



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

AIRTON MAURO NINA DA COSTA JUNIOR

LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS EM CONDIÇÕES AMAZÔNICAS: Aná-
lise Normativa e Econômica da BR-156/AP

MACAPÁ
2026

AIRTON MAURO NINA DA COSTA JUNIOR

LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS EM CONDIÇÕES AMAZÔNICAS: Análise Normativa e Econômica da BR-156/AP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de grau em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira

MACAPÁ

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Aline Farias Bandeira Couto – CRB-2 1700/O

C838I Costa Júnior, Airton Mauro Nina da.

Ligantes asfálticos modificados em condições amazônicas: análise normativa e econômica da BR-156/AP / Airton Mauro Nina da Costa Junior. - Macapá-AP, 2026.

1 recurso eletrônico.

74 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2026.

Orientador: Adenilson Costa de Oliveira.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Engenharia Civil - Rodovias. 2. Pavimentos de Asfalto. 3. Rodovia federal - BR-156 (AP).

I. Oliveira, Adenilson Costa de, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 625.7

COSTA JÚNIOR, Airton Mauro Nina da. **Ligantes asfálticos modificados em condições amazônicas: análise normativa e econômica da BR-156/A**. Orientador: Adenilson Costa de Oliveira. 2026. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, 2026.

AIRTON MAURO NINA DA COSTA JUNIOR

LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS EM CONDIÇÕES AMAZÔNICAS: Análise Normativa e Econômica da BR-156/AP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de grau em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

Aprovada em 09/02/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira - Orientador – UNIFAP

Prof. Me. Luis Henrique Rambo – Examinador interno – UNIFAP

Prof. Dr. Jamil José Salim Neto – Examinador interno – UNIFAP

Gean Carlos Sobrinho Gomes – Examinador Externo – Eng. Civil - DNIT

Dedico esta monografia a meus pais, pelo exemplo passado e dedicação a minha educação e formação. Agradeço também a meus professores, essenciais para meu acúmulo de conhecimento durante minha jornada no curso de engenharia civil na Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

RESUMO

A pavimentação asfáltica é de fundamental importância para a mobilidade e desenvolvimento socioeconômico, contudo, a busca por materiais sustentáveis e de maior desempenho tem impulsionado a adoção de novas tecnologias, assim, esta pesquisa tem como objetivo analisar o uso de aditivos no ligante asfáltico, visando aumentar a durabilidade, resistência e reduzir impactos ambientais, bem como avaliar seus reflexos nos custos de manutenção dos trechos analisados. A pesquisa se desenvolveu meio de uma abordagem qualiquantitativa, estruturada para proporcionar uma análise aprofundada dos materiais, tecnologias e normas aplicáveis à pavimentação asfáltica em regiões de clima tropical úmido. Como conclusões, destaca-se o uso de polímeros como o SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), que proporciona melhorias na flexibilidade e resistência a deformações permanentes. Foram discutidas práticas adotadas em projetos recentes de pavimentação e os desafios geotécnicos encontrados na BR-156/AP, localizada no estado do Amapá. A análise aponta que a incorporação de modificadores no ligante pode representar um avanço para a pavimentação sustentável, especialmente em regiões com condições climáticas e geotécnicas adversas, com potencial impacto positivo na redução de custos ao longo do ciclo de vida do pavimento.

Palavras-chave: Pavimentação. Sustentabilidade. Ligante asfáltico. Polímeros. BR-156/AP.

ABSTRACT

Asphalt paving is of fundamental importance for mobility and socioeconomic development. However, the search for sustainable and higher-performance materials has driven the adoption of new technologies. Thus, this research aims to analyze the use of additives in asphalt binders, with a view to increasing durability and resistance and reducing environmental impacts, as well as assessing their impact on the maintenance costs of the sections analyzed. The research was developed using a qualitative-quantitative approach, structured to provide an in-depth analysis of the materials, technologies, and standards applicable to asphalt paving in regions with a humid tropical climate. The conclusions highlight the use of polymers such as SBS (Styrene-Butadiene-Styrene), which improves flexibility and resistance to permanent deformation. The practices adopted in recent paving projects and the geotechnical challenges encountered on the BR-156/AP highway, located in the state of Amapá, were discussed. The analysis indicates that the incorporation of modifiers in the binder may represent an advance for sustainable paving, especially in regions with adverse climatic and geotechnical conditions, with a potential positive impact on cost reduction throughout the pavement life cycle.

Keywords: Asphalt Paving. Sustainability. Asphalt Binder. Polymers. BR-156/AP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abertura manual da BR-156 na década de 1940	11
Figura 2 - A estrada avança para Oiapoque-AP (1951)	12
Figura 3 - Trabalhadores nas primeiras frentes de obra da BR-156	12
Figura 4 - Registros de crianças indígenas nos perímetros de abertura da rodovia .	13
Figura 5 - Operação de motoniveladora em trecho inicial da BR-156	14
Figura 6 - Trecho da BR-156 em área de cortes de taludes	15
Figura 7 - Manutenção de trecho não pavimentado na BR-156	17
Figura 8 - Manutenção de trecho não pavimentado – Espalhamento manual	18
Figura 9 - Processo de manutenção de trecho não pavimentado – Compactação....	18
Figura 10 - Processo de manutenção – Compactação com motoniveladora.....	19
Figura 11 - Processo de manutenção – Operação conjunta de máquinas na via	19
Figura 12 - Condições da BR-156 durante o período chuvoso	22
Figura 13 – Condições críticas da BR-156 durante o período chuvoso	23
Figura 14 – BR-156 – Trecho não pavimentado	23
Figura 15 - Mapa de localização da BR- 156	34
Figura 16 – Legendas do documento: Contratos vigentes	35
Figura 17 – Trecho não pavimentado dos contratos 338 e 631	36
Figura 18 – Trecho pavimentado dos contratos 257 e 858	37
Figura 19 – Trechos utilizados como objeto de estudo	38
Figura 20 – Objeto do contrato 858	40
Figura 21 – Objeto do contrato 338	40
Figura 22 – Relatório mensal de medição – Contrato 257	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores críticos de degradação da BR-156	26
Quadro 2 – Fluxograma de normas técnicas analisadas	32
Quadro 3 – Parâmetros geotécnicos da BR-156	39
Quadro 4 – Contratos de manutenção	40
Quadro 5 – Contratos analisados financeiramente (2021–2025)	41
Quadro 6 – Critérios de viabilidade técnica e econômica	43
Quadro 7 – Insumos essenciais e valores do Contrato 257	54
Quadro 8 – Insumos essenciais e valores do Contrato 631	56
Quadro 9 – Avaliação técnica dos aditivos asfálticos (SBS, CRM e AMP)	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valores pagos por contrato da BR-156 (2021–2025)	49
Gráfico 2 – Valores pagos por quilômetro da BR-156 (2021–2025)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores pagos por contrato da BR-156 (2021–2025)	44
Tabela 2 – Valores pagos por quilômetro de trecho pavimentado e não pavimentado (2021–2025)	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEDA	Associação Brasileira de Engenharia e Desenvolvimento de Estradas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APEA	Arquivo Público do Estado do Amapá
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
NAPA	National Asphalt Pavement Association
PG	Performance Grade (Classificação de Ligantes Asfálticos)
ROI	Return on Investment (Retorno sobre Investimento)
SBS	Estireno-Butadieno-Estireno (Polímero Modificador de Asfalto)
SINDUSCON	APSindicato da Indústria da Construção Civil do Amapá
TSR	Tensile Strength Ratio (Índice de Resistência à Tração)
UNIFAP	Universidade Federal do Amapá
USPTO	United States Patent and Trademark Office

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura do trabalho	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Situação atual Da Br-156 – Desafios De Manutenção E Agravantes Climáticos	22
2.2	Contextualização	24
2.3	Definições técnicas de ligantes asfálticos e aditivos segundo manuais do dnit e normas internacionais	28
3	METODOLOGIA	30
3.1	Revisão bibliográfica	30
3.1.2	Análise de Normas Técnicas	30
3.2	Levantamento de dados da BR-156	33
3.2.1	Caracterização de área de estudo	33
3.2.1.1	Caracterização de Mapa de Estudos	33
3.2.1.1.1	Mapa de Contratos Vigentes - Superintendência Regional do DNIT no Amapá (SRE-AP)	33
3.2.2	Dados Operacionais	38
3.2.3	Caracterização Geotécnica	38
3.2.4	Monitoramento Climático	39
3.2.5	Análise de Pagamentos Mensais (Fluxo Financeiro)	41
3.3	Análise das soluções tecnológicas	41
3.3.1	Polímero SBS (Estireno-Butadieno- Estireno)	41
3.3.2	Borracha Moída Proveniente de Pneus Inservíveis (CRUMB RUBBER MODIFIER – CRM)	42
3.3.3	Aditivo AMP (Asphalt Modifier Performance)	42
3.4	Viabilidade Técnica e Econômica	43
3.4.1	Critérios Técnicos	43
3.4.2	Aspectos Logísticos	43
3.4.3	Critérios Normativos para Avaliação dos Aditivos	43

4 ESTUDO DE CASO	44
4.1 Relatórios de Medição	44
4.1.1 Análise de custo por km (Eficiência e Impacto Unitário)	50
4.1.2 Análise de Influência de Insumos Essenciais na Manutenção do Trecho `Pavimentado (Contrato 257)	53
4.1.2.3 Análise de Influência de insumos essenciais na manutenção do trecho. (Contrato 631)	56
4.2 Resultados da Avaliação dos ligantes asfálticos	59
4.2.1 Resultados de análise de aplicação dos três tipos de ligantes	60
4.2.1.1 Utilização de polímero SBS — caso de referência.....	60
4.2.1.2 Utilização de borracha moída de pneus (asfalto-borracha).....	60
4.2.1.3 Ligantes modificados por polímero – AMP	61
4.3 Considerações Comparativas	61
4.4 Potencial de aplicação na Br-156	62
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	62
5.1 Uso de materiais reciclados	64
5.1.1 Borracha De Pneus.....	64
5.1.2 Resíduos Siderúrgicos	64
5.1.3 Plástico Reciclado.....	64
5.2 Redução de emissões de CO₂	65
5.2.1 Produção Mais Limpa	65
5.2.2 Menos Intervenções.....	65
5.3 Desafios e mitigações	65
6 CONCLUSÕES OBTIDAS	66
6.1 Benefícios da abordagem híbrida na pavimentação	66
6.2 Impactos das soluções adaptadas ao clima tropical	67
6.3 Importância da manutenção preventiva	67
6.4 Necessidade de estudos futuros	68
6.5 Considerações finais	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Para o Estado do Amapá no que tange as necessidades de desenvolvimento socioeconômico político saudável para a circulação e bens, serviços e pessoas a BR-156/AP desempenha um papel estratégico, visto a infraestrutura logística que esta permite, sendo considerada a principal via de integração entre as regiões de produção do estado e os centros de consumo, além de viabilizar o acesso a comunidades isoladas e áreas de importância ambiental e cultural. Por isso, é importante que pesquisas direcionadas a avaliação técnica e ambiental de sua viabilidade sejam feitas. Assim, fatores como durabilidade, resistência e sustentabilidade devem ser adicionadas em uma análise (como descrita na Figura 1 adiante) intrínseca aos atributos desta rodovia no uso de tecnologias modernas.

Figura 1- Abertura manual da BR-156 na década de 1940



Fonte: APEA (1950)

A implantação da BR-156/AP remonta ao final da década de 1940, no governo de Janary Nunes, primeiro governador do então Território Federal do Amapá. A figura 1 mostra os primórdios desse processo. Nesse período, os esforços concentravam-se em criar uma ligação terrestre entre Macapá e as regiões ao norte, até então isoladas. As primeiras frentes de trabalho foram caracterizadas por intensa precariedade: uso limitado de maquinário, solos instáveis e a necessidade de abertura manual da floresta densa, conforme registrado em fotografias do Arquivo Público do Estado do Amapá (APEA, 1950), destacando ainda a Figura 2 adiante.

Figura 2 – Estrada para Oiapoque-AP (1951)



Fonte: APEA (1950)

A Figura acima é um registro histórico da chegada da abertura da estrada no município de Oiapoque. E a Figura 3 a seguir evidencia trabalhadores abrindo a mata. Mais do que uma obra de infraestrutura, a rodovia tornou-se símbolo de integração territorial e de afirmação política do recém-criado território (Tostes, 2012).

Figura 3 – Trabalhadores nas primeiras frentes de obra da BR-156



Fonte: DNIT (1975)

A Figura 4 adiante demonstra um processo inicial de pavimentação em terras amapaenses. O surgimento da estrada foi fundamental para comunidades, pois permitiu o acesso a serviços importantes, como educação e saúde.

