



FACULDADE VALE DO AÇO
ENGENHARIA CIVIL

MÁRCIO ALEXANDRE DE SOUSA

**ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM
ASFALTO MODIFICADO**

AÇAILÂNDIA

2021

MÁRCIO ALEXANDRE DE SOUSA

**ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM
ASFALTO MODIFICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à FAVALE - Faculdade Vale do
Aço, como exigência para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Msc. Ludimilla da Silveira
Ferreira

AÇAILÂNDIA

2021

**Ficha catalográfica - Biblioteca José Amaro Logrado
Faculdade Vale do Aço**

S725e

Sousa, Márcio Alexandre de.

Estudo do reaproveitamento de resíduos sólidos em asfalto modificado. / Márcio Alexandre de Sousa. – Açailândia, 2021.
48 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil,
Faculdade Vale do Aço, Açailândia, 2021.

Orientadora: Ludimilla da Silveira Ferreira.

1. Resíduos sólidos. 2. Asfalto. 3. Pavimento. I. Sousa, Márcio Alexandre de. II. Ferreira, Ludimilla da Silveira. (orientadora). III. Título.

CDU 693.75/.78:628.477

MÁRCIO ALEXANDRE DE SOUSA

**ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM
ASFALTO MODIFICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
FAVALE - Faculdade Vale do Aço, como exigência
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Msc. Ludimilla da Silveira Ferreira
FAVALE – Faculdade Vale do Aço

Prof^o. Esp. Randal Silva Gomes
FAVALE – Faculdade Vale do Aço

Prof^o. Esp. Marcondes Ayres Crocia
FAVALE – Faculdade Vale do Aço

AÇAILÂNDIA

2021

À minha querida esposa Leticia e à minha filha Aylla, e a todos aqueles que me deram força para conquistar mais esse objetivo de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus sem ele nada é possível chegar até aqui, que não foi nada fácil.

Aos meus Familiares, Francisco Jovita de Souza (pai) e Antônia Jesus de Sousa (mãe), irmãos, Diego, Rafael, Manoel, Anny, Luís Felipe (*in memoriam*), Jhully e Carlos esses são meus pilares para vida toda.

Adão, Isabel sempre me apoiaram nos estudos. Aos meus amigos que estão presentes na minha vida.

A minha orientadora por ter me orientado com sabedoria, seriedade e competência.

Aos demais professores pelo conhecimento e amizade compartilhados nestes anos de convivência.

Meus amigos da faculdade, mais que especiais, Laudirene, Hyago, e Joice que fizeram, parte dessa minha jornada até aqui.

“O homem pré-histórico, a quarta
revolução do mundo”.

Marcio Alexandre de Sousa

RESUMO

Hoje no Brasil nossa frota de veículos, vem crescendo cada vez mais, e os custos de manutenção altíssimos de nossa malha viária, sendo de 1,7 milhões quilômetros. O pavimento por sua vez é dividido em categorias, e calcinação sendo pavimento rígido, pavimento semirrígido e flexíveis, todos eles com uso de novos recursos utilizados na pavimentação, podendo estender a vida útil, além do cimento asfáltico de petróleo (CAP), com o asfalto modificado por borracha (AMB) e o asfalto modificado por polímeros (AMP), cenário é promissor para evolução do asfalto ecológico. Com tudo os materiais usados neste processo são provenientes de resíduos recicláveis. O material é utilizado principalmente como agregado de concreto de baixo custo e reaproveitamento de agregado fino na mistura asfáltica. O trabalho se desenvolveu através de uma metodologia teórica de estudos na área estrutural de um pavimento, em torno de artigos, teses e dissertações levando em comparação ao asfalto tradicional, comprovando o potencial desses novos materiais. Com os procedimentos tomados é possível analisarmos o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados, tornando usual como asfalto modificado. O asfalto-borracha originado da mistura do pó dos pneus moídos com os ligantes asfálticos CAP 50/70, da mesma forma obtemos embasamento com os polímeros, que tem sua origem natural e sintético, látex, celulose, sendo esses naturais, os sintéticos alguns são derivados do petróleo. Optou-se pela consulta bibliográfica, empregando bancos de dados SCIELO, PERIODICOS CAPES, BDTD, e instruções normativas do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Os materiais consultados compreendem o espaço temporal de 2014 até 2021 sendo que a pesquisa foca nos trabalhos mais recentes. Os resíduos sólidos lançados no meio ambiente, que são designados a reciclagem, através deste processo de introdução deste agregado na massa asfáltica, estabelecendo assim benefícios à saúde do meio ambiente onde vivemos.

Palavra - chaves: Reaproveitamento. Asfalto Ecológico. Resíduos sólidos. Pavimentação.

ABSTRACT

Today, in Brazil, our vehicle fleet has been growing more and more, and the cost of maintaining our road network is extremely high, with 1.7 million kilometers. The pavement in turn is divided into categories, and calcination being rigid pavement, semi-rigid pavement and flexible pavements, all of them using new resources used in paving, which can extend the useful life, in addition to petroleum asphalt cement (CAP), with the rubber-modified asphalt (AMB) and polymer-modified asphalt (AMP), scenarios are promising for the evolution of ecological asphalt. However, the materials used in this process come from recyclable waste. The material is mainly used as a low-cost concrete aggregate and reuse of fine aggregate in the asphalt mix. The work was developed through a theoretical methodology of studies in the structural area of a pavement, around articles, theses and dissertations, compared to traditional asphalt, proving the potential of these new materials. With the procedures taken, it is possible to analyze the reuse of solid waste generated, making it usual as modified asphalt. The rubber asphalt originated from the mixture of ground tire dust with CAP 50/70 asphalt binders, in the same way we obtain a foundation with polymers, which have their natural and synthetic origin, latex, cellulose, these being natural, some synthetic ones are petroleum products. We opted for the bibliographic consultation, using databases SCIELO, PERIODICOS CAPES, BDTD, and normative instructions of the National Council for the Environment - CONAMA. The materials consulted comprise the timeline from 2014 to 2021, and the research focuses on the most recent works. Solid waste released into the environment, which is designated as recycling, through this process of introducing this aggregate into the asphalt mass, thus establishing health benefits for the environment where we live.

Key – words: Reuse. ecological asphalt. solid waste. Paving.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Primeira estrada criada com macadame.....	23
Figura 2 - Primeira estrada pavimentada, com revestimento asfáltico	23
Figura 3 – Estrutura de Pavimento Rígido	25
Figura 4 – Estrutura de Pavimento Semirrígido.....	25
Figura 5 – Pavimento flexível, camadas.....	26
Figura 6 - Brita graduada simples	26
Figura 7 - Macadame hidráulico e seco	27
Figura 8 - Solo agregado.....	27
Figura 9 - Rachão.....	28
Figura 10 - Estrutura de um pavimento asfáltico	29
Figura 11 - Asfalto ecológico.....	31
Figura 12 - Pó de borracha.....	32
Figura 13 - Pó de polímeros	34
Figura 14 - Esquema metodológico.....	36
Figura 15 - Processo de seleção de dados	38
Figura 16 - Fabricação do asfalto-borracha pelo esquema úmido.	39

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas para ligante modificado por polímero41

Tabela 2 - Comparativo de custo entre asfalto borracha e asfalto convencional42

LISTAS DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Usinas de Reciclagem por Estado Brasileiro	21
Gráfico 2 - Número de pneus descartados, é mapeado pelo número de pneus vendidos.....	22

LISTAS DE QUADRO

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens.....	33
Quadro 2 - Seleção de dados, artigos, teses e dissertações	37

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição
AD	Asfalto Diluído
AM	Asfalto Modificado
AMB	Asfalto Modificado por Borracha
AMP	Asfalto Modificado por Polímero
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
Art.	Artigo
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes XIII
EAP	Emulsão Asfáltica Petróleo
EM	Especificação de Materiais
EVA	Etileno e Acetato de Vinila
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
NBR	Norma Brasileira
PCA	Pavimento de Concreto Armado
PCAC	Pavimento de Concreto com Armadura Contínua
PCPRO	Pavimento de Concreto Protendido
PCPM	Pavimento de Concreto Pré-moldado
PCS	Pavimento de Concreto Simples
PMF	Pré-misturado a Frio
RCA	Resíduo Polimérico
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduos de construção de demolição
RECICLANIP	Reciclagem Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
RET	Terpolimero Elastomerico Reativo
SBR	Stireno-Butadieno Aleatório

