis recolhidos em média mensalmente.
Fonte: Autor, 2018.

Sobre o futuro dos pneus inservíveis no município, verificou-se a destinação dada aos pneus inservíveis na (Figura 4.6). Pelas informações coletadas, aproximadamente 58,43% (2.344 unidades) do total mensal médio de pneus são descartados para serem coletados como lixo doméstico na região, 19,80 % (794 unidades) são coletados para revenda dos pneus à recapadora. Os proprietários não souberam informar o nome das empresas ou algum contato, somente informaram as cidades como, Marabá (PA), Goiânia (GO) e Imperatriz (MA).

Alguns estabelecimentos informaram que repassam para terceiros, para artesanato, reaproveitamento em sítios, no qual representam 8,55% (343 unidades). Empresas de maior porte na cidade repassam para borracharias 6,36% (255 unidades) para revenda a terceiros e 3,12% (125 unidades) pagam para a retirada do material do local. Já duas empresas não recolhem os pneus, atribuindo a responsabilidade aos clientes que ficam com o pneu inservível no momento da troca.

Figura 4.6 – Destinação dada aos pneus inservíveis.
Fonte: Autor, 2018.

No que se refere a opção “Outras destinações”, algumas empresas repassam para as atividades de artesanato na região ou utilizam de alguma forma os pneus em sítios particulares como proteção de barranco ou escada de pneus, as mecânicas repassam para borracharias próximas do estabelecimento.

Algumas borracharias recorrem à queima do material quando o caminhão coletor de lixo doméstico não realiza o recolhimento dos pneus. No entanto, esse tipo de prática representa crime ambiental e risco à saúde devido a liberação de produtos químicos tóxicos e

metais pesados capazes de produzir efeitos adversos à saúde. A fumaça resultante contém poluentes que podem afetar o bem-estar físico e psicológico das pessoas (CHEN *et al*., 2009).

As empresas pesquisadas foram questionadas sobre a existência de incentivo dos governos (municipal, estadual e federal) à coleta, armazenagem e disposição final dos pneus. Elas responderam (em sua totalidade) desconhecer qualquer incentivo sobre o destino de pneus inservíveis. Sobre fiscalização ao tratamento que a empresa dá aos pneus, foi verificada que somente a Unidade de Endemias de Tucuruí (UET) intensificam suas atividades nos períodos de chuva do ano por causa da proliferação do mosquito *Aedes Aegypti*. Entretanto, o número de visitas confirmadas pelas empresas foram, borracharias com 6,82% e nas lojas mecânicas 13,46%. A Figura 4.7 apresenta as visitas de fiscalização das UET às empresas sobre o tratamento dos pneus inservíveis.

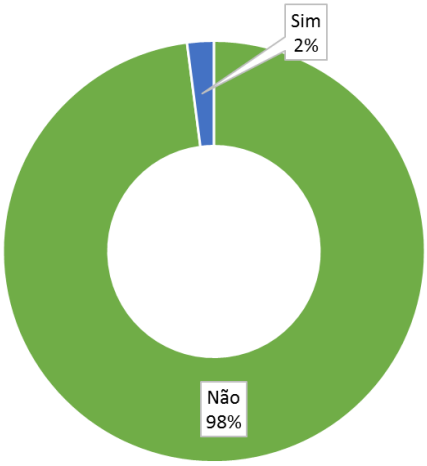


Figura 4.7 – Fiscalização municipal sobre o tratamento dos pneus inservíveis.
Fonte: Autor, 2018.

Sobre a preocupação com a preservação do meio ambiente, foi possível conhecer o perfil das empresas da região sobre a importância conservação do meio ambiente. No questionário, estas responderam em sua totalidade ter conhecimento da importância de pequenos gestos em ajudar a preservar o meio ambiente da melhor forma possível. A Figura 4.8 apresenta a preocupação das empresas com o meio ambiente.

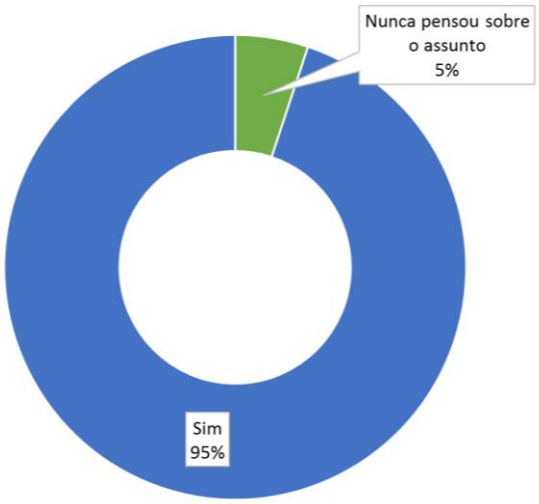


Figura 4.8 – Preocupação das empresas sobre a preservação do meio ambiente.
Fonte: Autor, 2018.

A respeito sobre a reciclagem de pneus traz alguma vantagem ao ambiente, também em sua totalidade, as empresas afirmaram que a reutilização ou destinação adequada de pneus inservíveis vão trazer benefícios para a cidade e ao meio ambiente de várias maneiras como, diminuição de agentes transmissores de doenças na população, queima dos resíduos sólidos, e descarte inadequado, principalmente na mata ou igarapés. Alguns proprietários levantaram ideias como reutilização em praças públicas, encostas de açudes particulares e a criação de uma cooperativa para artesãs na fabricação de cadeiras, lixeiras, vaso de plantas, entre outros como uma fonte de renda.

Com relação ao conhecimento legislativo, a coleta das informações possibilitou identificar sobre parte das empresas; da totalidade, 39% afirmaram conhecer uma pequena parte das responsabilidades da destinação correta dos resíduos de pneus, e 61% disseram não conhecer nenhuma regulamentação que se trata a respeito a destinação final dos pneus. A classificação das empresas pelo conhecimento real depois de terem passado os pneus inservíveis para terceiros estão expostas na Figura 4.9.

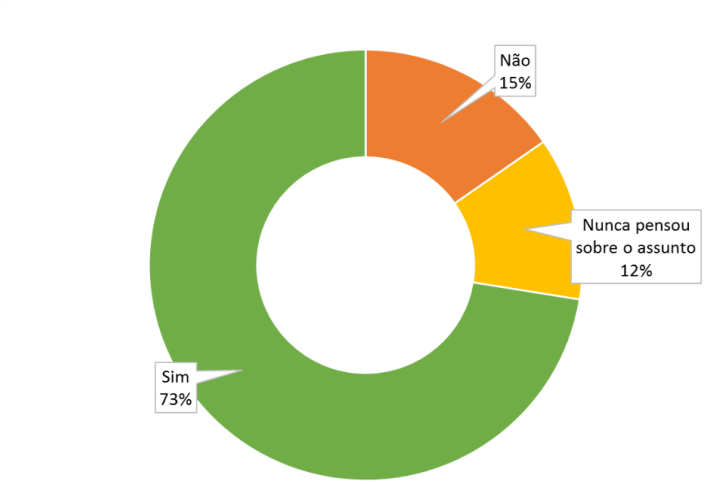


Figura 4.9 – Conhecimento real do destino do pneu pelas empresas.
Fonte: Autor, 2018.

4.1.2 Cidades Adjacentes

Seguindo esta metodologia, realizou-se um comparativo entre a pesquisa em campo em Tucuruí e a estimativa com o objetivo de replicar para as cidades adjacentes na região. O quantitativo da coleta de dados de pneus inservíveis em Tucuruí foram de 1.978 para automóveis, 1.616 para motos e 106 para ônibus e caminhões, resultando em um montante de 3.700 de resíduos de pneus descartados no município mensalmente. Com o método proposto por Lopes *et al.* (2002), chegou-se a estimativa de 3.618,86 (97,81%) pneus inservíveis, valor total comparado com a pesquisa em campo.

Para os automóveis, a estimativa chegou a 1.732,58 pneus descartados (12,4%) e as motos com 1.578,83 (2,3%), entretanto, caminhões e ônibus com 307,44 de pneus (190%) todos comparado com a pesquisa em campo, valor considerado alto para a categoria de grande porte devido as viagens constantes dos motoristas para outras regiões tornando-se a substituição dos pneus em diferentes pontos do país e algumas empresas realizam as suas trocas de pneus na matriz. A Tabela 4.1 apresenta o comparativo dos dados sobre a coleta das informações em campo e cálculo estimativo proposto.

Tabela 4.1 – Comparativo da pesquisa em campo e o cálculo estimativo de pneus inservíveis.

Classe	Pesquisa em Campo	Estimativa	Erro
Automóvel	1978	1733	**12,4%**
Caminhão/Ônibus	106	307	**-190,0%**
Moto	1616	1579	**2,3%**
Total	**3700**	**3619**	**2,2%**

Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 4.2 a seguir mostra o quantitativo retirado do banco de dados fornecidos pelo DENATRAN-PA dos diferentes tipos de veículos das cidades na região próxima ao local recomendado a usina de reciclagem de pneus.

Tabela 4.2 – Frota de veículos das cidades adjacentes a proposta a usina de reciclagem.

Tipo de Veículos	Tailândia	Jacundá	Novo Repartimento	Breu Branco	Pacajá	Goianésia do Pará	Baião
Automóvel	2.537	1.869	1.416	1.302	607	832	247
Caminhão	837	650	530	322	164	317	63
Caminhão trator	131	91	19	27	10	56	2
Caminhonete	1.049	1.228	1.324	512	638	523	188
Camioneta	178	104	85	55	57	62	18
Ciclomotor	36	7	1	2	1	0	0
Micro-ônibus	37	24	39	14	30	23	6
Motocicleta	12.858	9.216	10.638	4.700	4.729	2.976	1.162
Motoneta	2.553	2.405	1.439	781	626	983	259
Ônibus	221	58	63	127	14	45	29
Reboque	245	163	32	70	12	59	2
Semirreboque	193	155	30	62	10	86	4
Sidecar	0	2	0	0	0	0	0
Outros	0	0	1	1	0	0	0
Triciclo	17	8	8	3	1	1	2
Utilitário	45	20	24	15	4	12	4
Total	**20.937**	**16.000**	**15.649**	**7.993**	**6.903**	**5.975**	**1.986**

Fonte: DENATRAN-PA, 2017.

O cálculo do volume de descarte de pneus nas regiões se baseou na vida útil dos pneus dada de acordo com o porte dos veículos. Sendo considerados veículos de médio porte, o automóvel, caminhonete, camioneta, reboque, triciclo e utilitário no qual possui a durabilidade em média de dois anos para troca em cada cidade; para veículos de grande porte como, caminhão, caminhão trator, micro-ônibus, ônibus e semirreboque foram considerados três anos para a vida útil incluída a possibilidade de recapagem e reforma, antes do descarte

final, e para os veículos de pequeno porte como, motoneta, motocicleta, sidecar e outros foram considerados a durabilidade em média de dois anos para a troca. Os descartes de pneus bicicletas feitas na pesquisa em campo não foram contabilizadas para o cálculo da estimativa. A Figura 4.10 exemplifica os parâmetros do processo do método para estimar o quantitativo de pneus inservíveis.

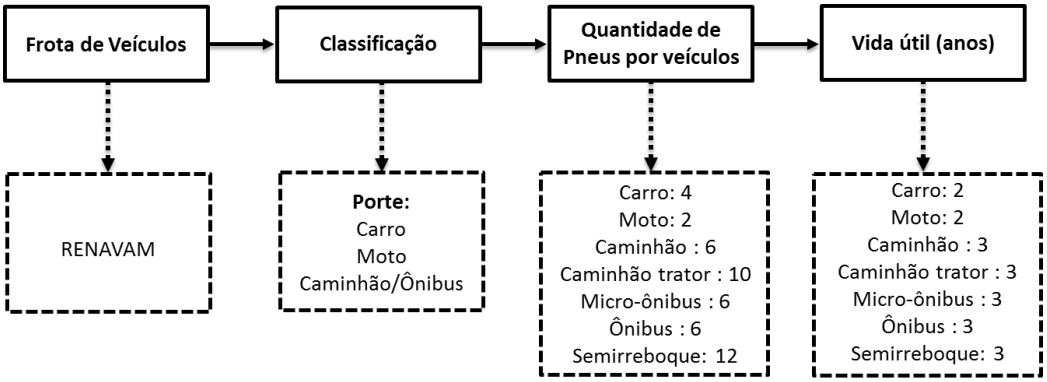


Figura 4.10 – Fluxo do método para estimativa de pneus inservíveis.
Fonte: Lopes *et al.* (2002) (Adaptado pelo autor).

Após o cálculo da estimativa de descarte de pneus inservíveis para cada cidade de estudo, Tailândia (2.224), Jacundá (1.719) e Novo Repartimento (1.605), foram as cidades com maior quantidade de pneus inservíveis na região com grande potencial de ser fornecedora de matéria-prima (borracha e aço) caso ocorra uma demanda inesperada de produção do asfalto na região. A Figura 4.11 mostra a estimativa por categoria de veículo de pneus nas cidades adjacentes a Tucuruí, PA.

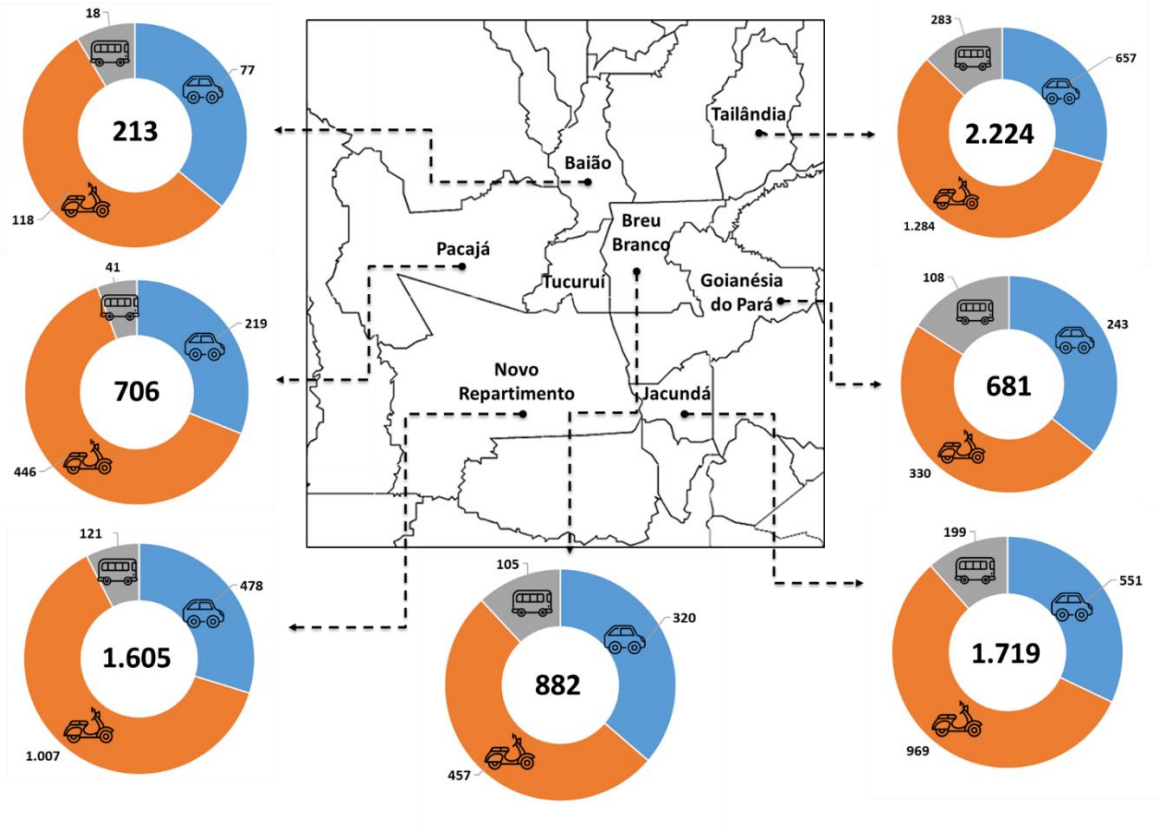


Figura 4.11 – Estimativa mensal de pneus inservíveis nas cidades adjacentes.
Fonte: Autor, 2018.

Com o objetivo de quantificar a totalidade de borracha e aço através da reciclagem no município, o peso de um pneu novo para os automóveis em média de 8 kg, moto com 2 kg e os caminhões e ônibus com 60 kg, com o fator de desgaste do peso total de 30%. Um pneu de automóvel pode pesar entre 5,5 a 7,0 kg (143 a 182 unidades por tonelada), já um pneu de caminhão chega a pesar 55 a 80 kg (12 a 18 unidades por toneladas).

Na composição dos pneus, para os automóveis com percentual de borracha (85%) e aço (15%), motos com borracha (90%) e aço (10%) e, por fim, caminhões e ônibus com borracha (75%) e aço (25%). A Tabela 4.3 apresenta a estimativa mensal de produção de borracha e aço em quilos das frotas de veículos nas cidades adjacentes.