Figura 4 – Registros de crianças indígenas nos perímetros de abertura da rodovia

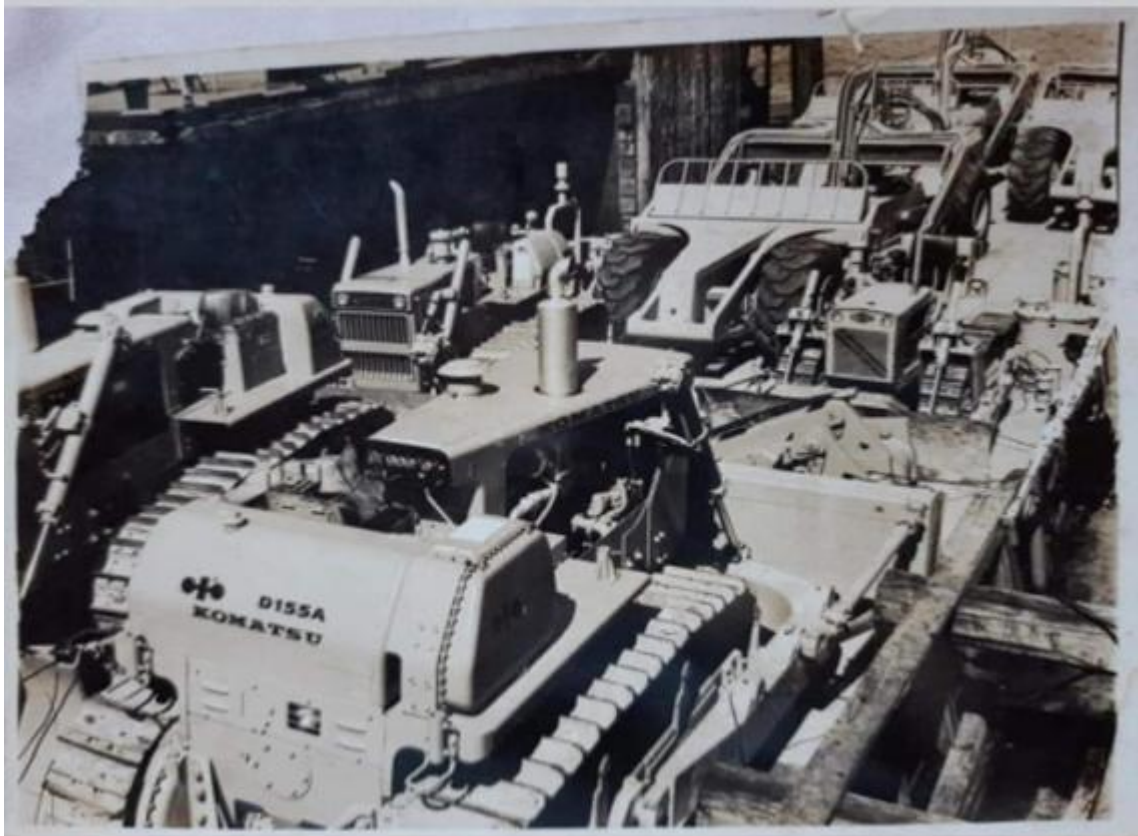


Fonte: IBGE (1974)

A figura 5 adiante, retrata movimentações ocorridas nas décadas de 1960 e 1970, com o fortalecimento da política de integração nacional voltada para a Amazônia, a BR-156/AP ganhou maior destaque estratégico. As fotografias disponíveis nos acervos do IBGE e do DNIT mostram a presença de motoniveladoras, caminhões pesados e técnicas mais avançadas de terraplenagem (IBGE, 1974; DNIT, 1975).

No entanto, apesar dos avanços, a ausência de pavimentação e os impactos da sazonalidade climática continuaram a comprometer a trafegabilidade da via, impondo constantes desafios à manutenção. Essa característica prejudica as manutenções desejadas, visto que problemas oriundos de fatores físicos naturais tendem a ser mais difíceis de ser solucionados ainda que de forma paliativa, dificultando nesse assunto o desenvolvimento do fluxo logístico do Estado Amapaense.

Figura 5 – Operação de motoniveladora em trecho inicial da BR-156



Fonte: DNIT (1975)

Esse conjunto de registros visuais contidos nesse estudo, permite compreender a BR-156/AP não apenas como um projeto rodoviário, mas como parte de um processo histórico de ocupação da Amazônia. As imagens revelam a transição de uma estrada aberta manualmente na floresta para uma rodovia de interesse nacional, ainda que marcada por inacabamentos e limitações estruturais.

A figura 6 a seguir, mostra a BR em processo avançado de corte de talude. Onde é possível identificar a BR em um outro momento, após grandes esforços, no qual já era possível observar que, mesmo com as dificuldades de logística e clima, a BR avançava estado a dentro. Em uma missão de integrar o Estado do Amapá, através da conexão entre municípios.

Figura 6 – Trecho da BR-156/AP em área de cortes de taludes



Fonte: Tostes (2012)

1. 2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e ambiental do uso de tecnologias de ligantes asfálticos para aumentar a durabilidade, resistência e sustentabilidade do pavimento da rodovia BR-156/AP no trecho compreendido entre os municípios de Calçoene e Oiapoque.

1.2.2 Objetivos Específicos

Propor soluções que otimizem a aplicação de recursos públicos e promovam maior eficiência na infraestrutura rodoviária, conforme diretrizes estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Investigar e discutir o desempenho técnico de três ligantes modificados aplicados em contextos de alta severidade ambiental, sendo eles: polímero SBS (estireno-butadieno-estireno), borracha moída proveniente de pneus inservíveis e aditivo AMP-Asphalt Modifier Performance.

1.3 Justificativa

A BR-156/AP desempenha um papel crucial na integração logística e no desenvolvimento econômico do estado do Amapá, conectando áreas urbanas e rurais, além de ser essencial para o escoamento da produção agrícola, extrativista e madei-

reira, atividades vitais para a economia local. Essa rodovia também facilita o transporte de insumos essenciais, como alimentos e combustíveis, entre os municípios do interior e a capital Macapá, além de garantir a mobilidade para as populações mais afastadas e contribuir para a inclusão social.

No entanto, a durabilidade do pavimento da BR-156/AP tem sido constantemente comprometida pelas condições climáticas extremas e pelos desafios impostos pelo ambiente amazônico, como as altas taxas de precipitação pluviométrica e a umidade relativa elevada. Esses fatores são particularmente críticos em uma região tropical, onde as chuvas intensas e prolongadas tornam-se um dos principais agravantes na conservação das vias de transporte.

A instabilidade do solo e a presença de altas quantidades de água nas camadas superficiais do pavimento aceleram significativamente o processo de degradação, com consequências diretas para a segurança viária e a eficiência logística.

O desgaste do pavimento resulta em buracos, ondulações e trechos intransitáveis, o que exige manutenções frequentes e onerosas, sobrecarregando os cofres públicos e comprometendo a acessibilidade da população. Além disso, as obras de recuperação são muitas vezes interrompidas durante o período chuvoso, dificultando a continuidade das intervenções e prejudicando a qualidade final das soluções implementadas. A aplicação de ligantes modificados representa uma resposta tecnológica eficaz para os desafios específicos da pavimentação em regiões de clima tropical úmido, como é o caso da BR-156/AP.

Os ligantes modificados, como os polímeros SBS (estireno-butadieno-estireno), a borracha moída de pneus e aditivos como o AMP (Asfalto Modificado por Polímeros), têm mostrado grande potencial para melhorar a performance estrutural e a resistência do pavimento. Esses materiais são capazes de conferir maior elasticidade e durabilidade à camada asfáltica, o que é essencial para suportar o estresse mecânico e as condições ambientais adversas da região amazônica.

Além disso, a utilização de ligantes modificados contribui para a redução da vulnerabilidade do pavimento à deformação permanente e ao desgaste prematuro, características típicas das rodovias localizadas em áreas com grande volume de chuvas e variações climáticas significativas (PETROBRAS, 2018).

Além dos benefícios técnicos, a escolha por esses materiais também visa integrar práticas de sustentabilidade ambiental e racionalidade econômica ao processo

de pavimentação. A adoção de ligantes como a borracha reciclada de pneus inservíveis, por exemplo, não só ajuda na mitigação de passivos ambientais, como também promove a economia circular, reutilizando materiais descartados e reduzindo a quantidade de resíduos no meio ambiente.

Na manutenção de rodovias de pavimento simples, um meio de remediar os efeitos destrutivos das intempéries é a estabilização com uso de solo-cimento, exige: preparo prévio da superfície como a apresentando na Figura 7 adiante, distribuição adequada do material apresentado na Figura 8, e posterior compactação apresentadas na Figura 9, Figura 10 e Figura 11. Garantindo assim, maior uniformidade e suporte ao pavimento provisório. Pode-se observar nas imagens a seguir.

Figura 7 - Manutenção de trecho não pavimentado na BR- 156/AP



Fonte: Pesquisa de Campo (2024)

Esse tipo de abordagem está em sintonia com as tendências globais de construção sustentável e redução de impactos ambientais, ao mesmo tempo em que oferece uma solução viável para melhorar a infraestrutura viária em uma das regiões mais desafiadoras do Brasil (CETESB, 2020; IBAMA, 2020). A exemplo dos desafios enfrentados para a manutenção da BR, podemos citar o trecho não asfaltado da BR-156/AP, onde a manutenção é realizada por meio do lançamento de cimento diretamente sobre o solo natural, buscando melhorar a resistência e reduzir deformações causadas pelo tráfego e pelas chuvas.

O processo de manutenção é uma ação importante e necessária dada as especificidades regionais comumente encontradas no território amapaense, fazendo que regularmente esta ação seja feita como demonstrada na Figura 8 adiante.

Figura 8 - Manutenção de trecho não pavimentado – Espalhamento manual



Fonte: Pesquisa de campo (2024)

A compactação do solo é um processo importante em ruas e rodovias, e devem ativamente fazer parte da manutenção de rodovias, a Figura 9 adiante mostra esse processo em um trecho não pavimentado na BR-156/AP.

Figura 9 - Processo de manutenção de trecho não pavimentado – Compactação.



Fonte: Pesquisa de campo (2024)

Apesar dos esforços, o trecho apresenta grandes desafios de conservação, sobretudo durante o período chuvoso. A elevada umidade do solo, a falta de base estruturada e o volume de veículos pesados aceleram o surgimento de trilhas de roda, buracos e pontos de atoleiro. As imagens registram justamente essa rotina de campo, onde a equipe atua com motoniveladora e caminhões aplicadores para manter a ro-

dovia trafegável. E também evidenciam o desgaste contínuo e a necessidade de intervenções frequentes, mostrando que mesmo com a técnica de estabilização, as condições ambientais e geotécnicas da região impõem dificuldades significativas para manter a rodovia em condições adequadas de circulação.

Figura 10 - Processo de manutenção – Compactação com motoniveladora



Fonte: Pesquisa de campo (2024)

Além das soluções técnicas, é necessário um esforço conjunto entre governo federal, estadual, setor produtivo e universidades para o desenvolvimento de estudos regionais que considerem as especificidades do solo, do clima e da dinâmica socioeconômica local. Investir em tecnologia aplicada, capacitação profissional e inovação em engenharia civil são caminhos viáveis e promissores para garantir a eficiência, a segurança e a durabilidade das rodovias amazônicas.

Figura 11- Processo de manutenção – Operação conjunta de máquinas na via



Fonte: Pesquisa de campo (2024)

Portanto, o caso da BR-156/AP evidencia uma problemática complexa que transcende a engenharia e perpassa aspectos sociais, ambientais e econômicos. O enfrentamento dessa situação exige planejamento integrado, alocação eficiente de recursos e comprometimento das instituições públicas e privadas. Só assim será possível garantir a funcionalidade de uma rodovia que é, ao mesmo tempo, eixo de desenvolvimento e elo vital para milhares de cidadãos amapaenses.

Dessa forma, este estudo se justifica pela necessidade urgente de desenvolver soluções técnicas e inovadoras que sejam adaptadas às particularidades do clima e do solo da região amazônica, permitindo a implementação de pavimentos mais resistentes e duráveis, e ao mesmo tempo mais econômicos e sustentáveis. A análise e aplicação de ligantes modificados são fundamentais para promover maior eficiência na utilização de recursos públicos, reduzir os custos com manutenção e ampliar a durabilidade da rodovia, assegurando, assim, a continuidade do desenvolvimento regional e a melhoria da qualidade de vida das populações que dependem dessa via de transporte.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado de forma a proporcionar uma compreensão clara e estruturada do estudo realizado sobre o uso de ligantes modificados na pavimentação da rodovia BR-156/AP. A pesquisa está dividida em 6 capítulos, conforme detalhado abaixo.

No primeiro capítulo, é apresentada a introdução ao tema, com a contextualização do problema da pesquisa. Este capítulo visa situar o leitor sobre a relevância do estudo, abordando as condições climáticas e ambientais que impactam diretamente a infraestrutura viária da região amazônica, especialmente na rodovia BR-156/AP. Além disso, são definidos os objetivos gerais e específicos do trabalho, bem como a justificativa para a escolha do tema, que visa contribuir com soluções sustentáveis e economicamente viáveis para a melhoria da durabilidade do pavimento dessa importante rodovia. A metodologia adotada também é introduzida neste capítulo, explicando as etapas de desenvolvimento da pesquisa, os tipos de dados coletados e os procedimentos utilizados (Santos et al., 2019).

O segundo capítulo é dedicado ao referencial teórico, onde são abordados os principais conceitos relacionados à pavimentação asfáltica, os tipos de ligantes modificados e as diretrizes de sustentabilidade aplicadas à engenharia rodoviária. Esse capítulo fornece a base teórica necessária para a compreensão dos métodos e materiais empregados no estudo, discutindo a evolução das tecnologias de pavimentação, a importância dos ligantes modificados para melhorar a resistência do pavimento às condições adversas e as vantagens ambientais do uso de materiais recicláveis, como a borracha proveniente de pneus inservíveis. A literatura existente sobre as propriedades dos ligantes e os impactos ambientais da pavimentação asfáltica também é analisada de maneira aprofundada (PETROBRAS, 2018; Santos et al., 2019).

No terceiro capítulo, a metodologia de pesquisa é detalhada. Este capítulo descreve os procedimentos adotados para a coleta de dados, que inclui a análise de materiais, a realização de ensaios laboratoriais para testar o desempenho dos ligantes modificados, a avaliação de sua viabilidade econômica, a apresentação dos mapas e trechos da BR-156/AP que serão utilizados como objetos de estudo de avaliação financeira e viabilidade econômica. A metodologia abrange, também, os métodos de análise utilizados para avaliar a resistência dos ligantes à umidade, a deformação permanente e a durabilidade do pavimento sob condições climáticas extremas.

O objetivo ao relacionar o estudo financeiro, as condições climáticas e geotécnicas da BR-156/AP é evidenciar a importância do estudo das condições físicas da rodovia, os custos de manutenção e a viabilidade econômica da adoção de técnicas avançadas de pavimentação, dada a importância socioeconômica que ela representa para o estado do Amapá. A abordagem quantitativa será combinada com análises qualitativas, garantindo uma visão holística sobre o desempenho dos materiais em questão.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa. Aqui, serão apresentados os dados coletados durante os ensaios laboratoriais, incluindo os resultados sobre o desempenho técnico dos ligantes modificados. Também serão discutidos os aspectos econômicos, como a viabilidade de cada material em termos de custos e retorno sobre investimento, considerando os gastos com transporte, aplicação, manutenção e a vida útil dos pavimentos. Além disso, serão analisados os impactos ambientais da utilização de ligantes modificados,

especialmente no que tange à reciclagem de pneus e à redução de passivos ambientais. O desempenho dos materiais sob as condições de umidade elevada e altas taxas de precipitação será comparado para determinar quais ligantes apresentam as melhores características para a região amazônica.