SBS	Copolímero Stireno-Butadieno-Stireno
SIGOR	Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo	17
1.2 Objetivo geral.....	17
1.3 Objetivos específicos.....	17
1.4 justificativa.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Resíduos na construção civil	19
2.2 Pavimentação	22
2.2.1 Classificação dos Pavimentos	24
2.2.2 Materiais	26
2.3 Camadas.....	29
2.3.1 Regularização do subleito.....	29
2.3.2 Reforço do subleito.....	30
2.3.3 Sub-base	30
2.3.4 Base	30
2.3.5 Revestimento.....	30
2.4 O asfalto ecológico.....	31
2.4.1 Asfalto Modificado com Borracha (AMB)	32
2.4.2 Asfalto modificado com polímeros (AMP)	34
2.4.3 Benefícios de diferentes tipos de modificadores poliméricos de asfalto	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Seleção de dados	37
3.2 Seleção dos materiais brutos	37
3.2.1 Preparo dos materiais.....	38
4 RESULTADO	38
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

De acordo mundo DNIT (2006), com a evolução dos meios de transportes terrestres surgia a necessidade de compor um novo material para pavimentações sendo que esse material já existia em nosso meio, que nesse meio tempo teve várias etapas de aprimoramento do sistema construtivo e elaboração de técnicas para transporte rodoviário no mundo.

Visando o desenvolvimento sustentável, este é um dos maiores problemas de sua geração de resíduos sólidos conforme Associação Brasileira Normas técnicas - (ABNT 2004) no estado sólido e semissólido, que se originam das atividades da indústria, domicílios, hospitais, comércio, agricultura, indústrias de serviços e fontes primitivas. Segundo Pinto (1999), com isso temos materiais alternativos como polímeros, os chamados (RCC) Resíduos da Construção Civil, todos visam aumentar a vida útil das vias e pavimentação.

No Brasil a malha viária é de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias, onde somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada dados da Confederação Nacional do Transporte – CNT, 2019. Devido ao grande número, tendo em consideração a parte pavimentada, ao longo do tempo, as rodovias constituíram uma rede que está espalhada por todo o país, mas as condições estruturais variam de região para região.

O asfalto utilizado nas rodovias do Brasil hoje, é convencional (CAP), seguindo o padrão das normas, são classificados basicamente em três tipos de pavimentos, rígidos, semirrígidos e flexíveis. Em paralelo ao pavimento flexível existe os modificados. Asfalto modificado por borracha (AMB) e o asfalto modificado por polímeros (AMP). Com um desempenho superior ao tradicional.

A NBR 10.004 (2004), afirma que os custos de implantação do material nas pavimentações, é de 20% a mais na sua fabricação em relação ao do asfalto convencional, mas conforme suas camadas e vida útil da via, se tornando melhor no custo e benefício.

1.1 Objetivo

1.2 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar de forma qualitativamente o estudo do reaproveitamento da utilização de resíduos sólidos em asfalto modificado.

1.3 Objetivos específicos

- Levantamento da bibliográfico sobre a utilização de resíduos de pneus e reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil na camada granular.
- Filtrar possíveis substitutos para resíduos de polímeros por meio de pesquisas para uso nas pavimentações.
- Comparar a composição do asfalto borracha e reproduzir a atual composição do asfalto modificado com polímero.

1.4 justificativa

As rodovias estão precárias, nesse contexto temos um grande campo de atuação ao identificar que a construção civil é uma atividade que produz muitos resíduos sólidos e é um dos setores que mais utiliza matéria-prima, percebe-se também que existe a alternativa de o reaproveitamento de grande parte desses resíduos no processo construtivo. Embora não seja uma prática comum no Brasil, a reciclagem de resíduos sólidos na construção civil tem se tornado uma solução para o uso massivo de matéria-prima da área e a destinação final dos resíduos sólidos (ODA, 2002).

Ao reinserir os resíduos sólidos no processo produtivo, o desperdício pode ser evitado, principalmente para reduzir a pressão sobre os recursos naturais, a algumas vantagens podem ser obtidas misturando-se borracha residual de pneu com asfalto para pavimentação, que é econômica, a disponibilidade de recursos e o meio ambiente estão em crise, é bom para o meio ambiente (Resolução CONAMA nº 258/1999).

Portanto, encontrar alternativas sustentáveis para as atividades de geração de resíduos. E isso é uma questão urgente a ser tratado, pois os que herdará, possam viver com dignidade e sustentabilidade. Qual seria o reaproveitamento da utilização de resíduos de pneus inservíveis em asfalto modificado?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo a seguir, apresenta o referencial teórico, está dividido em quatro tópicos. No primeiro tópico trata-se dos resíduos na construção civil. No segundo tópico apresenta os aspectos do processo de pavimentação, classificação do pavimento e os materiais. Na sequência o terceiro tópico mostra as camadas esperadas, em um pavimento. No último tópico aborda sobre o asfalto ecológico, em especial os modificados em borracha e em polímeros.

2.1 Resíduos na construção civil

A resolução Nº 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabeleceu procedimentos para o gerenciamento de resíduos da construção civil. A resolução prevê a obrigação de geradores e municípios darem uma destinação ambientalmente correta para esses resíduos.

Considerando a necessidade de implantação de diretrizes que reduzam efetivamente o impacto ambiental dos resíduos gerados na construção civil;

Considerando que o descarte de resíduos da construção civil em locais inadequados acarretará em degradação da qualidade ambiental.

Considerando que os resíduos da construção civil respondem por grande parte dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas.

Considerando a necessidade de implantação de diretrizes que reduzam efetivamente o impacto ambiental dos resíduos gerados na construção civil.

Considerando que o descarte de resíduos da construção civil em locais inadequados acarretará em degradação da qualidade ambiental.

Considerando que os resíduos da construção civil respondem por grande parte dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas.

Considerando que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos gerados pela construção, reforma, reparação e demolição de edifícios e estradas.

O objetivo desta resolução é estabelecer os procedimentos necessários para a gestão e destinação ambientalmente saudáveis de resíduos. Em vigor em 2 de janeiro de 2003. Subdividido em quatro classes:

Classe A - é um resíduo reutilizável ou reciclável, como:

- a) Construção, demolição, reforma e manutenção de pavimentação e demais projetos de infraestrutura, inclusive solo para terraplenagem;
- b) Construção, demolição, renovação e reparação de edifícios: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, ladrilhos, painéis de revestimento, etc.), argamassas e betão;
- c) O processo de fabricação e / ou desmontagem de peças pré-fabricadas de concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas em canteiros de obras.

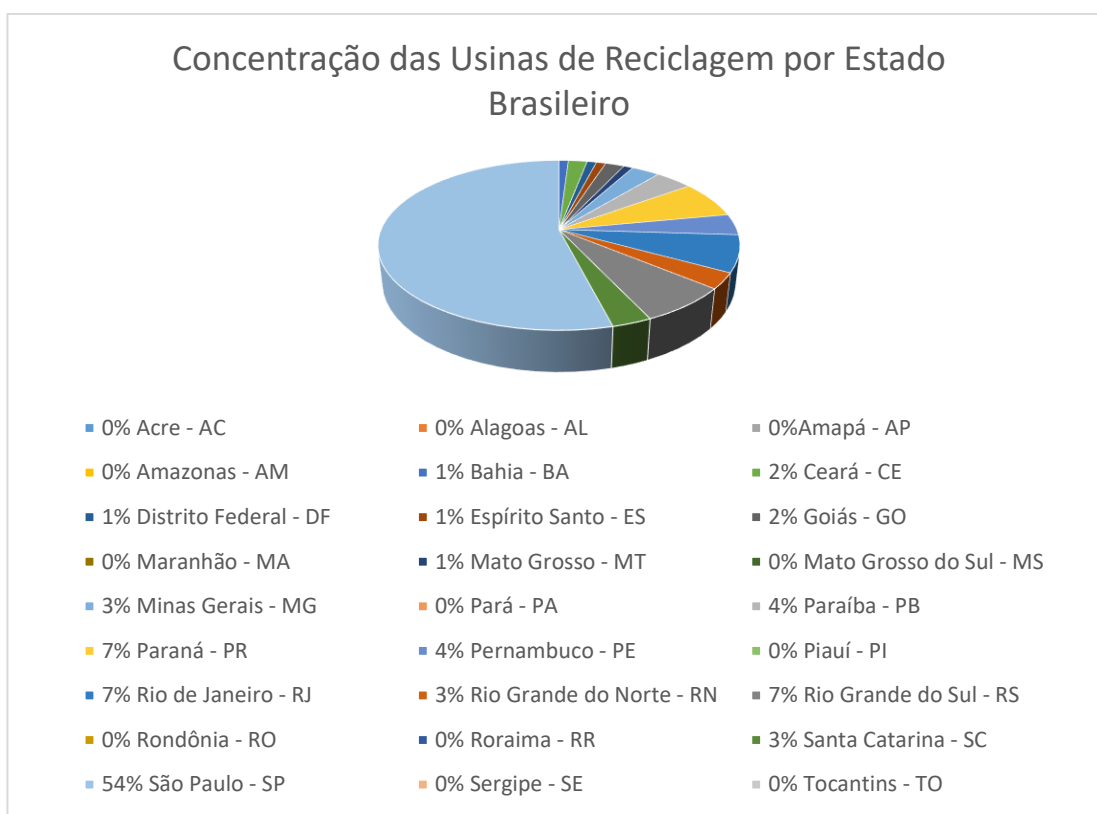
Classe B - Resíduos recicláveis utilizados em outras destinações, como plástico, papel / papelão, metal, vidro, madeira etc.

