



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

ASFALTO COM PLÁSTICO: UMA INICIATIVA PIONEIRA NO BRASIL NO CONTEXTO MUNDIAL

Assis Rodrigues Abbud Villela¹; Emerson Rodrigues Maciel²; Driely Mariane Lancarovici Alves³; Pedro Francisco Hernani Santiago Henriques⁴; Robinson Alexandre de Avila⁵ & Larissa Montagner de Barros⁶

RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental tem impulsionado a busca por soluções inovadoras para reduzir o impacto negativo dos resíduos plásticos no meio ambiente, a fim de mitigar o problema da disposição inadequada desses materiais. Esse conceito ganhou destaque em 2022 com a execução bem-sucedida do Trecho Experimental em Asfalto com Plástico, sendo a primeira experiência executada no Brasil. Tal tecnologia demonstra sua viabilidade técnica e o seu potencial para transformar resíduos plásticos em recursos valiosos na execução de pavimentação asfáltica. Este artigo apresenta uma análise sobre o Asfalto com Plástico, explorando desde os tipos de plásticos utilizados até as experiências internacionais e a aplicação prática dessa tecnologia pioneira no contexto brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Asfalto; Plástico; Logística Reversa; Economia Circular.

ABSTRACT

The growing concern for environmental sustainability has been driving the search for innovative solutions to reduce the negative impact of plastic waste on the environment in order to mitigate the problem of improper disposal of these materials. This concept gained prominence in 2022 with the successful execution of the Experimental Section in Plastic Asphalt, marking the first experience carried out in Brazil. Such technology demonstrates its technical feasibility and its potential to transform plastic waste into valuable resources in asphalt pavement construction. This article presents an analysis of plastic asphalt, exploring the types of plastics used, international experiences, and the practical application of this pioneering technology in the Brazilian context.

KEY WORDS: Asphalt; Plastic; Reverse Logistic; Circular Economy.

¹ Eixo-SP Concessionária de Rodovias,
² Stratura Asfaltos, Paulínia-SP, Brasil,
³ Eixo-SP Concessionária de Rodovias,
⁴ Eixo-SP Concessionária de Rodovias,
⁵ Eixo-SP Concessionária de Rodovias,
⁶ Stratura Asfaltos, Paulínia-SP, Brasil,

assis.villela@eixosp.com.br
emerson.maciel@stratura.com.br
driely.alves@eixosp.com.br
pedro.henriques@eixosp.com.br
robinson.avila@eixosp.com.br
larissa.montagner@stratura.com.br



INTRODUÇÃO

Este artigo se destaca por apresentar uma tecnologia inovadora dentro do contexto brasileiro, em comparação com iniciativas similares em âmbito internacional e por demonstrar seu compromisso com as diretrizes ESG (Ambiental, Social e de Governança), atendendo às exigências técnicas e gerando impactos positivos no meio ambiente e, conseqüentemente, na sociedade.

Segundo WIT, W. et al (2019), o Brasil é o quarto maior produtor de lixo no mundo, gerando anualmente 11.355.220 toneladas, das quais apenas 1,28% são reciclados. Essa situação coloca o País atrás somente dos Estados Unidos, China e Índia em termos de geração de resíduos. Contudo, uma abordagem inovadora, sustentável e pioneira no Brasil está se mostrando promissora na busca por soluções para esse desafio: a adoção de asfalto com plástico reciclado pós-consumo (PCR) na pavimentação asfáltica de rodovias.