O quinto capítulo apresenta as conclusões da pesquisa. Nele, serão apontados os resultados mais significativos obtidos ao longo do estudo, destacando o ligante que se mostrou mais viável para a pavimentação da BR-156/AP, levando em consideração os critérios técnicos, econômicos e ambientais. O sexto capítulo apresenta as considerações finais referentes aos resultados e experiências adquiridos durante o processo de elaboração dessa pesquisa. Por fim, o sétimo capítulo reúne as referências bibliográficas utilizadas ao longo do estudo, apresentando os artigos, livros, manuais técnicos e outros documentos que fundamentaram a pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Situação atual da BR-156/AP – Desafios De Manutenção E Agravantes Climáticos

Atualmente, a situação da rodovia apresenta condições desfavoráveis para o tráfego em vários trechos. Existem trechos em manutenção, trechos não pavimentados, trechos que sofrem alagamentos no período chuvoso, entre outras condições adversas. Isso representa grandes entraves logísticos para a população usuária e para o transporte de produtos entre as regiões por onde passa, constituindo um obstáculo significativo ao desenvolvimento econômico e social da região como demonstrando na Figura 12, Figura 13 e Figura 14 apresentadas adiante.

Figura 12 – Condições da BR-156 durante o período chuvoso



Fonte: Estradas.com.br

Estudos recentes apontam que a vida útil média do pavimento da BR-156/AP é de apenas 3,2 anos — valor 45% inferior à média nacional, estimada em 5,8 anos (DNIT, 2023). A deterioração precoce da via tem afetado diretamente o escoamento de produtos essenciais à economia do Amapá. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2022), cerca de 85% da produção mineral do estado depende da BR-156/AP, correspondendo a 68% do tráfego total da via. A agricultura regional também é fortemente impactada, com aproximadamente 70% dos produtos agropecuários transportados através dela (Embrapa Amazônia Oriental, 2022). Além disso, a BR-156/AP é fundamental para o acesso a comunidades ribeirinhas e indígenas, sendo muitas vezes a única ligação dessas populações com os centros urbanos (IPHAN, 2022).

Figura 13 - Condições críticas da BR-156/AP durante o período chuvoso



Fonte: G1 Amapá (2024)

É importante analisar o objeto de estudo sobre ângulos diferentes de observação para se possa apresentar e demonstrar de maneira clara a importância desse objeto, assim, a Figura 14 adiante mostra um trecho não pavimentado da BR-156/AP.

Figura 14 - BR-156/AP – Trecho não pavimentado



Fonte: Ministério dos transportes

As consequências da má conservação da BR-156/AP atingem diversos setores. No aspecto econômico, os custos de transporte aumentam significativamente, devido à maior frequência de manutenções veiculares, ao consumo excessivo de combustível e ao prolongamento do tempo de viagem. Para a população, os efeitos se refletem na dificuldade de acesso a serviços essenciais como saúde, educação e segurança. No que se refere ao meio ambiente, o tráfego forçado por desvios e rotas alternativas pode resultar em maior impacto sobre áreas de preservação e terras indígenas. E em períodos chuvosos o aumento de atoleiros em lamaçais se torna um transtorno para a população que faz uso da via.

Diante desse cenário, torna-se urgente a adoção de soluções técnicas e institucionais que possibilitem a melhoria sustentável da infraestrutura rodoviária no estado. A pavimentação com materiais alternativos, o reforço estrutural das camadas de base e sub-base e a aplicação de técnicas modernas de drenagem podem representar avanços significativos. Também é imprescindível o aprimoramento do controle de cargas e da fiscalização do tráfego, bem como a implementação de políticas públicas voltadas à manutenção preventiva da via.

2.2 Contextualização

A BR-156/AP, situada no estado do Amapá, configura-se como uma das rodovias federais mais desafiadoras do Brasil em termos de conservação e manutenção. Seu traçado atravessa regiões de floresta densa, solo instável e clima extremamente úmido, o que impõe severas restrições à durabilidade de suas estruturas pavimentadas. Os fatores que contribuem para a rápida degradação do pavimento da BR-156/AP são múltiplos e inter-relacionados, destacando-se principalmente as cargas excessivas, as severas condições climáticas da região e as características geotécnicas adversas do solo.

O intenso tráfego de veículos pesados representa uma das principais causas de deterioração da rodovia. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2023), aproximadamente 1.200 caminhões trafegam diariamente pela BR-156/AP, sendo que cerca de 38% desses veículos circulam com cargas superiores ao limite legal de 8,5 toneladas por eixo, e 23 toneladas de peso bruto total combinado para as pontes em madeira. Esse excesso de carga provoca a formação de trilhas de roda, recalques e depressões que comprometem a segurança dos usuários e aumentam os custos de manutenção.

As condições climáticas do estado do Amapá agravam ainda mais esse cenário. A região apresenta uma precipitação média anual de 2.500 mm, valor quase três vezes superior à média nacional, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). A umidade relativa do ar, que se mantém acima de 85% durante grande parte do ano, acelera o processo de infiltração de água na estrutura do pavimento, promovendo a perda de coesão entre as camadas e favorecendo o surgimento de manifestações patológicas como buracos e trincas, a combinação de elevada umidade e solos com baixa capacidade de suporte cria um ambiente propício à degradação acelerada do pavimento.

A amplitude térmica na região, que varia de 23°C a 38°C ao longo do ano, também desempenha papel relevante na deterioração da camada de rolamento. Os constantes ciclos de expansão e retração dos materiais asfálticos induzem o surgimento de microfissuras que, ao serem penetradas pela água da chuva, se alastram, comprometendo a integridade da via. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP, 2023) alerta que essas variações térmicas contribuem para reduzir drasticamente a vida útil do pavimento.

Em pronunciamento oficial, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2023) afirmou que: “[...]a conservação das rodovias na região Norte exige soluções diferenciadas, considerando o regime de chuvas, o tipo de solo e a dificuldade logística das intervenções.”

Essa constatação enfatiza a necessidade de adotar tecnologias adaptadas à realidade amazônica, com foco em materiais que apresentem melhor desempenho em condições adversas.

Do ponto de vista geotécnico, os desafios são igualmente relevantes. O traçado da BR-156/AP se desenvolve majoritariamente sobre solos lateríticos, caracterizados por elevada porosidade, suscetibilidade à erosão e à saturação. De acordo com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2022), cerca de 68% da extensão da rodovia está assentada sobre esse tipo de solo.

Segundo Silva e Mendes (2022), a vulnerabilidade estrutural de rodovias em regiões amazônicas demanda estratégias de reforço que considerem técnicas de estabilização química e o uso de geossintéticos adaptados ao clima local. Assim, des-

taca-se que a ausência de infraestrutura de drenagem adequada agrava significativamente os danos estruturais, sobretudo em trechos com elevada pluviosidade e baixa permeabilidade do solo.

A seguir, o Quadro 1 resume os principais fatores críticos que contribuem para a degradação da BR-156/AP, conforme a literatura técnica e os dados recentes mencionados:

Quadro 1 – Fatores críticos de degradação da BR-156/AP

Fator	Impacto	Fonte
Tráfego excessivo de cargas	Deformações plásticas, recalques, trilhas de roda	ANTT (2023), UNIFAP (2023)
Precipitação elevada e umidade	Infiltração de água, perda de coesão, surgimento de trincas e buracos	INMET (2023), EMBRAPA (2022)
Amplitude térmica	Microfissuras, fadiga dos materiais asfálticos	FAPEAP (2023)
Solos lateríticos e lençol freático	Instabilidade da base e sub-base, erosão e baixa capacidade de suporte	IPHAN (2022), UNIFAP (2023)
Falta de drenagem eficiente	Aceleração da deterioração estrutural	Rodrigues et al. (2021)
Ausência de soluções adaptadas	Ineficiência das intervenções convencionais	DNIT (2023), Silva & Mendes (2022)

Fonte: Adaptado do ANTT (2023), UNIFAP (2023), INMET (2023), EMBRAPA (2022), FAPEAP (2023), IPHAN (2022), DNIT (2023), Silva e Mendes (2022), Rodrigues et al. (2021)

A pavimentação de rodovias localizadas em regiões tropicais úmidas, como a BR-156/AP no estado do Amapá, representa um desafio significativo para os profissionais da engenharia civil, especialmente no que tange à durabilidade dos materiais e à integridade estrutural do pavimento ao longo do tempo. As elevadas taxas de precipitação, associadas à alta umidade relativa do ar e a amplitudes térmicas intensas, favorecem fenômenos como a fissuração térmica, exsudação, trincamento por fadiga e afundamento por recalque (DNIT, 2017; EMBRAPA, 2023).

Segundo Oliveira et al. (2021), o comportamento do ligante asfáltico convencional nessas condições extremas tende a ser comprometido, sobretudo pela baixa resistência à fadiga e deformação permanente. Nesse contexto, soluções baseadas na modificação do ligante asfáltico com polímeros e aditivos têm ganhado destaque como

alternativa promissora. O uso de copolímeros do tipo SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) tem se mostrado especialmente eficaz para melhorar as propriedades elásticas e viscoelásticas da mistura, assim: “A adição de SBS pode aumentar em até 300% a elasticidade do revestimento, melhorando sua resistência à fadiga e ao envelhecimento térmico” (Oliveira et al., 2021, p. 38). ”

Além dos polímeros SBS, outra solução viável e de interesse crescente é a utilização do asfalto-borracha, obtido a partir da incorporação de borracha moída de pneus inservíveis ao CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Costa e Almeida (2023) argumentam que essa técnica não apenas melhora a performance mecânica do pavimento, como também representa um avanço em termos de sustentabilidade, assim: “A incorporação de asfalto-borracha pode reduzir em até 15% as emissões de CO₂ por quilômetro pavimentado, além de contribuir para a economia circular” (Costa; Almeida, 2023, p. 22).

O avanço das tecnologias autorregenerativas também tem sido destacado no cenário da pavimentação, com o desenvolvimento de ligantes asfálticos modificados com polímeros inteligentes. Esses materiais são projetados para reagir ao calor e recuperar propriedades danificadas em trincas e microfissuras. Segundo Santos et al. (2023), estudos indicam que esses ligantes apresentam propriedades de autocicatrização quando expostos a temperaturas elevadas, podendo aumentar em até 40% a vida útil do pavimento em regiões com alta precipitação e tráfego intenso. A tecnologia tem sido testada em diversas regiões da Amazônia, apresentando resultados promissores (Santos et al., 2023).

A classificação de ligantes asfálticos pode seguir o sistema Performance Grade (PG), definido pela norma ASTM D6373, que utiliza como critérios a temperatura máxima média do pavimento durante sete dias e a temperatura mínima de projeto, permitindo ainda a incorporação de modificadores orgânicos para ajuste de desempenho (ASTM, 2023). No contexto brasileiro, a caracterização e avaliação de ligantes asfálticos segue normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), destacando-se a NBR 15235, que estabelece o ensaio de envelhecimento curto por meio do método RTFOT, e a NBR 15184, que padroniza a determinação da viscosidade em temperaturas elevadas (ABNT, 2009; ABNT, 2004). Além disso, o emprego de ligantes modificados por polímeros tem sido amplamente investigado na li-

teratura nacional, com estudos demonstrando ganhos significativos de rigidez, elasticidade e resistência à deformação permanente e fadiga em misturas asfálticas produzidas com esse tipo de ligante (Duarte, 2018)

Além dos fatores técnicos, o aspecto econômico e ambiental também orienta as escolhas de materiais. O uso de materiais recicláveis, como a borracha moída, contribui para a redução de resíduos sólidos e para a longevidade funcional da via, reduzindo o número de intervenções. Segundo a CETESB (2022), o uso desse tipo de material pode economizar até 25% nos custos de manutenção em um ciclo de 10 anos, o que representa um ganho significativo em regiões de difícil acesso logístico como o norte do Amapá.

Portanto, o referencial teórico sustenta que o uso de aditivos no ligante asfáltico não é apenas uma tendência, mas uma necessidade técnica para rodovias que operam sob condições severas, como a BR-156/AP. Os estudos citados reforçam que a escolha adequada de ligante pode impactar diretamente a segurança, durabilidade e custo do empreendimento rodoviário.

2.3 Definições técnicas de ligantes asfálticos e aditivos segundo manuais do dnit e normas internacionais

No contexto da engenharia de pavimentação, a escolha adequada do ligante asfáltico e de seus aditivos constitui um fator determinante para o desempenho estrutural e funcional dos pavimentos rodoviários, especialmente em regiões submetidas a condições ambientais severas, como é o caso da BR-156/AP. As normas técnicas nacionais e internacionais estabelecem critérios rigorosos para a caracterização, aplicação e controle desses materiais, visando garantir maior durabilidade, segurança e eficiência econômica das obras rodoviárias.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o ligante asfáltico é definido como o material betuminoso responsável pela coesão da mistura asfáltica e pela aderência entre os agregados minerais. De acordo com a Especificação de Serviço DNIT 031/2024-ES, os ligantes empregados em pavimentação asfáltica devem atender a requisitos mínimos de desempenho reológico, estabilidade térmica e resistência à deformação permanente, sendo admitida a modificação do cimento asfáltico de petróleo (CAP) por meio da incorporação de polímeros e aditivos específicos, desde que comprovada sua eficiência técnica por ensaios laboratoriais padronizados (DNIT, 2024).

Os ligantes asfálticos modificados são definidos pelo DNIT como aqueles que recebem a adição de substâncias capazes de alterar positivamente suas propriedades físicas e mecânicas, com o objetivo de ampliar a vida útil do pavimento e melhorar seu comportamento frente às solicitações de tráfego e às variações climáticas. Entre os tipos mais utilizados destacam-se os ligantes modificados por polímeros elastoméricos, como o SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), e os ligantes modificados por borraça moída de pneus inservíveis, conhecidos como asfalto-borraça (DNIT, 2019).

Conforme o Manual de Diretrizes Básicas para Execução de Misturas Asfálticas com Uso de Aditivos – IPR 747, os ligantes modificados por polímeros elastoméricos apresentam maior recuperação elástica, aumento da resistência à fadiga e melhor desempenho frente às deformações permanentes, sendo recomendados para rodovias com tráfego pesado e condições climáticas adversas. O manual classifica esses ligantes em categorias como CAP 55-75-E, CAP 60-85-E e CAP 65-90-E, conforme o intervalo de penetração e as propriedades reológicas obtidas após a modificação (DNIT, 2019).