Classe C - refere-se a resíduos que ainda não desenvolveram tecnologias economicamente viáveis ou aplicações para reciclagem / reciclagem, como produtos de gesso;

Classe D - Resíduos perigosos gerados durante a construção, como tinta, solvente, óleo, etc., ou resíduos contaminados por desmontagem, reforma e reparo de clínicas radiológicas, instalações industriais, etc.

Se todo o lixo gerado pela construção civil do país em um dia for reciclado - 98% é reciclável -, seria possível construir 2.134 maracanãs. A informação é da Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), calculada a partir de uma estimativa de 520 quilos de resíduos gerados por habitante por dia - valor que corresponde ao índice ambiental do Ministério do Meio Ambiente. Porém, das cerca de 290,5 toneladas de entulho produzidas no país todos os dias, apenas 21% é reciclado.

O gráfico 1 mostra a deficiência e necessidade do país possuir tecnologia adequada.

Gráfico 1 - Usinas de Reciclagem por Estado Brasileiro

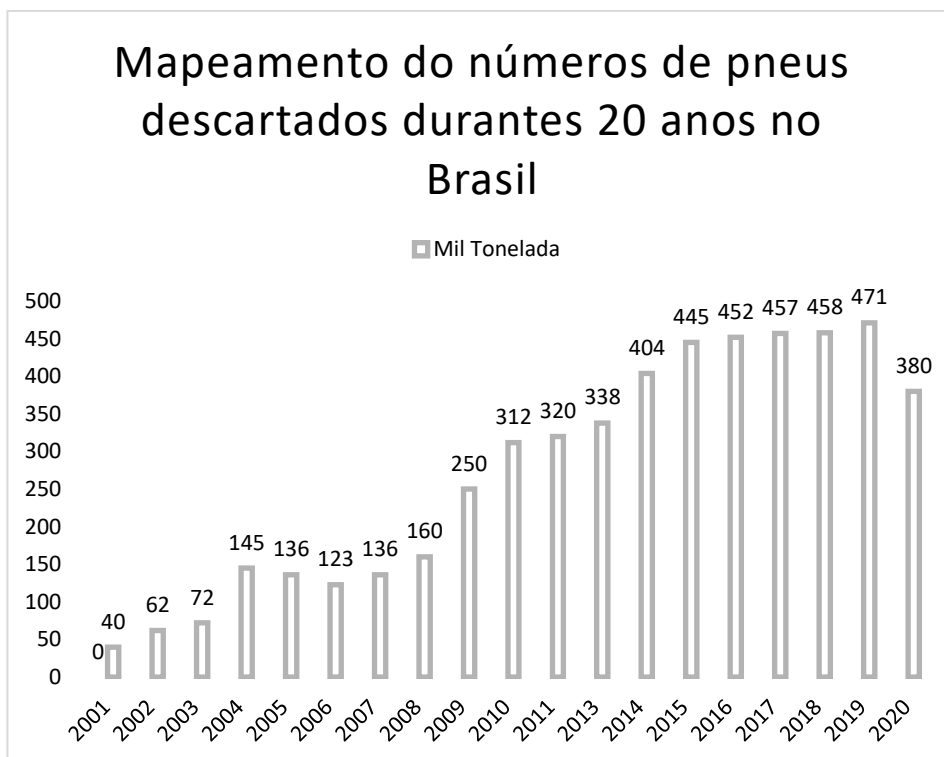
Fonte: ABRECON, 2017.

Atualmente, temos 310 indústrias de reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil, 230 indústrias fixas, 65 indústrias móveis, e 5% das usinas fixas e móveis, se concentra no estado de São Paulo por ter incentivo público.

Como Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos (SIGOR), criado pela Cetesb, e capacidade de monitorar a gestão de resíduos sólidos de geração em geração o destino final e o plano da construtora para reduzir o desperdício o material na obra.

Nos números abaixo mostrado pelo gráfico 2. Foi coletado pela Associação Nacional da Indústria Pneumáticos (ANIP), fundada em 1960, para representa toda classe da indústria pneumática.

Gráfico 2 - Número de pneus descartados, é mapeado pelo número de pneus vendidos.



Fonte: ANIP, 2021.

Já no último ano os descartes de pneus tiveram uma queda devido recessão do país em cenário de pandemia, em comparação ao ano 2019, mesmo assim os números são elevados.

2.2 Pavimentação

Para Senço, (2008) durante o século XX surgia o novo conceito de pavimentação, porém a pavimentação de vias é utilizada há milhares de anos, mas na segunda grande guerra foi criado o asfalto, uma combinação de piche e areia, que são derivados do petróleo. Hoje em dia com grande crescimento populacional e avanços tecnológicos, o homem procura meios e alternativas para ter um aproveitamento, tanto na área da construção civil, como no meio ambiente, minimizando os impactos sofridos dos anos anteriores. Conforme a área urbana cresce, Cada vez mais são gerados resíduos, o que também aumenta a dificuldade de se encontrar uma forma de destinação final adequada para esses materiais, o que tem chamado a atenção da sociedade.

De acordo com DNIT, no que se refere à história da rodovia União e Indústria, que liga Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG), é a primeira rodovia licenciada do Brasil. Criada por o comendador Mariano Procópio e inaugurada por D. Pedro II em 1860 é a primeira rodovia brasileira a utilizar macadame como base/revestimento, como mostra a figura 1.

Figura 1 - Primeira estrada criada com macadame



Fonte: Bernucci, 2008.

As palavras do então presidente Washington Luís tornaram-se realidade em 25 de agosto de 1928, quando foi inaugurada a primeira estrada asfaltada do país, Rio-Petrópolis. Antes, a ligação entre a capital federal e a cidade imperial era uma estrada de terra, muitas vezes intransitável após a tempestade. A figura 2 mostra um trecho da rodovia.

Figura 2 - Primeira estrada pavimentada, com revestimento asfáltico



Fonte: acervo o Globo, 1969.

A pavimentação é uma obra civil que deseja inserir melhorias operacionais para o tráfego, oferecendo conforto e segurança com as estruturas e materiais capazes de suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego combinado com as condições climáticas, a um mínimo custo (PEREIRA et al., 2018). É uma excelente forma de reduzir os custos referentes ao transporte de cargas e pessoas, pois ao melhorar a camada de rolamento, os custos de manutenção dos veículos reduzem. Além disso,

nas vias pavimentadas, os veículos conseguem manter uma velocidade constante, reduzindo os gastos com combustíveis. Outro importante benefício é a redução de acidentes, visto que o pavimento promove uma maior segurança para o deslocamento de cargas e pessoas.