Tabela 4.3 – Estimativa da quantidade mensal de borracha e aço.

Cidade	Quantidade de Pneus	Borracha (kg)	Aço (kg)
Tailândia	2.224	13.665	3.705
Jacundá	1.719	10.110	2.687
Novo Repartimento	1.605	7.344	1.809
Breu Branco	882	5.417	1.439
Pacajá	706	2.888	674
Goianésia do Pará	681	4.987	1.389
Baião	213	1.087	272
Total	**8.031**	**45.499**	**11.976**

Fonte: Autor, 2018.

Quanto ao balanço de massa, como se observa abaixo, a quantidade de matéria-prima estimada é de 15 toneladas/mês, previu-se uma reintegração ambiental, ou seja, 180 toneladas/ano poderiam ser aproveitadas na mistura asfáltica. Os resultados do quantitativo em quilos (kg) mensalmente de borracha e aço são apresentados na Tabela 4.4 para Tucuruí e das cidades adjacentes na Tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Quantidade de borracha e aço disponível mensalmente em Tucuruí.

Veículos	Quantidade de Pneus	Total (kg)	Borracha	Aço	Borracha (kg)	Aço (kg)
Carro	1.978	11.077	85%	15%	9.415	1.662
Moto	1.616	2.262	90%	10%	2.036	226
Caminhão/ Ônibus	106	4.452	75%	25%	3.339	1.113
Bicicleta	311	218	95%	5%	207	11
Total	**4.011**	**18.009**			**14.997**	**3.012**

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 4.5 – Quantidade de borracha e aço disponível mensalmente das cidades adjacentes*.

Veículos	Quantidade de Pneus	Total (kg)	Borracha	Aço	Borracha (kg)	Aço (kg)
Carro	2.544	14.249	85%	15%	12.111	2.137
Moto	4.611	6.455	90%	10%	5.810	646
Caminhão/ Ônibus	876	36.771	75%	25%	27.578	9.193
Total	**8.031**	**57.475**			**45.499**	**11.976**

* Breu Branco, Tailândia, Jacundá, Novo Repartimento, Pacajá, Goianésia do Pará e Baião.

Fonte: Autor, 2018.

4.2 Processo de reciclagem de pneus na usina

A usina de reciclagem de pneus inservíveis deverá ser localizada no terreno (Figura 4.12) com área aproximada de 21.600 m², que incluirá a área ocupada por equipamento, escritório, pátio para recebimento e a triagem de pneus, locais para estoque dos agregados reciclados e dos demais materiais de recursos naturais (areia e britas).

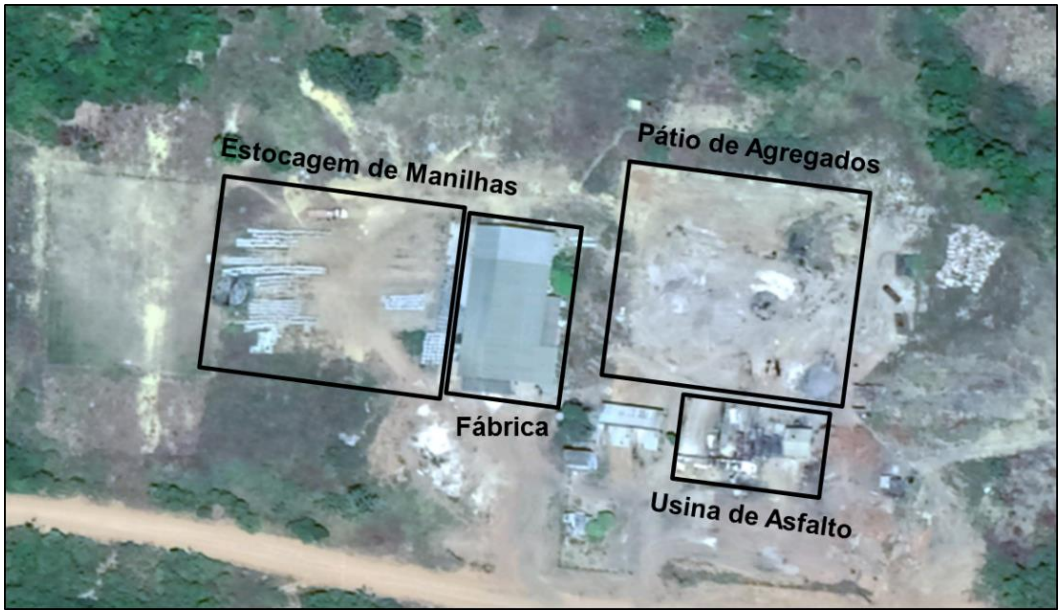


Figura 4.12 – Localização da área de estudo.
Fonte: Adaptado de Google Maps, 2018.

Fatores determinantes na escolha do local da usina são:

a) eficiência de transporte e custo - o custo de transporte da matéria-prima, neste caso, a distância entre a usina de asfalto e os fornecedores são fatores relevantes em termos de custos de combustível, tempo de movimentação e de impactos ambientais referente pela queima de combustível dos veículos;
b) áreas do mercado - a localização mais próxima dos geradores de pneus inservíveis da cidade conduz a uma rentabilidade do empreendimento, primeiramente referente aos custos de transporte e outro fator é a não existência de uma usina de reciclagem na região em competição nesse determinado mercado;
c) mão de obra acessível - a disponibilidade de mão de obra nas regiões próximas ao local da usina de reciclagem. Além disto, existe uma ociosidade de

trabalhadores na usina de asfalto, o empreendimento não deve lidar com escassez e/ou aumentos salariais sem justa causa, ou seja, a mão de obra também deve ser avaliada pela qualidade e quantidade;

d) custo do terreno - para a planta industrial da usina de reciclagem não existe a necessidade de grandes áreas para sua implantação, ao custo de aquisição pode ser um fator decisivo considerável para o empreendimento. Para este estudo de caso, o custo será zero na compra do terreno, uma vez que o mesmo é de responsabilidade e propriedade da Prefeitura Municipal de Tucuruí-PA;
e) vias de acesso e comunicação - devido à localização próxima a uma estrada de rodagem do aeroporto do município e pela proximidade do centro urbano, menores serão os custos de transportes, restringindo os critérios de alternativas para a escolha do terreno.

Considerando esses os fatores relevantes, a escolha do local de implantação da usina próxima a BR-422, local de entrada da cidade, é ainda mais vantajosa por receber resíduos de pneus inservíveis de outras cidades da região, tornando-o polo de captação desse material pela proximidade com o centro urbano das empresas.

4.2.1 Descrição da operação da usina de reciclagem

Para o processo produtivo de reciclagem possui como início a coleta, recebimento e estocagem da matéria-prima. O transporte dos pneus à usina será efetuado por caminhões basculantes, sendo que essa coleta dos pneus será realizada por meio de convênios com as prefeituras municipais associadas ao projeto, as quais serão responsáveis pela coleta destes em seus municípios e direcionadas à indústria de reciclagem. Além disso, haverá um contrato com uma empresa terceirizada, que fará a coleta em lugares onde as prefeituras possuem dificuldades de acesso.

Serão estabelecidas ainda, parcerias com algumas oficinas da região, as quais encaminharão os pneus inservíveis ao empreendimento. Esses veículos, ao chegarem no local da usina, passarão por uma inspeção visual do material conduzida pelo responsável pela fiscalização a ser recebido, para registro de alguns dados que possui o intuito de controle operacional, como por exemplo a origem dos resíduos sólidos.

O registro inicial deve incluir as seguintes informações, que posteriormente devem ser arquivados pela usina de reciclagem: nome da empresa geradora de pneus, data e hora de entrada e saída do veículo, placa e nome do motorista e a quantidade de material recebido. Após a identificação inicial, o caminhão seguirá a área de disposição dos resíduos, realizando o descarregamento.

Posteriormente, a fase de recepção, a próxima etapa consiste na separação dos tipos de pneus recebidos. Com o auxílio de um funcionário, o material recebido será separado manualmente em baias nas suas respectivas classes de pneus (pequeno, médio e grande porte) com objetivo de os funcionários realizarem o menor esforço físico possível de transporte. A Figura 4.13 ilustra a proposta do processo da coleta de matéria-prima para a usina.

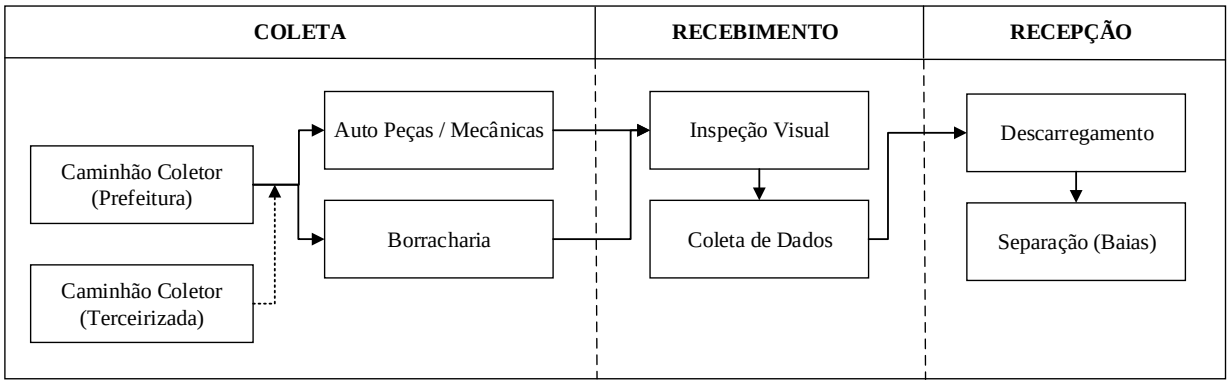


Figura 4.13 – Fluxograma da coleta de pneus inservíveis à usina.
Fonte: Autor, 2018.

Segundo informações repassadas pela empresa que fornece os equipamentos para o processo de reciclagem dos pneus inservíveis, Figura 4.14, devem-se seguir as seguintes etapas da linha de produção: a primeira etapa do processo de reciclagem inicia-se pelo destalonador, máquina que utiliza um gancho para retirar o talão de aço das paredes laterais dos pneus antes do processo de trituração e de corte. Ela consiste principalmente de motor, gancho, placa com furo cruzado, estrutura, cilindro hidráulico, unidade de força hidráulica, alavanca de operação.

A segunda etapa do processo acontece pela esteira transportadora que são usadas para conectar as diferentes máquinas no decorrer do processo contínuo, que é especialmente concebido para o transporte de grandes quantidades de pneus.

Para a terceira etapa, o triturador A é usado para triturar pneus radiais, previamente destalonados, em pedaços de tamanho 50x50mm. Formado principalmente de motor, redutor

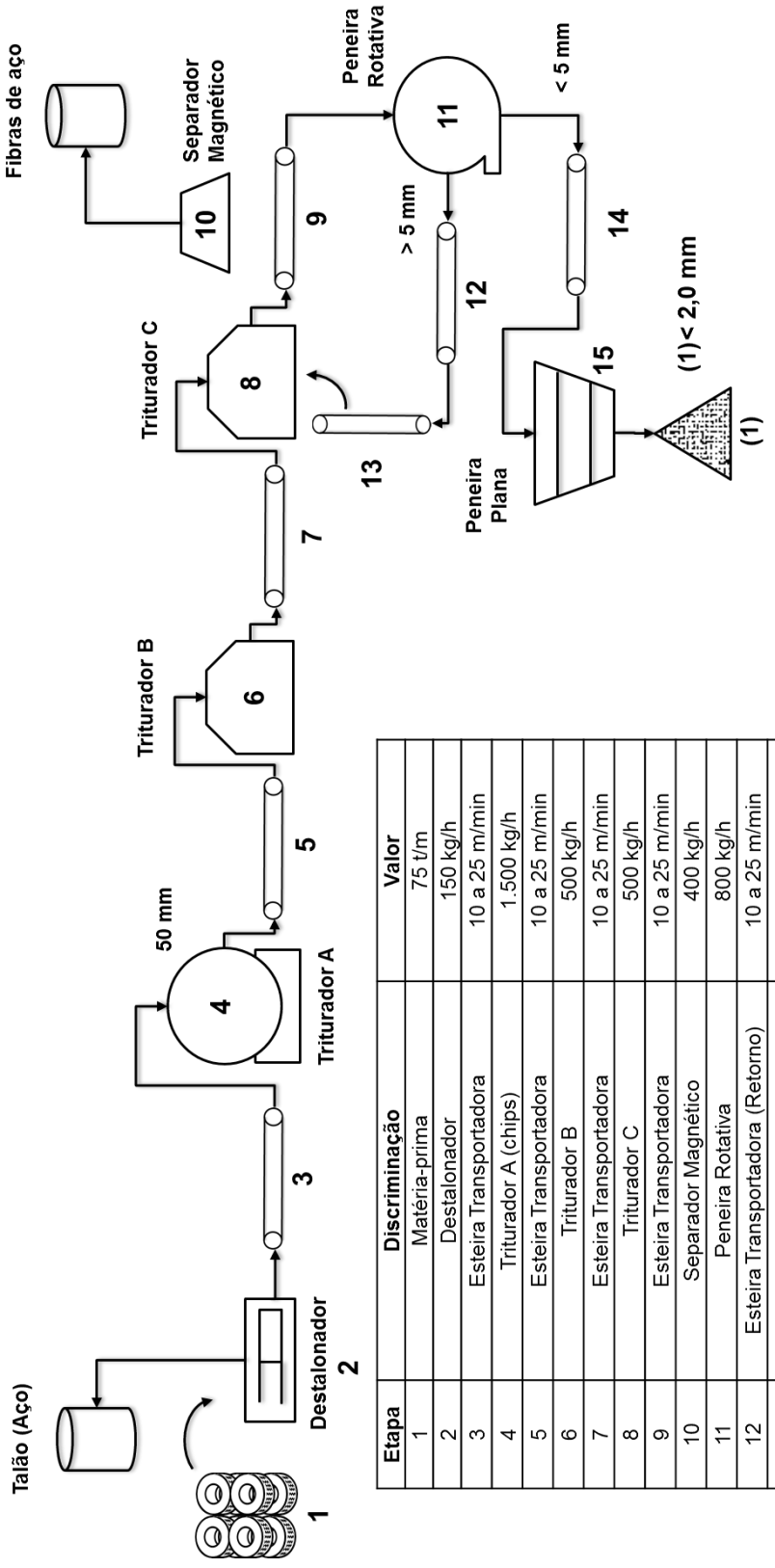
de velocidade, inversor de frequência, estrutura da máquina, lâminas de corte, peneira rotativa ou tela, painel de comando.

Na quarta etapa passa pelo triturador B para fazer pó 30 a 40 *mesh* e granulado, consiste principalmente no funcionamento de dois cilindros, que são movidos por motores através de redutor de velocidade. Ela consiste principalmente de estrutura principal de transmissão dos cilindros, proteção de segurança, rolos cilíndricos com abertura ajustável, sistema lubrificação e sistema de proteção com travamento automático.

A quinta etapa do processo acontece na peneira rotativa a disco que realiza a separação dos resíduos através de seus discos trapezoidais que ficam vibrando os resíduos depositados sobre o rachador, desta maneira é possível separar os resíduos por seus tamanhos.