O asfalto-borraça, por sua vez, é definido como o ligante obtido pela incorporação de borraça moída de pneus descartados ao CAP, geralmente por meio do processo via úmida. Segundo o DNIT, esse tipo de ligante apresenta maior viscosidade, elevada elasticidade e melhor resistência ao envelhecimento, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental ao promover a reutilização de resíduos sólidos. Os ligantes asfalto-borraça mais empregados em obras rodoviárias federais incluem as classes CAP AB 8 e CAP AB 22 (DNIT, 2019).

Além dos modificadores estruturais, o DNIT reconhece a importância dos aditivos químicos surfactantes, utilizados para melhorar a trabalhabilidade das misturas asfálticas, reduzir a temperatura de usinagem e compactação e aumentar a adesividade entre ligante e agregado. Esses aditivos devem apresentar compatibilidade química com o ligante, estabilidade durante o armazenamento e não provocar alterações indesejadas nas propriedades reológicas do material, conforme critérios estabelecidos nos manuais técnicos do órgão (DNIT, 2019).

No cenário internacional, destaca-se o sistema de classificação de ligantes asfálticos por Performance Grade (PG), estabelecido pela norma ASTM D6373 e adotado pela AASHTO. Esse sistema classifica os ligantes com base no desempenho

esperado em campo, considerando a temperatura máxima média do pavimento durante sete dias consecutivos e a temperatura mínima de projeto. A norma permite ainda a incorporação de modificadores para adequar o ligante às condições específicas de tráfego e clima, tornando-se especialmente relevante para regiões tropicais úmidas, onde os ligantes convencionais apresentam desempenho limitado (ASTM, 2023).

De acordo com a ASTM (2023), os modificadores de ligantes asfálticos podem ser materiais orgânicos, polímeros sintéticos ou materiais reciclados, adicionados ao CAP com a finalidade de melhorar propriedades como elasticidade, resistência à deformação permanente, resistência à fadiga e estabilidade térmica. Polímeros elastoméricos, como o SBS, são amplamente utilizados por proporcionarem significativo ganho de desempenho reológico, reduzindo a suscetibilidade do pavimento a trincamentos e afundamentos em trilhas de roda.

Dessa forma, a literatura técnica e os manuais normativos convergem no entendimento de que a aplicação de aditivos e modificadores em ligantes asfálticos não constitui apenas uma inovação tecnológica, mas uma exigência técnica para rodovias submetidas a condições severas de tráfego e clima, como a BR-156. A adoção de ligantes modificados, conforme diretrizes do DNIT e normas internacionais, representa uma estratégia essencial para aumentar a durabilidade do pavimento, reduzir custos de manutenção e garantir maior segurança e sustentabilidade às infraestruturas rodoviárias da região amazônica.

3 METODOLOGIA

A pesquisa será desenvolvida por meio de uma abordagem qualiquantitativa, estruturada para proporcionar uma análise aprofundada dos materiais, tecnologias e normas aplicáveis à pavimentação asfáltica em regiões de clima tropical úmido.

3.1 Revisão bibliográfica

3.1.2 Análise de Normas Técnicas

A caracterização e o desempenho dos ligantes asfálticos são fundamentais para o dimensionamento, controle tecnológico e manutenção de pavimentos no Brasil. De modo geral, as normas que regem esses materiais abordam desde a classificação por desempenho climático, passando pela avaliação de viscosidade e envelhecimento, até a análise mecânica das misturas aplicadas.

No contexto internacional, destaca-se a norma **ASTM D6373** — “*Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*”, a qual introduz o sistema *Performance Grade (PG)*. Esse sistema classifica o ligante com base nos limites de temperatura máxima média do pavimento (sete dias) e temperatura mínima esperada para o local de aplicação, para exemplificar: PG 76-22, que indica um ligante resistente a temperaturas de até 76 °C e capaz de suportar contrações térmicas até -22 °C. A norma prevê o uso de modificadores orgânicos e polímeros, permitindo ajustar o comportamento reológico do ligante diante de deformações permanentes, fadiga e variações térmicas severas.

No cenário brasileiro, os parâmetros de avaliação dos ligantes e misturas asfálticas seguem, em sua maioria, as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Para avaliação das propriedades reológicas em condições de produção, a **ABNT NBR 15184** — “Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperatura elevada usando viscosímetro rotacional” estabelece o procedimento para mensurar a viscosidade do ligante em temperaturas normalmente associadas ao batimento e usinagem. Esse parâmetro é essencial para garantir adequada trabalhabilidade da mistura e prevenir segregação ou danos térmicos ao ligante.

Ainda no campo da caracterização laboratorial, a **ABNT NBR 15235** — “Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional (RTFOT)” simula o envelhecimento de curto prazo do ligante, que ocorre durante o processo de usinagem e compactação em campo. O ensaio RTFOT permite avaliar mudanças de massa, aumento de viscosidade e alterações reológicas que influenciam diretamente a resistência à deformação permanente e à fadiga.

A resistência mecânica das misturas asfálticas é estabelecida pela DNIT 043/2020, que normatiza o Ensaio Marshall, método determinante para verificar estabilidade (≥ 8 kN) e fluência (≤ 4 mm). **A estabilidade Marshall** representa a capacidade da mistura asfáltica de resistir aos esforços de compressão e deformação sem perder sua forma, sendo medida como a carga máxima suportada antes da ruptura — conforme a DNIT 043/2020, deve ser igual ou superior a 8 kN. Já a **fluência** (*flow*) indica o quanto a amostra se deforma plástica e permanentemente durante o carregamento até atingir a estabilidade máxima; valores muito altos indicam mistura excessivamente plástica e suscetível a trilhas de roda.

A norma estabelece que a fluência deve ser igual ou menor que 4 mm, garantindo um equilíbrio entre resistência e deformabilidade, assegurando desempenho adequado do pavimento. Esses parâmetros são fundamentais para identificar a dosagem ideal de ligante, garantindo equilíbrio entre rigidez e deformabilidade. Como destaca o DNIT (2020), o ensaio é crucial em regiões com grande variação de carga e temperatura, como a Amazônia, onde a suscetibilidade ao afundamento de trilha é elevada. Complementarmente, a **ABNT NBR 16505** trata da resistência à tração por compressão diametral (RT), determinando valores mínimos como: 1,2 MPa (especialmente relevantes para pavimentos situados em ambientes úmidos). A norma destaca que a mistura deve manter sua integridade estrutural mesmo submetida a elevados índices de umidade, condição comum em regiões de clima equatorial.

Quadro 2 – Fluxograma de normas técnicas analisadas

Norma	Título / Enfoque	Aplicação principal	Parâmetros/Resultados importantes
ASTM D6373	Performance Grade (PG) — Classificação do ligante por faixa de temperatura	Seleção de ligantes conforme clima local; uso de modificadores	Ex.: PG 76-22 (-22 a 76 °C); análise de desempenho reológico e térmico
ABNT NBR 15235	Envelhecimento curto do ligante — Ensaio RTFOT	Simula envelhecimento térmico durante usinagem e compactação	Mudança de massa, viscosidade pós-envelhecimento, estabilidade térmica
ABNT NBR 15184	Determinação da viscosidade em alta temperatura	Avaliação de trabalhabilidade e usinagem do ligante	Viscosidade rotacional (RV) a 135–180 °C
DNIT 043/2020	Ensaio Marshall para misturas asfálticas	Determinação da dosagem ideal da mistura	Estabilidade ≥ 8 kN; Fluência ≤ 4 mm; Volume de vazios
ABNT NBR 16505	Resistência à tração por compressão diametral	Avaliação da resistência mecânica em ambientes úmidos	RT $\geq 1,2$ MPa; comportamento sob umidade elevada
Diretrizes para PMB (ligantes modificados por polímeros)	Estudos nacionais sobre ligantes modificados	Melhorar desempenho mecânico e térmico	Maior elasticidade, resistência à fadiga e deformação permanente

Fonte: Adaptado da ABNT (2023) e Manual DNIT (2024)

3.2 Levantamento de dados da BR-156/AP

3.2.1 Caracterização de área de estudo

Essa caracterização envolve a análise do contexto geográfico, climático e socioeconômico do entorno, considerando fatores como regime de chuvas, tipo de solo, cobertura vegetal e dinâmica de uso da via. Esses elementos influenciam diretamente o comportamento do pavimento e a necessidade de manutenção contínua.

3.2.1.1 Caracterização de Mapa de Estudos

A caracterização do mapa de estudo consiste na identificação espacial dos trechos analisados da BR-156/AP, permitindo visualizar sua distribuição geográfica e compreender a relação entre o traçado da rodovia e as condições ambientais locais.

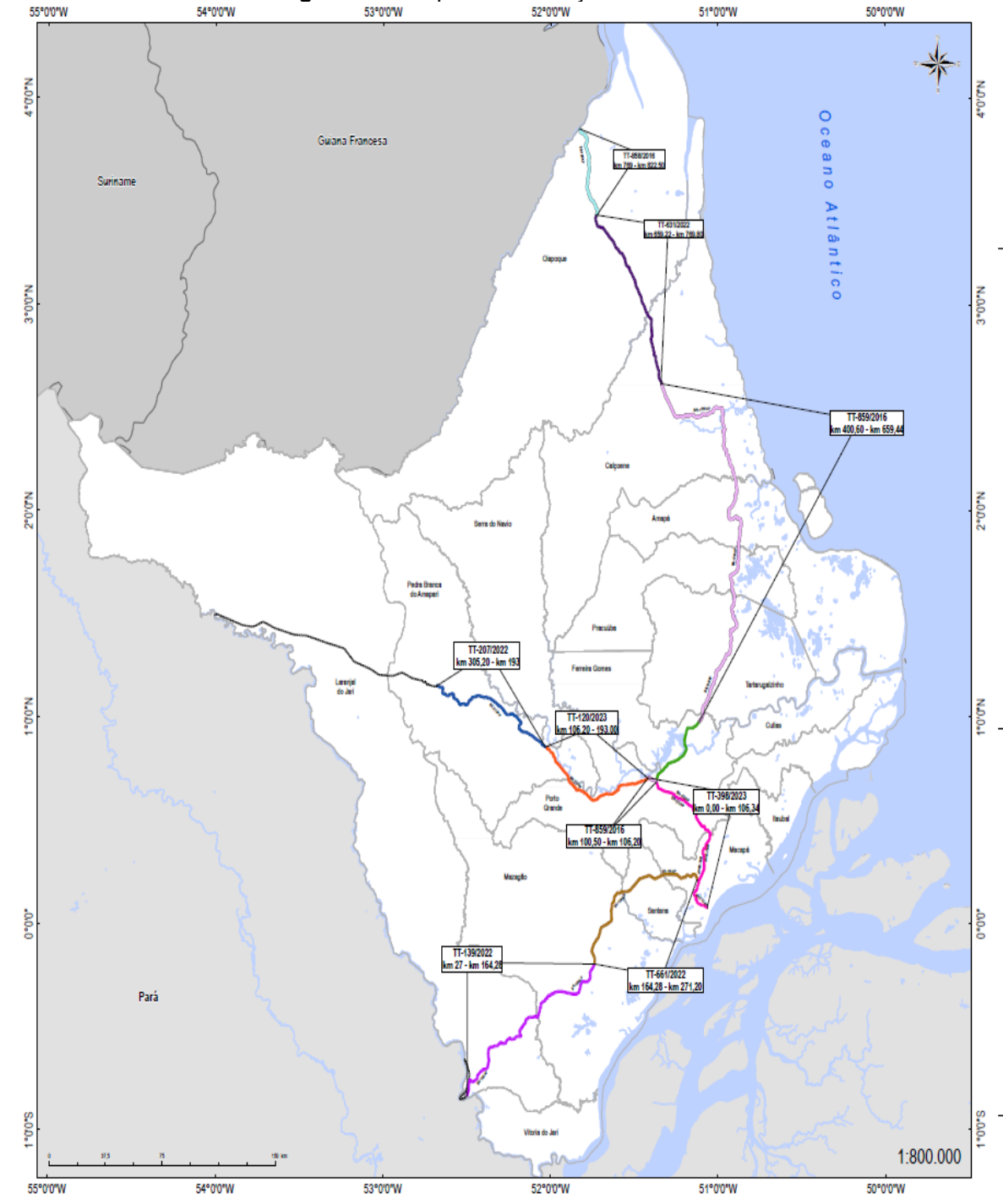
3.2.1.1.1 Mapa de Contratos - Superintendência Regional do DNIT no Amapá (SRE/AP)

O mapa de Contratos Vigentes da SRE/AP – Consórcio SMSS na Figura 15 adiante, destaca e identifica contratos vigentes até julho de 2025, apresentando a distribuição espacial dos trechos rodoviários atualmente atendidos pela Superintendência Regional do DNIT no Amapá (SRE/AP) por meio do Consórcio SMSS.

Esse mapa é fundamental porque permite visualizar, de forma georreferenciada, onde estão concentrados os serviços de manutenção, conservação e restauração contratados, facilitando o acompanhamento técnico e a fiscalização das atividades. Além disso, sua utilização auxilia na identificação de trechos críticos, no planejamento de intervenções futuras e na transparência da gestão pública, garantindo maior eficiência das ações desenvolvidas na malha rodoviária federal do estado.

Um mapa georreferenciado é um importante instrumento em análises técnicas para objetos de estudos que possuam grandes extensões, facilitando aporte auxiliar em conclusões sobre problemas que utilizem do tratamento de dados espaciais organizados, assim esse mapa permite visualizar os trechos discutidos na pesquisa e sua distribuição e expansão na BR-156/AP no Estado do Amapá.

Figura 15 - Mapa de localização da BR- 156












Fonte: SRE/AP - DNIT (2025)

O documento fornece também informações claras e acessíveis sobre o controle dos contratos. A Figura 16 adiante, apresenta um dos quadros de legenda que ele fornece, no qual é possível identificar cada trecho compreendido e seus respectivos contratos e empresas responsáveis. O documento é atualizado periodicamente

de acordo com as mudanças necessárias. Na imagem a seguir, a simbologia do descreve os contratos demonstrados no mapa acima até julho de 2025.

