



FACULDADE DE EXCELÊNCIA - ITABUNA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

Luamaria Lucio Alexandre¹

Nicolle Christinne Santana Setti²

Anderson Batista Passos³

Resumo: Tendo em vista a utilização de pneus inservíveis e o interesse em tecnologias, preferencialmente sustentáveis, na construção de pavimentos rodoviários, aponta-se o aproveitamento de resíduos de pneus. Através de análises bibliográficas, os dados coletados foram avaliados quanto à atualidade e à relevância para o estudo proposto. Os resultados foram sintetizados e discutidos, contribuindo para o corpo de conhecimento em estudo e para a identificação dos desafios e limitações encontrados durante a análise. Portanto, a análise do conteúdo apresentado evidencia o potencial do asfalto borracha na pavimentação de vias. No entanto, é necessário continuar o estudo para compreender como o asfalto borracha se adapta a diferentes condições. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é discutir a viabilidade da incorporação de resíduos de borracha de pneus como matéria-prima alternativa na composição do Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

Palavras-chave: Asfalto borracha. Pavimentações. Revestimentos asfálticos. Tecnologias sustentáveis.

Abstract: Considering the use of waste tires and the interest in technologies, preferably sustainable, in the construction of road pavements, the use of waste tires is recommended. Through bibliographic analysis, the collected data was evaluated for its currentness and relevance to the proposed study. The results were synthesized and discussed, contributing to the body of knowledge under study and to the identification of challenges and limitations encountered during the analysis. Therefore, the analysis of the content presented highlights the potential of rubber asphalt in road paving. However, further study is needed to understand how asphalt rubber adapts to different conditions. Therefore, the objective of this work is to discuss the feasibility of incorporating waste tire rubber as an alternative raw material in the composition of Hot Machined Bituminous Concrete.

Keywords: Rubber asphalt. Pavings. Asphalt coatings. Sustainable technologies.

¹ Graduanda do curso de Engenharia Civil na Faculdade de Excelência - UNEX de Itabuna, e-mail: luamaria.alexandre@ftc.edu.br

² Graduanda do curso de Engenharia Civil na Faculdade de Excelência - UNEX de Itabuna, e-mail: nicolle.setti@ftc.edu.br

³ Professor Orientador na Faculdade de Excelência - UNEX de Itabuna, e-mail: anderson.passos@ftc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira apresenta 12,4% de pavimentação, enquanto o crescimento da frota de veículos é de 80,8%, com um aumento de apenas 6,7% na extensão das rodovias, entre 2009 e 2019. Essa expansão da frota automotiva, resulta em uma produção significativa de pneus que se tornaram resíduos prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente (CNT, 2018).

Não obstante, o Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte - Sest Senat (2017), notou que uma estimativa de 450 mil toneladas de pneus é descartada anualmente no Brasil. Assim, conforme Bertollo et al. (2002), torna-se imperativo a adoção de soluções adequadas para a destinação final desses resíduos de pneus, visando à preservação ambiental e à saúde da população.

Nesse sentido, tendo em vista a utilização dos pneus inservíveis e o interesse em tecnologias, preferencialmente sustentáveis, na construção de pavimentos rodoviários, Lino, Moura e Carvalho (2022) apontam a utilização de resíduos de pneus na produção de asfalto como uma solução praticável, resultando em um produto denominado asfalto borracha.

Frente a essa conjuntura, surge a possibilidade de incorporar esse resíduo no concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), que, de acordo com Bandeira et al. (2019), se caracteriza por uma mistura de concreto, agregados, enchimento e ligante, produzida e compactada a quente. Portanto, a problemática central reside em investigar quais são os efeitos na durabilidade e nas propriedades mecânicas em concretos betuminosos usinados a quente resultantes da incorporação de resíduos de borracha de pneus. Além disso, indaga-se sobre a relevância dessa incorporação na construção de pavimentos rodoviários.