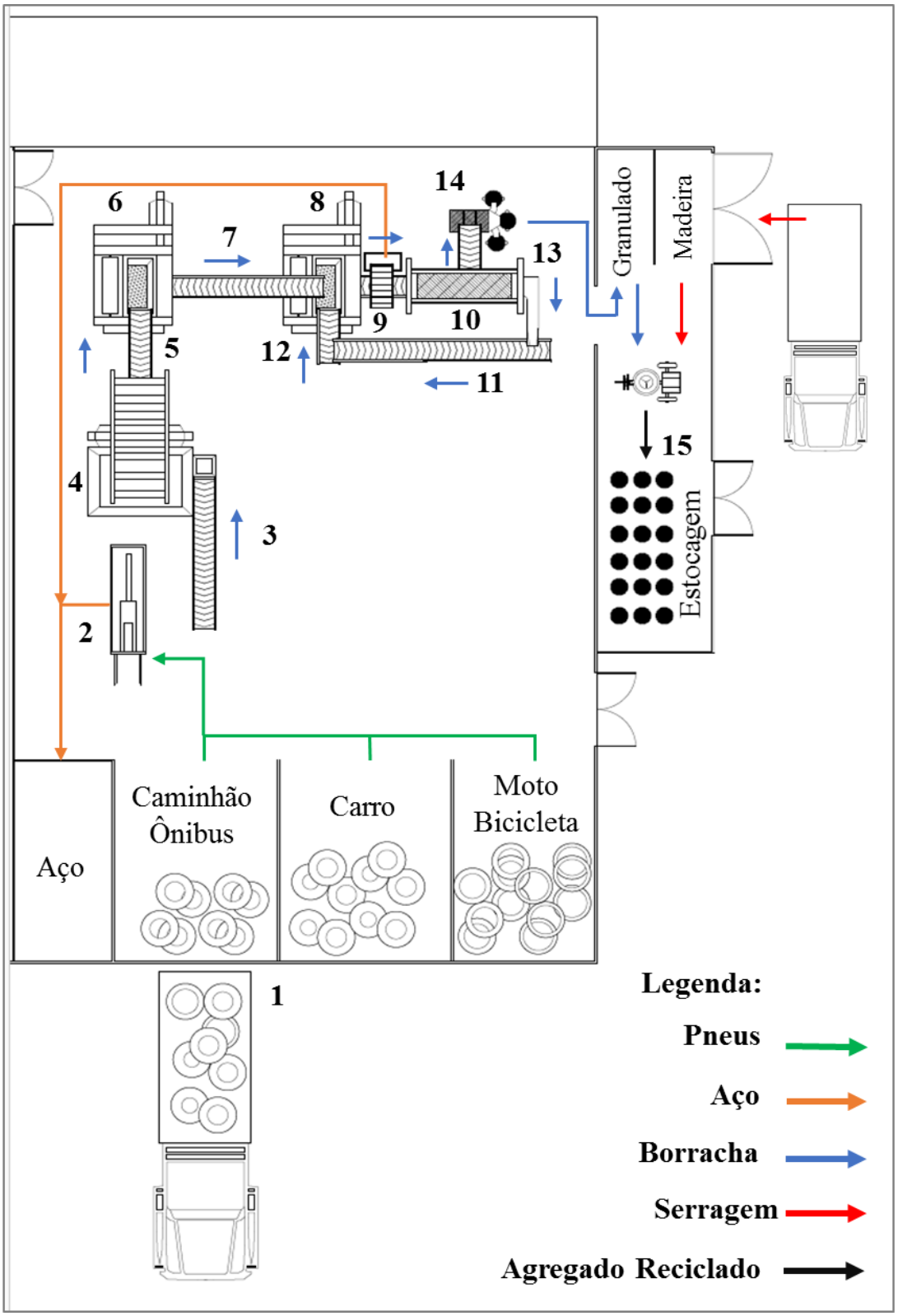
Na sexta etapa, o separador magnético é utilizado para separar objetos ferrosos misturados nos granulados de borracha de pneu para encaminhamento ao próximo processamento. Suas partes são principalmente de placa eletromagnética, motoredutor, correia transportadora, rolos cilíndricos, estrutura de elevação e painel de comando.

Na última etapa, a peneira plana vibratória utiliza um motor de vibração para forçar a dispensão do material, avançando na rede de triagem para separando o granulado de borracha em tamanhos diferentes. Ela consiste principalmente de motovibrador, estrutura de sustentação e telas de peneiração com aberturas indicadas. Após a separação, cada uma das frações é transportada para o seu respectivo pátio de estocagem por meio de uma transportadora convencional, de velocidade constante. A Figura 4.15 mostra a planta baixa da usina de reciclagem para a produção de agregado reciclado.



Etapa	Discriminação	Valor
1	Matéria-prima	75 t/m
2	Destalonador	150 kg/h
3	Esteira Transportadora	10 a 25 m/min
4	Triturador A (chips)	1.500 kg/h
5	Esteira Transportadora	10 a 25 m/min
6	Triturador B	500 kg/h
7	Esteira Transportadora	10 a 25 m/min
8	Triturador C	500 kg/h
9	Esteira Transportadora	10 a 25 m/min
10	Separador Magnético	400 kg/h
11	Peneira Rotativa	800 kg/h
12	Esteira Transportadora (Retorno)	10 a 25 m/min
13	Esteira Transportadora (Retorno)	10 a 25 m/min
14	Esteira Transportadora	10 a 25 m/min
15	Peneira Plana	800 kg/h

Figura 4.14 – Fluxograma do processo produtivo da reciclagem dos pneus inservíveis.
Fonte: Autor, 2018.



Legenda: **1** – Pneus; **2** – Destalonador; **3** – Esteira transportadora; **4** – Triturador A (chips); **5** – Esteira transportadora; **6** – Triturador B; **7** – Esteira transportadora; **8** – Triturador C; **9** – Sepador megnético; **10** – Peneira rotativa; **11** – Esteira transportadora; **12** - Esteira transportadora; **13** – Calha de saída; **14** – Peneira plana; **15** – Agregado reciclado.

Figura 4.15 – Layout da proposta da usina de reciclagem.

Fonte: Autor, 2018.

4.2.2 Especificações do processo para a produção

Para que seja aplicado a metodologia proposta por Coelho (2018), existe a necessidade do estudo da produção do agregado reciclado (borracha e serragem), quantidade de matéria-prima para que não haja a necessidade caso ocorra a ausência de material agregado a produção de CBUQ modificado na região. A Tabela 4.6 apresenta o percentual em peso da mistura asfáltica convencional comparado ao modificado.

Tabela 4.6 – Percentual em peso da mistura asfáltica convencional ao modificado.

Mistura Asfáltica	Convencional	Modificado
Brita 1	21,50%	23,00%
Brita 0	22,50%	24,00%
Pó de Pedra	32,00%	30,00%
Areia	14,00%	12,00%
Cimento	3,00%	2,00%
CAP 50/70	7,00%	7,00%
Borracha	0,00%	1,50%
Madeira	0,00%	0,50%
Total	**100%**	**100%**

Fonte: COELHO, 2018.

Com o objetivo de inserir em sua nova composição para a produção da mistura asfáltica utilizando o agregado borracha, devem ser feitas as seguintes alterações do processo convencional. A Figura 4.16 descreve a estimativa de utilizar-se de matéria-prima de Tucuruí e das cidades adjacentes mensalmente na usina de reciclagem de pneus, aproximadamente 60 toneladas de granulado de borracha para a pavimentar uma área de 40.800 metros quadrados (largura: 6 metros e comprimento: 6.8 km). A proposta a seguir, Figura 4.17, ilustra o fluxo do processo dos materiais da usina de reciclagem para a usina de CBUQ da cidade via processo seco.

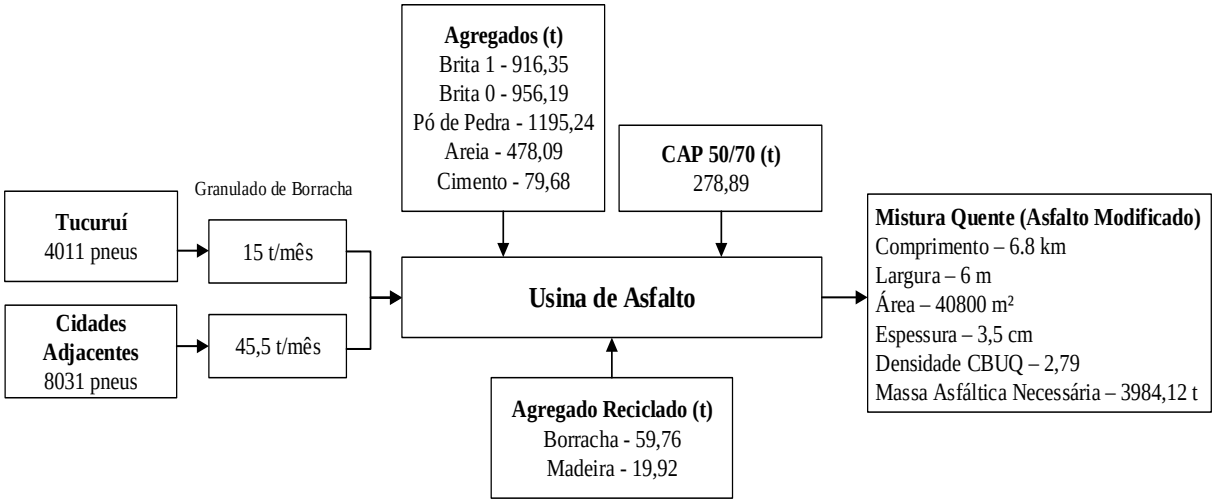


Figura 4.16 – Fluxograma do novo processo produtivo da usina de CBUQ.
Fonte: Autor, 2018.

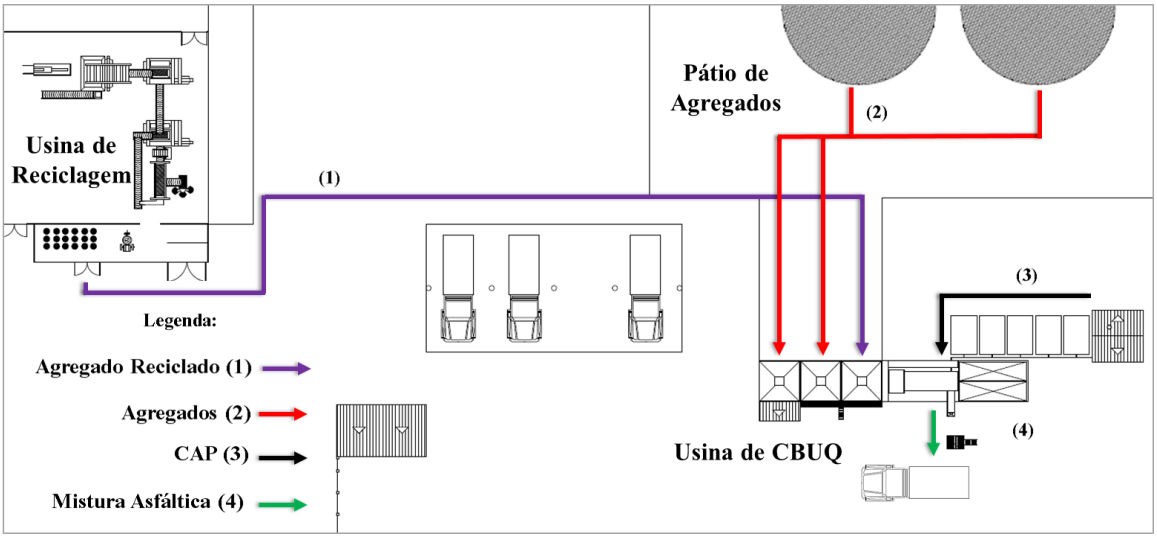


Figura 4.17 – Fluxo do processo dos materiais da usina de reciclagem para a usina de CBUQ da cidade.
Fonte: Autor, 2018.

A Figura 4.18 apresenta, através do diagrama de sankey, a quantidade de agregados necessários para produzir 1700 metros (1.7 km) de da mistura asfáltica modificado (granulado de borracha com 15 toneladas e serragem de madeira com 5 toneladas) com a necessidade de consumir toda o material reciclado de pneus disponível mensalmente em Tucuruí.

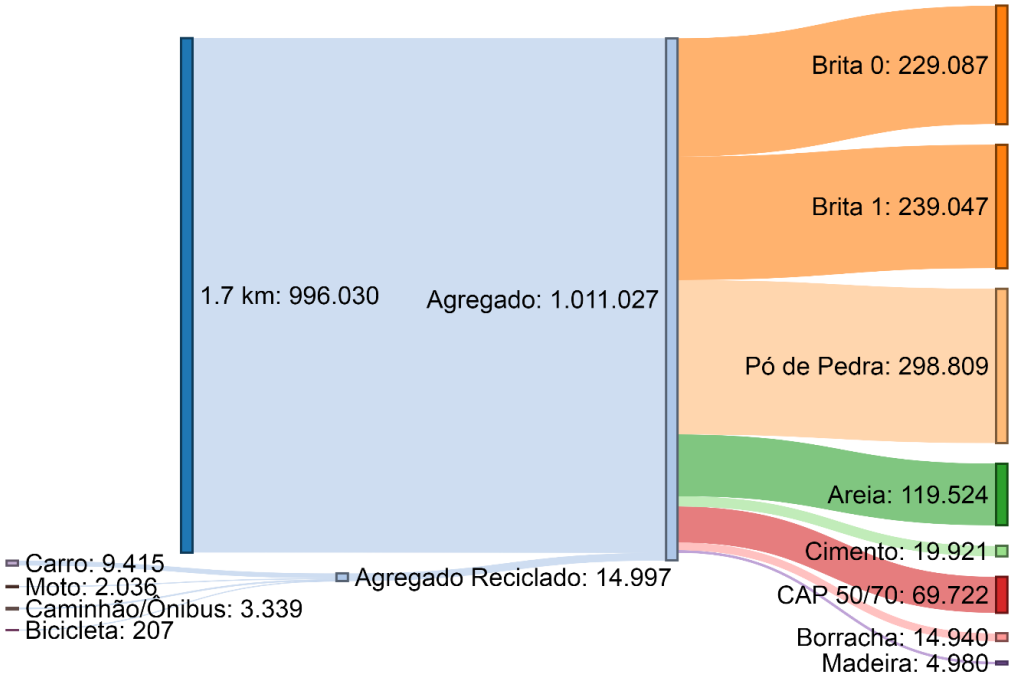


Figura 4.18 – Balanço de produção do CBUQ, em quilogramas.
Fonte: Autor, 2018.

Com as cidades adjacentes, a necessidade de suprir a quantidade de material reciclado (granulado de borracha com 59,76 e serragem de madeira com 19,92 toneladas/mês) com o objetivo de produção de 6 quilômetros e 800 metros de asfalto modificado mensalmente.

4.2.3 Estimativa de capacidade e produtividade

A partir dos dados coletados de Tucuruí e a estimativa de pneus das cidades adjacentes, a usina de reciclagem dos pneus deve ter como capacidade nominal de 115 kg/h para o turno de 8 horas (segunda à sexta) tendo uma produção de borracha de 920 kg/dia somente para suprir a cidade de Tucuruí. Para atender toda a região com o objetivo de processar toda a matéria-prima que será disponível em Tucuruí e pelas cidades da região a usina deve possuir a capacidade nominal de 475 kg/h, conforme apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Capacidade nominal da proposta da usina de reciclagem de pneus.

Cidade	Capacidade (kg/h)	Produção (kg/8h)	Produção Mensal (kg)
Tucuruí	115	920	14.997
Cidades Adjacentes (C.A.)	360	2.880	45.499
Tucuruí + (C.A.)	475	3.800	60.496

Fonte: Autor, 2018.

Para a determinação do volume de produção da usina de reciclagem, foram considerados as seguintes variáveis, apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Parâmetros do cálculo da produtividade da usina de reciclagem.

Produtividade	Valores Absolutos
Meses de operação no ano	12
Dias de operação por mês	21
Horas produção por dia de operação	8
Tempo produção mês/h	160
Tempo produção ano	2.016

Fonte: Autor, 2018.

Após determinar o volume de horas de produção de atividade, determinou-se com base na capacidade da máquina os volumes de matéria-prima necessários para operar a usina, buscando otimizar e explorar seu completo potencial produtivo. Os dados obtidos seguem demonstrados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Capacidade de produção da usina de reciclagem.

Usina de Reciclagem de Pneus	Atuação	Unidade
Destalonador	150	kg/h
Esteira Transportadora	10 a 25	m/min
Triturador A (chips)	1.500	kg/h
Esteira Transportadora	10 a 25	m/min
Triturador B	500	kg/h
Esteira Transportadora	10 a 25	m/min
Triturador C	500	kg/h
Separador Magnético	400	kg/h
Peneira Rotativa	800	kg/h
Esteira Transportadora (Retorno)	10 a 25	m/min
Esteira Transportadora (Retorno)	10 a 25	m/min
Esteira Transportadora	10 a 25	m/min
Peneira Plana	800	kg/h
Capacidade nominal da linha de produção	**600**	**kg/h**
Volume processamento diário	**4.800**	**kg/d**
Volume processamento semana	**24.000**	**kg/s**
Volume processamento mês 21 dias úteis	**100.800**	**kg/mês**

Fonte: Autor, 2018.

Para possíveis casos de parada de produção, por motivos de manutenção preventiva regular (duas horas) como parada planejada e as paradas para manutenção corretiva (duas horas) e espera de matéria-prima à usina (duas horas) como paradas evitáveis durante 40 horas na semana, teríamos uma produção real de 34 h/semana. A Figura 4.19 ilustra uma

estimativa da capacidade de horas de produção, utilização e eficiência de produção do agregado.