A avaliação abrangente das emissões oriundas do processo de logística reversa do plástico reciclado pós-consumo (PCR) é crucial para entender o impacto ambiental total da adoção do asfalto com plástico. Estimativas das emissões devido ao transporte e manuseio do plástico PCR podem ser encontradas em estudos como o de TURNER et al. (2015), que quantificou o consumo médio de combustível por quilômetro para veículos de transporte de resíduos plásticos. Adicionalmente, o tratamento do plástico PCR envolve várias etapas, incluindo a limpeza, que pode utilizar água quente e produtos químicos diversos. Uma estimativa das emissões associadas a esses processos pode ser obtida em pesquisas como a de MARTÍN-LARA et al. (2022), que analisou os impactos ambientais associados ao consumo de eletricidade e aos produtos químicos utilizados na limpeza. As emissões decorrentes do corte e peletização do plástico PCR podem ser quantificadas com base em estudos como o da APR (2018), que, na fase de Avaliação de Ciclo de Vida (LCA), identificou e classificou as emissões dos processos de corte e peletização, fornecendo dados sobre o consumo de energia e as emissões associadas à conversão do material cortado em flocos limpos e em *pellets*. Além disso, outros aspectos devem ser considerados, como a incompatibilidade entre os plásticos reciclados e o ligante asfáltico, que pode levar à separação de fases. Essa situação exige a incorporação de compatibilizadores ou estabilizadores para melhorar a integração do plástico PCR ao asfalto. No entanto, é importante avaliar as emissões associadas a esses materiais para garantir que a utilização de polímeros compatibilizadores não aumente o impacto ambiental das misturas asfálticas (NCAT et al., 2021).

De acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), a malha rodoviária pavimentada do Brasil abrange uma extensão total de 213.500 quilômetros, correspondendo a aproximadamente 443.836,60 quilômetros de faixas pavimentadas. A implementação generalizada de polímeros reciclados pós-consumo em todas as rodovias pavimentadas do País ofereceria uma solução ecologicamente sustentável. Ao adotar essa inovação, mais de 80 bilhões de unidades de embalagens plásticas de alimentos seriam reaproveitadas.

Para a realização do Trecho Experimental no Brasil, foram necessárias aproximadamente 30 toneladas de asfalto com plástico reciclado, o que resultou na utilização de 450 kg de plástico reciclado. Essa quantidade de plástico corresponde a 200 mil unidades de embalagens plásticas de alimentos, representando uma significativa redução nos impactos ambientais. Essa abordagem sustentável resultou na



diminuição de 900 kg de gases de efeito estufa, economizou 450 litros de petróleo, conservou 1.360 kW de energia elétrica e preservou 3.550 litros de água que, de outra forma, seriam utilizados no processo de produção de plástico virgem.

Em um cenário mais amplo, caso a tecnologia de Asfalto com Plástico fosse adotada nos 443.836,60 km de faixas pavimentadas no Brasil, haveria um potencial de redução de 13,32 mil toneladas de gases de efeito estufa, economia de 6,66 milhões de litros de petróleo, conservação de 20.064,73 MW de energia elétrica e preservação de 52,12 milhões de litros de água, que, de outra forma, seriam utilizados no processo de produção de plástico virgem.

Este artigo propõe uma iniciativa tecnológica em direção a um futuro mais sustentável e ambientalmente consciente, contribuindo para a adoção de soluções inovadoras e eficazes no enfrentamento da poluição plástica.

PLÁSTICOS

Os plásticos até o momento desempenham o papel de substituir outros materiais tradicionais (como: alumínio, gesso, madeira etc.) que se tornaram mais caros e ofereceram o desenvolvimento em diversas indústrias.

A história dos plásticos remonta a 1835, quando o monômero de cloreto de vinil foi apresentado por REGNAULT (MILAGRES, 2004).

A partir desse momento, a pesquisa sobre plásticos se expandiu, resultando em uma variedade de resinas termoplásticas, cada uma com estrutura química, processos de polimerização e catalisadores distintos.