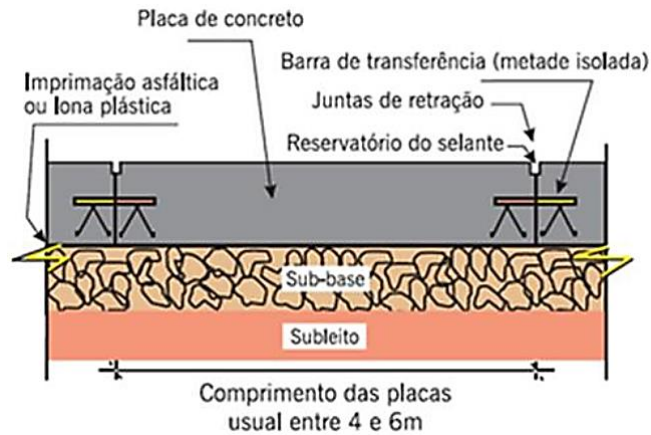
No decorrer dos anos, percebeu-se a falta da manutenção das estradas devido as degradações provocadas pela vida útil da construção ou fatores ambientais. No Brasil, no tratar de pavimentações de rodovias, apresenta deficiências técnicas na execução, a péssima gestão de obras e uma escassez nos investimentos, no gerenciamento de obras, nas manutenções das pistas e nas fiscalizações.

2.2.1 Classificação dos Pavimentos

Segundo Huang (2003) classificação dos pavimentos rodoviários, pode-se previamente determinar pela base da sua composição, classificando-se em pavimentos do tipo rígidos, semirrígido ou compostos e flexíveis ou asfálticos. Em sua experiência Bernucci,(2008) relata por outro lado, os pavimentos asfálticos são classificados quanto a constituição do seu revestimento, sendo composto basicamente por agregados e ligantes.

Para Balbo (2009) pavimento rígido é denominado revestimento de placa de concreto de cimento, podendo assim ser chamado de pavimentos de concreto-cimento. Nestes pisos, a espessura é determinada com base na resistência à flexão da laje de concreto e na resistência da camada inferior. Podem ser destacados os principais tipos, pavimento de concreto simples (PCS), pavimento de concreto armado (PCA), pavimento de concreto com armadura contínua (PCAC), pavimento de concreto protendido (PCPRO), pavimento de concreto pré-moldado (PCPM). Essas placas podem ser armadas com ou sem reforço. Normalmente é especificado se a subcamada deste piso é a base, pois a qualidade do material nesta camada é igual à base de estradas asfálticas.

Na figura 3, é apresentado o formato do pavimento rígido por placas de concreto de cimento.

Figura 3 – Estrutura de Pavimento Rígido

Fonte: SENÇO, 2008.

O Pavimento semirrígido: os tipos de pavimentos semirrígidos têm como base a característica quimicamente cimentada, compondo sua estrutura de revestimento asfáltico, base cimentada, sub-base granular, reforço do subleito e subleito. A diferença entre uma e outra é que há um ligante hidráulico na parte inferior para obter uma camada com rigidez suficiente para suportar a carga do tráfego do projeto. A adição de adesivos hidráulicos pode ser feita de diferentes materiais, cada um com suas próprias características, como mostra na figura 4.

Figura 4 – Estrutura de Pavimento Semirrígido

Fonte: DER-PR, 2008.

Pavimento Flexível um método em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob uma carga aplicada, de modo que a carga é distribuída em partes aproximadamente iguais entre as camadas. O pavimento consiste em uma camada de base de cascalho e uma camada de base de solo pedregoso, e é coberto por uma camada de betume. A figura 5 mostra as camadas de um pavimento flexível.

Figura 5 – Pavimento flexível, camadas

Fonte: O autor, 2021.

2.2.2 Materiais

Devido a quantidade de materiais existente em suas formas e tamanhos, pode variar muito, dependendo também de sua aplicação na obra de pavimentação.

Segundo Arteris (2021), a brita graduada é a camada de base ou sub-camada de base, composta pela mistura na fábrica do britador, com granulometria contínua, e sua estabilidade é obtida pela ação mecânica do equipamento de compactação sendo seu tamanho máximo de 38mm, ilustrado figura 6.

Figura 6 - Brita graduada simples

Fonte: ODA, 2016.

Segundo a ODA, o macadame hidráulico e seco, é composto por agregado graúdo, agregado fino e água. É um material muito utilizado no passado. Antes do surgimento do BGS (brita graduada simples). Primeiro, o agregado grosso é distribuído na pista e deve ser compactado. Após concluir esta etapa, um agregado menor deve ser adicionado, que ficará localizado na lacuna entre os agregados

maiores. É uma forte estrutura em camadas é formada. E o seco é mesmo procedimento, sem uso da água. Na a figura 7, mostra os dois tipos de macadames (ODA, 2016).

Figura 7 - Macadame hidráulico e seco



Fonte: ODA, 2016.

ODA diz que o solo composto é proveniente de vários materiais e misturados na usinagem, que tem uso direto no solo submetido a compactação pelos meios de equipamentos, como vemos na figura 8 o solo de agregados.

Figura 8 - Solo agregado



Fonte: ODA, 2016.

Os rachões são um material mais bruto, utilizado em camadas que exigem maior resistência, basicamente, são grandes rochas que podem ser aplicadas ao solo sem compactação. Na figura 9, é mostrado o rachão, que normalmente é usado para reforçar os leitos ou subleitos das estradas.

Figura 9 - Rachão

Fonte: ODA, 2016.

O método de revestimento mais utilizado no Brasil é o de pavimentação asfáltica, cerca de 95%, segundo a pesquisa da CNT (2017), esse tipo de revestimento permite forte união dos agregados e age como um ligante, permitindo flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade e resistência às intempéries. Pinto (2015) afirma que podendo ser apresentado em três grupos, Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), Asfalto diluído (AD), Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP).

Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) - É um material muito viscoso, semissólido ou sólido à temperatura ambiente, apresenta termo plasticidade, torna-se líquido ao ser aquecido e retorna ao estado original após resfriamento.

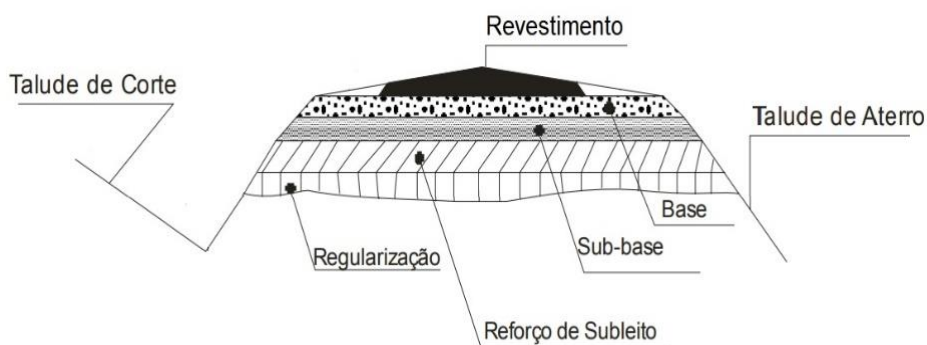
Asfalto diluído (AD) - De acordo com a mistura de CAP e solvente obtido pelo solvente utilizado, use nafta para solidificar rapidamente o betume (CR), use querosene para solidificação média (CM), e use solidificação lenta (CL) se for diesel. Essas misturas são feitas para aumentar a fluidez do CAP. O solvente volátil irá evaporar após o uso, endurecendo o cimento asfáltico.

Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP) - É composta por pequenas partículas ou pellets de CAP, suspensas em água contendo emulsificantes. Ao usar esta emulsão, partículas de CAP são depositadas no cascalho (agregado mineral) do leito da rodovia, fazendo com que a emulsão se rompa e se separe da água, formando uma camada de cimento asfáltico difícil.

De acordo com a Petrobras (2020) Asfalto modificado (AM) - Modificação do cimento asfáltico de petróleo pela adição de asfalto natural (por exemplo, Gilney Stone (EUA), Asfalto (Argentina) e asfalto Trinidad). Cal, cimento, sílica, fibra (fibra de vidro, amianto, fibra de celulose e fibra de polímero), enxofre elementar ou polímero, sendo os mais usados, SBR é polímero aleatório de estireno e butadieno, (SBS), estireno de butadieno estireno, material utilizado na modificação de asfaltos, (EVA), é copolímero de etileno e acetato de vinila, que pode ser adicionado para melhorar a resistência do produto.

Na figura 10, mostra a estrutura de um pavimento asfáltico.

Figura 10 - Estrutura de um pavimento asfáltico



Fonte: Shackelford, 2008.