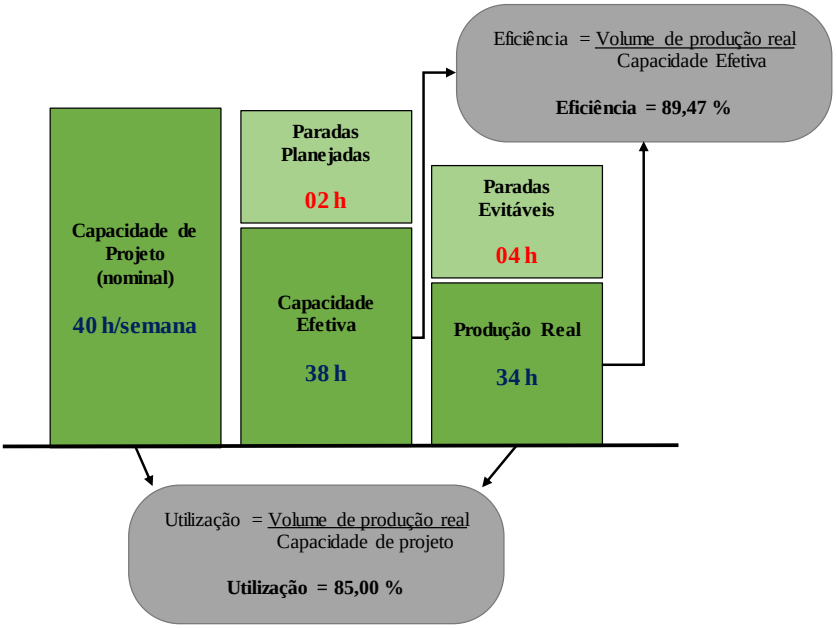


Figura 4.19 – Capacidade nominal e efetiva em horas de produção do agregado.
Fonte: Autor, 2018.

Para a produção do agregado borracha com uma linha de produção que atenda e prolongue a sua capacidade, adotamos uma linha de produção de 600 kg/h. A Figura 4.20 ilustra a quantidade de processamento semanal da capacidade nominal, efetiva e a real de produção em quilogramas.

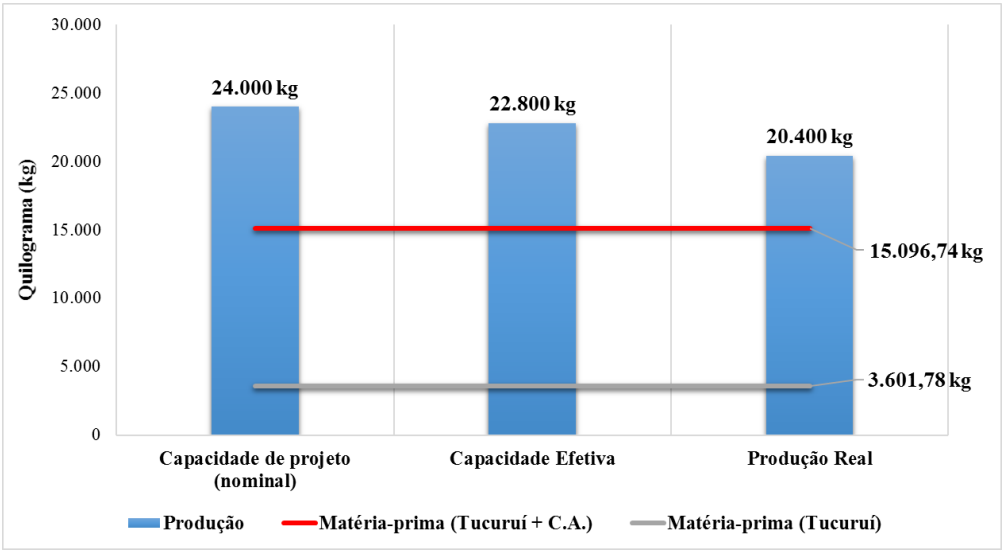


Figura 4.20 – Capacidade de produção da usina de reciclagem por semana.
Fonte: Autor, 2018.

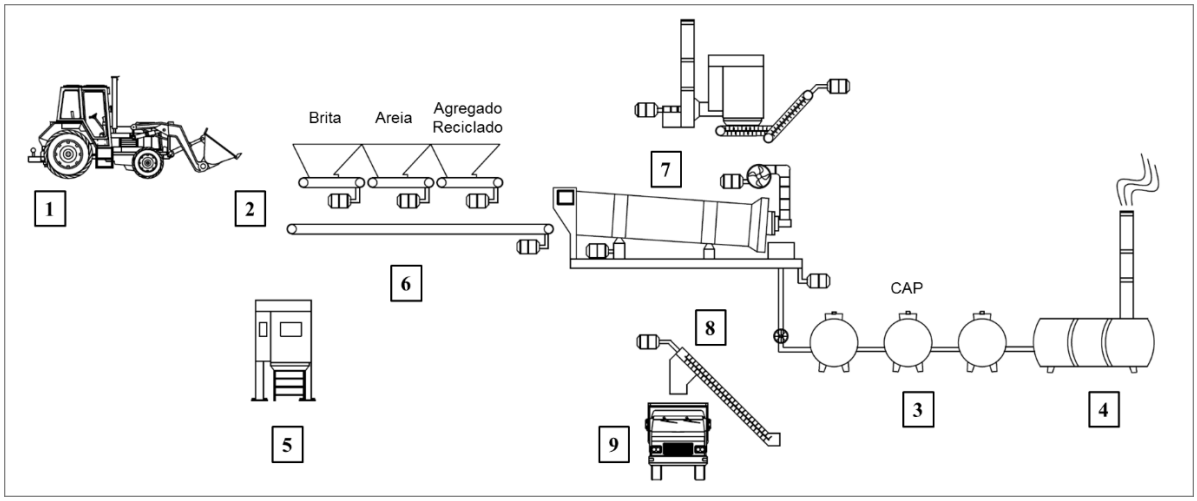
4.2.4 Processo e especificações da usina de CBUQ

Para abaster a usina, os agregados são colocados por uma pá carregadeira (1) com a caçamba de 4 m³ em três moegas anexos (2), com capacidade individual de 7 m³. O CAP é colocado em tanques (3) de abastecimento onde é armazenado, a caldeira (4) aquece o material onde é enviado em tubulações à usina.

Através da cabine de controle (5), o operador define a quantidade de cada material, as correias dosadoras em forma de "V" que garantem maior amostra de material sobre a célula de carga e maior precisão para o sistema de pesagem, no qual irá compor a mistura asfáltica. A usina controla o abastecimento dos agregados para que o traço desejado seja atingido.

Com auxílio de esteiras (6), os agregados são encaminhados para um tambor de secagem, que funciona como um forno (7), sistema de secagem contrafluxo. Nessa parte do processo são misturados os agregados e é retirada toda umidade através do aquecimento a gás presente nele. A correia transportadora lança os agregados diretamente para a parte interna do tambor secador.

Os agregados são misturados com o CAP em um misturador, através de um elevador (8), esta mistura é descarregada em um caminhão (9) que a transportará para o local de pavimentação (Figura 4.21). A capacidade nominal (projetada) da usina são 80 t/h, a usina comporta para adição de materiais reciclados em até 20% de material reciclado. O Quadro 4.1 apresenta os dados técnicos da proposta da usina de CBUQ de Tucuruí.



Legenda: 1 – Pá carregadeira; 2 – Moegas; 3 – Tanque (CAP); 4 – Caldeira; 5 – Cabine de controle; 6 – Esteira; 7 – Tambor de secagem; 8 – Elevador; 9 – Caminhão.

Figura 4.21 – Fluxo no processo de produção de CBUQ na proposta a usina de Tucuruí.
Fonte: Autor, 2018.

Quadro 4.1 – Dados técnicos da usina de CBUQ de Tucuruí.

DADOS TÉCNICOS DA USINA MAGNUM 80	
Produção (ton/h)	80
Número de chassis	1
Número de eixo/pneus	3 eixos / 12 pneus
Silos dosadores	3 (std) / 4 (opcional)
Capacidade (m³)	7
Sistema de dosagem	Pesagem individual por meio de célula de carga centralizada
Secador	Tipo contrafluxo
Dimensões	1,80 m na seção maior
	1,50 m na seção menor
	6 m de comprimento
Queimador	Terex CF-04 – 10
Potência térmica (kcal/h)	10.000.000
Misturador	Externo rotativo
Sistema de filtragem	Filtro de mangas: 288 unidades
	Polyester lisas-convencionais (std) - Nomex (opcional)
Eficiência	Superior a 99,9%
	Emissões de particulados inferiores a 50 mg/Nm³
Elevador	Tipo "Drag Mixer" com aletas dentadas antissegregação
Silo de massa pronta	1 m³ (std) - Opções para 10, 25 ou 50 m³

Fonte: TEREX (2011).

4.3 Análise da viabilidade econômica

4.3.1 Investimento inicial

Para a parte de infraestrutura e localização a usina de reciclagem de pneus em Tucuruí, o investimento inicial da usina envolve a aquisição dos conjuntos dos maquinários para reciclagem, equipamento de mistura, EPI's e o cilindro de gás.

4.3.2 Infraestrutura

O terreno que integrará um pátio para disposição de resíduos de pneus recebido, área de alocação de máquinas de reciclagem, estocagem para os agregados reciclados (borracha, madeira e aço) e o estacionamento para os caminhões.

Os equipamentos da linha de produção da reciclagem que fazem parte dos componentes da usina com a capacidade devem ser 600 kg/h, relação obtida os equipamentos necessários. A aquisição do maquinário para o desenvolvimento das atividades da linha completa de reciclagem de pneus R$ 1.078.000,00.

Para a instalação da linha de produção, nenhuma das empresas incluíram no custo a entrega dos equipamentos, como frete, despesas com hotel, viagens, alimentação e deslocamento na cidade, fica por conta do cliente. A empresa com menor orçamento, informaram que precisam de dez dias para concluir a instalação dos equipamentos com três funcionários. As informações das despesas, foram coletadas por empresas da região na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Despesas para a instalação da linha de reciclagem de pneus.

Item	Unidade
Quantidade de dias	10
Quantidade de Funcionários	3
Hospedagem	R$ 1.800,00
Alimentação	R$ 450,00
Passagem de Avião (ida e volta)	R$ 1.767,00
Passagem de Ônibus (ida e volta)	R$ 600,54
Frete (Carreta Sider)	R$ 13.500,00
Transporte - Táxi (ida e volta)	R$ 800,00
Total	**R$ 18.917,54**

Fonte: Autor, 2018.

Para a realização da mistura da borracha e madeira em um período de quinze minutos a 180°C (COELHO, 2018), além do tempo de quantificar a dosagem do material por mais dez minutos, em um período de oito horas/dia, será necessário um equipamento que deve possuir uma capacidade acima de 0,25 m³/h. O orçamento do equipamento que pode ser utilizado como misturador da borracha e a madeira custa R$ 1.350,00 na região com capacidade de 0,35 m³/h.

Para o uso dos EPI’s, segundo dados informados por uma empresa instalada no município, existe a necessidade de aquisição apenas para complementar os atuais que já existem na fábrica de manilhas de concreto. A Tabela 4.11 mostra o valor para aquisição para quatro funcionários dos equipamentos de proteção para a usina de reciclagem.

Tabela 4.11 – Orçamento para o uso de equipamentos de proteção individual aos funcionários da usina.

Equipamento de Proteção Individual	Unidade
Quantidade de Funcionários	4
Capacete	R$ 40,00
Óculos	R$ 16,00
Abafador de Ruído 21dB	R$ 48,00
Luva Tricotada Pigmentada	R$ 11,00
Bota Comum	R$ 144,00
Máscara Respiratória	R$ 10,00
Total	**R$ 269,00**

Fonte: Autor, 2018.

A linha de reciclagem de pneus com as despesas de instalação, equipamento de mistura, EPI's e as taxas de instalação e operação, apresentaram o orçamento que atende as necessidades e obrigações para a produção dos agregados reciclados estão apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Investimento inicial da usina de reciclagem de pneus.

Investimento	Valor
Linha de Reciclagem de Pneus 600 kg/h	R$ 1.078.000,00
Despesas de Instalação	R$ 18.917,54
Misturador	R$ 1.350,00
EPI's	R$ 269,00
Taxas de instalação e operação	R$ 2.559,75
Total	**R$ 1.101.096,29**

Fonte: Autor, 2018.

4.3.3 Taxas de instalação e operação

As documentações municipais para Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), Alvará, Junta Comercial do Estado do Pará (JUCEPA), Secretaria de Estado da Fazenda do Pará (SEFA) e Vigilância Sanitária, custo de R$ 1.500,00.

Para dar início as operações, é necessário que a recicladora de pneus passe pelas fases de planejamento da atividade e instalação do empreendimento, nas quais se exige o requerimento das seguintes licenças ambientais, junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), para a instalação e, posteriormente, operação.

O licenciamento ambiental municipal emitido pela SEMMA, segundo a resolução COEMA nº 120 de 2015 a usina de reciclagem se enquadra no item "29 - obras de infraestrutura" tipo "A" para o volume de produção (t/mês) menor ou igual 1.000 sobre a

tipologia de impacto ambiental local para cada licença (prévia, instalação e operação) na tabela da legislação municipal 9.745/2012 a uma taxa de vistoria de R$ 39,00 para cada licença sobre a unidade fiscal do munícipio de R$ 19,75 totalizando R$ 1.005,75.

A prefeitura só concederá licença depender de instalação preventiva de incêndio, após aprovação do Corpo de Bombeiros. Para o tamanho da área do galpão até 750 m² não será cobrado a confecção de projeto de incêndio, será cobrado somente quando o local estiver algum tipo de risco específico, após o cumprimento das orientações será liberado o documento de vistoria com validade de 01 ano, custo da taxa de vistoria são R$ 54,00.

O licenciamento ambiental conforme os valores das taxas de todas as documentações necessárias obrigatórias pelo município para o empreendimento, totalizaram R$ 2.559,75.

4.3.4 Custos e despesas

Os custos são considerados quando envolvidos diretamente na produção da empresa, como depreciação, gás, EPI's, manutenção e energia elétrica pelo maquinário de reciclagem.

Sobre a matéria-prima, outra vantagem competitiva no caso da usina, não serão considerados custos com a compra de matéria-prima, visto que, os resíduos de pneus nas regiões produzidos pelas cidades vão ser transformados em insumos no processo produtivo.

Para os gastos fixo com energia elétrica consumida pela usina de reciclagem através do custo kWh (Quilowatt-hora) R$ 0,93 obtido junto a Centrais Elétricas do Pará (CELPA) na Classe (Poder Público) no horário intermediário e pela quantidade consumida pelo maquinário de reciclagem. Deste modo, a empresa operando 40 horas semanais por semana e 160 horas mensais, 21 dias em média por mês tendo o consumo diário de 3.807 kWh, 79.946 kWh mês, totalizando um gasto mensal de R$ 74.547,16 e R$ 894.565,93 anual.

Para o consumo de gás com a finalidade de aquecer o material na produção do agregado reciclado pelo misturador. Segundo informações da Liquigás (2018), a média de kg/h de uma boca grande de um fogão doméstico em "fogo médio" é de 0,225 kg/h (180 ºC) por queimador. Durante o dia de operação, a queima será realizada em 5 horas (6.300 min/mês) dentro do intervalo de 8 horas em 21 dias, um botijão de gás de 13 kg possui uma queima a 180 ºC à 3.467 min/mês, para a produção a real necessidade de duas unidades ao custo de médio de R$ 160,00/mês. A Tabela 4.13 mostra a análise do consumo de gás de cozinha para os diferentes tamanhos do gás para o aquecimento do agregado reciclado.

Tabela 4.13 – Consumo de gás metano para o aquecimento do agregado reciclado.

Botijão de Gás (kg)	kg/h	Temperatura	Tempo de uso (min)	Tempo de uso (h)
5	0,225	180°	1.333	22
13			3.467	58
20			5.333	89
45			12.000	200

Fonte: Autor, 2018.

Com o objetivo de renovar os maquinários da usina de reciclagem e o misturador nos próximos 10 anos de operação com a valor de 10% ao ano de depreciação sendo um custo fixo. Para a usina de reciclagem R$ 8.983,33/mês e o misturador R$ 11,25/mês, totalizando R$ 8.994,58 mensal e R$ 107.935,00 anual.

Para os custos variáveis administrativos com o uso de equipamentos de proteção individual com a finalidade de renovação, foram considerados a máscara respiratória e o abafador de ruído 21dB como custo mensal de R$ 58,00 e R$ 696,00 anual.

Para os custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, segundo informações da empresa, incluindo reposição de peças, manutenção, lubrificantes e outros recursos necessários para operação dos maquinários na manutenção, recuperação e reparo de facas, restauração de eixos em geral, como custo fixo de R$ 1.500,00 ao mês.

A estimativa dos principais custos fixos e variáveis de operação da usina de reciclagem chegou-se a um valor mensal de R$ 85.259,74 e R$ 1.023.116,93 anual.

4.3.5 Custo dos agregados

As informações sobre os agregados da mistura asfáltica foram coletadas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). A Tabela 4.14 apresenta os custos dos materiais utilizados com base na produção do CBUQ convencional.

Tabela 4.14 – Custo de matéria-prima utilizada para a produção do CBUQ.