Assim, para melhor compreensão da temática, o asfalto borracha será definido à luz de diferentes autores da literatura. Em seguida, serão identificados, os resíduos gerados no processo de fabricação de pneus e que podem ser reutilizados na composição do asfalto borracha. Na sequência, serão verificadas as alterações nas propriedades mecânicas do Concreto Betuminoso Usinado à Quente quando incorporados resíduos de borracha de pneus em comparação ao método tradicional. Por fim, será mostrado as variações na durabilidade do CBUQ com a adição de agregados provenientes dos resíduos de borracha de pneus.

Portanto, o objetivo geral do artigo é discutir a viabilidade da incorporação de resíduos de borracha de pneus como matéria-prima alternativa na composição do Concreto Betuminoso Usinado à quente.

2 METODOLOGIA

A abordagem utilizada, em relação à sua natureza, foi a pesquisa teórica, embasada em uma relevante e atualizada bibliografia. Quanto à forma, em relação aos objetivos, foi empregado o caráter exploratório, na busca compreender a realidade e envolver-se com o problema, além de um reconhecimento abrangente do mesmo, com a finalidade de torná-lo mais evidente (CERVO; BERVIAN, 2002; GIL, 2002).

Por outro lado, esse estudo caracterizou-se como descritivo, pois teve como determinação a exposição das particularidades e categorias de determinado fenômeno e a definição de relações entre as suas individualidades, por meio da análise e observação metódica dos mesmos (GIL, 2002).

Quanto a metodologia técnica do objeto de estudo, tratou-se de uma pesquisa bibliográfica, pois baseou-se em artigos, periódicos científicos e estudos de caso. Sendo assim, o posicionamento dos diferentes autores citados contribuiu na disseminação do conhecimento técnico específico sobre o tema, cujas deduções diretas e indiretas possibilitaram a organização do conteúdo (MIGUEL et al., 2010).

Portanto, todos os dados coletados foram avaliados quanto à atualidade e à relevância para o estudo proposto. Os resultados foram sintetizados, discutidos e a argumentação foi conduzida para inquirição do que os diferentes autores retratam, destacando a sua contribuição para o corpo de conhecimento existente e os desafios e limitações encontrados durante a análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, busca-se apresentar a viabilidade da utilização de borrachas de pneus, como agregados na composição da massa asfáltica à luz de diferentes autores, mostrar como é feito o processo de reciclagem de pneus, destacar as propriedades mecânicas exigidas para garantir o bom desempenho de uma mistura asfáltica e melhorias na durabilidade asfáltica como consequência do uso da tecnologia do asfalto borracha.

3.1 Asfalto borracha

Conforme constatado por Mellone, et al. (2013), o produto proveniente da incorporação de resíduos de borracha de pneu no concreto betuminoso usinado à quente, é qualificado como asfalto borracha e pode ser utilizado em serviços de pavimentação ou recapeamento de vias.

Fagundes e Correa (2020), destacaram que a utilização de borrachas de pneus, como agregado na composição da massa asfáltica, foi considerada na década de 1950, entretanto, somente na década seguinte o engenheiro Charles H. McDonalds, reconhecido como pioneiro no desenvolvimento do asfalto borracha, optou por explorar a combinação de pó de pneu com asfalto aquecido durante a execução de reparos em buracos de pavimentos, constatando que essa mescla apresentava menor propensão à oxidação em comparação aos asfaltos convencionais.

A extração de borracha de pneus inservíveis pode ser realizada por dois métodos: primeiro, pela trituração dos pneus à temperatura ambiente, usando granuladores e moinhos; e em segundo lugar, submetendo os pneus a temperaturas negativas abaixo de -120°C (resfriamento criogênico) seguido de moagem criogênica em moinhos especializados (NUNES, 2019).

Em consonância com Nunes (2019), consecutivamente ao processo de extração da borracha, ela pode ser incorporada através de dois processos: o úmido e o seco. No processo úmido, o cimento asfáltico de petróleo (CAP) é aquecido e infundido com a borracha finamente moída, dando origem a um ligante modificado. Normalmente, no processo úmido, o ligante constitui cerca de 15 a 20% da massa ou menos de 1,5% da massa total da mistura (BERNUCCI, et. al., 2008).