2.3 Camadas

2.3.1 Regularização do subleito

Segundo o DNIT (2006) a regularização não constitui totalmente a camada de pavimentação, a rigor, trata-se de uma operação que pode ser reduzida cortando o local de implantação ou colocando-o sobre uma camada de espessura variável.

Com o mesmo raciocínio, Senço (2007) explica que nivelamento da superfície tenha as características geométricas do piso acabado - a inclinação lateral. Na parte tangente, as duas inclinações postas são 2% de inclinação – 3 a 4% em áreas de alta pluviosidade - na curva, a inclinação é uma superelevação.

2.3.2 Reforço do subleito

Se constitui de uma camada de espessura constante, que pode ser construída sobre a regularização, se necessário cujas características técnicas são melhores que as da regularização inferiores, às da camada imediatamente acima anterior ou seja, sub-base. Devido ao nome da armadura do leito da estrada, esta camada às vezes é associada à fundação. No entanto, esta ligação é puramente formal, porque a armadura do leito é especificamente um componente da calçada e tem uma função suplementar ao leito, e o leito tem uma função suplementar ao leito. Portanto, a armadura do leito também resiste e distribui as forças no sentido vertical, não tendo a característica de absorver essas forças, o que é uma característica especial do leito (BALBO, 2007).

2.3.3 Sub-base

A sub-base nessa fase é uma camada que forma complementos sendo que pode ser usada ou não. Para o reforço do leito da estrada, o material da camada de base deve ter melhores características técnicas do que o material de reforço, com sua capacidade geotécnica de suporte acima ou igual 30% sendo que que sua dilatação máxima não pode passa de 1%, isso com os estabilizantes químico na sua mistura.

2.3.4 Base

Segundo o Manual de Pavimentação asfáltica (2008) esta é a estrutura mais importante na estrutura do pavimento, pois está localizada sob o piso, seja ele rígido, semirrígido ou flexível, pois será responsável pelo suporte estrutural, portanto a carga deve ser distribuída para a próxima camada para reduzir a resistência.

Esta camada é tem a função de resistir aos esforços verticais causado pelo tráfego intenso dos veículos fazendo a distribuição das cargas.

2.3.5 Revestimento

É a última camada da estrutura. Receberá diretamente o comportamento do tráfego e estará diretamente relacionado à qualidade dos pavimentos anteriores.

Obviamente, a cobertura deve ter uma boa condição, além de resistir ao impacto do fluxo, deve permitir uma boa rolagem na pista e maior conforto ao usuário.

Para Senço (2007) revestimento é a base que confere ao material de maior custo da obra, portanto sua dimensão deve ser considerada para que a resistência do piso não diminua.

2.4 O asfalto ecológico

Segundo Leite (2012), a sustentabilidade é alcançada por meio da utilização de resíduos de construção de demolição (RCD), agregados siderúrgicos, cinzas volantes, mármore, resíduos de granito e até mesmo resíduos de pneus e borracha, que podem ser introduzidos nas misturas asfálticas. Portanto, devido à necessidade de novos materiais, soluções e métodos alternativos ambientalmente responsáveis, a gama de distribuição de resíduos industriais usados como materiais não convencionais tende a se expandir.

As propriedades do eco-asfalto podem reduzir o revestimento em até 30%, e as vantagens também incluem maior rendimento e maior elasticidade da borracha, o que também pode estender a vida útil da superfície da estrada na figura 11 ilustra o asfalto ecológico.

Figura 11 - Asfalto ecológico



Fonte: Borges, 2017.

2.4.1 Asfalto Modificado com Borracha (AMB)

O asfalto modificado borracha (AMB), foi desenvolvido nos Estados Unidos na década de 1960 por Charles McDonald. Quando ele percebeu que pneus amassados forneciam um material elástico que podia ser usado para asfalto e resolver problemas. Com essa nova tecnologia, mercado foi se abrindo para novas pesquisa para esses recursos, dada a escassez de materiais naturais e o aumento do custo dos materiais de construção, para a construção civil a prioridade é um meio ambiente, mas limpo (LASTRAN, 1998).

O asfalto borracha entrou no país por volta de 2000 e trouxe o uso da tecnologia da borracha extraída de pneus inservíveis é usada como aditivo para aglutinante de asfalto. Mesmo com uma história de quase dez anos, o percentual de quilômetros com asfalto borracha é bem menor do que o número de quilômetros com outras matérias-primas. No entanto, seja no campo acadêmico, investimento em pesquisa ou investimento em economia, sua popularidade está crescendo. Recife, uma das maiores capitais do Nordeste, já o utiliza para consertar falhas e tamponar as calçadas da cidade. Na figura 12, mostra produto triturado

Figura 12 - Pó de borracha



Fonte: Autor (2021)

Segundo a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2017), cerca de 90% equivale ao transporte de passageiros e 60% ao transporte de carga, respectivamente. Tornam-se, portanto, imprescindível as pesquisas de materiais mais resistentes para uso em pavimentos rodoviários.

FHWA explica que (1993) ao incorporar borracha de pneu à mistura de asfalto pode - se melhorar a resistência ao desgaste e ao envelhecimento, melhorar a resistência à deformação permanente em altas temperaturas e ter maior resistência à

fadiga e flexibilidade em baixas temperatura. Já o Ballié e Roffé (2000) afirma que os betumes com seus benefícios render até 40% a mais do que o asfalto convencional, quanto maior o teor de borracha aplicada, maior será a eficiência da pavimentação levando em consideração o custo e manutenção da obra. Sendo que ao adicionar esse material auto ligante nas pavimentações, causando uma redução de poluição sonora de até 25% causadas pelo o atrito dos pneus na pista de rolagem. Levando em consideração as vantagens e desvantagens como mostra a quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Oferece maior durabilidade: o pavimento de asfalto-borracha é cerca de 40% mais resistente do que o asfalto convencional. Enquanto o de borracha dura em média 14 anos, o comum dura apenas 10 anos.	Heterogeneidade, como cada pneu tem uma composição diferente e um tamanho de partícula muito insuficiente, existem diferenças tanto na física quanto na química.
Tem maior aderência: isso ajuda a evitar derrapagens e reduz o spray causado pelos pneus em dias de chuvas.	Em comparação com o equipamento de asfalto tradicional, o duto no equipamento tem uma capacidade maior.
Garante estradas mais seguras: o asfalto borracha do processo <i>in situ</i> proporciona uma massa com alto coeficiente de atrito, o que torna as estradas seguras e silenciosas.	Uma caldeira com maior capacidade de aquecimento, pois o asfalto borracha requer uma temperatura de 175 °C, enquanto a caldeira de uma fábrica tradicional chega apenas a 160 °C.
Evita a contaminação do solo e as reservas de água: se não for reciclada ou disposta corretamente no lixo, a borracha presente no solo pode causar sérias contaminações, levando até 400 anos para desaparecer.	Nas operações, usinagem, estocagem e mão de obras específicas para manuseio do material.
É vantajoso para as concessionárias: além da resistência, o uso do asfalto-borracha reduz o consumo de massa asfáltica na obra e diminui o custo de manutenção.	Geradores de gases no seu processo de usinagem, maior odor nas aplicações dos pavimentos

Fonte: Autor, 2021

2.4.2 Asfalto modificado com polímeros (AMP)

A necessidade de desenvolver novas concepções de misturas asfálticas tornou-se indispensável a fim de melhorar as condições de qualidades da superfície, conforto e segurança em quaisquer condições climáticas. O uso de asfaltos modificados por polímeros pode amenizar a frequência das manutenções e maximizar a vida útil dos pavimentos de locais de difícil acesso e até diminuir a frequência das interrupções de tráfego, o que aumenta o custo dos reparos (CREMADES 1999).

O grau de melhoria e modificação do adesivo e, portanto, o custo, dependem das necessidades do local de aplicação, considerando se trata de um novo trabalho ou de um material reforçado, da mudança térmica e da carga mecânica a esticar, da possibilidade de deformação ou deformação permanente fadiga (BECKER; MÉNDEZ; RODRÍGUEZ, 2001).

Na figura 13, mostra - se diferentes tipos de polímeros

Figura 13 - Pó de polímeros



Fonte: Autor, 2021.

2.4.3 Benefícios de diferentes tipos de modificadores poliméricos de asfalto

Os asfaltos que melhor se compatibilizam com polímeros são aqueles que apresentam uma certa aromaticidade. A quantidade de polímero que deve ser adicionada ao ligante é variável e depende das propriedades finais desejadas. É necessário também verificar a adequada dispersão do polímero no CAP, de forma que

a matriz polimérica fique fixada na estrutura do asfalto, ocluída nas malhas do mesmo (ANDREIA et al., 2010).