Código	Composição	Unidade	Preço
4721	Brita 1	m³	R$ 42,54
4720	Brita 0	m³	R$ 54,31
4741	Pó de Pedra	m³	R$ 40,61
370	Areia	m³	R$ 65,00
10511	Cimento	t	R$ 560,00
41899	CAP 50/70	t	R$ 2.742,50

Fonte: SINAPI 07/2018 (PA).

Na simulação tendo como base uma aplicação de um quilômetro de mistura asfáltica de massa, foram utilizadas na composição de granulado de borracha (1,5%) e serragem de madeira (0,5%) aproveitado aproximadamente 8,79 e 2,93 toneladas/km respectivamente de resíduo no CBUQ modificado. A Tabela 4.15 e 4.16 são as referências das especificações de aplicação da mistura asfáltica e a quantidade de matéria-prima.

Tabela 4.15 – Referência das especificações de aplicação do CBUQ.

Especificações	Convencional	Modificado
Comprimento (m)	1000	1000
Largura (m)	6	6
Área (m²)	6000	6000
Espessura (m)	0,05	0,035
Densidade CBUQ (t)	2,69	2,79
Massa Asfáltica Necessária (t)	**807,0**	**585,90**

Fonte: COELHO, 2018 (Adaptado pelo autor).

Tabela 4.16 – Quantidade de matéria-prima na produção de um quilômetro de CBUQ.

Mistura Asfáltica	Unidade	Convencional	Modificado
Brita 1	m³	123,05	95,57
Brita 0	m³	131,58	101,90
Pó de Pedra	m³	163,44	111,25
Areia	m³	70,61	43,94
Cimento	t	20,18	9,77
CAP 50/70	t	22,60	16,41
Borracha	t	-	8,79
Madeira	t	-	2,93

Fonte: Elaboração própria.

Com os custos totais dos agregados utilizados na composição, tornou-se o processo mais barato, cerca de 29,19% (- R$ 56.075,41) comparado com o convencional, fato relevante pela redução da espessura (30%), além disso, existem o custo de manutenção e a vida útil do material, tornando-se ainda mais vantajoso às empresas de rodovias privatizadas. A Tabela 4.17 mostra o comparativo de custo da matéria-prima entre o CBUQ convencional e o modificado na pavimentação de um quilômetro.

Tabela 4.17 – Custo de aquisição do agregado entre o CBUQ convencional e o modificado.

Mistura Asfáltica	Convencional	Modificado	Diferença
Brita 1	R$ 5.234,68	R$ 4.065,65	-R$ 1.169,04
Brita 0	R$ 7.145,90	R$ 5.533,95	-R$ 1.611,94
Pó de Pedra	R$ 6.637,42	R$ 4.517,73	-R$ 2.119,69
Areia	R$ 4.589,81	R$ 2.856,26	-R$ 1.733,55
Cimento	R$ 13.557,60	R$ 6.562,08	-R$ 6.995,52
CAP 50/70	R$ 154.923,83	R$ 112.478,15	-R$ 42.445,67
Borracha	-	R$ 0,00	-
Madeira	-	R$ 0,00	-
Total	**R$ 192.089,24**	**R$ 136.013,83**	**-R$ 56.075,41**

Fonte: SINAPI 07/2018 (PA). (Adaptado pelo autor)

4.3.6 Análise de cenários de transporte de matéria-prima

Em um ambiente de muitas transformações, foram necessárias avaliar os possíveis cenários para a coleta de pneus inservíveis das cidades adjacentes. As cidades da análise foram: Tucuruí (usina), Marabá (recapadora) e Ananindeua (ponto de coleta), cidades do estado. O Quadro 4.2 apresenta as informações referente a capacidade de transporte em toneladas dos pneus e os tipos de coletas.

Quadro 4.2 – Capacidade de transporte e os tipos de coleta dos veículos de carga.

Tipos de veículos	Capacidade	Tipo de coleta
VUC e 3/4 com baú	2 toneladas de pneus.	Borracharias e revendas em centros urbanos.
Caminhões com carretas baú de 2 a 5 eixos	6 a 15 toneladas de pneus.	Localizadas em cidades e/ou regiões sem restrições de trânsito.
Caminhões com carretas baú de 6 a 9 eixos e Bi-trem	18 a 30 toneladas de pneus.	Pontos de coleta com acesso para manobra, próximo a rodovias e para viagens longas.
Caminhões prancha, carga seca, graneleiro grade alta	Carga lotação	Pneus OTR - fora de estrada (pneus de tratores, máquinas, pneus agrícolas, mineração)

Fonte: Reciclanip, 2018.

As cidades adjacentes não possuem pontos de coletas, então os veículos mais adequados para o recolhimento desse material no centro das cidades será o VUC ou 3/4 com baú, veículos adequados para acessar em vias as revendedoras e borracharias nos bairros. O custo do frete foi estimado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), através da resolução nº 5.839, de 17 de janeiro de 2019, tendo como base a lei Nº 13.703, de 08 de agosto de 2018, referente a tabela “Carga Geral”, sem a existência de carga de retorno do seu

local de origem. As Tabelas 4.18, 4.19, 4.20 apresenta o custo do frete de cada cidade ao mês para transportar esse material ao seu destino.

Tabela 4.18 – Custo mensal do frete como Tucuruí sendo destino.

Origem	Distância (km)	Quant. de Viagens (Cheio)	Total de km	Custo do Frete
Tailândia	190	9	1710	R$ 7.250,40
Jacundá	161	6	966	R$ 4.095,84
Novo Repartimento	73	5	365	R$ 1.898,00
Breu Branco	29	3	87	R$ 748,20
Pacajá	179	2	358	R$ 1.517,92
Goianésia do Pará	88	3	264	R$ 1.372,80
Baião	356	1	356	R$ 1.367,04
Total		**29**	**4106**	**R$ 18.250,20**

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 4.19 – Custo mensal do frete como Marabá sendo destino.

Origem	Distância (km)	Quant. de Viagens (Cheio)	Total de km	Custo do Frete
Tucuruí	276	9	2484	R$ 9.936,00
Tailândia	298	9	2682	R$ 10.728,00
Jacundá	117	6	702	R$ 3.173,04
Novo Repartimento	181	5	905	R$ 3.837,20
Breu Branco	249	3	747	R$ 3.047,76
Pacajá	287	2	574	R$ 2.296,00
Goianésia do Pará	189	3	567	R$ 2.404,08
Baião	463	1	463	R$ 1.759,40
Total		**38**	**9124**	**R$ 37.181,48**

Fonte: Autor, 2018.

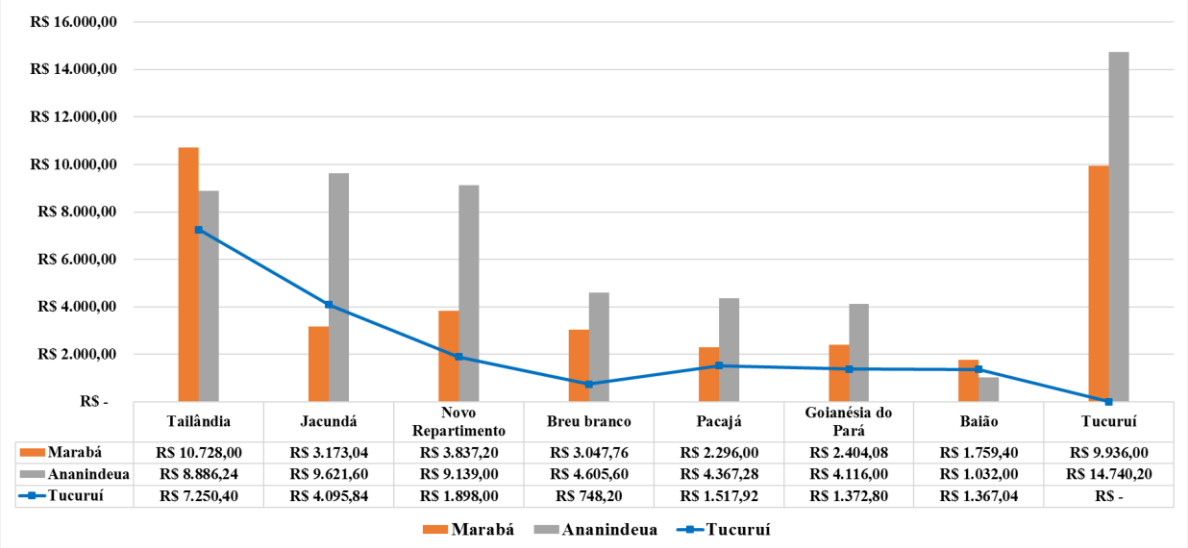
Tabela 4.20 – Custo mensal do frete como Ananindeua sendo destino.

Origem	Distância (km)	Quant. de Viagens (Cheio)	Total de km	Custo do Frete
Tucuruí	431	9	3879	R$ 14.740,20
Tailândia	242	9	2178	R$ 8.886,24
Jacundá	422	6	2532	R$ 9.621,60
Novo Repartimento	481	5	2405	R$ 9.139,00
Breu Branco	404	3	1212	R$ 4.605,60
Pacajá	587	2	1174	R$ 4.367,28
Goianésia do Pará	350	3	1050	R$ 4.116,00
Baião	258	1	258	R$ 1.032,00
Total		**38**	**14688**	**R$ 56.507,92**

Fonte: Autor, 2018.

A cidade em estudo, Tucuruí, apresenta uma viabilidade mais considerável, a estimativa do custo mensal do frete (R$ 14.740,20), caso a cidade levasse todos os seus resíduos para o ponto de coleta de pneus em Ananindeua, diferença de R$ 3.510,00 (R$ 18.250,20) na hipótese de Tucuruí assumir a responsabilidade de coletar os pneus das cidades adjacentes a usina de reciclagem.

A recapadora em Marabá, segundo relatos dos locais visitados na pesquisa em campo, informaram que a empresa somente recolhe os pneus com melhores condições de recapagem, a cidade entrou na análise caso a mesma tenha interesse de realizar um projeto semelhante à Tucuruí. A Figura 4.22 ilustra o comparativo do custo de transporte as três cidades ao seu destino.



	Tailândia	Jacundá	Novo Repartimento	Breu branco	Pacajá	Goianésia do Pará	Baião	Tucuruí
Marabá	R$ 10.728,00	R$ 3.173,04	R$ 3.837,20	R$ 3.047,76	R$ 2.296,00	R$ 2.404,08	R$ 1.759,40	R$ 9.936,00
Ananindeua	R$ 8.886,24	R$ 9.621,60	R$ 9.139,00	R$ 4.605,60	R$ 4.367,28	R$ 4.116,00	R$ 1.032,00	R$ 14.740,20
Tucuruí	R$ 7.250,40	R$ 4.095,84	R$ 1.898,00	R$ 748,20	R$ 1.517,92	R$ 1.372,80	R$ 1.367,04	R$ -

Figura 4.22 – Custo do transporte pelo frete das cidades escolhidas como destino.
Fonte: Autor, 2018.

A cidade de Jacundá apresenta um custo mais elevado (R$ 922,80) do frete em comparação à Tucuruí a recapadora em Marabá e Baião (R$ 335,04) para o ponto de coleta em Ananindeua, entretanto, as demais cidades apresentaram um custo menor, caso exista, a usina de reciclagem de pneus na cidade. Uma das possibilidades dessa redução de custo será de caminhões com capacidade maior de transporte para reduzir o número de viagens e com ajuda de ecopontos para que esses veículos não tenham dificuldades de acessos em vias nas cidades.

4.3.7 Custo de manutenção de pavimentação

No Brasil, dentro do âmbito das aplicações realizadas pela Greca Asfaltos, em aproximadamente 80% dos casos, foi projetada uma redução de espessura em relação ao projeto original (GRECA ASFALTOS, 2017). A Tabela 4.21 e 4.22 refere-se a grandeza e os quantitativos das vias a serem pavimentadas pela Licitação – 20180107 (Contrato nº 115.2018.20.2.026) retirada do portal da transparência do município de Tucuruí.

Tabela 4.21 – Cálculos para obtenção da quantidade total de CBUQ (t).

Cálculo Auxiliares	Convencional	Modificado
Espessura da capa (m)	0,05	0,035
Peso especifico do CBUQ (t/m³)	2,69	2,79
Volume de CBUQ (m³)	1.117,43	782,20
Área Total de Capa (m²)	22.348,60	22.348,60
Comprimento a ser pavimentado (m)	3.508,90	3.508,90
Largura da Faixa em ruas (m)	5,00 - 7,00	5,00 - 7,00
Largura da Faixa em avenidas (m)	7,00	7,00
Largura da Faixa em travessa (m)	6,00	6,00
Quantidade Total de CBUQ (t)	3.005,89	2.182,34

Fonte: Prefeitura de Tucuruí (Adaptado pelo autor).

Tabela 4.22 – Grandeza e os quantitativos das vias a serem pavimentadas com CBUQ convencional.

Avenida/Rua	Largura da Capa (m)	Comp. Total (m)	Área de Capa (m²)	Volume de CBUQ (m³)	Massa do CBUQ (t)
Avenida F	7,00	73,30	513,10	25,66	69,01
Rua 06	7,00	143,30	1003,10	50,16	134,92
Rua 04	7,00	92,60	648,20	32,41	87,18
Rua 07	7,00	283,40	1983,80	99,19	266,82
Rua Belo Monte	6,00	91,50	549,00	27,45	73,84
Rua 08	7,00	19,80	138,60	6,93	18,64
Rua João Wilson	5,00	267,80	1339,00	66,95	180,10
Rua Costa Souza Sá	5,00	116,20	581,00	29,05	78,14
Rua Carlos Magno	7,00	825,40	5777,80	288,89	777,11
Rua C	6,00	68,30	409,80	20,49	55,12
Rua B	7,00	123,50	864,50	43,23	116,28
Rua A	6,00	145,80	874,80	43,74	117,66
Rua Santa Maria	6,00	137,80	826,80	41,34	111,20
Travessa B	6,00	63,90	383,40	19,17	51,57
Rua Alto Peniel	6,00	89,20	535,20	26,76	71,98
Rua Cametá	7,00	117,90	825,30	41,27	111,00
Rua Epaminondas	6,00	79,70	478,20	23,91	64,32

Rua Levi Pinto de Mesquita	6,00	167,40	1004,40	50,22	135,09
Rua Maria das Chagas Mesquita	6,00	190,50	1143,00	57,15	153,73
Rua Maria Veridiana de Mesquita	6,00	28,90	173,40	8,67	23,32
Rua Odilson de Mesquita	6,00	105,70	634,20	31,71	85,30
Rua Romana Mesquita	6,00	165,00	990,00	49,50	133,16
Rua Sítio Deus é Grande	6,00	112,00	672,00	33,60	90,38
Total		**3.508,90**	**22.348,60**	**1.117,43**	**3.005,89**

Fonte: Prefeitura de Tucuruí (Adaptado pelo autor).

A quantidade de CBUQ utilizada tanto para o convencional quanto para o modificado, segundo informações do SINAPI, a massa asfáltica o preço do CBUQ convencional faixa C praticado no estado do Pará gira em torno de R$ 230,00 (SINAPI 07/2018) a tonelada, enquanto que em composição realizada ao preço do CBUQ modificado por estaria em média de R$ 232,65 (1,15%) a tonelada. A Figura 4.23 ilustra os locais onde vão ser realizadas as pavimentações na cidade pela licitação.

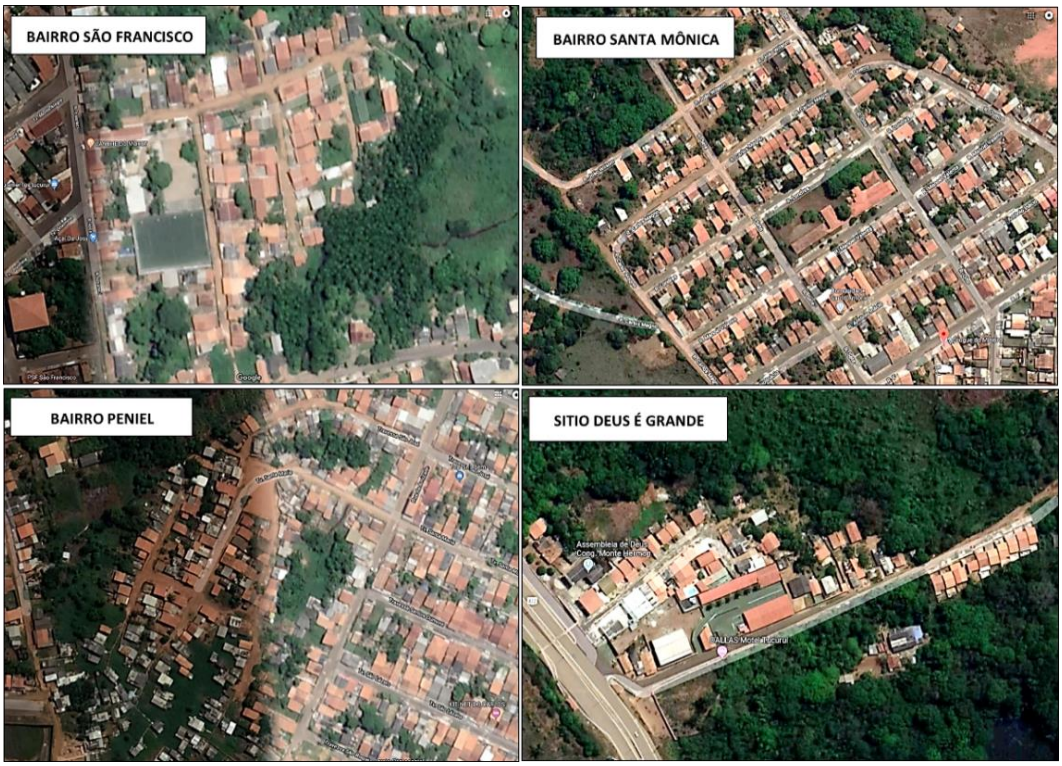


Figura 4.23 – Áreas a serem pavimentadas nos bairros do município.
Fonte: Adaptado de Google Maps, 2018.

A quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida no contrato do município ao revestimento convencional será de 3.005,89 t, através do somatório do projeto de pavimentação. Supondo que na proposta do contrato do município, obrigue que a empresa contratante utilizasse o revestimento com CBUQ modificado, a quantidade de massa asfáltica de CBUQ utilizada seria de 2.182,34 t. A Tabela 4.23 demostra os valores médios encontrados no contrato atual, para os serviços de usinagem/aplicação e através destes o custo do asfalto utilizado e custo total da obra.

Tabela 4.23 – Custos de usinagem/aplicação e custos totais.

Item	Grandezas	Cálculos	Unidade	Convencional	Modificado
A	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida	-	ton	3.005,89	2.182,34
B	Custo de usinagem/aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R$/ton	R$ 230,00	R$ 232,65
C	Quantidade de massa x Custo de usinagem/aplicação	A x B	R$	R$ 691.353,94	R$ 507.710,67
D	Teor de asfalto	-	% Em peso	7,0%	7,5%
E	Custo do asfalto por tonelada	-	R$/ton	R$ 778,58	R$ 787,53
F	Custo do asfalto no CBUQ	A x D x E	R$	R$ 163.822,63	R$ 128.900,01
G	Custo total da obra	C + F	R$	R$ 855.176,57	R$ 636.610,69

Fonte: Prefeitura de Tucuruí. (Adaptado pelo autor)

Levando em consideração que o custo de usinagem e aplicação do asfalto modificado é de R$ 232,65/ton, sendo assim, R$ 2,65 mais caro que o asfalto convencional que possui o custo de usinagem de R$ 230,00 que o teor de ligante no CBUQ modificado é de 1,15%, logo, tem-se que o aumento de custo quando se utiliza o revestimento de CBUQ com modificado com agregado borracha/madeira.

A redução de custo total da pavimentação da obra do CBUQ modificado em substituição ao CBUQ convencional chegou a R$ 218.565,88 (26%) pela redução da espessura da capa de 5 cm para 3,5 cm. Além disso, é necessário também considerar, os aspectos que quanto de manutenção cada tipo de pavimento usa durante sua vida útil, para chegar-se ao real custo deste tipo de pavimento. A Tabela 4.24 apresenta o custo por metro quadrado de terraplanagem e pavimentação asfáltica convencional do contrato de pavimentação com o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) incluso.

Tabela 4.24 – Custo por metro quadrado da execução de pavimento e manutenção.

Execução de pavimento	Custo (m²)
Execução de pavimento em asfalto convencional com preparo base	R$ 50,13
Execução de pavimento em asfalto modificado com preparo base	R$ 36,77
Manutenção em asfalto convencional	R$ 44,51

Fonte: Prefeitura de Tucuruí. (Adaptado pelo autor)

A pesquisa comparou dois métodos de pavimentação diferentes, ficando evidente então que os custos dos projetos não seriam iguais. Em um estudo, após sete anos de utilização da via, realizou-se uma análise visual e chegou-se à conclusão que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção dos tipos de degradação dos pavimentos como fissura, trincas, afundamento, ondulação, buraco, remendo e entre outros, enquanto o asfalto-borracha precisou somente de 10% de reparo (GRECA ASFALTO, 2009), para a nossa realidade, será realizado a estimativa de manutenção no período anual. A Tabela 4.25 mostra o custo por metro quadrado de manutenção e execução dos dois tipos de pavimentos.

Tabela 4.25 – Custo por metro quadrado de manutenção e execução.

Grandezas	Cálculo	Unidade	Convencional	Modificado
Execução do pavimento com preparo de base em extensão	-	m	3.508,90	3.508,90
Custo de execução do pavimento com preparo de base	-	R$/m²	R$ 50,13	R$ 36,77
Manutenção do pavimento no período de 1 ano	-	% m²	10%	5%
Custo geral da manutenção do pavimento	-	R$/m²	R$ 44,51	R$ 31,52
Percentual de custo de manutenção do pavimento	C x D	R$/m³	R$ 4,45	R$ 1,58
Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R$/m²	**R$ 54,58**	**R$ 38,35**

Fonte: Greca Asfalto - Estudo Ecoflex, 2009 (Adaptado pelo autor).

A somatória do custo de execução e a manutenção teve-se uma redução de 30% para o CBUQ convencional neste período de um ano. Além disso, caso seja realizado a manutenção em 3,5 km anualmente das vias do município com o CBUQ convencional, o custo de manutenção seria de R$ 1.219.735,94 da área total da capa (22.348,60 m²), enquanto o CBUQ modificado seria de R$ 857.060,13 chegando-se uma redução de R$ 362.675,80 anual de custo de manutenção em reparos das vias.

4.3.8 Fluxo de caixa

Para a elaboração do fluxo de caixa anual, ou seja, as entradas e saídas de valores (Tabela 4.26), considerou-se como receita mensal na produção do asfalto modificado a pavimentação de 1.7 km usando apenas pneus inservíveis de Tucuruí, como redução de compra de matéria-prima, custo de manutenção das vias e o frete para transporte de pneus inservíveis para o ponto de coleta em Ananindeua (PA).

Tabela 4.26 – Receita mensal adotando o CBUQ modificado.

Meses	Matéria-Prima	Manutenção das Vias	Frete	Total
Janeiro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Fevereiro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Março	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Abril	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Maio	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Junho	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Julho	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Agosto	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Setembro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Outubro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Novembro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Dezembro	R$ 95.328,20	R$ 13.793,90	R$ 14.740,20	R$ 123.862,30
Total	**R$ 1.143.938,37**	**R$ 165.526,84**	**R$ 176.882,40**	**R$ 1.486.347,61**

Fonte: Autor, 2018.

Os custos fixos e variáveis para a operação da usina de reciclagem, estão apresentados na Tabela 4.27, nota-se que o custo mais elevado, representando 87,44% do custo anual vai ser energia elétrica durante o seu primeiro ano de funcionamento, logo após, a depreciação da usina de reciclagem e o misturador com 10,55% para evitar a obsolescência natural ou desgaste com uso na produção para os próximos 10 anos.

Tabela 4.27 – Custos para a operação da usina de reciclagem de pneus.

Meses	Energia	Manutenção	Gás	EPI's	Usina	Misturador	Total
Janeiro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Fevereiro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Março	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Abril	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Maio	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Junho	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Julho	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Agosto	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Setembro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Outubro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Novembro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Dezembro	R$ 74.547,16	R$ 1.500,00	R$ 160,00	R$ 58,00	R$ 8.983,33	R$ 11,25	R$ 85.259,74
Total	**R$ 894.565,93**	**R$ 18.000,00**	**R$ 1.920,00**	**R$ 696,00**	**R$ 107.800,00**	**R$ 135,00**	**R$ 1.023.116,93**

Fonte: Autor, 2019.

O saldo sobre a diferença das receitas obtidas (R$ 1.486.347,61) e os custos (R$ 1.023.116,93) completam o detalhamento do fluxo de caixa, finalizado em R$ 33.206,08 mensal e R$ 463.230,68 ao ano. Dessa forma, tendo o saldo do fluxo de caixa positivo para o seu planejamento de execução.

4.3.9 Análise de viabilidade

Para o estudo da viabilidade econômica do empreendimento serão demonstrados atraves de três cenários (projetado, pessimista e otimista) da usina de reciclagem. Os cenários foram simulados para uma análise no ano de início do projeto em março de 2019 sem o uso de capital de terceiros, apenas com os recursos disponíveis do município.

4.3.10 Projetado

No cenário projetado no período de 10 anos da usina de reciclagem (Tabela 4.28), o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e em frete, aproximadamente R$ 1.486.347,61 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R$ 915.181,93 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R$ 107.935, total de R$ 1.023.117 obtendo um lucro líquido de R$ 463.231 e

lucro livre de R$ 571.166 a diferença está apenas na nomenclatura, enquanto o lucro líquido é um termo contábil, o lucro livre é um termo gerencial. No fundo, ambos dão o resultado de receitas menos as despesas, o percentual de lucratividade do investimento inicial sobre o lucro líquido é de 15,51% no final do período.

Tabela 4.28 – Projeção no período de 10 anos ao cenário projetado da usina de reciclagem.

Projetado	Receita	Custos Fixos e Variáveis	Depreciação	Lucro Líquido	Lucro Livre	Lucratividade
Ano 1	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 2	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 3	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 4	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 5	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 6	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 7	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 8	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 9	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Ano 10	R$ 1.486.348	R$ 915.182	R$ 107.935	R$ 463.231	R$ 571.166	19,21%
Total	**R$ 14.863.476**	**R$ 9.151.819**	**R$ 1.079.350**	**R$ 4.632.307**	**R$ 4.610.560**	**15,51%**

Fonte: Autor, 2018.

Ao analisar o prazo médio de retorno do investimento, apresentados na Tabela 4.29, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R$ 1.101.096,29 e um lucro livre projetado em R$ 571.166 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 23 meses, apresentando o TIR em 51,03%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R$ 4.610.560,50. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 2,7% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

Tabela 4.29 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário projetado.

VPL (Valor Presente Líquido)	TIR (Taxa Interna de Retorno)	Investimento inicial (ano 0)	*Payback*	Rentabilidade
R$ 4.610.560,50	51,03%	R$ 1.101.096,29	23 meses	3,5%

Fonte: Autor, 2018.

A Figura 4.24 apresenta o *payback* no período em 10 anos o cenário da usina de reciclagem que a partir do Ano 2, a usina apresenta um saldo positivo (R$ 41.235) de

compensação entre o custo do investimento e a receita nas reduções dos eventuais custos citados.

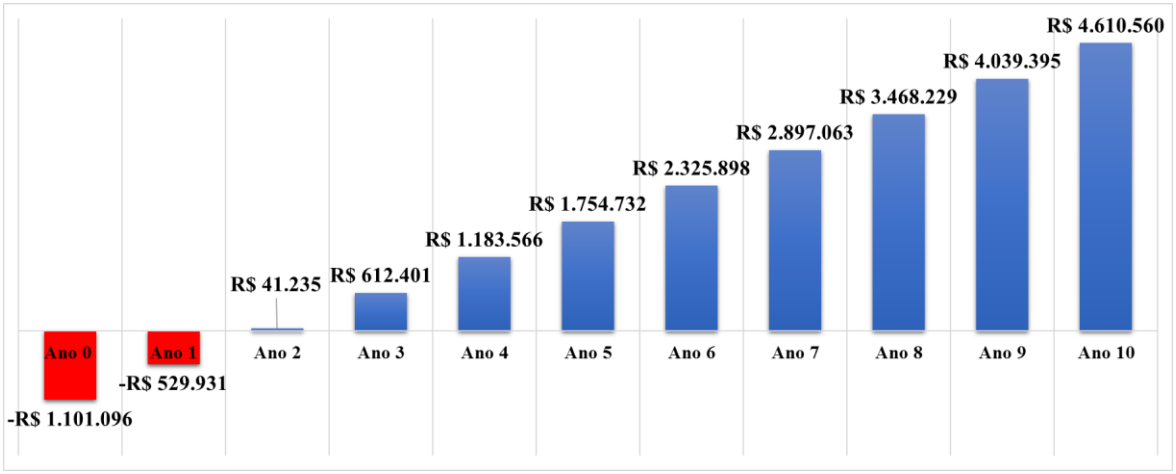


Figura 4.24 – *Payback* do cenário projetado no período de 10 anos da usina de reciclagem.
Fonte: Autor, 2018.

4.3.11 Pessimista

No cenário pessimista no período de 10 anos da usina de reciclagem (Tabela 4.30) considerou-se em aumentar os custos operacionais em 10% e o investimento inicial em 15% com as informações do cenário projetado, o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e em fretes, aproximadamente R$ 1.337.713 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R$ 1.006.700 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R$ 124.125, total de R$ 1.130.825 obtendo um lucro líquido em R$ 206.887 e lucro livre em R$ 331.013 para o percentual de lucratividade sobre o lucro líquido são 6,88% no final do período.

Tabela 4.30 – Projeção no período de 10 anos ao cenário pessimista da usina de reciclagem.

Pessimista	Receita	Custos Fixos e Variáveis	Depreciação	Lucro Líquido	Lucro Livre	Lucratividade
Ano 1	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 2	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 3	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 4	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 5	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 6	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 7	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 8	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 9	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Ano 10	R$ 1.337.713	R$ 1.006.700	R$ 124.125	R$ 206.887	R$ 331.013	11,14%
Total	**R$ 13.377.128**	**R$ 10.067.001**	**R$ 1.241.253**	**R$ 2.068.875**	**R$ 2.043.867**	**6,88%**

Fonte: Autor, 2018.

Ao analisar o prazo médio de retorno do investimento, apresentados na Tabela 4.31, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R$ 1.266.260,73 e um lucro livre projetado em R$ 331.013 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 45 meses, apresentando o TIR em 22,78%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R$ 2.043.866,51. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 1,4% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

Tabela 4.31 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário pessimista.

VPL (Valor Presente Líquido)	TIR (Taxa Interna de Retorno)	Investimento inicial (ano 0)	*Payback*	Rentabilidade
R$ 2.043.866,51	22,78%	R$ 1.266.260,73	45 meses	1,4%

Fonte: Autor, 2018.

A Figura 4.25 apresenta o *payback* no período em 10 anos o cenário da usina de reciclagem que a partir do Ano 4, a usina apresenta um saldo positivo (R$ 57.790) de compensação entre o custo do investimento e a receita nas reduções dos eventuais custos citados.

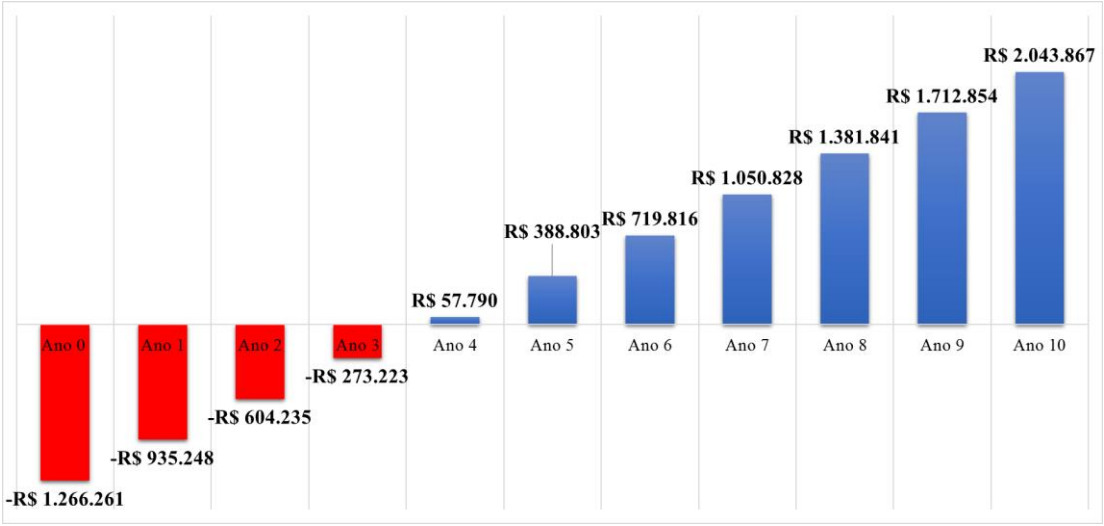


Figura 4.25 – *Payback* do cenário pessimista no período de 10 anos da usina de reciclagem.
Fonte: Autor, 2018.