Tipos de Plásticos

Os diferentes plásticos são divididos nos tipos a seguir descritos:

- **Poliétileno Tereftalato (PET):** O PET é um plástico amplamente utilizado, especialmente em garrafas de refrigerante e garrafas de água. Ele é conhecido por sua transparência, durabilidade e capacidade de ser reciclado. Além das embalagens, o PET também é usado em fibras têxteis, como o poliéster.
- **Poliétileno de Alta Densidade (PEAD):** O PEAD possui uma estrutura molecular de alta densidade e, portanto, é rígido. Ele é comumente utilizado em recipientes rígidos, como garrafas de produtos de limpeza, brinquedos, tubos de água, tanques de combustível, entre outros. Sua resistência e durabilidade o tornam adequado para aplicações onde é necessária uma maior rigidez e resistência à tração.
- **Policloreto de Vinila (PVC):** O policloreto de vinila é um plástico amplamente utilizado que é conhecido por sua durabilidade e resistência à corrosão. É comumente usado em tubos e conexões para sistemas de água e esgoto, revestimentos de fios elétricos, materiais de construção, como tubos de PVC e perfis, além de uma variedade de produtos de consumo, como sapatos, roupas e bolsas.



- **Poliétileno de Baixa Densidade (PEBD):** O polietileno é um dos plásticos mais comuns, e o polietileno de baixa densidade é uma de suas variações. É conhecido por sua flexibilidade e é frequentemente usado em sacolas plásticas, filmes de embalagem, revestimentos de cabos, entre outros. Sua baixa densidade resulta em uma estrutura mais flexível e menos rígida.
- **Polipropileno (PP):** O polipropileno é um plástico que é conhecido pela sua versatilidade e resistência. Ele é frequentemente usado em embalagens, recipientes, utensílios de cozinha, fibras têxteis, peças automotivas, entre outros. O PP é caracterizado por sua capacidade de suportar altas temperaturas e é resistente a produtos químicos.
- **Poliestireno (PS):** O poliestireno é outro plástico usado em uma variedade de aplicações. Ele pode ser encontrado em formas rígidas (como o poliestireno de alto impacto, HIPS) ou em formas expandidas, como o isopor. O PS é usado em copos descartáveis, caixas, embalagens de proteção, brinquedos entre outros produtos.

A Figura 1 a seguir apresenta o símbolo adotado para cada tipo de plástico existente.



Figura 1 – Símbolo adotado para cada tipo de plástico existente

RECICLAGEM DO PLÁSTICO

A reciclagem de plásticos é uma necessidade global onde o acúmulo de lixo e a escassez de recursos naturais impactam toda a sociedade.

A eficiência dessa prática não depende apenas da adequada coleta e seleção de resíduos, mas também da adoção de tecnologias que propiciem o uso de materiais do tipo PIR (Material Pós-Industrial), PCR (Reciclado Pós-Consumo) e o PCR- I (Reciclado Pós-Consumo Industrial).

Para a compreensão desses conceitos, o PIR se refere ao reaproveitamento de resíduos plásticos gerados durante o processo industrial, sem chegar, portanto, a ser consumido. Isso envolve transformar esses resíduos em produtos com desempenho análogo ao das resinas virgens, reduzindo, assim, o desperdício e a necessidade de matéria-prima virgem.



O PCR diz respeito à reciclagem de plásticos provenientes do pós-consumo. Neste caso, esses materiais são descartados após o uso doméstico pelos consumidores e passam por processos de triagens e descontaminações.

Neste caso, os plásticos provenientes do pós-consumo podem ser designados como PCR-I, ou seja, aqueles resultantes do seu pós-consumo diretamente das indústrias, com um descarte adequado, não havendo necessidades de triagens ou descontaminações.

A inclusão dos plásticos do tipo PCR e PCR-I na reciclagem desempenha um papel crucial na redução do lixo e na promoção de uma economia circular e sustentável.

Existem três tipos principais de tecnologias de reciclagem de plásticos. A saber:

- A Reciclagem Primária (ou Pré-Consumo), que inclui materiais PIR, converte resíduos plásticos industriais em produtos com desempenho equivalente ao das resinas virgens. A Figura 2 ilustra o PIR (Material Pós-Industrial).



Figura 2 – PIR material Pós-Industrial

- A Reciclagem Secundária (ou Pós-Consumo) lida com plásticos descartados, exigindo uma separação adequada de outros materiais e pode incluir materiais do tipo PCR e PCR-I. As Figuras 3 e 4 exemplificam estes tipos de materiais, respectivamente.