Como o asfalto é um material termoviscoelástico, suas características vão influenciar diretamente o desempenho das misturas asfálticas, tanto de deformação permanente quanto de fadiga. As deformações resultantes das cargas aplicadas, ou seja, as respostas da mistura asfáltica aos pulsos de carga gerados pelo tráfego em movimento podem ser bastante modificadas pela presença de polímeros no ligante, aumentando ou diminuindo as parcelas de viscosidade e de elasticidade do conjunto, para várias faixas de temperatura (WULF, 2008).

Para que a modificação do ligante seja viável técnica e economicamente, é necessário que o polímero seja resistente à degradação nas temperaturas usuais de utilização do asfalto, misture-se adequadamente com o asfalto, melhore as características de fluidez do asfalto a altas temperaturas, sem que o ligante fique muito viscoso para a homogeneização e espalhamento, nem tão rígido ou quebradiço a baixas temperaturas (BERNUCCI et al., 2006). Devido as propriedades geradas por consequência dos modificadores poliméricos, é necessário acompanhar as especificações desenvolvidas por meio de caracterizações de estudo dos asfaltos mais usuais e dos asfaltos modificados.

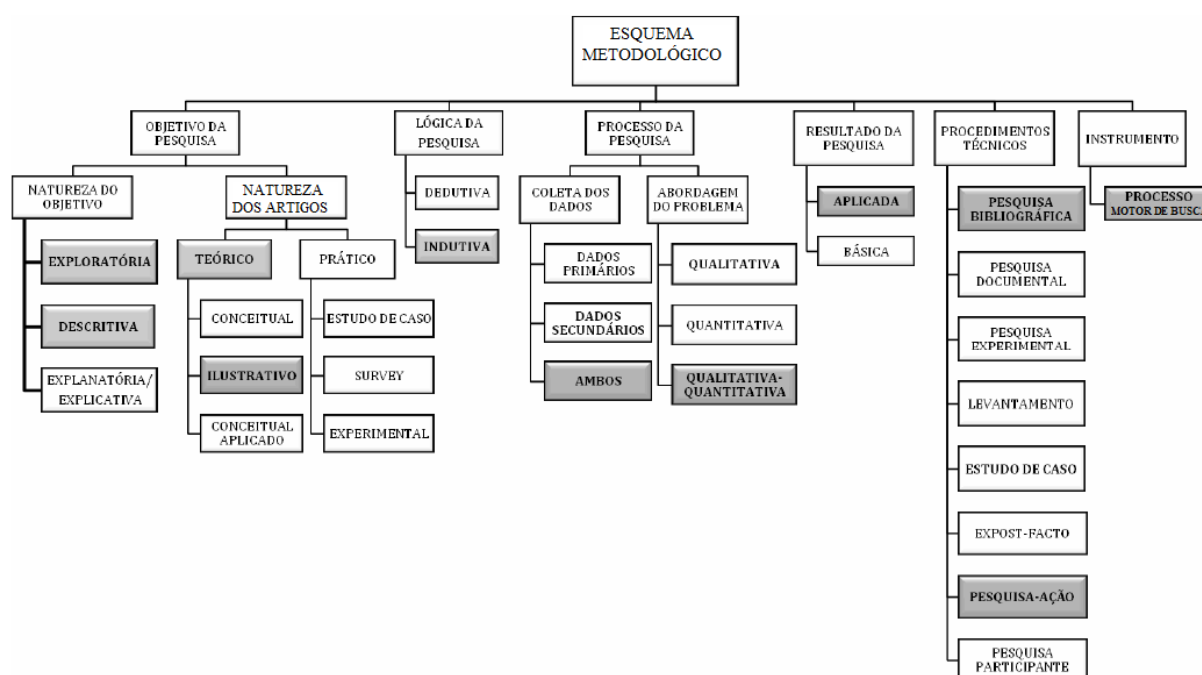
3 METODOLOGIA

O método de pesquisa adotado neste estudo consiste na revisão sistemática da literatura. De acordo com Mattos (2015) os estudos desenvolvidos com o método de revisão sistemática são pesquisas observacionais retrospectivas, testam hipóteses e objetivam levantar, reunir, analisar criticamente a metodologia da pesquisa e sintetizar os resultados de diversos estudos primários.

A revisão sistemática também pode ser definida como metodologia científica apropriada para averiguação e apreciação de artigos em uma área da ciência (CONFORMO, AMARAL e SILVA, 2011). Devido aos resultados profundos, consistentes e verificáveis que a revisão sistemática oferece, o método é vastamente utilizado na área da engenharia, segundo Pedriali et al, 2021.

Galvão, Pansani e Harrad (2015), destacam que as fases relevantes da revisão sistemática são: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão da literatura científica. Sampaio e Mancini (2007) apontam que a revisão sistemática deve contemplar os seguintes pontos: demarcação da pergunta de pesquisa, investigação das evidências, revisão e seleção dos artigos, análise de informações e exposição dos resultados como ilustra a figura 14, do esquema metodológico.

Figura 14 - Esquema metodológico



Fonte: Adaptado Autor, 2021.

3.1 Seleção de dados

Este estudo foi desenvolvido de acordo com as fases descritas, conforme apresentado a seguir:

Na primeira fase foi definido a pergunta a ser respondida: Qual seria o reaproveitamento na utilização de resíduos sólidos em asfálticos modificados? Em seguida foi realizado a segunda fase onde ocorreu a busca por evidências, definindo-se os termos de busca utilizado no trabalho, bem como: *solid waste; reuse; ecological asphalt*.

Na terceira fase realizou-se uma busca através do banco de dados como: Periódicos Capes, Scielo e BDTD nesta mesma fase foi definido as fontes dos artigos científicos acerca do tema publicados de 2014 até 2021, que tivessem os termos de buscas incluídos no campo: Título, palavras chaves ou resumo.

Na última fase ocorreu a seleção dos Artigos, Teses e Dissertações, onde apresentou-se uma avaliação prévia dos estudos por meio da literatura dos títulos, palavras chaves e resumo, e a eliminação dos artigos repetidos e não pertinentes à pesquisa. Com a realização de análise das Informações, foram realizadas as leituras aprofundadas dos materiais selecionados, eliminação de materiais fora da conjuntura definida pela pergunta de pesquisa, apreciação e compreensão dos dados relevantes à pesquisa, exposição dos resultados, exposição das informações relevantes à pesquisa e sua respectiva análise e por fim, a conclusão.

3.2 Seleção dos materiais brutos

Diante das pesquisas entre artigos, teses e dissertações, foi verificado quais tipos de materiais que tem mais relevância sobre a pesquisa como mostra quadro 2.

Quadro 2 - Seleção de dados, artigos, teses e dissertações

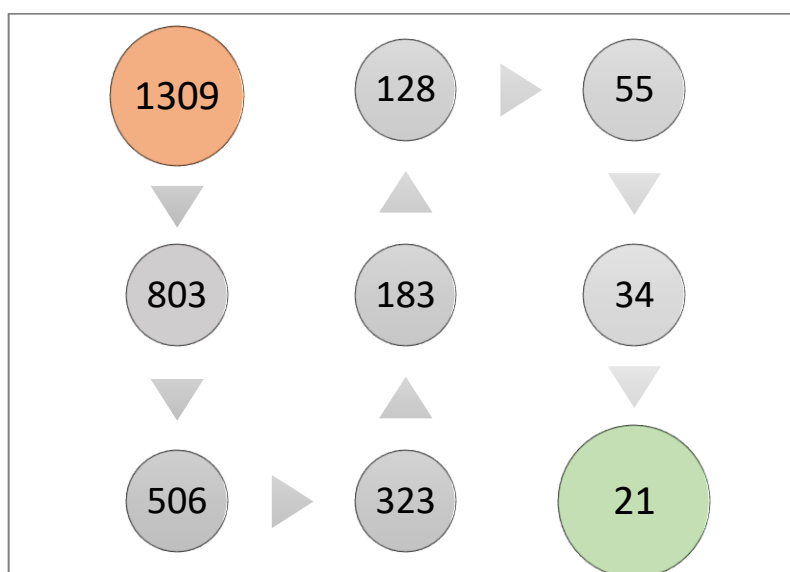
Banco de Dados	Resultados
Periódicos capes	502
Sicelo	488
BDTD	319
Total	1309

Fonte: O autor 2021.