4.3.12 Otimista

No cenário otimista no período de 10 anos da usina de reciclagem (Tabela 4.32) considerou-se em reduzir os custos operacionais em 10% e o investimento inicial em 15% com as informações do cenário projetado, o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e em frete, aproximadamente R$ 1.634.982 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R$ 823.664 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R$ 91.745, total de R$ 915.408 obtendo um lucro líquido em R$ 719.574 e lucro livre em R$ 811.319 para o percentual de lucratividade sobre o lucro líquido são 24,14% no final do período.

Tabela 4.32 – Projeção no período de 10 anos ao cenário otimista da usina de reciclagem.

Otimista	Receita	Custos Fixos e Variáveis	Depreciação	Lucro Líquido	Lucro Livre	Lucratividade
Ano 1	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 2	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 3	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 4	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 5	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 6	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 7	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 8	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 9	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Ano 10	R$ 1.634.982	R$ 823.664	R$ 91.745	R$ 719.574	R$ 811.319	27,29%
Total	**R$ 16.349.824**	**R$ 8.236.637**	**R$ 917.448**	**R$ 7.195.739**	**R$ 7.177.254**	**24,14%**

Fonte: Autor, 2018.

Ao analisar o prazo médio de retorno do investimento, apresentados na Tabela 4.33, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R$ 935.931,85 e um lucro livre projetado em R$ 811.319 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 13 meses, apresentando o TIR em 86,52%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R$ 7.177.254,48. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 6,4% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

Tabela 4.33 – Indicadores de viabilidade econômica no cenário otimista.

VPL (Valor Presente Líquido)	TIR (Taxa Interna de Retorno)	Investimento inicial (ano 0)	*Payback*	Rentabilidade
R$ 7.177.254,48	86,52%	R$ 935.931,85	13 meses	6,4%

Fonte: Autor, 2018.

A Figura 4.26 apresenta o payback no período em 10 anos o cenário da usina de reciclagem que a partir do Ano 2, a usina apresenta um saldo positivo (R$ 686.705) de compensação entre o custo do investimento e a receita nas reduções dos eventuais custos citados.

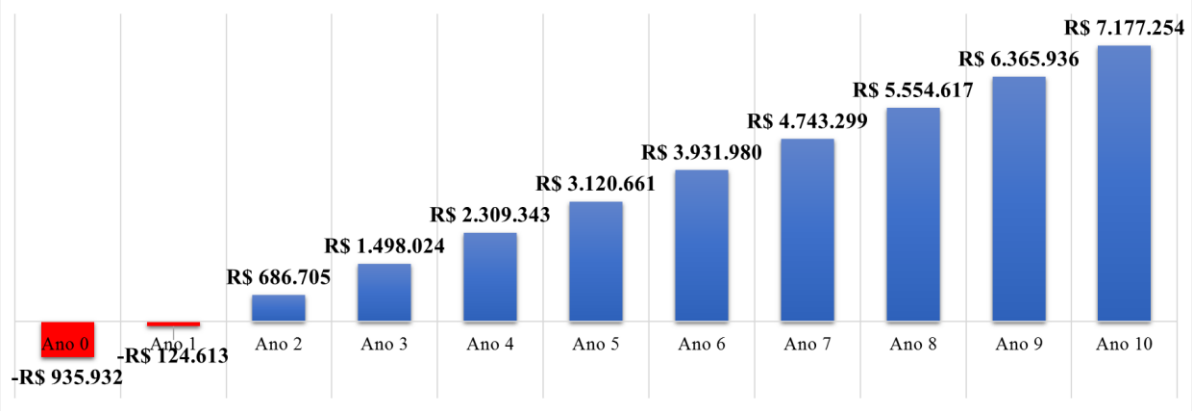


Figura 4.26 – *Payback* do cenário otimista no período de 10 anos da usina de reciclagem.
Fonte: Autor, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo quantificar os descartes dos pneus inservíveis na região e apresentar a viabilidade técnico-econômica de uma usina de reciclagem de pneus com o propósito de utilizar os resíduos como agregado reciclado na pavimentação asfáltica. O município dispõe de um sistema precário e ineficiente de gestão de resíduos sólidos sobre a sua demanda atual.

A finalidade principal da pesquisa foi alcançada através do estudo em campo no município, a estimativa das cidades adjacentes e apresentar diferentes cenários (projetado, pessimista e otimista) de viabilidade com aumento e redução de custos e investimento inicial da operação da usina de reciclagem no período de 10 anos.

Na análise identificou-se que Tucuruí gera cerca de 4.011 pneus (18 toneladas) e as cidades adjacentes 8.031 (57,5 toneladas) mensalmente, materiais passíveis de reciclagem e com uma gama variedades de aplicações, além disso, percebeu-se através da pesquisa a precariedade das empresas e da Prefeitura Municipal de não cumprirem com a lei do CONAMA nº 416/2009 e a fiscalização por parte do poder público.

Para obter os objetivos específicos, foi analisado o desempenho operacional da usina de reciclagem para dimensionar as necessidades de operação no município e das cidades adjacentes, além de mensurar as possíveis receitas e custos/despesas que a usina de reciclagem pode propor ao social, ambiental e econômico.

A composição do traço do CBUQ utilizado pela pesquisa do Coelho (2018), levanta os seguintes pontos relevantes em relação a qualidade do material, processo e o serviço prestado pelas empresas através de licitações que o município apresenta. Esse método torna-se essencial por apresentar um produto excelente utilizando resíduos sólidos em sua composição para a sua viabilidade técnica-econômica e ambiental aos municípios interessados.

O último objetivo em apresentar os diferentes cenários de viabilidade técnico-econômica da usina de reciclagem de pneus ao processo de produção do asfalto convencional para modificado, estão apresentados de forma resumida na Tabela 5.1, todas as simulações do estudo foram apenas dos recursos disponíveis para a produção do agregado reciclado gerado pelo município como um projeto pioneiro, com intuito que os outros municípios façam parte

dessa identidade visual de cidade sustentável enviando os pneus inservíveis para o polo da reciclagem.

Tabela 5 – Comparação dos cenários de viabilidade da usina de reciclagem.

Cenários	**Pessimista**	**Projetado**	**Otimista**
Variação nos custos/despesas	+10%	0%	-10%
Variação nos investimentos	+15%	0%	-15%
Indicadores	**Pessimista**	**Projetado**	**Otimista**
VPL	R$ 2.043.867	R$ 4.610.560	R$ 7.177.254
TIR	22,78%	51,03%	86,52%
Payback	45 meses	23 meses	13 meses
Rentabilidade	16,3%	42,1%	76,9%
Índice de Lucratividade	6,9%	15,5%	24,1%

Fonte: Autor, 2019.

Observa-se ainda que, a composição dos custos do projeto, relatou-se que é um investimento ponderado a ser feito, porém, seu retorno se dá em um prazo bem aceitável e atrativo ao município e as cidades adjacentes.

Considera-se que a instalação de uma usina de reciclagem possa reduzir grande parte dos problemas associados à disposição irregular e à carência de alternativas para os pneus na região e prolongar a vida útil das vias públicas do município, além disso, proporcionar empregos diretos e indiretos nas regiões envolvidas nesse empreendimento.

Outro fator relevante para o sucesso do projeto, é a atuação direta do município, visto que, essa iniciativa é destinada exclusivamente para a população e ao meio ambiente da cidade, criando alternativas ao poder público.

Por conta disso, propõe-se uma ação conjunta com a proposta da usina de reciclagem que o município atue com medidas mitigadoras para minimizar os impactos ambientais e sociais decorrentes da geração de resíduos e disposição inadequada dos pneus, essas ações podem ser: instalação de ecopontos na cidade e nas cidades adjacentes; aumento de período de recolhimento dos pneus nos bairros e; principalmente a conscientização da população.

Conclui-se que os resultados são satisfatórios, pois, atendeu as questões colocadas nos problemas de pesquisa, sendo possível, mostrar a importância de um estudo de viabilidade antes de implantar um empreendimento.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir deste trabalho, sugere-se a elaboração de novas pesquisas nessa linha, a fim de complementar os estudos sobre a gestão de resíduos e a viabilidade da pavimentação asfáltica no município.

Sugere-se como pontos para os trabalhos futuros, dentre estas oportunidades, destacam-se:

a) Criação de um sistema mais eficiente de informação e cadastro sobre a quantidade de pneus inservíveis no Estado;
b) Propor o estudo do custo/benefício para a criação dos maquinários para a linha de reciclagem de pneus;
c) Realizar a contabilidade ambiental sobre o asfalto-borracha dos benefícios e prejuízos que o desenvolvimento de um produto pode originar no meio ambiente sobre ações pensadas com vista ao desenvolvimento de novos projetos;
d) Realizar ensaios em laboratório com o traço da mistura asfáltica de Tucuruí para produção do CBUQ convencional (areia, seixo e o CAP) e o CBUQ com agregado de borracha e/ou resíduo de borracha ao ligante;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIP. **Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados**. Disponível em: <http://www.abip.com.br>. Acesso em: 14 mar. 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR-7207** – Terminologia e classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7207:1882**: Terminologia e Classificação de Pavimentação. ABNT, 1982.

ABR. **Recapagem ou pneu novo? Qual opção escolher?.** Disponível em: <http://www.abr.org.br/>. Acesso em: 19 nov. 2018.

AGUIAR, A. M. S.; FURTADO, C. F. C. **Aplicação da logística reversa nas revendas de pneus em Fortaleza**. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 13, 2010. São Paulo Anais... São Paulo: FEA USP, 2010.

AMIRKHANIAN SN. **Utilization of crumb rubber in asphaltic concrete mixtures – south carolina's experience**. Research Report to South Carolina Department of Transportation. Clemson, SC; 2001.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução**. Out. 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/15706935/Pneus-e-Meio-Ambiente>. Acesso: 19 Mar. 2010.

ANIP, 2015. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: < http://www.anip.com.br/arquivos/f8201-white-book-versao-final.pdf>. Acesso: 16 mar. 2018.

ANIP, 2017. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/infografico_anip_3_trimestre.pdf >. Acesso em: 16 mar. 2018.

ANIP. Livro branco da indústria de pneus – uma política industrial para o setor. São Paulo.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa.** São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/index.php/download/category/64-legislacao?download=433:nbr-10004.>. Acesso em: 15 mar. 2018.

B. HUANG, et al. **Louisiana experience with crumb-rubber modified hot-mix asphalt pavement**. Journal of Transportation Research Record 1789, TRB, Washington, DC (2002), pp. 1-13.

BALAGUER, MARCOS. Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em asfalto-borracha, elaborado pelo processo de produção contínua em usina. [2012]. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, [2012].

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. Oficina de Textos, 2015.

BALLOU, R.H. **Logística empresarial**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

BARBA-GUITIÉRREZ, Y.; ADENSO-DÍAZ, B.; HOPP, M. **An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation**. Resources, Conservation and Recycling, v. 52, n. 3, p. 481-495, jan. 2008.

BARBIERI, J. C.; DIAS, Márcio. **Logística reversa como instrumento de programas de produção e consume sustentáveis**. Revista Tecnologística, São Paulo, v.6, n.77, p.58-69, 2002.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi. CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011.

BARTOLOZZI, I. et al. **The environmental impact assessment of asphalt rubber: an interesting application for end of life tires.** In: THE ISWA WORLD SOLID WASTE CONGRESS. 2012. Florence, Italy. Proceedings. Florence, 2012.

BELLEN, HANS M. V. **Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação.** Revista Ambiente & Sociedade, Campinas, n. 1, v.7. jan/jun, 2004. Acesso em: 24 out. 2018.

BERNUCCI, L.B. Motta, L.M.G., Ceratti, J.A.P., Soares, J.B., 2007. **Pavimentação asfáltica Petrobrás**, Rio de Janeiro.

BERTOLLO, S.A.M; JÚNIOR, J.K.F; VILLAVERDE, R.B; FILHO, D.M. **Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados**. Revista Limpeza Pública n.54. Associação Brasileira de Limpeza Pública – ABPL, 2000.

BERTOLLO, Sandra Margarido; JÚNIOR, José Leomar Fernandes; SCHALCH, Valdir. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos.** In: XVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. 2002.

BOLDEN, J., ABU-LEBDEH, T. & FINI, E. (2013). **Utilization of recycled and waste materials in various construction applications**. American Journal of Environmental Science 9(1): 14–24.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Lei nº12.305: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos** [...] – in: Leis, 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 30 nov. 2014.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos – LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 1999.** Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html. Acesso em: 22 mar. 2018.

BREALEY, R. A. e MYERS, S. C. **Princípios de Finanças Empresariais**. Tradução H. Caldeira Menezes e J.C. Rodrigues da Costa. 3. ed. Portugal: McGraw-Hill de Portugal, 1992.

BRIDGISTONE, **Bridgestone do Brasil.** Fabricante de pneus. Disponível em:<http://www.bfcompneus.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=158:partes-do-pneu&catid=37:dicas&Itemid=56>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BRIGHAM, E. F.; HOUSTON, J. F. **Fundamentos da Moderna Administração Financeira**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

BUARQUE, Cristovam. Avaliação Econômica de Projetos – Uma Apresentação Didática. 12ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

CADENAS, NIGME. **Recuperación de caucho a partir de neumáticos fuera de uso**. Disponível em: <https://www.gestiopolis.com/recuperacion-de-caucho-a-partir-de-neumaticos-fuera-de-uso-proyecto-empresarial/>. Venezuela, 2015. Acesso: 24 de out. 2018.

CALDAS, Luiza Queroga; AMARAL, N. B. Análise de viabilidade econômica de projetos de Exploração e Produção no regime de partilha de produção: Um estudo de caso do campo de Libra no Pré-Sal. 2015.

CALLISTER, Jr., W.D. Ciência e Engenharia de Materiais, uma Introdução, 7 ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. São Paulo: Atlas, 2000.

CHEN, C.C. et al. **Evaluation of the waste tire resources recovery program and environmental health policy in Taiwan.** International Journal of Environmental Research and Public Health, Switzerland. v. 6, n. 3, p. 1075-1094, 2009.

CHIU, C. T.; HSU, T. H.; YANG, W. F. **Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements**. Resources, conservation and recycling. v.52, n.3, 2008, pp.545-56.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Consulta geral a homepage** Disponível em: <www.cnt.org.br>. Acesso em: 10 abr. de 2018.

COELHO, Johnny Gilberto Moraes. Preparação, caracterização e aplicação de asfalto modificado por madeira/borracha: execução em pista experimental em MACAPÁ-AP. Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA. Acesso em: 28 mar. 2018.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 416**, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em: 15 mar. 2018.

CONG P., XUN, P., XING M., et al., "**Investigation of asphalt binder containing various crumb and asphalts**", Construction and Building Materials, v. 40, pp. 632-641, 2013.

CTF/IBAMA e IBGE. **Diretoria de Pesquisas - DPE** - Coordenação de População e Indicadores Socias - COPIS (julho/2016). Disponível em:<http://www.ibama.gov.br/component/content/article?id=731>. Acesso em: 20 mar. 2018.

CWC – Best Practices in scrap tires & rubber recycling - Ambient versus Cryogenic, USA, 1998.

DA FONSECA, Yonara Daltro. Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura. 2010.

DANTAS, M.; CAVALCANTE, V. **Pesquisa qualitativa e Pesquisa quantitativa**. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/14344653/Pesquisa-qualitativa-e-quantitativa>. Acesso em: 07 mar. 2017.

DENARDI, Luana; OLIVEIRA, Natasha Mayhassen; DE OLIVEIRA, Alexandre Silva. **Estudo da desvalorização automobilística aplicada a manutenção do ativo de uma microempresa.** A Economia em Revista-AERE, v. 24, n. 2, p. 51-61, 2017.

DENATRAN, 2017. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 12 mar. 2018.

Departamento do Reino Unido para Transportes, 2014. **UK Government: Biggest upgrade to roads in a generation.** [Online]; Available at: https://www.gov.uk/government/news/biggest-upgrade-to-roads-in-a826 generation; [Accessed 29 March 2018].

DIAS, Alvaro José; PAULA, Aline Brito de; FRANCO NETO, Geraldo Gouveia; BERNADES, Matheus Sousa**. O Uso de Borracha em Ligantes Asfálticos para Pavimentação de Rodovias no estado de Minas Gerais**. 8º EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE / 28 a 30 de outubro de 2014.

DNIT 111/2009-EM - Cimento asfáltico modificado por borracha pelo processo via úmida, do tipo "Terminal Blending" - Especificação de material. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

DOS SANTOS GARCIA, M. B., NETO, J. L., MENDES, J. G., DE FREITAS XERFAN, F. M., DE VASCONCELLOS, C. A. B., & FRIEDE, R. R. **Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada**. Semioses, v. 9, n. 2, p. 77-91, 2016.

ECOFLEX. **Greca Asfalto.** Disponível em:<http://www.asfaltoborracha.com.br>. Acesso em: 29 mar. 2018.

EDEL, G. – "**Pneus inservíveis e asfalto: União que beneficia estradas e o meio ambiente**", in: Anais do Simpósio sobre obras rodoviárias RODO, 2 - ABGE, p.105, São Paulo, setembro (2002).