Figura 3 – PIR material Pós-Industrial



Figura 4 – PCR-I material Pós-Consumo Industrial

- A Reciclagem Terciária converte resíduos plásticos em produtos químicos e combustíveis, embora ainda não seja amplamente utilizada devido aos custos envolvidos.

A seguir, apresenta-se a Figura 5 (abrangendo as etapas de “a” até “f”) que ilustra a sequência da produção dos grãos de plásticos reciclados (*pellets*) a partir da utilização de material Pós-Consumo de uso doméstico, na mistura asfáltica com plástico.



a) Resíduo heterogêneo em aterro sanitário



b) Triagem de resíduo



c) Armazenagem de plástico



d) Lavagem e picotamento de plástico



e) Extrusão da massa plástica



f) Formação dos grãos de plástico (*pellets*)

Figura 5 – Sequência da produção dos grãos de plásticos reciclados (*pellets*)



LOGÍSTICA REVERSA E ECONOMIA CIRCULAR

Logística Reversa

Na década de 80, a Logística Reversa se limitava ao transporte de bens entre consumidor e produtor em um canal de distribuição, representando essencialmente a inversão do fluxo primário que se deu do produtor para o consumidor.

No entanto, à medida que o conceito de Logística Reversa evoluiu ao longo do tempo, surgiram novas perspectivas e dimensões. Nos anos 90, foram introduzidas novas variáveis ao conceito, expandindo-o para além da simples devolução de produtos. Isso incluiu, entre diversas variáveis, a gestão do descarte de resíduos, a reutilização de materiais e o processo de reciclagem. A reintegração desses produtos pós-consumo no ciclo de produção passou a ser um fator agregador de valor.

Economia Circular

Ao longo da história, em especial a partir da Revolução Industrial, o processo produtivo foi predominantemente guiado pela lógica linear “extrair - produzir - utilizar - descartar”. Esse modelo linear de negócio realizado em diversas consequências indesejadas, incluindo o alto custo social do descarte de materiais e perda de energia, exploração insustentável de recursos naturais, poluição de ecossistemas e impactos climáticos globais (BERNDTSSON, 2015; PEREIRA et al., 2017).

A Economia Circular representa uma transformação de modelo, afastando-se daquele linear tradicional, que prioriza metas econômicas em detrimento das preocupações ambientais e sociais (SAUVÉ et al., 2016). Por sua vez, a abordagem circular alinha-se com o conceito de desenvolvimento sustentável, buscando maximizar os benefícios econômicos e sociais com o mínimo consumo de recursos e impacto ambiental (YING; LI-JUN, 2012).

Nesse sentido, a Logística Reversa se refere às práticas voltadas para o retorno dos materiais já utilizados ao ciclo produtivo, enquanto a Economia Circular é um modelo de economia que se contrapõe ao modelo linear (GOMES, 2021).

EXPERIÊNCIAS NA EXECUÇÃO DE ASFALTO COM PLÁSTICO

A utilização de resíduos de plástico na construção de rodovias é uma ideia relativamente nova e ainda não foram construídas estradas inteiramente a partir de plásticos. Entretanto, HUANG et al. (2007) sugeriram que os plásticos reciclados podem substituir agregados (via seca) ou servir como modificador de ligante (via úmida).

Estudos de desempenho laboratorial e de campo relatam que o uso de resíduos plásticos em misturas betuminosas aumenta a durabilidade e resulta em maior resistência à deformação e dano por umidade induzida e contribui para uma vida útil mais longa (BALE, 2011; BEHL et al., 2012; BHOOT et al., 2012; SOJOBI et al., 2016; KHURSHEED e SINGH, 2017; MANJU et al., 2017).



Alguns países que têm avançado no uso do Asfalto com Plástico reciclado. Resumidamente, o uso de resíduos plásticos na execução de rodovias realizados nos principais países encontra-se a seguir descrito.

EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Índia

O sul da Ásia por ser a região líder mundial em despejo a céu aberto de resíduos, com 334 milhões de toneladas por ano, das quais 40 milhões são de plástico.