3.2.1 Preparo dos materiais

Os resultados da pesquisa identificaram 1.309 trabalhos, que constituem a amostra principal da pesquisa. Após análise detalhada de cada material, por falta de dados, verifica-se que precisa ser descartado os que não abordaram tema da pesquisa de forma coerente, sendo eliminado (803 trabalhos), experimento com resíduos sólidos (506 trabalhos), teste utilizando o reuso de RCC (323 trabalhos), experimentos utilizando outros tipos de matérias em forma de material substituto (183 trabalhos), experimento utilizando dois tipos de materiais sustentáveis (128 trabalhos), testes utilizando valores ilegíveis fora da pesquisa (34 trabalhos). Assim, 21 trabalhos compuseram a pesquisa e amostra final. Como ilustra a figura 15, em processo de eliminação e seleção de dados.

Figura 15 - Processo de seleção de dados



Fonte: O autor, 2021.

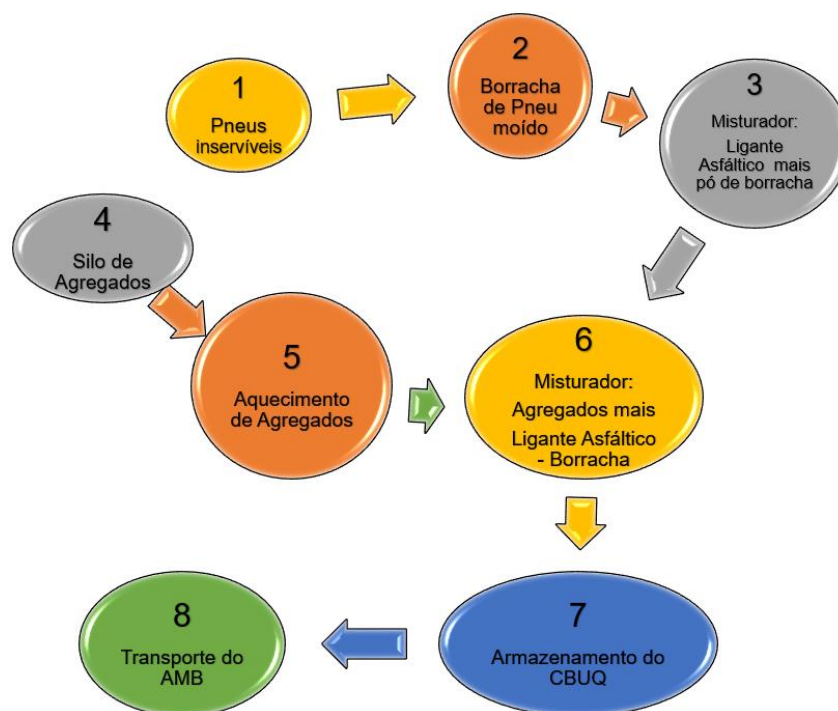
4 RESULTADO

O estudo bibliográfico apresentou por meio de pesquisa os testes de misturas asfálticas com adição de polímero e dos testes de misturas asfáltica borracha. Os

efeitos positivos dos materiais (polímero e pó de pneu) no ligante asfáltico podem ser confirmados.

Pode-se relatar, conforme Specht (2004), para obtermos o AMB, existem três tipos de processo de fabricação, o processamento seco, úmido e as variações do úmido chamados de ponta blend e continuous blend. A figura 16 ilustra o processo de fabricação do asfalto-borracha pelo processo úmido.

Figura 16 - Fabricação do asfalto-borracha pelo esquema úmido.



Fonte: Adaptado pelo Autor, 2021.

No processamento úmido, o aglutinante de asfalto é moído a uma temperatura elevada de aproximadamente 180 graus e, em seguida, transportado para um tanque de mistura adequado, onde borracha granular é adicionada ao asfalto comum previamente moído.

Já no processo seco ele entra como agregado de borracha, ao longo da composição do asfalto, a adição da borracha ocorreu na própria usina.

Gusmão (2009) afirma que o processamento ponta blend leva à fabricação de asfalto borracha armazenável ou semi-armazenável. Para este tipo de processamento, equipamentos específicos e modificações são importantes para reparar as características do produto, principalmente nas atividades de transporte e armazenamento do ligante na usina de asfalto.

O asfalto borracha é recomendado pelo tempo de digestão. Durante o armazenamento de longo prazo, a borracha pode se deteriorar, fazendo com que o asfalto borracha perca sua qualidade (CORDEIRO; PINTO 2018). Em relação ao tempo de reação, pode-se citar as notas de Takallou e Sainton (1992), eles apontaram que após um certo período de digestão, a viscosidade do adesivo estendido de borracha mudará. Essa mudança leva a crer que, após um certo período de tempo, o adesivo que se desgasta em alta temperatura perdendo suas capacidades.

Agregando o resíduo do pneu com o ligante CAP 50/70, observou-se que o desempenho do material ligante melhorou mesmo com a tecnologia de simples incorporação de material, destacando que a mistura com 18% de borracha aumentou o ponto de amolecimento de 49,7 ° C para 66,5 ° C e atingiu retorno flexível de 81%. Essas características garantem que a resistência do asfalto à deformação permanente seja aumentada e, além disso, podem evitar a formação de trincas, pois o asfalto mais elástico funcionará de acordo com as exigências de tráfego e temperatura.

Os resultados do experimento foram alcançados utilizando o simulador de transporte para solicitação da estrutura, que mostrou que o recapeamento do cimento asfáltico com borracha modificada (AMB) tem um comportamento superior ao recapeamento do cimento asfáltico de petróleo convencional (CAP).

A durabilidade do revestimento AMB e a quantificação da durabilidade do preço. No revestimento CAP convencional, as rachaduras apareceram no centro após 98.000 ciclos de carga 190 tf, enquanto no revestimento AMB, as rachaduras só apareceram na superfície após 123.000 vezes do mesmo ciclo (GRECA Asfaltos, 2016).

Segundo Read e Whiteoak (2003), no caso específico do uso de ligante asfáltico modificado com elastômero termoplástico tipo SBS, a qualidade da dispersão obtida é afetada por três fatores: a composição do ligante asfáltico, o tipo de ligante asfáltico e concentração de polímero e cisalhamento taxa aplicada pelo mixer, na tabela 1 mostra as especificações de modificadores de polímeros.

Tabela 1 - Especificações técnicas para ligante modificado por polímero

GRAU (ponto de amolecimento mín./Recuperação elástica mín.)		55/75	60/85	65/90
Ensaio na amostra virgem	Método ABNT	Limite de especificação		
Penetração, (100g, 25°C, 5s), 0,1mm	NBR 6576	45 a 70	40 a 70	40 a 70
Ponto de amolecimento mín. °C	NBR 6560	55	60	65
Ponto de fulgor, mín.	NBR 11341	235	235	235
Viscosidade Brookfield a 135°C (spindle 21, 20 rpm, máx.), cP	NBR 15184	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 150°C (spindle 21, 50 rpm, máx.), cP	NBR 15184	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 175°C (spindle 21, 100 rpm, máx.), cP	NBR 15184	1000	1000	1000
Ensaio de separação de fase, máx., °C	NBR 15166	5	5	5
Recuperação Elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR 15086	75	85	90
Ensaio no resíduo RIFOI				
Varição de massa máx., %	NBR 15235	1	1	1
Varição do PA, °C máx.	NBR 6560	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Porcentagem da penetração original, mín.	NBR 6576	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mín.	NBR 15086	80	80	80

Fonte: ANP, 2016.

Em relação aos custos de material, na mistura, pode-se observar que, considerando o valor do CAP, polímero e ácido polifosfórico, o custo total de preparação de 1 kg de adesivo modificado com polímero é de 1,31 reais. Para a mesma quantidade de asfalto borracha, o custo total do material é de 0,84 reais,

É considerado apenas o custo do CAP, pois a borracha utilizada na mistura não tem custo.

Outro fator importante a se considerar na comparação das duas misturas é que a mistura contendo polímero contém ácido polifosfórico em sua composição, o que ajuda a garantir que o desempenho do polímero asfáltico seja melhorado durante o processo de incorporação. Ou seja, nenhuns outros tipos de materiais foram adicionados ao processo.