Em conformidade com Bernucci, et al. (2008), ao incorporar a borracha com o asfalto, forma-se um novo material compósito que pode ser usado em diversos serviços de pavimentação como concreto asfáltico (CA), Stone Matrix Asphalt ou Stone Mastic Asphalt (SMA), Camada Porosa de Atrito (CPA), tratamentos superficiais (TS), selagem de trincas e de juntas.

Em contrapartida, no processo a seco, tal como afirmado por Nunes (2019), os grânulos de borracha são adicionados aos agregados minerais que foram pré-aquecidos antes da adição do ligante asfáltico, resultando em um produto conhecido como agregado de borracha. A borracha, geralmente, equivale a 1 a 3% em peso de material sintético totalmente misturado.

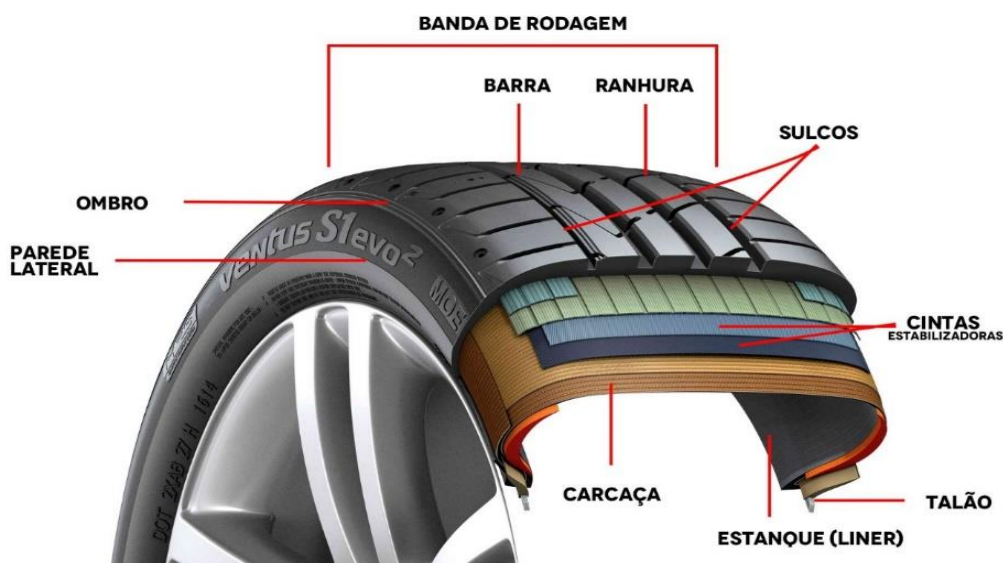
De acordo com o referido autor, embora o processo a seco seja visto como uma opção mais econômica do que o processo úmido, devido aos requisitos de temperatura mais baixos para a mistura, sua capacidade de melhorar o desempenho do pavimento ainda é um tópico de muito debate.

3.2 Resíduos utilizados na composição do asfalto borracha

A composição de um pneu depende do uso pretendido, com proporções variáveis de materiais utilizados de acordo. Por exemplo, em pneus destinados a veículos de passageiros que circulam principalmente em estradas pavimentadas, a borracha artificial é empregada com mais frequência do que a borracha natural. Por outro lado, em pneus projetados para caminhões de carga que percorrem vários tipos de estradas, a borracha natural é o principal material usado devido à sua maior durabilidade contra cortes e rasgos (ANIP, 2018).

De acordo com as observações de Kamimura (2002), a composição dos pneus para veículos pesados é de até 41% de borracha, independentemente de ser natural ou sintética. Entretanto, também possui outros materiais, como a estrutura em aço, náilon, fibra de aramida, Rayon, fibra de vidro, reforçadores químicos e produtos auxiliares em sua composição. Na figura 1 pode-se observar a estrutura de um pneu radial, do tipo utilizado em veículos de passeio.