Desde 2002, a Índia construiu mais de 2.500 km de estradas com esta tecnologia que tiveram bom desempenho funcional e estrutural por mais de 10 anos. (VASUDEVAN et al., 2010; GOVERNMENT Of INDIA, 2015; NATIONAL RURAL ROADS DEVELOPMENT AGENCY, 2019; PATIL et al. 2023).

Reino Unido

O asfalto com resíduos plásticos reciclados foi executado em Durham em um trecho da rodovia A689, nas proximidades de SEDGEFIELD e na pista de pouso e decolagem e também de taxiamento do Aeroporto de Carlisle (WHITE e REID, 2017; WHITE e REID, 2018; WHITE, 2019).

Estados Unidos e Austrália

A mesma tecnologia adotada no Reino Unido, foi adotada em rodovias no Estados Unidos e na Austrália (UCSD GUARDIAN, 2018).

Holanda

Na Holanda, a tecnologia desenvolvida foi para blocos pré-fabricados, modulares e ocas fabricados em o plástico reciclado e implantada em ciclovias nos municípios de Zwolle e de Steenwijkerland, na Holanda. Atualmente, esta tecnologia está sendo aprimorada para o para sua aplicação em rodovias (PLASTICROAD, 2019).

Experiencia Nacional

O Trecho Experimental de Asfalto com Plástico, localizado na rodovia Washington Luís (SP-310) no município de Rio Claro, constitui uma iniciativa inovadora para abordar os desafios ambientais e de pavimentação rodoviária. Este projeto pioneiro, realizado em agosto de 2022, utilizou uma mistura de ligante asfáltico (CAP 30/45) modificado com plásticos reciclados pós-consumo (PCR).

Os materiais foram processados em uma usina volumétrica, utilizando secagem por contrafluxo e um misturador do tipo *pug-mill*. O controle tecnológico garantiu a conformidade dos ligantes com as especificações necessárias para garantir durabilidade e resistência. A mistura asfáltica resultante apresentou uma distribuição granulométrica contínua e foi projetada para atender aos parâmetros volumétricos pré-definidos.



A execução do Trecho Experimental envolveu a fresagem das camadas asfálticas existentes, seguida pela aplicação da nova mistura de Asfalto com Plástico. O desempenho estrutural foi avaliado por meio de levantamentos deflectométricos, que demonstraram deflexões abaixo dos limites admissíveis. Além disso, a superfície do pavimento apresentou uma melhoria significativa, com a eliminação de defeitos observados no pavimento primitivo (anterior à execução do Asfalto com Plástico).

Outras análises, incluindo a avaliação do Índice de Gravidade Global (IGG) e a medição da irregularidade da superfície, confirmaram os benefícios do Asfalto com Plástico em termos de durabilidade e conforto para os usuários da rodovia. Os resultados destacam a viabilidade técnica dessa tecnologia pioneira no Brasil e seu potencial para promover uma infraestrutura rodoviária mais sustentável e de alto desempenho.

A inovação do Asfalto com Plástico e o seu pioneirismo no Brasil oferece uma alternativa eficaz para reduzir a poluição plástica, promover a economia circular e criar oportunidades de emprego e renda. Além disso, demonstra o compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental, alinhando-se com os princípios de governança socioambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destaca o papel crucial e inovador do Asfalto com Plástico na busca por soluções sustentáveis para a pavimentação de rodovias, tanto no contexto brasileiro, quanto no cenário mundial. A crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental e a urgente necessidade de reduzir o impacto negativo dos resíduos plásticos no meio ambiente têm impulsionado a adoção de tecnologias inovadoras, como o Asfalto com Plástico, como uma alternativa viável e eficaz.

A análise das experiências internacionais revela que o uso de resíduos plásticos na execução de pavimentos asfálticos tem sido implementado com sucesso em diversos países, incluindo Índia, Reino Unido, Estados Unidos, Austrália e Holanda. Essas experiências demonstram os benefícios técnico-econômicos e ambientais dessa tecnologia, incluindo maior durabilidade, desempenho e redução da poluição plástica.