Como mostra na tabela 2, o comparativo de custos entre os dois tipos de asfaltos, o AMB e o convencional.

Tabela 2 - Comparativo de custo entre asfalto borracha e asfalto convencional

Grandezas	Cálculo	Unidades	Tipo de Asfalto		Diferença %	
			CAP 50/70	AMB		
A	Quantidade de massa Asfáltica no CBUQ Produzido	-	Ton.	26.250,00	18.375,00	-30,0
B	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	Ton.	200,00	230,00	15,0
C	Quantidade de massa x custo de usinagem/aplicação	AxB	R\$	R\$ 5.250.000,00	R\$ 4.226.250,00	-19,5
D	Teor de Asfalto	-	%peso	5,00	5,50	10
E	Custo de Asfalto por Tonelada	-	R\$/Ton	1.150,00	1.550,00	34,8
F	Custo de Asfalto no CBUQ (concreto Betuminoso Usinado a Quente)	AxDxE	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75	3,8
G	Custo Total da Obra	C+F	R\$	R\$ 6.759.375,00	R\$ 5.792.718,75	-14,3

Fonte: GRECA, 2016.

Já Mendes e Nunes (2009), consideram apenas a implementação do processamento mecânico, a aplicação do CBUQ (Cimento Betuminoso Usinado à Quente) e o custo por tonelada de borracha betuminosa em comparação com o betume convencional, pois o betume borracha é mais caro nesses dois aspectos. Porém, na análise geral da obra, levando em consideração a utilização do CBUQ, que é menor no caso do asfalto borracha, e sua durabilidade, no longo prazo, o custo final da obra é menor e econômico.

5. CONCLUSÃO

Mediante pressupostos objetivos desta pesquisa bibliográfica, tivemos plena certeza e constatação da viabilidade do material em estudo. A comparação do asfalto convencional (CAP) mais utilizado no Brasil com o asfalto modificado adicionado ao pó de borracha de pneu. CAP Borracha, ainda recentemente relacionado a outros tipos de pavimentação, já ocupa uma posição importante na cadeia produtiva do asfalto, desde a economia de matéria-prima até os serviços pontuais de construção ou manutenção de estradas. Isso prova que as pesquisas em andamento são bem fundamentadas e essenciais para a eliminação de diversos problemas técnicos, econômicos e ambientais.

Em toda a pesquisa - se aponta, que ele será o substituto do asfalto convencional. Outro fato importante que precisa ser ressaltado, além dos já comentados aqui, chamar - se atenção para a questão da durabilidade e resistência, que é bastante proeminente, sendo o que apresentou baixo nível de ruído na pista de rolagem, o AMB.

Considerando todos os benefícios econômicos e ecológicos que o uso do asfalto borracha pode trazer, fabricantes de pneus, órgãos reguladores e fiscalizadores, universidades e instituições de pesquisa devem trabalhar juntos para encontrar as soluções ambientais certas que ajudem a resolver os problemas mais graves. E um deles é a destinação final de pneus usados tanto no Brasil, quanto no mundo.

Esses órgãos têm o poder de regulamentar a execução de pavimentos, inclusive inserido em licitações e obrigatoriedade de reaproveitamento e reciclagem de materiais.

REFERÊNCIAS

ANDREIA, L. et al. **Aspectos relevantes sobre pavimentação asfáltica com adição de borracha**. Entac, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA PNEUMÁTICOS – ANIP. **Destinados adequadamente pneus inservíveis**. Disponível em:

<https://www.reciclanip.org.br/destinados/>. Acesso 21 de abril 2021

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. Ranp 19 - 2015. **Resolução Anp No 19**, de 15.4.2015. Disponível em <<http://anp.gov.br/>>. Acesso em Abril de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO - ANP. Gás Natural e Biocombustíveis.

Resolução Anp nº19. Disponível em <<http://anp.gov.br/>>. Acesso em Abril de 2021.

ARTERIS ES 008 - Rev. 9 pag. 2 - **Centro de Desenvolvimento Tecnológico** 03/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (Abrecon). **Resíduos da construção civil**. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>>. Acesso em 19 de maio de 2021.

BALBO, J. T. **Tecnologia de pavimentação em concreto continuamente armado para rodovias de alta durabilidade**. Oficina de textos: São Paulo. 2015.

BECKER, Y.; MÉNDEZ, M. P.; RODRÍGUEZ, Y. **Polymer modified asphalt**. Vision Tecnologica, 2001.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** ABEDA, 2006.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**. Rio de Janeiro, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do Transporte 2017** - Estatísticas consolidadas. Cnt, 2017.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, SL da. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. Trabalho apresentado, v. 8, 2011.

CORDEIRO, Willian Rubbioli; PINTO, Salomão. **Algumas considerações sobre asfalto modificado por borracha de pneus**. In: Pavimentação asfáltica, 2018

CREMADES IBÁÑEZ, I. **Asfaltos Modificados**. I Congreso Mexicano del Asfalto-AMAAC, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - BRASIL. DNIT. (**Manual de estudos de tráfego. Instituto de Pesquisas Rodoviárias**) - IPR, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - BRASIL. DNIT. (**Manual de Pavimentação**) – IPR - 719, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **DNIT 139/2010 – Pavimentação: Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de Serviço**. Espírito Santo, 2010.

FHWA. “**Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis**”. **National Asphalt Training Center**. Demonstration Project 101. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication N.º FHWA-SA- 95-003, 2003.

FIGUEROA-INFANTE, A. S.; FONSECA-SANTANILLA, E. B.; REYES-LIZCANO, F. A. **Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado** * Physicochemical and Micromorphological Evaluation of Asphalt Modified. [s.l: s.n.].

Huesker. Manual: **HaTelit** : Pavimentos sem trincas. São José dos Campos, SP: 2003.

GALVÃO, TF; PANSANI, TSA; HARRAD, D. **Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta Análises: A recomendação PRISMA**. Epidemiologia e Serviços de Saúde 2015;24:335-342.7. Ministério da Saúde. Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados. Brasília, 2015.

GUSMÃO, MÁRCIO. **Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero**. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

GRECA ASFALTOS. **Contabilidade ecológica – Asfalto-borracha**. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_25.pdf> Acesso em: 20/02/2021.

LASTRAN, 1998. **Concessão de Rodovias no Rio Grande do Sul**. Relatório Interno,UFRGS, RS.

MELO, J. J. C. DE, FERREIRA, J. DA S., BARBOSA, J. L. L., FILHO, F. D. R., ALVES, A. F. P. DE A., MOTA, L. C. B., & LIMA, S. F. DE. (2017). **PAVIMENTAÇÃO E ASFALTO-BORRACHA**. *Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*, 4(1), 183.

MENDES, Celso Bráulio Alves; NUNES, Fabio Rinaldi. **Asfalto Borracha - minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente**. Vitória, 2009

PEDRIALI, D. et al. Condicionantes do emprego da revisão sistemática em engenharia da produção. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28421-28442, 2021.

PAIXÃO, MONIQUE P. **Pavimentos semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas**, XVI SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2017.

PARANA. Departamento de Estradas e Rodagens – DER. **Norma de Pavimentos Flexíveis e Rígidos**. 2008

PEREIRA, L. T. et al. **A importância da composição da massa asfáltica para um bom desempenho**. Revista Eletrônica TECCEN, 2018.

PETROBRAS: **Asfalto, assistência técnica 2015**.

PINTO, S; PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

REVISTA TECNOL. FORTALEZA, v. 39, n. 1, p. 1-18, **Estudo comparativo entre as misturas solo-seixo e solo-brita para fins de pavimentação**. jun. 2018

REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL - GVAA GRUPO VERDE DE AGROECOLOGIA E ABELHAS - POMBAL-PB – BRASIL - **Reuso dos Resíduos da Borracha Sintética Sbr/Eva, No Asfalto Ecológico Para Mitigação dos Impactos Ambientais**. Março, 2014

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. Março 2008.

SHACKELFORD, J. F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 6a Edição ed. [s.l: s.n.].

SPECHT, L.P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 279 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WHITEOAK, D; READ, J.; **The Shell Bitumen Handbook**. 5th. ed., London: Thomas Telford Publishing, 2003, 460 p

WULF, F. **Análises de pavimento asfáltico modificado com polímero**, 2008.