Figura 1 – Estrutura de um Pneu



Fonte: **Blog Achei Pneus, 2021.**

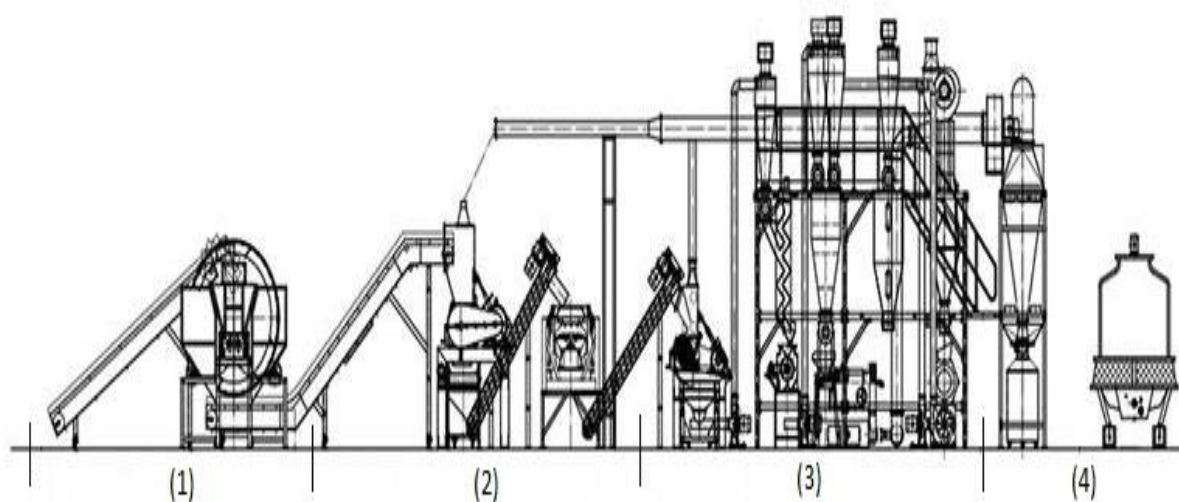
Consoante as afirmações de Kamimura (2002), um pneu se torna inservível quando a lona é rompida ou sofre danos irreversíveis. Nesse estágio, o pneu é considerado um resíduo que apresenta potenciais danos à saúde pública e ao meio ambiente, como afirmado por Silva (2015).

Segundo Mattioli (2019), aproximadamente um quinto dos resíduos do pneu pode ser utilizado como material componente no processo de recapeamento ou pavimentação de

estradas. Estima-se que sejam necessários 1.000 pneus para pavimentar um único quilômetro de estrada, embora esse número possa variar dependendo dos requisitos específicos da estrada, como espessura ou largura da camada de asfalto.

Para iniciar o processo de reciclagem dos pneus é necessário separar a borracha vulcanizada dos outros componentes (1). Em seguida, a borracha é moída e separada através de peneiras e bombas de alta pressão (2), logo após é desvulcanizada (3) - para que recupere até 75% das propriedades iniciais - e o pó de borracha, derivado desse processo, vai para um tanque de secagem (4). (FRAUCHES et al, 2013).

Figura 2 – Linha para reciclagem de pneus



Fonte: 3E Machinery, 2018.

3.3 Melhorias nas propriedades dos pavimentos com o uso do asfalto borracha

De acordo com Otto (2009), o comportamento mecânico dos pavimentos está relacionado de modo direto ao tipo de material adotado, às intempéries, às tensões resultantes da carga de roda e às solicitações do tráfego impostas sobre eles, como a passagem de veículos, que gera uma determinada carga sobre a estrutura e origina tensões que compromete a qualidade da vida e provém o desgaste dela, diminuindo sua vida útil.

Segundo o Highway Research Board (1955), algumas propriedades mecânicas principais são exigidas para garantir o bom desempenho de uma mistura asfáltica. Essas propriedades são:

- **Trabalhabilidade:** diz respeito à capacidade de misturar e espalhar adequadamente a massa asfáltica;
- **Durabilidade:** refere-se à resistência da mistura às condições do tráfego e às intempéries;

- **Flexibilidade:** relacionada à capacidade da mistura de resistir às repetidas flexões causadas pelo tráfego de veículos (fadiga);
- **Estabilidade:** é a propriedade da mistura asfáltica de resistir aos carregamentos provenientes do tráfego, evitando deformações permanentes;
- **Resistência por aderência superficial:** é a capacidade da mistura, obtida pela utilização adequada de agregados, de gerar um atrito superficial adequado para resistir ao deslizamento dos pneus.