No contexto nacional, o Trecho Experimental de Asfalto com Plástico realizado na rodovia Washington Luís (SP-310) representa um marco significativo na adoção dessa tecnologia pioneira no Brasil. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do Asfalto com Plástico e seu potencial para promover uma infraestrutura rodoviária nacional mais sustentável e de alto desempenho.

Ao utilizar uma mistura de ligante asfáltico com plásticos reciclados pós-consumo (PCR), o Trecho Experimental alcançou resultados promissores em termos de durabilidade, resistência e conforto para os usuários da rodovia. Além disso, a eliminação de defeitos observados no pavimento primitivo e a melhoria significativa na superfície do pavimento destacam os benefícios do Asfalto com Plástico.

A iniciativa pioneira do Brasil no desenvolvimento e execução do Asfalto com Plástico reflete o compromisso com a sustentabilidade ambiental, a economia circular e a responsabilidade socioambiental. Ao adotar essa tecnologia inovadora, o Brasil se insere no âmbito das iniciativas globais de Asfalto com



Plástico, contribuindo para a redução da poluição plástica e a promoção de uma economia mais sustentável e consciente.

Nesse sentido, o Asfalto com Plástico representa uma solução promissora e eficaz para os desafios ambientais e de pavimentação rodoviária enfrentados pelo Brasil e pelo mundo. Com base nas experiências internacionais e nos resultados do Trecho Experimental no Brasil, é evidente que essa tecnologia possui um potencial significativo para transformar resíduos plásticos em recursos valiosos e promover uma infraestrutura rodoviária mais sustentável e resiliente.

A iniciativa pioneira do Brasil no desenvolvimento e execução do Asfalto com Plástico reflete um compromisso com a sustentabilidade ambiental, a economia circular e a responsabilidade socioambiental. Ao adotar essa tecnologia inovadora, o Brasil se insere no âmbito das iniciativas globais de Asfalto com Plástico, contribuindo para a redução da poluição plástica e a promoção de uma economia mais sustentável e consciente.

Nesse sentido, a integração do Asfalto com Plástico na infraestrutura rodoviária representa um passo significativo na direção de abordar os desafios ambientais e da pavimentação rodoviária no cenário nacional e internacional. Esta abordagem beneficia a Logística Reversa, ao incentivar a coleta seletiva e a participação de cooperativas de reciclagem, e ainda contribui para a Economia Circular, ao reduzir a poluição ambiental e a quantidade de resíduos plásticos.

Ao reintegrar materiais descartados na cadeia produtiva, o Asfalto com Plástico promove a otimização dos recursos, transformando resíduos plásticos em valiosos componentes para a execução de pavimentos asfálticos sustentáveis e resilientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APR. The Association of Plastic Recyclers. Life Cycle Impacts for Post-Consumer Recycled Resins: PET, HDPE, and PP, 49pp. 2018.

BALE, A.S. Potential reuse of plastic waste in road construction: a review. International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET) 2: 233-236. 2011.

BEHL, A., JAIN, P.; SHARMA G. Study on waste polyvinyl chloride modified bitumen for paving applications. ARRB Conference, 25th, 2012, Perth, Western Australia, Australia. 2012.

BERNDTSSON, M. Circular Economy and Sustainable Development. 2015. Master thesis in Sustainable Development. Department of Earth Sciences.

BHOOT, K.; MALVIYA K.; PRAJAPAT T.K.. Potential reuse of plastic waste in road construction: A review. International Journal of Scientific Research in Engineering 1(9): 1-5. 2012.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Anuário CNT do Transporte. 2021. Disponível em:



<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf>. Acesso em 23 de julho de 2022.

GOMES, R. R. Relação entre Economia Circular e Logística Reversa: uma Revisão Sistemática. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Faculdade de Administração. Universidade Federal de Santa Catarina. 27 p. 2021.