Figura 16 - Legendas do documento: Contratos Vigentes

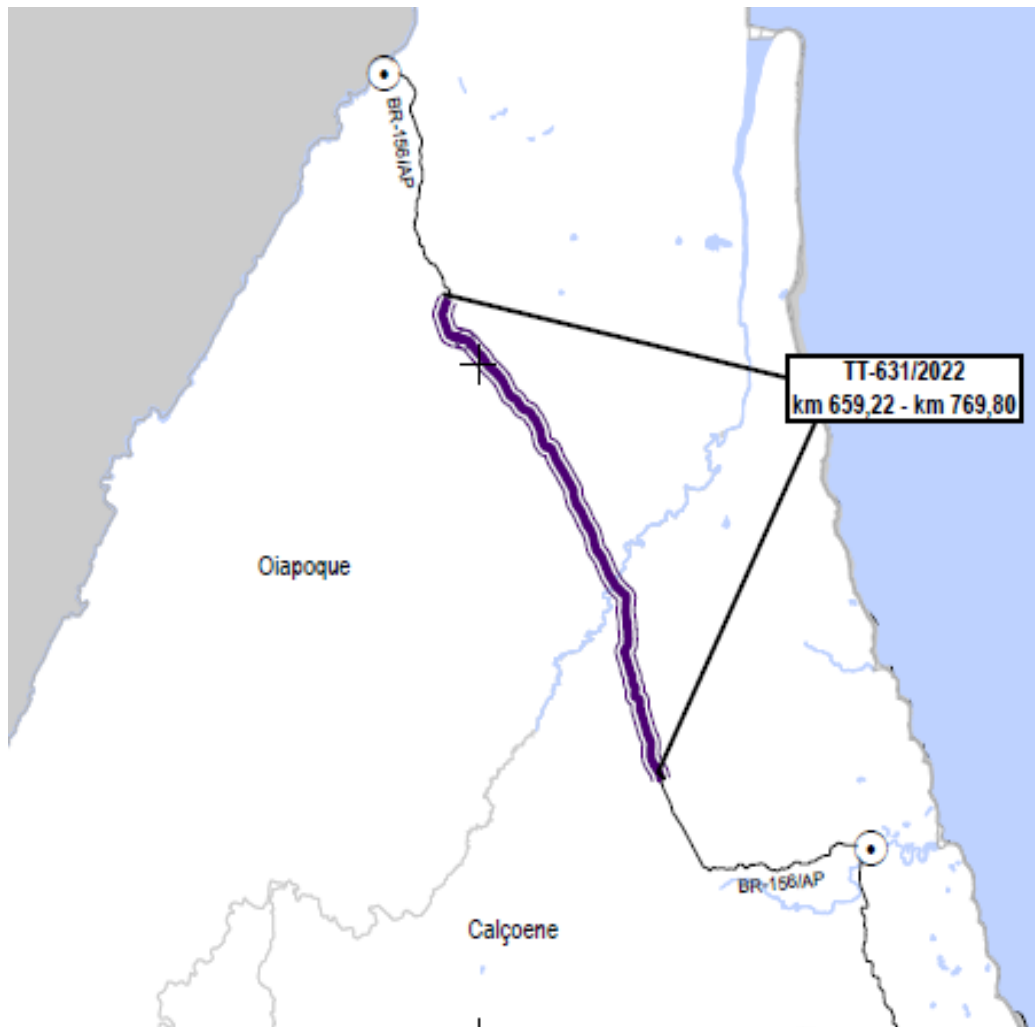
Legenda			
Simbologia	Nº Contrato	Empresa	Objeto
	2500207/2022	CMM	P.A.T.O
	2500120/2023	CMM	P.A.T.O
	2500398/2023	LCM	P.A.T.O
	2500139/2022	CMM	P.A.T.O
	2500631/2022	CMM	P.A.T.O
	2500661/2022	LCM	P.A.T.O
	-	Sem Contrato	P.A.T.O
	0000858/2016	LCM	CREMA
	0000859/2016	LCM	CREMA

Fonte: SRE - AP (2025)

Para que fosse possível fazer um comparativo ainda mais realista a respeito de valores de manutenção da rodovia foram selecionados dois trechos: Um **pavimentado** e outro **não pavimentado**. Dessa forma foi possível chegar a resultados que revelam números expressivos de diferenças de valor de manutenção.

Esses valores não representam apenas dados comuns, mas fontes de dados pertinentes e necessários para a elaboração de estratégias para o enfrentamento dos desafios logísticos, econômicos e sociais. A figura 17 evidencia o trecho não pavimentado, utilizado como fonte de extração de materiais para a elaboração dessa pesquisa.

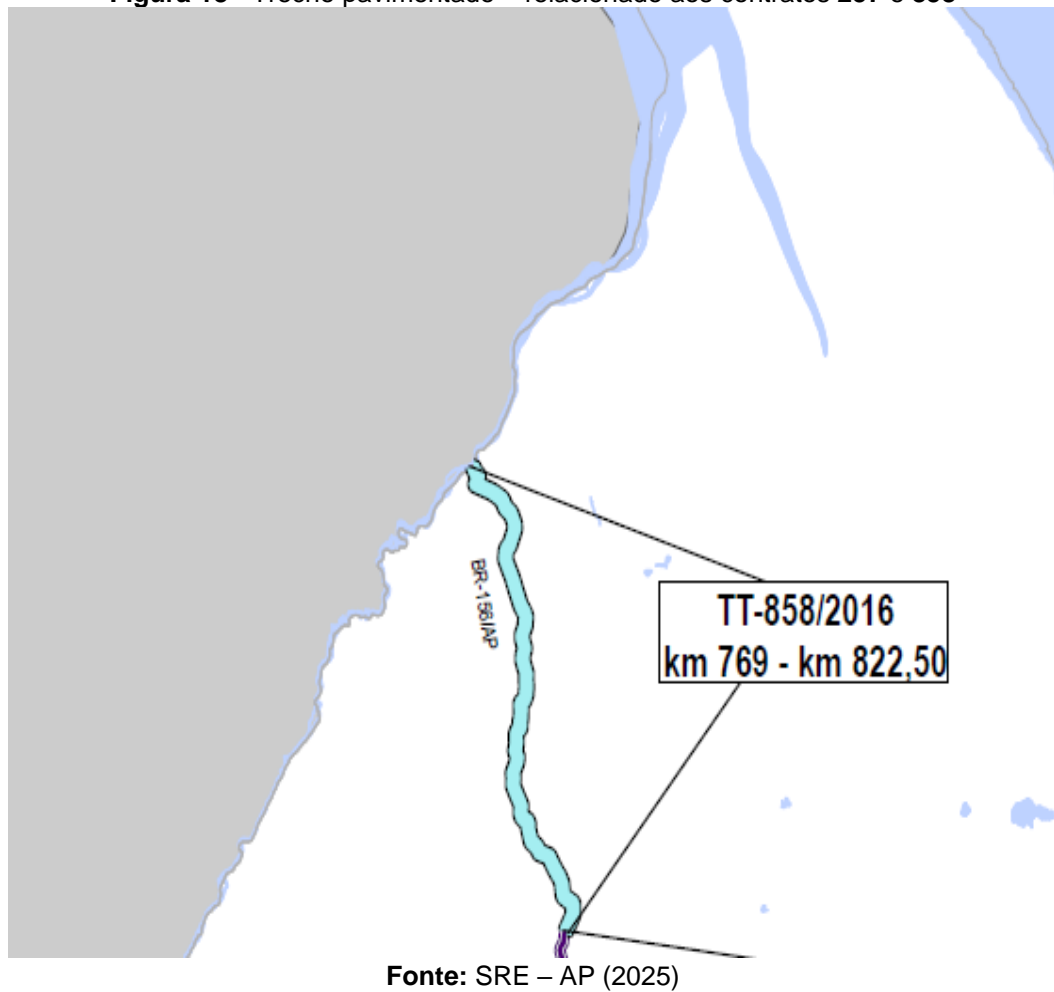
Figura 17 - Trecho não pavimentado – relacionado aos Contratos 338 e 631



Fonte: Contratos Vigentes SRE - AP - Consórcio SMSS.

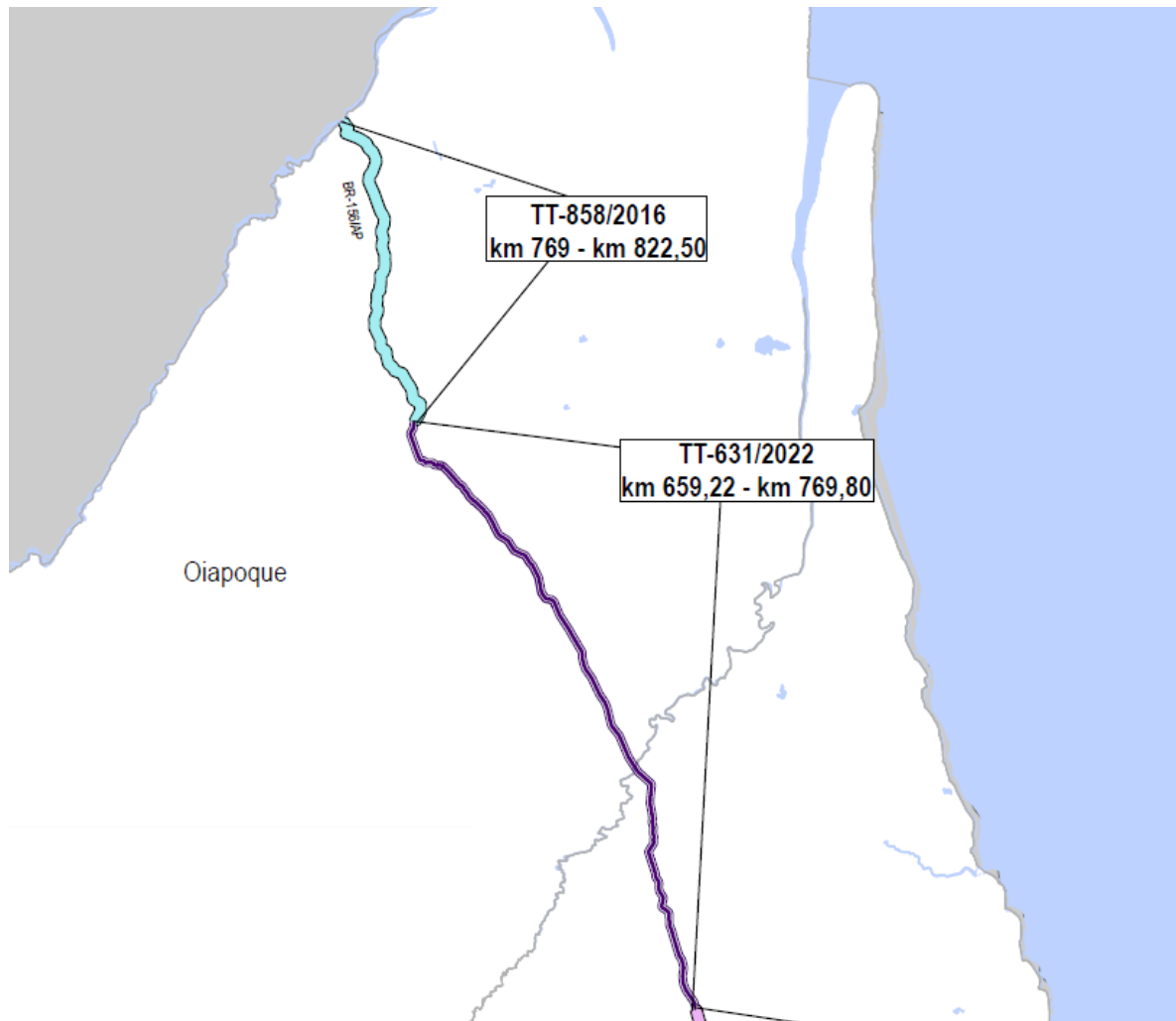
Seguindo o mesmo critério de análise foi selecionado um trecho pavimentado representado pelos contratos 257 e 858 dos quais também foi possível extrair dados que podem ser usados para comparação e conclusões acerca da viabilidade econômica de manutenção de ambos os pavimentos. E dentro desse contexto apresentar a importância do uso de novas tecnologias de manutenção. Tendo em vista as condições atípicas do clima tropical e fluxo de veículos que a rodovia sofre. A seguir é possível identificar precisamente o trecho em questão - figura 18.

Figura 18 - Trecho pavimentado – relacionado aos contratos 257 e 858



Ambos os trechos são de fundamental importância para a comunidade local e economia do estado. A figura 19 compreende os trechos pavimentado e não pavimentado.

Figura 19 - Trechos utilizados como objeto de estudo de pesquisa



Fonte: SRE - AP (2025)

3.2.2 Dados Operacionais

Através de dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e do Departamento Nacional de Trânsito (DNIT) entrou-se os seguintes dados operacionais pertinentes ao conteúdo estudado. Abaixo em resumo, alguns dos dados encontrados:

- Volume de tráfego: 1.200 caminhões/dia, sendo 38% acima do limite de carga permitido (ANTT, 2023).
- Histórico de manutenção (2021-2023):
- Custo total: R\$ 84 milhões (DNIT, 2023);
- Média de intervenções por km: 14 reparos em três anos.

3.2.3 Caracterização Geotécnica

O Quadro 3 adiante, apresenta os parâmetros geotécnicos do subleito da BR-156/AP, destacando um CBR médio de 4,8%, conforme a ABNT NBR 9895. Esse valor de California Bearing Ratio que é o índice de capacidade de suporte utilizado para avaliar a resistência do solo em pavimentação, indica o quanto o solo consegue suportar cargas quando compactado em condições padronizadas, sendo essencial para dimensionar estruturas de pavimento. Isso caracteriza um solo com baixa capacidade de suporte, o que explica a susceptibilidade do trecho à formação de deformações e perda de estabilidade, principalmente sob tráfego pesado. A umidade natural de 22%, superior ao valor ideal segundo a DNIT-EM 092/2019, reduz ainda mais a resistência do solo, comprometendo seu desempenho estrutural.