Conforme constatado por Mello (2014), a ação das intempéries, sobre a estrutura, é perceptível em decorrência do eventual aumento da temperatura do revestimento da via e da infiltração de água nas camadas do pavimento, o que pode comprometer o funcionamento da estrutura.

Por sua vez, o autor também notou que as solicitações provenientes do tráfego submetem o revestimento da via aos esforços de flexão e tração nas fibras interna da camada, ocasionando a fadiga do pavimento, resultando em trincas e fissuras. Essa mesma camada também está sujeita, em sua superfície, a tensões tangenciais e esforços de compressão e cisalhamento.

Mediante o exposto, evidencia-se que ao contrastar os valores de resistência mecânica e o módulo de resiliência de um asfalto convencional e do asfalto borracha, Pinheiro (2004) observou uma diminuição no módulo de resiliência e, também, uma redução, em torno de 40%, na resistência a tração após a adição da borracha. Ademais, explicou que essa alteração se dá em razão da alta viscosidade da mistura e do teor do ligante, o que, por consequência, reduz o intertravamento entre os agregados e aumenta a flexibilidade da borracha.

Insta salientar que, à proporção que o asfalto borracha envelhece em pista, a resistência mecânica aumenta, bem como seu módulo de resistência, e sua flexibilidade sofre uma diminuição, e, de modo consequente, aumenta a vida útil do pavimento. (PINHEIRO, 2004).

Não obstante, Pilati (2008) analisou que os valores de estabilidade e fluência da mistura são induzidos pela distribuição granulométrica da borracha, onde quanto menor o tamanho das partículas, maior será o valor para a fluência. Destarte, quando o valor de fluência aumenta, percebe-se uma melhoria quanto à elasticidade da mistura asfáltica, diminuindo a possibilidade de desenvolvimento de trincas.

Outrossim, cabe relatar ainda que, em paralelo ao asfalto convencional, Oda, Nascimento e Edel (2005) constataram que o asfalto borracha manifesta valores melhores de atrito e drenabilidade superficial, assegurando boa visibilidade em dias de chuva, do mesmo

modo que proporciona a redução de aquaplanagem, resultando em um pavimento mais seguro e confortável. Além disso, foi notado a diminuição dos níveis de ruído do asfalto, ocasionando aperfeiçoamento no desempenho acústico das rodovias.

Por derradeiro, Neto et al. (2003) observou que, em misturas asfálticas com graduação densa de 18% de borracha, o desempenho do asfalto borracha, no que tange a resistência à fadiga e ao desenvolvimento de trincas, mostrou-se superior ao das misturas do asfalto convencional, em virtude da flexibilidade aumentada propiciado pela adição de borracha, do mesmo modo que viabiliza maiores valores de resistência às deformações permanentes ao asfalto borracha.

3.4 Variação da durabilidade do asfalto borracha

Os avanços tecnológicos estão direcionados para aprimorar a durabilidade e a relação entre custo e benefício das malhas rodoviárias, bem como para aperfeiçoar o conforto dos usuários. Nesse contexto, conforme apontado por Santos (2022), o uso do asfalto borracha é uma inovação promissora que tem demonstrado resultados favoráveis.

Os valores de viscosidade, ponto de amolecimento e recuperação elástica do asfalto borracha são consideravelmente maiores do que o asfalto convencional. Isso resulta em um pavimento mais resistente às intempéries e ao tráfego, o que, por sua vez, contribui para uma vida útil estendida (BONAFÉ, 2017). A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) informa que esta diferença pode chegar aos 40%, reduzindo a necessidade de reparações frequentes no pavimento e garantindo uma circulação veicular mais suave na estrada.