Government of India. Use of plastic waste in bituminous mixes in construction of National Highways. M.o.R.T. Highway, Ministry of Road Transport & Highway. 2015.

HUANG, Y.; BIRD, R.N.; HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling* 52(1): 58-73. 2007.

KHURSHEED, T.; SINGH, B.K. Road construction from solid waste in Jaipur. *International Journal For Technological Research In Engineering*: 1711-1714. 2017.

MANJU, R.; SATHYA S.; SHEEMA K. Use of plastic waste in bituminous pavement. *Int J ChemTech Res* 10(08): 804-811. 2017.

MARTÍN-LARA M., MORENO J., GARCIA-GARCIA G., ARJANDAS S., CALERO M. Life cycle assessment of mechanical recycling of post-consumer polyethylene flexible films based on a real case in Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2022.

MILAGRES, E. G. Compósitos de Partícula de Madeira de Eucaliptus Grandis, Polipropileno. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal / Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, 73p.

NATIONAL RURAL ROADS DEVELOPMENT AGENCY. Guidelines for the use of Plastic Waste in Rural Roads Construction, Ministry of Rural Development, Government of India. 2019.

NCAT, WRI; GHK; Dow Chemical. Performance Properties of Laboratory Produced Recycled Plastic Modified (RPM) Asphalt Binders and Mixtures, NCHRP Project 9-66 Interim Report, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board, Washington, D.C., 244pp. 2021.

PATIL, P.; STANKEVICH, N.; TSYDENOVA, N.; DIANA, Z. 'Plastic roads' made from waste: A path worth paving for South Asia? 2023. Disponível em: <<https://blogs.worldbank.org/endpovertyinsouthasia/plastic-roads-made-waste-path-worth-paving-south-asia>> Acessado em: 27 de outubro de 2023.

PEREIRA, F. S.; MONCUNILL, M. F.; MONTEIRO, S. A. T. Projetos alinhados com os preceitos da Economia Circular. Economia Circular Holanda Brasil - Da Teoria a Prática. Consulado Geral dos Países baixos no Rio de Janeiro. 2017.



PLASTICROAD. Uma Revolução na Construção de Estradas. 2019. Disponível em: <<https://www.plasticroad.eu/en/>> Acessado em: 27 de outubro de 2023.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, v. 17, p. 48–56, 2016.

SOJOBI, A.O.; NWOBODO S.E.; ALADEGBOYE O.J. Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete. 2016.

TURNER, D. A.; WILLIAMS, I. D.; KEMP, S. "Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials." *Resources, Conservation and Recycling*. 2015.

UCSD Guardian. First Road in U.S. Made With Recycled Plastic Paved on Campus. 2018. Disponível em: <<http://ucsdguardian.org/2018/11/04/first-road-u-s-maderecycled-plastic-paved-campus/>> Acessado em: 27 de outubro de 2023.

VASUDEVAN, R.N.S.K.; VELKENEDY, R.; SEKAR, A.R.C.; SUNDARAKANNAN, B. Utilization of waste polymers for flexible pavement and easy disposal of waste polymers. *International Journal of Pavement Research and Technology*: 34-42. 2010.

WHITE, G.; REID, G. Recycled waste plastic for extending and modifying asphalt binders. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324908837_RECYCLED_WASTE_PLASTIC_FOR_EXTENDING_AND_MODIFYING ASPHALT_BINDERS>. Acessado em: 27 de outubro de 2023.

WHITE, G.; REID, G. Recycled waste plastic for extending and modifying asphalt binders. *Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF)*, 8th, 2018, Brisbane, Queensland, Australia. 2018.

WHITE, G. Evaluating recycled waste plastic modification and extension of bituminous binder for asphalt. *Eighteenth Annual International Conference on Pavement Engineering, Asphalt Technology and Infrastructure*, Liverpool, England, United Kingdom. 2019.

WIT, W. et al. *Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização*. Gland: WWF, 2019. 50p.

YING, J.; LI-JUN, Z. Study on Green Supply Chain Management Based on Circular Economy 2012. *Physics Procedia* 25, 1682 – 1688