Quadro 3 – Parâmetros geotécnicos da BR-156

Parâmetro	Resultado	Norma
CBR	4,8% (média)	ABNT NBR 9895
Umidade do Subleito	22% (acima do ideal)	DNIT-EM 092/2019

Fonte: Adaptado da ABNT (2023) e DNIT (2024)

3.2.4 Monitoramento Climático.

Os dados de precipitação anual e variação térmica são fundamentais para compreender o comportamento do pavimento na rodovia, especialmente em uma região marcada por elevado índice pluviométrico e altas temperaturas, o que contribui para a saturação do subleito e acelera processos de degradação, enquanto a amplitude térmica influencia a expansão e contração dos materiais. Assim, o monitoramento climático orienta o planejamento de manutenção e a escolha das soluções tecnológicas mais adequadas. A seguir os resultados obtidos de precipitação e variação térmica da BR:

- Precipitação anual: 2.550 mm (INMET, 2023);
- Variação térmica: de 23°C a 38°C (EMBRAPA, 2022).

3.2.5 Monitoramento Financeiro de Contratos de Manutenção

Para melhor identificação de contratos foi elaborado o quadro 4 adiante, especificando o contrato e tipo de pavimento ao qual está relacionado.

Quadro 4 – Contratos de manutenção

Tipo de Trecho	Contratos	Período	Extensão (km)
Pavimentado	858 e 257 (jan/23 a jan/24)	Total consolidado	52,80 km
Não Pavimentado	338 e 631 (jun/20 a nov/22)	Total consolidado	110,26 km

Fonte: Adaptado de DNIT (2021; 2025), DNIT. (2025)

O contrato nº 858 contempla um trecho pavimentado, com extensão total de 52,80 km, como demonstrado na Figura 20 adiante.

Figura 20 – Objeto do contrato 858

LOCALIZAÇÃO DA OBRA					
UF	Via	Km	Km Final	Extensão	Subtrecho
AP	BR-156	769,70	822,50	52,80	Cachoeira Santo Antônio - Front. Brasil/Guiana Francesa (Fim Pte.
					PNV Inicial: 156BAP0420 - RIO CURUPI - INÍCIO TRECHO PAVIMENTADO
					PNV Final: 156BAP0450 - ACESSO AO RIO OIAPOQUE - INÍCIO PONTE INTERNACIONAL
					Município(s): OIAPOQUE
Extensão Total				52,80	

Fonte: DNIT (2025)

O contrato nº 338 refere-se a um segmento não pavimentado, cuja extensão é de 110,26 km, como demonstrado na Figura 21 adiante.

Figura 21 – Objeto do contrato 338

LOCALIZAÇÃO DA OBRA					
UF	Via	Km	Km Final	Extensão	Subtrecho
AP	BR-156	659,44	769,70	110,26	CACHOEIRA SANTO ANTÔNIO à FRONTEIRA BRASIL/GUIANA (PONTE
					PNV Inicial: 156BAP0370 - FIM DA PAVIMENTAÇÃO - RIO CUNANI
					PNV Final: 156BAP0420 - RIO CURUPI - INÍCIO TRECHO PAVIMENTADO
					Município(s): CALCOENE, OIAPOQUE
Extensão Total				110,26	

Fonte: DNIT (2025)

Os contratos apresentados correspondem a trechos distintos da BR-156/AP, abrangendo segmentos com características estruturais e condições operacionais diferentes. A análise conjunta desses dados permite visualizar a heterogeneidade da rodovia, evidenciando que diferentes soluções de manutenção e intervenções são necessárias.

Ao comparar as extensões apresentadas, nota-se que o trecho não pavimentado possui quase o dobro da extensão do trecho pavimentado mostrado no contrato

nº 858. Esse contraste evidencia que partes significativas da BR-156/AP ainda permanecem sem pavimentação asfáltica, especialmente no extremo norte do Amapá, onde as condições geotécnicas e climáticas tornam o avanço das obras mais complexo. A predominância de segmentos não pavimentados reforça a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura básica, tanto para melhorar a mobilidade regional quanto para reduzir os impactos socioeconômicos associados às dificuldades de deslocamento ao longo da rodovia.

3.2.5 Análise de Pagamentos Mensais (Fluxo Financeiro)

Para uma análise mais precisa de valores, foram utilizados dois tipos de contratos de cada tipo de operação, dois deles são do trecho pavimentado e outros dois são do trecho não pavimentado. Durante o período que compreende o mês de janeiro de 2021 até o mês de abril de 2025, demonstrado no Quadro 5 adiante.

Quadro 5 – Contratos analisados financeiramente (2021 – 2025)

Tipo de Trecho	Contratos	Período	Extensão (km)
Pavimentado	858 (jan/23 a jan/24) 257 (mai/24 a mai/25)	Total consolidado	52,80 km
Não Pavimentado	338 (jun/20 a nov/22) 631 (nov/22 a abr/25)	Total consolidado	110,26 km

Fonte: Pesquisa de campo (2025)

3.3 Análise das soluções tecnológicas

A seleção dos três modificadores — polímero SBS, borracha moída (CRM) e aditivo AMP — fundamenta-se em sua capacidade comprovada de melhorar o desempenho reológico e mecânico dos ligantes asfálticos, aspectos essenciais para as condições críticas observadas na BR-156/AP, marcada por clima quente, elevado índice pluviométrico e recorrentes deformações permanentes. Conforme apontam Lu e Isacson (2000), modificadores elastoméricos como o SBS ampliam a elasticidade e a resistência a altas temperaturas, enquanto o CRM apresenta ganhos ambientais e melhoria de desempenho em climas quentes (Silva et al., 2020), e os aditivos AMP favorecem a adesividade e a resistência ao envelhecimento (YU et al., 2023). Dessa forma, a escolha desses ligantes alinha-se à necessidade de soluções tecnológicas que ampliem a durabilidade e a resistência estrutural do pavimento ao longo desse trecho rodoviário.

3.3.1. Polímero SBS (Estireno-Butadieno- Estireno)

O polímero SBS é um modificador elastomérico amplamente empregado na pavimentação devido à sua capacidade de formar uma rede tridimensional no ligante, aumentando significativamente a elasticidade, a resistência à deformação permanente e a durabilidade do pavimento. Estudos demonstram que asfaltos modificados com SBS apresentam melhor desempenho em altas temperaturas, maior resistência à fadiga e menor suscetibilidade térmica quando comparados aos ligantes convencionais. Entre as desvantagens, destacam-se o custo elevado do polímero e a necessidade de controle rigoroso das temperaturas de mistura e usinagem, além de possíveis incompatibilidades com certos tipos de ligantes bases. Aplicações típicas incluem pavimentos de tráfego pesado, rodovias submetidas a grandes amplitudes térmicas e pistas aeroportuárias. (Lu; Isacsson, 2000.)

3.3.2. Borracha Moída Proveniente de Pneus Inservíveis (CRUMB RUBBER MODIFIER – CRM)

A borracha moída de pneus inservíveis é utilizada como modificador de ligantes asfálticos principalmente por meio do processo úmido, no qual as partículas de borracha interagem com componentes aromáticos do ligante, aumentando sua viscosidade e resistência a deformações. A literatura aponta que o CRM melhora a resistência à fadiga, amplia o desempenho em altas temperaturas e proporciona benefícios ambientais relevantes, pois reutiliza resíduos que seriam descartados inadequadamente. Contudo, o uso de borracha moída apresenta desafios, como maior temperatura de operação, aumento da viscosidade (que dificulta a trabalhabilidade) e risco de sedimentação se o sistema não for continuamente agitado. É amplamente empregado em vias urbanas de tráfego médio a pesado e em regiões de clima quente, onde há tendência maior de trilhas de roda. (Silva et al, 2020).

3.3.3 Aditivo AMP (Asphalt Modifier Performance)

Os aditivos AMP são modificadores químicos formulados para melhorar a adesividade, a elasticidade e a resistência ao envelhecimento dos ligantes asfálticos, atuando como compatibilizantes entre o ligante e agregados ou entre polímeros distintos. Diversos estudos mostram que aditivos desse tipo aumentam a resistência à umidade e podem melhorar o comportamento reológico sem exigir grandes alterações na usinagem. Como desvantagens, destacam-se custos adicionais e sensibilidade do desempenho à dosagem e à compatibilidade com o ligante base. São especialmente utilizados em pavimentos que exigem maior resistência à umidade ou em contextos

em que há necessidade de melhorar a coesão do ligante sem alterar drasticamente o processo produtivo.

3.4 Viabilidade Técnica e Econômica

3.4.1 Critérios Técnicos

A definição de uma vida útil mínima esperada de 7 anos (DNIT, 2023) assegura que as soluções propostas atendam ao desempenho estrutural necessário para o tráfego e às condições climáticas da região. A limitação de deformação permanente a ≤ 5 mm/ano (ABNT, 2022) funciona como parâmetro fundamental para avaliar a resistência das misturas asfálticas frente ao fenômeno de afundamento em trilha de roda, comum em pavimentos submetidos a elevadas temperaturas como na BR-156/AP.

3.4.2 Aspectos Logísticos

A disponibilidade de matérias-primas — como pneus reciclados fornecidos por programas nacionais de destinação adequada (Reciclanip, 2023) e polímeros SBS produzidos no Brasil (Braskem, 2023) — contribui para a viabilidade operacional das tecnologias analisadas. Essa oferta interna reduz custos de transporte e facilita a implementação contínua das soluções propostas ao longo do trecho estudado.

3.4.3 Critérios Normativos para Avaliação dos Aditivos

Os critérios normativos adotados — elasticidade (ASTM D6084), resistência ao dano por umidade via TSR (AASHTO T 283) e adesividade entre ligante e agregado (EN 12697-35) — garantem que os aditivos selecionados atendam ao desempenho mínimo exigido para ambientes tropicais. A exigência de vida útil projetada de no mínimo 7 anos (DNIT, 2023) e a avaliação da estabilidade e fluência das misturas conforme DNIT 043/2020 asseguram que o pavimento modificado apresente comportamento adequado sob tráfego pesado e temperaturas elevadas.

A seguir, o quadro 6 resume traz uma síntese dos critérios de viabilidade técnica e econômica.

Quadro 6 – Critérios de viabilidade técnica e econômica

Seção	Descrição / Critérios Avaliados
-------	---------------------------------

Crêterios Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil mínima esperada: 7 anos (DNIT, 2023). • Resistência � deforma�o: ≤ 5 mm/ano (ABNT, 2022). • Justificativa técnica: parâmetros asseguram desempenho estrutural e controle de deforma�es permanentes em clima quente.
Aspectos Logísticos	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade de matérias-primas: pneus reciclados (Reciclanip, 2023) e polímeros SBS nacionais (Braskem, 2023). • Impacto logístico: insumos nacionais reduzem custos operacionais e tornam a aplica�o mais viável ao longo da BR-156.
Crêterios Normativos para Avalia�o dos Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio aplicado: Elasticidade (ASTM D6084), TSR (AASHTO T 283), adesividade (EN 12697-35). • Vida útil projetada mínima: 7 anos (DNIT, 2023). • Estabilidade e fluência: conforme DNIT 043/2020. • Relevância normativa: assegura desempenho adequado frente � umidade, deforma�es e tráfego pesado.

Fonte: Adaptado do DNIT (2025)

A metodologia propõe uma análise robusta, pautada em cr terios normativos e operacionais, visando   aplica o de solu es sustentáveis e eficientes para a reabilita o da BR-156/AP. Conforme Santos et al. (2023), “as rodovias tropicais demandam inova es compatíveis com o meio ambiente e o desempenho mecânico exigido”.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Relatórios de Medi o

Para que fosse possível chegar aos resultados obtidos, utilizou-se também os relatórios de medi es pagos às empresas responsáveis pela execu o das atividades exigidas para a manuten o desses pavimentos. A tabela 1 adiante, foi criada a partir do cruzamento dos dados de m s de pagamento, empresa responsável pela execu o, no período e os respectivos valores repassados   essas empresas pela manuten o.

Tabela 1 – Valores pagos por contrato da BR-156 (2021-2025)

Mês/Ano	Empresa responsável pelo contrato	Pavimentado (R\$)	R\$/km (Pav)	Empresa responsável pelo contrato	Não Pavimentado (R\$)	R\$/km (Não Pav)
jan/21	LCM CONSTRU�O E COMERCIO S/A	R\$ 11.503,49	R\$ 217,87	J M CONSTRUTORA LTDA	—	—
fev/21	LCM CONSTRU�O E COMERCIO S/A	R\$ 11.503,49	R\$ 217,87	J M CONSTRUTORA LTDA	—	—

mar/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 14.379,37	R\$ 272,34	J M CONSTRUTORA LTDA	—	—
abr/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 21.281,47	R\$ 403,06	J M CONSTRUTORA LTDA	—	—
mai/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 18.405,59	R\$ 348,59	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.954.385,43	R\$ 17.725,24
jun/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 18.405,59	R\$ 348,59	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.017.109,70	R\$ 9.224,65
jul/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 18.405,59	R\$ 348,59	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 899.567,71	R\$ 8.158,60
ago/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 24.732,52	R\$ 468,42	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 953.614,52	R\$ 8.648,78
set/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 39.190,57	R\$ 742,25	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 389.708,03	R\$ 3.534,45
out/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 23.387,91	R\$ 442,95	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 264.359,07	R\$ 2.397,60
nov/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 1.609.348,79	R\$ 30.480,09	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.663.444,86	R\$ 15.086,57
dez/21	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 891.932,92	R\$ 16.892,67	J M CONSTRUTORA LTDA	—	-
jan/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 756.487,35	R\$ 6.860,94
fev/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.145.695,12	R\$ 10.390,85
mar/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.048.148,56	R\$ 9.506,15
abr/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 723.639,34	R\$ 6.563,03
mai/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.954.385,43	R\$ 17.725,24
jun/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.017.109,70	R\$ 9.224,65
jul/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 899.567,71	R\$ 8.158,60
ago/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 953.614,52	R\$ 8.648,78
set/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 389.708,03	R\$ 3.534,45
out/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 264.359,07	R\$ 2.397,60
nov/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	J M CONSTRUTORA LTDA	R\$ 1.511.300,40	R\$ 13.706,70

dez/22	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 136.276,16	R\$ 1.235,95
jan/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 360.734,58	R\$ 3.271,67
fev/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 757.008,04	R\$ 6.865,66
mar/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 842.781,39	R\$ 7.643,58
abr/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 1.662.716,66	R\$ 15.079,96
mai/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 2.450.133,98	R\$ 22.221,42
jun/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 2.662.194,08	R\$ 24.144,70
jul/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 6.251.550,08	R\$ 56.698,26
ago/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 10.241.043,94	R\$ 92.880,86
set/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 5.464.347,41	R\$ 49.558,75
out/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	SEM MEDIÇÃO	SEM MEDIÇÃO	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 5.392.424,79	R\$ 48.906,45
nov/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 618.162,47	R\$ 11.707,62	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ -	R\$ -
dez/23	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 730.341,69	R\$ 13.832,23	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ -	R\$ -
jan/24	LCM CONSTRUÇÃO E COMERCIO S/A	R\$ 74.856,14	R\$ 1.417,73	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ -	R\$ -
fev/24	-	-		CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ -	R\$ -
mar/24	-	-		CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 13.400.873,90	R\$ 121.538,85

abr/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 23.531,11	R\$ 445,66	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 23.018.723,73	R\$ 208.767,67
mai/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 94.725,61	R\$ 1.794,05	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 251.009,49	R\$ 2.276,52
jun/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 107.924,94	R\$ 2.044,03	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 4.997.820,91	R\$ 45.327,60
jul/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 566.334,35	R\$ 10.726,03	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 7.417.414,02	R\$ 67.272,03
ago/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 719.794,30	R\$ 13.632,47	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 9.695.162,54	R\$ 87.930,01
set/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 196.386,44	R\$ 3.719,44	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 3.477.318,40	R\$ 31.537,44
out/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 378.492,78	R\$ 7.168,42	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 3.625.071,63	R\$ 32.877,49
nov/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 105.668,93	R\$ 2.001,31	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 62.251,22	R\$ 564,59
dez/24	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 201.061,12	R\$ 3.807,98	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 32.144,51	R\$ 291,53
jan/25	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 32.167,84	R\$ 609,24	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 66.972,62	R\$ 607,41
fev/25	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 29.979,23	R\$ 567,79	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 95.468,97	R\$ 865,85
mar/25	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 29.979,23	R\$ 567,79	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 778.598,45	R\$ 7.061,48
abr/25	Const. e Refl. do Rio Madeira	R\$ 23.531,11	R\$ 445,66	CONSTRUTORA MEIRELLES MASCARENHAS LTDA	R\$ 2.249.334,13	R\$ 20.400,27
Total		R\$ 6.635.414,59		Total	R\$ 123.195.580,18	