Em relação à durabilidade do asfalto convencional, uma estrada é projetada para resistir em torno de 15 anos, isto porque, de acordo com Nascimento et al. (2014), a durabilidade varia de acordo com as condições da estrada, somando-se fatores como a temperatura, clima e a intensidade do tráfego, onde uma rodovia de alto tráfego, com estrutura de pavimento robusta, o asfalto borracha pode durar cinco anos, e em uma de baixo tráfego, bem estruturada e com as mesmas condições climáticas pode durar de 25 a 30 anos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a crescente produção de pneus, conforme apresentado anteriormente, e os danos causados em decorrência disto, constatou-se que o asfalto borracha é uma alternativa

viável para produção de pavimentos, pois corresponde como uma opção ao descarte e à queima de pneus, podendo reduzir os impactos ambientais causados pelo despejo incorreto dos pneus inservíveis, além de apresentar melhoria na capacidade do pavimento de resistir ao desgaste e à fadiga causados pelo tráfego constante. Além disso, pode-se citar também o aumento da sua flexibilidade, tornando-o mais resistente a temperaturas extremas e a expansão e contração causadas por mudanças climáticas sazonais.

Do ponto de vista econômico, o custo inicial da produção pode ser ligeiramente superior ao do asfalto convencional devido ao processo de reciclagem e a necessidade de tecnologia especializada, dessa forma, a relação custo-benefício é notada a longo prazo, visto que os custos de conservação e manutenção são reduzidos em decorrência do aumento da durabilidade. Outrossim, a incorporação de borracha na mistura asfáltica contribui para a absorção de ruídos, tornando as estradas mais silenciosas, o que é favorável para as áreas urbanas e o bem-estar da comunidade.

Em contrapartida, não se deve considerar o asfalto borracha um produto ecológico, embora a borracha de pneus inservíveis possa ser utilizada como modificador do ligante, sua produção necessita de altas temperaturas (aproximadamente 240°C) para atingir a desvulcanização e a despolimerização. Este aumento da temperatura e do tempo de produção também provoca um aumento nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Pode-se acrescentar que, o asfalto aquecido gera vapores que podem representar risco à saúde dos trabalhadores em contato direto.

Portanto, a análise do conteúdo apresentado evidencia o potencial do asfalto borracha na pavimentação de vias. A mistura asfáltica, utilizando borracha de pneu como agregado, reúne condições técnicas capazes de melhorar consideravelmente a infraestrutura rodoviária. No entanto, é necessário continuar o estudo para compreender como o asfalto borracha se adapta a diferentes condições. Isso garantirá que o asfalto borracha possa desempenhar um papel ainda mais significativo na pavimentação de vias no futuro, contribuindo, portanto, para estradas mais duradouras, economicamente eficientes e ecologicamente sustentáveis.

5 REFERÊNCIAS

- ANIP: Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos.** 2018. Disponível em: <www.anip.org.br>. Acesso em: 25 abril 2023.
- BANDEIRA, R. A. F.; ARAUJO, A. S.; JUNIOR, A. M. S.; FILGUEIRA, F. O. **Revisão da literatura sobre a fabricação de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente).** Vetur, Rio Grande, v.29, n. 1-2, p. 34-51, 2019.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. - **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**, 3ª Edição PETROBRAS/ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.
- BERTOLLO, Sandra; FERNANDES JÚNIOR, José; SCHALCH, Valdir. **Benefícios da incorporação da borracha de pneus em pavimentos asfálticos.** In: Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental, n. 18, 2002, Cancún (México).
- BONAFÉ, Gabriel. **Asfalto-borracha garante vias mais seguras e duráveis.** 2017. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/asfalto-borracha-garante-vias-mais-seguras-e-.duraveis/15935>. Acesso em: 08 de setembro de 2023.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte - **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada.** 2018. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>>. Acesso em: 05 maio 2023.
- E. M. R., Lino; J. P. O., Moura; M. A., Carvalho. **Reutilização da borracha de pneus descartados para uma melhor resistência e vida útil do asfalto**, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 14p., 2022.
- FAGUNDES, Fernando Dantas; CORREA, Willian; **Uso da Borracha de Pneus na Pavimentação como Alternativa Ecologicamente Viável no Estado de Minas Gerais.** Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2020; 745-768
- FRAUCHES, Cristiane; DE SÁ, Fábio; LIMA, Nathália; SILVA, Marcelo. **Viabilidade técnica, econômica e ambiental do asfalto borracha.** In: International Pontifícia Universidade Católica de Goiás Curso de Engenharia Civil 2022/2 13 Conference on Engineering and Computer Education, v. 8, 2013, Luanda (Angola).
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: ATLAS, 2002.
- Highway Research Board. Bulletin 105: **Bituminous-Paving Mixtures: Fundamentals for design.** Washington, D.C. 1955. 45 pp.
- KAMIMURA, Eliane. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (SC), 2002.
- MATTIOLI, Leonardo Miranda Laborne et al. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos – PGIRPN.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente : Fundação Israel Pinheiro, 2019.