EHRHARDT, M; BRIGHAM, E Financial management. 13 ed. [S.l] McGraw-Hill 2010.

EMERY, J. J. et al. (1993). **Stone Mastic Asphalt Trials in Ontário.** Transportation Research Record, Washington, D. C., n. 1427, p. 47-53.

EPUSP. **Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.** Escola Politécnica. 2018. Disponível em: <http://www.pmt.usp.br/>. Acesso em: 22 mar. 2018.

FAXINA, A. L. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante do tipo asfalto-borracha**. 2002. 338p. Dissertação (Mestrado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos-EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos.

FIKSEL, J. et al. **Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires.** Clean Technologies Environmental Policy, v. 13, n. 1, p. 19-35, 2011.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. **Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus.** Acta Scientiarum. Technology, Universidade Estadual de Maringá, v. 32, n. 3, 2010.

FREIRES, FRANCISCO GAUDÊNCIO M; GUEDES, ALCIBÍADES PAULO S. **Power and trust in reverse logistics systems for scraptires and its impact on performance.** The Flagship Research Journal, of International Conference of the Production and Operations Management Society. Vol. 1, January – June 2008.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**, 7ª ed. São Paulo: HARBRA, 2002. 841 p.

GONÇALVES, Marcos Allan; CONTI, Idelmo Sanderson. **Fluxo de Caixa: Ferramenta estratégica e base de apoio ao processo decisório nas micro e pequenas empresas.** Revista de Ciências Gerenciais, Taubaté, v. 15, n. 21, p.173- 190, out. 2011.

GRECA ASFALTOS, 2017. **Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilizando asfalto-borracha**. 1º Edição. Disponível em: <www.grecaasfaltos.com.br>. Acesso em: 20 de nov. 2018.

GRECA. Grupo Greca Asfaltos. **Estudo Ecoflex 2009**. Disponível em: <http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf >. Acesso em: 20 nov. 2018.

GRUPO DPASCHOAL. **Recapagem de pneus.** Disponível em: <http://truck.dpaschoal.com.br/SitePages/RecMaxx/default.aspx>. Acesso em: 22 mar. 2018.

HENKES, Jairo Afonso; RODRIGUES, Cristiano Millani. **Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015.

HORNER, J.M. **Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires.** Rev. Environ. Health, London, UK, n. 11, p.175-178, 1996.

IBGE, 2017. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucurui>. Acesso em: 12 mar. 2018.

KAMIMURA, Eliana. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil.** 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

KWATENG, K. et al. **Reverse logistics practices in pharmaceutical manufacturing industry: experiences from Ghana.** Global Journal fo Business Research, Hilo, v. 8, n. 5, p. 17-26, 2014.

L.P. SPECHT. Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneu, 2004. 279f. Tese (Doutorado). Porto Alegre, 2004.

LAGARINHOS, C. A. F. & TENÓRIO, J. A. S. - **Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil,** v. 23, nº. 1, p. 49-58, 2013.

LAGARINHOS, Carlos Alberto F. et al. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. Polímeros, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

LAGARINHOS, CARLOS ALBERTO FERREIRA. Reciclagem de pneus: coleta e reciclagem de pneus. Co-processamento na indústria de cimento, Petrobras SIX e pavimentação asfáltica. IPT, São Paulo, 2004.

LEI N° 12.305 – **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 15 mar. 2010.

LEITE, P. R. - "**Logística reversa meio ambiente e competitividade**", Prentice Hall, São Paulo. 2003.

LIQUIGÁS. **Perguntas Frequentes - Questionamentos Técnicos**. Disponível em: <https://goo.gl/xDxD2i>. Acesso: 14 de dez. 2018.

LOPES, C. E. M. et al. **Reciclagem de pneus inservíveis: estudo comparativo de métodos e quantificação para a cidade do Natal-RN.** In: VI Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2002. p. 1-7.

MARAR, Leonardo. Analise financeiro da entrada de empresas em novos mercados. São Carlos 2011.

MARCONI, M. A., & Lakatos, E. M. Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARTINS, H. A. F. **A Utilização Da Borracha De Pneus Na Pavimentação Asfáltica**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Anhembi Morumbi no âmbito do Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental. São Paulo. Disponível em:. Acesso em: 21 nov. 2018.

MATTOS, J.R.G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290 – RS**. 2009. 139p. Dissertação (mestrado), Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

McQUILLEN JR., J. L.; TAKALLOU, H. B.; HICKS, R. G.; ESCH, D. (1988). **Economic Analysis of Rubber-Modified Asphalt Mixes**. *Journal of Transportation Engineering*. Vol. 114, nº 3, p.259-277, may.

MELLONE, Gláucia; DOS SANTOS, Mário Roberto; SHIBAO, Fabio Ytoshi. **Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis.** Revista Eletrônica Gestão e Serviços, v. 3, p. 489-508, 2013.

MENEGUINI, E. C. A. Avaliação de concreto asfáltico com incorporação de pó de borracha reciclada de pneus, tratada superficialmente com hidróxido de sódio comercial. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2011.

MERCADO LIVRE. **Cotação de Preço**. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-693344211-granulo-de-borracha-grama-sinteticaraspa-atacado-_JM>. Acesso em: 05 abr. 2018.

MORILHA JR. A. **Biblioteca do asfalto: a trilha pioneira do asfalto borracha.** Set. 2004. Disponível em:

<http://www.grecaasfaltos.com.br/artigos_conteudo/fatos_e_asfaltos/fatos_01.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

MOTTA, F. G. **A cadeia de destinação dos pneus inservíveis–o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico**. Ambiente & sociedade, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, v. 11, n. 1, p. 167–184, 2008.

ODA, S. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em **Obras de Pavimentação**. (Tese de Doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos, EES/USP). 251p. 2000.

ODA, S.; FERNANDES Jr., J.L. Utilização de borracha de pneus como material para pavimentação asfáltica, 2002.

ODA, S.; NASCIMENTO, L. A. H.; EDEL, G. **Aplicação do asfalto borracha na Bahia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador. Anais. IBP, 2005.

OLIVEIRA. F.A. L. **Direto municipal sanitário: uma proposta legal para gestão integrada de resíduos sólidos no município de Belém**. Belém, 2000. 469 f. Dissertação (Mestrado em direito) - Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Federal do Pará, 2000.

ONGONDO, F.O; WILLIAMS, I. D.; CHERRETT, T. J. **How are WEEE doing? A global review ofthe management of electrical and electronic wastes.** Waste Management, v. 31, n. 4, p. 714-730, apr. 2011.

PARRA, C. V.; NASCIMENTO, A. P. B..; FERREIRA, M. L.. **Reutilização e reciclagem de pneus, e os problemas causados por sua destinação incorreta**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10., 2010, Barra Funda. Anais... Barra Funda: Universidade Nove de Julho, 2010.

PEREIRA, A. L., BOECHAT, C. B., TADEU, H. F. B., SILVA, J. T. M., & CAMPOS, P. M. S. (2013). **Logística reversa e sustentabilidade.** São Paulo: Cencage Learning.

PICHTEL, J. (2005). Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial. Boca Raton: Taylor & Francis. 649 p.

PIMENTEL, Renê Coppe; BRAGA, Roberto; CASA NOVA, Silvia Pereira de Castro. **Interação entre rentabilidade e liquidez: um estudo exploratório**. Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ, v. 10, n. 2, 2010.

PINHEIRO, C. B. F. **A construção do conhecimento científico: a web semântica como objeto de estudo**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Marília, 2008.

PNEUS DO ALCAIDE. **Recauchutagem.** Disponível em: <http://www.pneusalcaide.com/filecont/catalogo%20recauchutagem.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2018.

PNEUS FÁCIL. **Processo de Recapar, Remoldar, Recauchutar um Pneu.** Disponível em: <http://www.pneusfacil.com.br/info/passo_de_remold.php>. Acesso em: 22 mar. 2018.

PREFEITURA DE TUCURUÍ. **Portal da Transparência**. Disponível em: <http://www.sgptransparenciapmtuc.solucaogestaopublica.com.br>. Acesso em: 31 de dez. 2018.

RAMOS. Leonardo Sohn Nogueira. **A logística Reversa de Pneus Inservíveis: O problema da Localização dos Pontos de Coleta.** Dissertação de Mestrado. 2005, 99 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis.

REDA TAHA, M. M. et al. **Mechanical, fracture, and microstructural investigation of rubber concrete**, Journal of Materials in Civil Engineering, v. 20, n. 10, p. 640-649, 2008.

RESCHNER, K. **Scrap Tire Recycling - A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods**. Berlim - Alemanha, 2008. Disponível em: <http://www.entire-engineering.de/>. Acesso em: 09 mar. 2018.

RESENDE, E. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso**. Rio de Janeiro: PUC, 2004. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=5284@1>. Acesso em: 22 mar. 2018.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUES, J. P. C.; SANTOS, C. **Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu**. In: 2º Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra Incêndio. [S.l.: s.n.], 2013.

RODRÍGUEZ-ALLOZA, A. N., GALLEGO, J., PÉREZ, I., "**Study of the effect of four warm mix asphalt additives on bitumen modified with 15% crumb**", Construction and Building Materials, v. 43, pp. 300-308, 2013.

ROMUALDO, A. C. A., SANTOS, D.E., CASTRO, L.M., et al. "**Pneus inservíveis como agregados na composição de concreto para calçadas de borracha**", In: 3rd International workshop advances in cleaner production, São Paulo, Brasil, 2011.

ROUTROY, Srikanta. Antecedents and Drivers for Green Supply Chain Management Implementation in Manufacturing Environment. The Icfai University Journal of Supply Chain Management, v. 6, n. 1, 2009.

ROY, J.; NOLLET, J.; BEAULIEU, M. **Reverse logistics networks and governance structures**. Supply Chain Forum An International Journal, Talence, France, v. 7, n. 2, p. 58-67, 2006.

RUBBER PAVEMENT ASSOCIATION – RPA. **Asphalt-rubber / Rubberized asphalt – there is the difference**, 2001.

SÁ, A. L. de; SÁ, A. M. **Dicionário de contabilidade.** São Paulo: Atlas, 2008.

SALINI, Reus Bortolotto. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. Florianópolis, 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson, 2009.

SANTOS, Daiane Xavier dos; SILVA, Fernanda Rosante da; BERTEQUINI, Aline Botini Tavares. **Utilização do asfalto borracha em relação ao asfalto convencional**. 2017.

SANTOS, T. A. **Mistura asfáltica modificada por borracha de pneus inservíveis, como alternativa sustentável, para aplicação na pavimentação**. In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 2., 2013, São Paulo, SP: SINGEP e S2is. Anais. pp.1-17, 2013.

SANTOS, T. A. **Mistura asfáltica modificada por borracha de pneus inservíveis, como alternativa sustentável, para aplicação na pavimentação**. In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 2., 2013, São Paulo, SP: SINGEP e S2is. Anais... , pp.1-17, 2013.

SEBRAE. **Comece certo, borracharia.** São Paulo: 2010. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-borracharia,fc687a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 19 mar. 2018.

SERRAGLIO, D. Análise de projeto de restauração com uso da técnica de reciclagem de pavimento flexível como base para revestimento de asfalto borracha. 2014. 109p. TCC (graduação), Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2014.

SILVA, Edson Cordeiro da. Como administrar o fluxo de caixa das empresas: Guia prático e objetivo de apoio aos executivos. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 147 p.

SMITH, P.G. & SCOTT, J.S. (2005). **Dictionary of water and waste management**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier. 486 p.

STAHEL, W. R. **The performance economy.** 2. ed. London: Palgrave McMillan, 2010.

SUGIMOTO, LUIZ. **Tese propõe metodologia para descartes de pneus**. Jornal da Unicamp, 15 a 21 de março de 2004. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp_hoje/jornalPDF/ju244pag11.pdf> Acesso em: 08 mar. 2018.

TEPPRASIT, Punyapon; YUVANONT, Prangtip. **The Impact of Logistics Management on Reverse Logistics In Thailand's Electronics Industry.** International Journal of Business and Information, Taipei, v. 10, n. 2, p. 257-271, 2015.

TEREX, 2011. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <http://www.terex.com.br/>. Acesso em: 21 dez. 2018.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção - estratégia, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Revised technical guide lines on environmentally sound management of used tyres. Basel: UNEP, 2010. p. 56.

VELOSO, Z. M. F. **Ciclo de vida dos pneus.** Brasília: MMA, 2010.

VERGARA, Walter Roberto et al. Análise de viabilidade econômico-financeira para aquisição de uma unidade de armazenagem de soja e milho. Revista GEPROS, v. 12, n. 1, p. 41, 2017.

VIANA, Lauro Oliveira. **A logística reversa e o tratamento de pneus inservíveis no Estado do Piauí.** Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Administra-ção de Empresas Universidade de Fortaleza - UNIFOR. – Fortaleza, 2009.

VILAÇA, M. L. C. **Pesquisa e Ensino: considerações e reflexões**. Revista E-scrita. V.1 n. 2. 2010.

WAY G. OGFC Meets CRM – **Where the Rubber meets the Rubber** – 12 Years of Durable Success. In: Proceeding, Asphalt Rubber 2000 – The Pavement Material of 21st Century. Vilamoura, Portugal; November 14–17, 2000.

WAY, G. B. **Flagstaff I-40 asphalt rubber overlay project, nine years of success.** Transportation Research Record, 78th Annual Meeting. Washington, 2003.

WICKBOLDT, V. S. Ensaios acelerados de Pavimentos para avaliação de desempenho de Recapeamentos Asfálticos – Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS. 134p. 2005.
YUNUS NEGÓCIOS SOCIAIS. Disponível em: <www.yunusnegociossociais.com>. Acesso em: 04 de out. 2018.

ZATARIN, Ana Paula Machado et al. **VIABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO COM ASFALTO-BORRACHA**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 5, n. 2, p. 649-674, 2016.

ANEXO A – MODELO DO QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS QUE MANUSEIAM PNEUS EM TUCURUÍ (PA)

Data: ____/____/_____
Empresa: _____
Endereço: _____nº_____Bairro:_____
Contato: ( ) _____ Operadora: ( ) Tim ( ) Vivo ( ) Claro ( ) Oi ( ) Fixo

1. Empresa:

( ) Borracheiro
( ) Loja Mecânica/Auto Peças

2. Número de funcionários: _____

3. Qual o local de armazenamento dos pneus inservíveis?

( ) Barracão/Depósito
( ) Céu aberto com lona
( ) Céu aberto sem lona
( ) Não possui
( ) Outros: _____

4. Qual a origem dos pneus inservíveis à empresa?
   Cliente Pessoa Física _____ (Qtd) -_____(%)

   Cliente Pessoa Jurídica_____ (Qtd) -_____(%)

   Transportadora_____ (Qtd) -_____(%)

   Revendedora_____ (Qtd) -_____(%)

   Outros_____ (Qtd) -_____(%)

5. Quantidade de pneus coletado/recebido mensal?

	Quantidade (unidades)/mês
Quantidade (unidades)/mês	
Toneladas/mês	

6. Quais são os tipos de pneus inservíveis recolhidos nas borracharias?

Modal de Transporte	**Quantidade (unidades)/mês**	**%**

Automóveis e moto		
Ônibus, caminhões e máquinas agrícolas		
Bicicletas		
TOTAL		

7. Qual é a destinação dada aos pneus inservíveis?

( ) Descartados para serem coletados como lixo domiciliar.
( ) Pagamento para retirada. Empresa: _____ Contato:( ) _____-_____
( ) Revenda para as empresas renovadoras de pneus.
( ) Devolvido ao fabricante.
( ) Repasse para os clientes. "Não recolhem".
( ) Outras destinações:_____

8. Existe algum tipo de incentivo dos governos (municipal, estadual e federal), a respeito da coleta, armazenamento e disposição final dos pneus inservíveis?

( ) Não ( ) Não sei ( ) Sim
Qual?_____

9. Quais são as atividades desenvolvidas na empresa?

( ) Serviços de consertos.
( ) Troca de pneus e câmara de ar, que tenham sofrido qualquer avaria.
( ) Reparo de rodas.
( ) Alinhamento da direção e balanceamento das rodas.
( ) Venda de pneus e câmaras novos, usados e recauchutados.

10. A empresa se preocupa com a preservação do meio ambiente?

( ) Sim ( ) Não ( ) Nunca pensou sobre o assunto

11. Existe algum órgão na cidade que fiscalize o tratamento que a empresa dá ao pneu usado?

( ) Não ( ) Sim Qual?_____

12. A empresa acredita que a reciclagem de pneus traz alguma vantagem ao ambiente?

( ) Não ( ) Sim Qual?_____

13. A empresa possui o conhecimento de legislações?

( ) Sim ( ) Não

14. A empresa possui conhecimento sobre real do destino dos pneus?

( ) Sim ( ) Não ( ) Nunca pensou sobre o assunto