Fonte: Relatórios de contratos de manutenção da BR-156/AP (2021–2025). DNIT (2025)

Dessa forma é possível observar movimentações financeiras que são reflexo da operação de manutenção da BR-156/AP. É possível identificar momentos em que houve paralisações, outros em que o valor pago é menor devido à baixa produtividade, outros em que as operações apresentam pagamentos maiores, que segundo a lógica

operacional de contratos por licitação, representam percentuais elevados de pagamento devido ao aumento significativo da produção.

A análise dos valores pagos mensalmente para os contratos da BR-156/AP, discriminados em pavimentado e não pavimentado, revela oscilações significativas ao longo do período 2021–2025. Nos trechos pavimentados, os pagamentos iniciais foram relativamente baixos e constantes, com destaque para novembro e dezembro de 2021, quando os valores alcançaram R\$ 1,6 milhão e R\$ 891 mil, respectivamente. Essa elevação pode ser associada a medições de serviços acumulados e ao avanço de etapas críticas de mobilização e execução, características comuns em contratos de pavimentação rodoviária (DNIT, 2013).

Nos períodos seguintes, entre 2022 e meados de 2023, os pagamentos referentes ao trecho pavimentado não registraram medições expressivas, voltando a apresentar picos apenas a partir de novembro de 2023. Esse comportamento sugere que a execução foi concentrada em fases específicas, refletindo tanto a dinâmica de liberação orçamentária quanto a sazonalidade climática da região amazônica. Em períodos chuvosos, a execução de serviços em rodovias pavimentadas tende a ser reduzida, devido à dificuldade de aplicação de insumos como o CAP 50/70 e a usinagem asfáltica (Pinto, 2006).

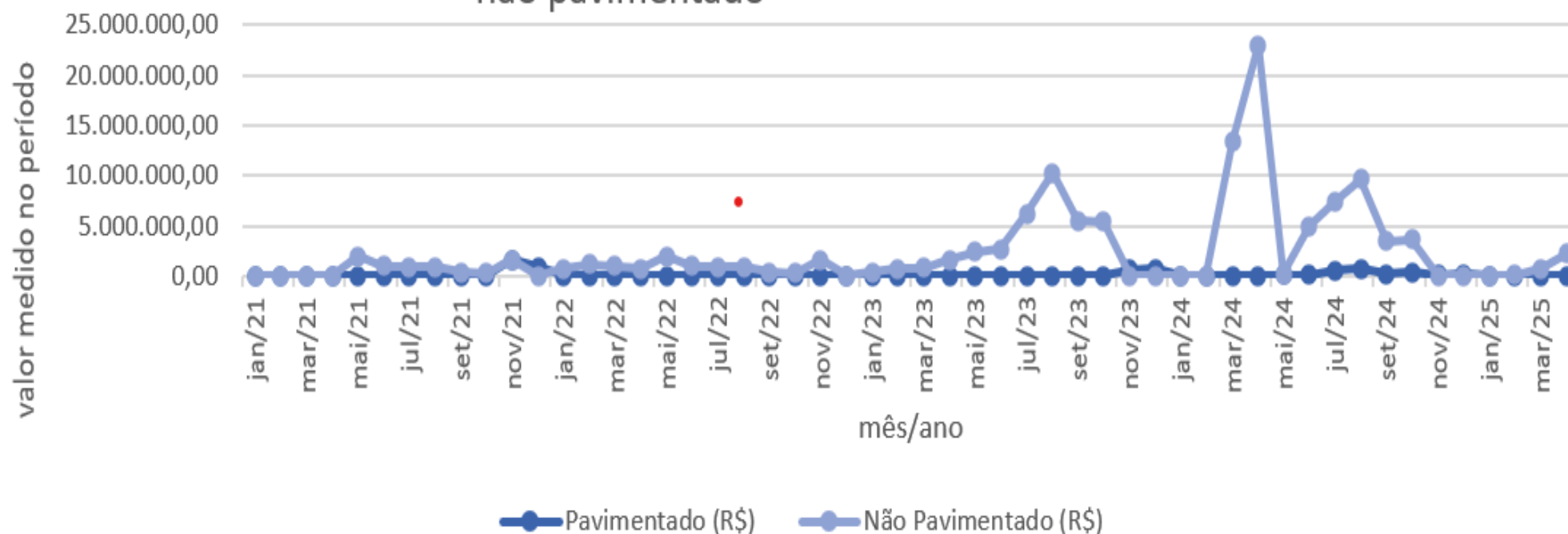
No trecho não pavimentado, os valores pagos apresentam comportamento mais contínuo e elevados montantes em diversos meses, especialmente em julho, agosto e setembro de 2023, quando foram desembolsados mais de R\$ 10 milhões mensais, atingindo R\$ 10,2 milhões em agosto. Isso se relaciona à característica desse tipo de via, que demanda serviços constantes de recomposição do revestimento primário e transporte de materiais, insumos altamente dependentes das condições climáticas (Senço, 1997).

De forma geral, os dados indicam que os maiores desembolsos ocorreram nos trechos não pavimentados, evidenciando que a manutenção desse tipo de estrada é mais onerosa e contínua do que a manutenção de trechos pavimentados, cujo custo se concentra em fases mais pontuais de execução.

Com base na tabela 1 foi possível criar o Gráfico 1 adiante, a fim de permitir uma visualização mais clara da movimentação de valores em cada período.

Gráfico 1: Valores pagos por contrato da BR-156/AP (2021-2025)

Valores totais de manutenção, diferença entre trecho pavimentado e trecho não pavimentado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.1.1 Análise de custo por km (Eficiência e Impacto Unitário)

Usando a tabela 1 como referência foi possível encontrar a diferença entre os valores pagos por quilômetro. Dividindo o valor mensal pela quantidade de quilômetros em cada tipo de contrato respectivamente, como demonstrando na Tabela 2 diante.

Tabela 2 – Valores pagos por quilômetro de trecho pavimentado e não pavimentado (2021-2025)

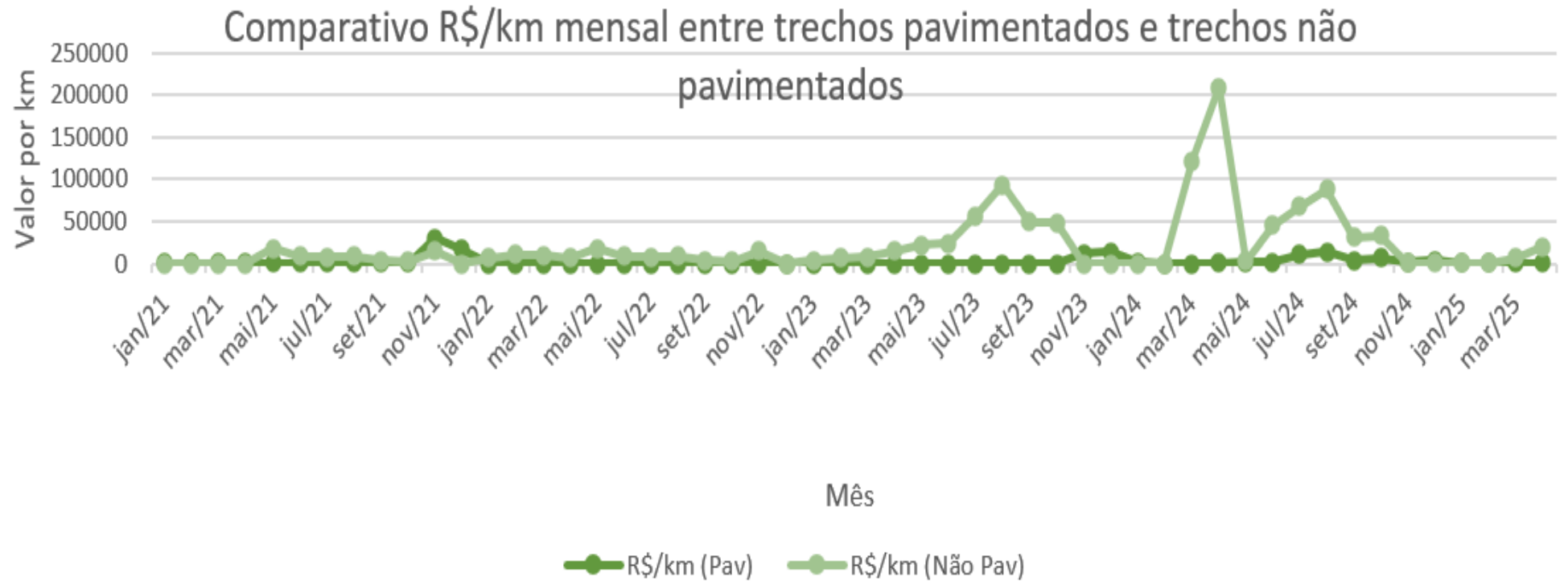
Mês/Ano	R\$/km (Pav)	R\$/km (Não Pav)
jan/21	217,87	—
fev/21	217,87	—
mar/21	272,34	—
abr/21	403,06	—
mai/21	348,59	17.725,24
jun/21	348,59	9.224,65
jul/21	348,59	8.158,60
ago/21	468,42	8.648,78
set/21	742,25	3.534,45
out/21	442,95	2.397,60
nov/21	30.480,09	15.086,57
dez/21	16.892,67	—
jan/22	—	6.860,94
fev/22	—	10.390,85
mar/22	—	9.506,15
abr/22	—	6.563,03
mai/22	—	17.725,24
jun/22	—	9.224,65
jul/22	—	8.158,60
ago/22	—	8.648,78
set/22	—	3.534,45
out/22	—	2.397,60
nov/22	—	15.086,57
dez/22	—	—
jan/23	—	3.271,67
fev/23	—	6.865,66

mar/23	—	7.643,58
abr/23	—	15.079,96
mai/23	—	22.221,42
jun/23	—	24.144,70
jul/23	—	56.698,26
ago/23	—	92.880,86
set/23	—	49.558,75
out/23	—	48.906,45
nov/23	11.707,62	—
dez/23	13.832,23	—
jan/24	1.417,73	—
fev/24	—	—
mar/24	—	121.538,85
abr/24	445,66	208.767,67
mai/24	1.794,05	2.276,52
jun/24	2.044,03	45.327,60
jul/24	10.726,03	67.272,03
ago/24	13.632,47	87.930,01
set/24	3.719,44	31.537,44
out/24	7.168,42	32.877,49
nov/24	2.001,31	564,59
dez/24	3.807,98	291,53
jan/25	609,24	607,41
fev/25	567,79	865,85
mar/25	567,79	7.061,48
abr/25	445,66	20.400,27

Fonte: Adaptado de DNIT (2021; 2025)

Tendo como base a tabela 2, foi possível elaborar o **gráfico 2**, que expressa as variações entre pagamentos por quilômetro de cada tipo de pavimento.

Gráfico 2: Valores pagos por quilômetro da BR-156 (2021-2025)



Fonte: DNIT (2021; 2025)

A análise do custo por quilômetro revela contrastes relevantes entre os trechos pavimentados e não pavimentados da BR-156/AP. Nos trechos pavimentados, observa-se que os valores por quilômetro oscilaram entre R\$ 217,87 (fevereiro de 2021) e R\$ 30.480,09 (novembro de 2021). Esses picos refletem medições de mobilização, usinagem asfáltica e aquisição de CAP 50/70, insumos de alto custo unitário e de difícil logística na região amazônica. No entanto, após esse período, os valores por quilômetro se mantiveram majoritariamente em patamares inferiores, como R\$ 445,66 em abril de 2024 e R\$ 567,79 em fevereiro e março de 2025. Isso indica que, no caso das rodovias pavimentadas, os altos custos se concentram em momentos de mobilização e execução mais intensiva, não sendo contínuos ao longo do tempo.

Já nos trechos não pavimentados, os custos por quilômetro apresentam comportamento mais elevado e constante. Em março de 2024, por exemplo, o custo atingiu R\$ 121.538,85/km, chegando ao pico de R\$ 208.767,67/km em abril do mesmo ano. Tais valores refletem a necessidade de movimentação intensiva de solos e agregados, somados aos custos de transporte em longas distâncias e em condições adversas de tráfego. A instabilidade do revestimento primário, agravada pela intensa pluviosidade da região amazônica, eleva substancialmente o custo da manutenção (DNIT, 2013).