MELLO, Marco Saulo. Avaliação das Propriedades Reológica e Mecânica de Ligantes e Misturas Asfálticas Irradiadas. Tese (Doutorado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Nuclear. 2014.

MELLONE, G; SANTOS, M.R.; SHIBAO, Y. F. **Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis.** Revista Eletrônica Festão e Serviços v3, n2/v4, n.1, pp. 489-508, Jan/jun. 2013.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; o, L. L.; MORABITO, R. MARTINS, R. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

NASCIMENTO, Rogéria Mendes do; SILVA, Adeilton Feitosa da; SILVA, Fábio Júlio Melo da; REIS, Maria Mirelle Cassimiro dos; BORGES, Priscilla dos Santos. **Potencial cívico e econômico do asfalto borracha: a relação das empresas asfálticas com a tecnologia e sustentabilidade ambiental;** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, campus Recife – PE Revista Caravana; 2014

NETO, Silvrano Adonias Dantas; FARIAS, Márcio Muniz de; PAIS, Jorge C.; SOUSA, Jorge B.; **Propriedades mecânicas de misturas betuminosas confeccionadas com asfalto borracha.** 34ª Reunião anual de Pavimentação, Campinas, SP, Brasil; 2003

NUNES, Camila Gonçalves Luz. **Estudo do comportamento de misturas asfálticas modificadas por borracha de pneus inservíveis,** [S. l.], p. 108, 2019.

ODA, Sandra, NASCIMENTO; Luis Alberto Herrmann do; EDEL, Guilherme; **Aplicação de asfalto borracha na Bahia;** 3º Congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás; Salvador, 2005.

OTTO, Gustavo Garcia. Misturas Asfálticas Mornas – **Verificação da Fadiga e do Módulo Complexo.** 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PILATI, Fernanda; **Análise dos efeitos da borracha moída de pneu e do resíduo de óleo de xisto sobre algumas propriedades mecânicas de misturas asfálticas densas;** São Carlos, 2008.

PINHEIRO, Jorge Henrique Magalhães; **Incorporação de Borracha de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias (Processos Úmido e Seco);** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 166fl; 2004

RODRIGUES, Barbara Sarabia; PAES, Henrique Viaro; Silva, Eric Ribeiro da. **Análise do asfalto borracha na pavimentação no Brasil:** uma revisão de literatura. 19p., 2021.

SANTOS, Wallace Ribeiro dos. **Análise de viabilidade do asfalto borracha para pavimentos flexíveis.** Universidade São Judas Tadeu São Paulo, 2022.

SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE E SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE (SEST SENAT). **Campanha nacional do SEST SENAT faz alerta sobre a importância da reutilização e reciclagem do material.** Disponível em:

<<https://www.sestsenat.org.br/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em: 05 maio 2023.

TEIXEIRA, Luan Honório Brasil; ARAUJO, Otavio Correia Campos. **Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional**, TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis-GO, 46p., 2018.

Você conhece as partes do pneu do seu carro? Aprenda agora mesmo. Blog Achei Pneus, 2020. Disponível em: <https://www.blog.acheipneus.com.br/post/partes-do-pneu-e-funcoes>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

Linha para reciclagem de Pneus. 3E Machinery, 2018. Disponível em: <http://3e-machine.com.br/2018/1-tire-recycling-line.html>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.