Essa comparação evidencia que, embora os custos pontuais de trechos pavimentados possam ser elevados em fases específicas, a manutenção de trechos não pavimentados apresenta custo por quilômetro significativamente superior e mais frequente. Isso reforça a necessidade de avaliar a viabilidade de pavimentação como alternativa de médio e longo prazo para reduzir os custos contínuos de manutenção em regiões críticas (PINTO, 2006; SENÇO, 1997).

4.1.2 Análise de Influência de Insumos Essenciais na Manutenção do Trecho Pavimentado (Contrato 257)

Ao serem analisados os relatórios de medição, foram feitas comparações entre orçamentos sintéticos das medições realizadas. Para evidenciar um período menor, de forma que fique mais clara a avaliação, dado a quantidade de valores e insumos, extraiu-se o período de seis meses. Também devido à grande quantidade de insumos em cada uma das planilhas orçamentárias, foram extraídos apenas os insumos mais relevantes dentro do orçamento, considerando o

seu valor e quantidade em relação ao preço total. Como expresso pelo quadro 7 adiante.

Quadro 7 – Insumos essenciais e valores de Contrato 257

CONTRATO PAVIMENTADO 257			
Insumos com valores mais significativos na medição	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
01/06 – 30/06/2024		Valor do pagamento mensal	105.505,30
Mobilização/Desmobilização	UND	83.399,72	83.399,72
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	283,87	23.026,11
Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	22.154,99
Administração Local	%	—	6.209,32
01/07 – 31/07/2024		Valor do pagamento mensal	557.053,53
Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	128.982,85
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	283,87	134.049,65
Tapa Buraco (Serra Corta Piso)	m ³	430,57	84.708,18
Transporte CAP 50/70	t	1.575,14	43.751,08
Administração Local	%	—	38.032,10
01/08 – 31/08/2024		Valor do pagamento mensal	708.320,45
Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	200.402,65
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	1.575,14	208.236,52
Tapa Buraco (Serra Corta Piso)	m ³	430,57	131.600,70
Transporte CAP 50/70	t	1.575,14	67.976,74
Administração Local	%	—	42.689,09
01/09 – 30/09/2024		Valor do pagamento mensal	193.272,84
Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	53.885,26
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	1.575,14	54.270,83
Tapa Buraco (Serra Corta Piso)	m ³	430,57	34.297,05
Transporte CAP 50/70	t	1.575,14	17.710,87
Administração Local	%	—	11.642,47
01/10 – 31/10/2024		Valor do pagamento mensal	372.466,06
Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	74.303,52
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	1.575,14	77.208,66
Tapa Buraco (Serra Corta Piso)	m ³	430,57	48.788,74
Transporte CAP 50/70	t	1.575,14	25.203,81
Administração Local	%	—	22.508,79
01/11 – 30/11/2024		Valor do pagamento mensal	102.496,11

Aquisição de CAP 50/70	t	4.643,68	9.723,86
Usinagem de Concreto Asfáltico (Areia e Brita)	t	1.575,14	32.257,56
Tapa Buraco (Serra Corta Piso)	m ³	430,57	19.783,83
Transporte CAP 50/70	t	1.575,14	3.298,34
Administração Local	%	—	6.209,32

Fonte: Adaptado de DNIT(2024)

A análise dos valores medidos para o contrato referente ao trecho pavimentado da BR-156/AP evidencia a predominância de insumos ligados diretamente à execução da camada asfáltica. Entre os itens que mais impactam o custo total destacam-se a Aquisição de CAP 50/70, a Usinagem de Concreto Asfáltico com areia e brita comerciais, além da atividade de Tapa-Buraco com pintura de ligação. Esses insumos apresentam valores elevados em praticamente todos os períodos observados, demonstrando que o custo da obra está fortemente associado à manutenção e recomposição das camadas de rolamento.

A mobilização e desmobilização, presente em junho de 2024, também representou parcela significativa, pois trata-se de um serviço essencial no início das etapas contratuais, envolvendo transporte de equipamentos e estruturação do canteiro de obras. A Administração Local, embora apresente valores menores em relação aos insumos diretos, é constante e necessária, garantindo a supervisão técnica e administrativa da execução.

Um aspecto relevante no contexto da BR-156/AP é a logística de transporte dos insumos, principalmente do CAP 50/70, que precisa ser deslocado até pontos distantes e de difícil acesso. A região amazônica é marcada por condições climáticas adversas, como chuvas intensas e sazonalidade hídrica, que dificultam tanto a chegada dos materiais quanto a manutenção das frentes de serviço. Em períodos de maior pluviosidade, a execução da usinagem e o transporte de insumos sofrem atrasos e custos adicionais, já que o tráfego de caminhões-tanque e basculantes pode ser interrompido ou limitado em trechos críticos.

A figura 22 adianta mostra a extração de uma parte do relatório de medição de um dos meses para esse contrato. Sua finalidade é demonstrar a complexidade do documento e comprovar os tipos de insumos e valores analisados para a elaboração do quadro 7 e do quadro 8.

Figura 22 - Relatório mensal de medição - Contrato 257

DNIT DNIT - SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO DNIT NO ESTADOS DO AMAPÁ CONTRATO: 25 00257/2024 - CONSTRUTORA E REFLORESTADORA RIO Tipo de Contrato: OBRA DE ENGENHARIA Forma de cálculo: NORMAL AP - BR-156 - ENTR BR-156 (P/ LARANJAL DO JARI) - FRONT BRASIL/GUIANA FRANCEAS (FIM DA PONTE INTERNACIONAL) Data Base: 01/01/2023 Número do Processo: 50008.000296/2023-61 Período Líquido: 01/06/2024 - 30/06/2024 Período Acumulado: 17/05/2024 - 30/06/2024 2ª MEDIÇÃO PROVISÓRIA - ÍNDICES DEFINITIVOS Processado 17/10/2024							Índices ADLOC CONSER EMUIMP EMUMOD MOB OCMA SIN-H
Serviço	Descrição	Código SICRO	Unidade	Preço Unitário	Quantidade Acumulada	Valor a PI Acumulado	
1,0 - CONSERVAÇÃO FAIXA DE DOMÍNIO E DISPOSITIVOS - DESEMPENHO							
90105	CONSERVAÇÃO ROTINEIRA - DESEMPENHO	Não	MES	27.244,6460	1,483	40.403,80	
SUBTOTAL						40.403,80	
2,2 - CONSERVAÇÃO CORRETIVA ROTINEIRA							
5472	AQUISIÇÃO DE CAP 50/70	Não	T	4.643,6800	4,771	22.154,99	
49009	TRANSPORTE DE EMULSÃO PARA IMPRIMAÇÃO	Não	T	1.704,6100	0,406	692,07	
95102	USINAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO - FAIXA C - AREIA E BRITA COMERCIAIS	Não	T	283,8700	81,115	23.026,11	
95275	REMENDO PROFUNDO COM IMPRIMAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA - DEMOLIÇÃO MECÂNICA E CORTE COM SERRA	Não	M3	266,3500	33,795	9.001,29	
99688	AQUISIÇÃO DE EMULSÃO P/ IMPRIMAÇÃO	Não	T	3.613,8000	0,406	1.467,20	
199999	TRANSPORTE DE CAP 50/70	Não	T	1.575,1400	4,771	7.514,99	
SUBTOTAL						63.856,65	
5,0 - SERVIÇOS DE SINALIZAÇÃO DE OBRA							
49321	OPERAÇÃO DE SINALIZAÇÃO POR BANDEIROLA DE TECIDO OU COM PLACA METÁLICA	Não	H	25,9600	24,000	623,04	
91826	CONE PLÁSTICO PARA CANALIZAÇÃO DE TRÂNSITO - UTILIZAÇÃO DE 150 CICLOS - FORNECIMENTO, 01 IMPLANTAÇÃO E 01 RETIRADA DIÁRIA	Não	UNDIA	1,0200	126,000	128,52	
SUBTOTAL						751,56	
6,0 - SERVIÇOS AUXILIARES							
92633	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³ - RODOVIA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO	Não	TKM	1,1000	3.261,078	3.587,18	
152349	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³ EM RODOVIA PAVIMENTADA	Não	TKM	0,8000	4.527,273	3.621,81	
500996	TRANSPORTE COM CAMINHÃO CARROCERIA DE 15 T - RODOVIA PAVIMENTADA.	Não	TKM	0,7600	308,062	234,14	
SUBTOTAL						7.443,13	
7,0 - INSTALAÇÃO DE CANTEIRO E MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO							
84292	MOBILIZAÇÃO/DESMOBILIZAÇÃO	Não	UND	83.399,7200	1,000	83.399,72	
SUBTOTAL						83.399,72	
8,0 - ADMINISTRAÇÃO LOCAL							

Fonte: Relatórios de Medição (DNIT 2024)

Portanto, o peso dos insumos na planilha não reflete apenas o custo de aquisição ou produção, mas também os desafios logísticos e ambientais da região. Assim, a análise reforça que a manutenção do trecho pavimentado da BR-156/AP depende de estratégias de planejamento que considerem as variações sazonais e as dificuldades de acesso típicas da Amazônia.

4.1.2.3 Análise de Influência de insumos essenciais na manutenção do trecho. (Contrato 631)

Ainda dentro do estudo sobre a manutenção financeira é possível identificar insumos que se destacam em relação aos demais. Foram extraídos dos relatórios de medição alguns dados a respeito de insumos que chamam atenção, dada a sua natureza essencial e custo elevado. Para a elaboração do quadro comparativo, foi usado como referência somente os relatórios de medição referentes aos meses que compreendem o intervalo de 01 de junho a 06 a 01 de novembro do ano de 2024 como expresso pelo Quadro 8 adiante.

Quadro 8 – Insumos essenciais e valores de contrato 631

CONTRATO NÃO PAVIMENTADO (631)			
Insumos com valores mais significativos na medição	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
01/06 – 30/06/2024		Valor do pagamento mensal	4.454.859,65
Recomposição Revestimento Primário c/ Cimento	m ³	95,38	655.922,00
Enrocamento Pedra de Mão	m ³	452,11	496.065,30
Estacas de Madeira 0,30x0,30 m	m	618,5	742.000,00
Longarinas Madeira 0,30x0,30 m	m	636,05	346.718,40
Transporte Caminhão Carroceria 15 t	TKM	0,91	272.422,29
Transporte Caminhão Cap. 7 t	TKM	2,19	186.605,19
Transporte Caminhão Basculante 10 m ³	TKM	1,23	1.036.063,60
Administração Local	%	—	126.244,29
01/07 – 31/07/2024		Valor do pagamento mensal	6.061.475,19
Recomposição Revestimento Primário c/ Cimento	m ³	95,38	2.320.652,62
Estacas de Madeira 0,30x0,30 m	m	618,5	163.284,00
Longarinas Madeira 0,30x0,30 m	m	636,05	346.718,40
Transporte Caminhão Carroceria 15 t	TKM	0,91	661.348,16
Transporte Caminhão Cap. 7 t	TKM	2,19	1.100.209,45
Transporte Caminhão Basculante 10 m ³	TKM	1,23	2.309.623,98
Administração Local	%	—	220.638,58
01/08 – 31/08/2024		Valor do pagamento mensal	8.865.163,62
Recomposição Revestimento Primário c/ Cimento	m ³	95,38	4.602.046,84
Enrocamento Pedra de Mão	m ³	452,11	496.965,30
Estacas de Madeira 0,30x0,30 m	m	618,5	93.580,00
Longarinas Madeira 0,30x0,30 m	m	619,14	795.594,90
Transporte Caminhão Carroceria 15 t	TKM	0,91	1.311.808,33
Transporte Caminhão Cap. 7 t	TKM	2,19	332.915,91
Transporte Caminhão Basculante 10 m ³	TKM	1,23	1.597.448,44
Administração Local	%	—	358.799,57
01/09 – 30/09/2024		Valor do pagamento mensal	8.132.762,76
Recomposição Revestimento Primário c/ Cimento	m ³	95,38	1.052.866,43
Estacas de Madeira 0,30x0,30 m	m	618,5	372.285,00
Longarinas Madeira 0,30x0,30 m	m	619,14	1.356.317,00
Transporte Caminhão Carroceria 15 t	TKM	0,91	1.276.592,22

Transporte Caminhão Cap. 7 t	TKM	2,19	1.572.847,93
Transporte Caminhão Basculante 10 m ³	TKM	1,23	1.529.422,57
Administração Local	%	—	126.244,29
01/10 – 31/10/2024		Valor do pagamento mensal	3.259.730,83
Recomposição Revestimento Primário c/ Cimento	m ³	95,38	293.863,77
Enrocamento Pedra de Mão	m ³	452,11	56.250,62
Estacas de Madeira 0,30x0,30 m	m	618,5	147.330,00
Longarinas Madeira 0,30x0,30 m	m	619,14	191.135,75
Transporte Caminhão Carroceria 15 t	TKM	0,91	280.385,14
Transporte Caminhão Basculante 10 m ³	TKM	1,23	1.637.966,78
Administração Local	%	—	132.888,73
01/11 – 30/11/2024		Valor do pagamento mensal	60.119,37
Hidrossemeadura	m ²	6,51	32.222,12

Fonte: Adaptado de DNIT (2024)

No trecho não pavimentado da BR-156/AP, observa-se que os valores mais expressivos se concentram em insumos relacionados à recomposição do revestimento primário com material de jazida, além do transporte por caminhões basculantes e carrocerias. Em agosto de 2024, por exemplo, a recomposição chegou a ultrapassar R\$ 4,6 milhões, enquanto os transportes superaram R\$ 1,5 milhão em alguns períodos. Isso demonstra que o maior desafio do segmento não pavimentado não é apenas a execução direta, mas a logística de movimentação de grandes volumes de solo e agregados.

Os serviços auxiliares, como enrocamento com pedra de mão e a execução de estacas e longarinas de madeira para pontes, também representam custos importantes. Esses itens reforçam a necessidade de soluções estruturais em trechos críticos, especialmente onde há cursos d'água, áreas alagadiças ou pontos de erosão. A presença constante da Administração Local novamente aparece como parcela menor em valores absolutos, mas essencial para a coordenação das frentes de serviço.

As condições climáticas têm impacto ainda mais relevante no segmento não pavimentado. A intensa pluviosidade da região causa instabilidade no revestimento primário, exigindo intervenções frequentes de recomposição. Além disso, o transporte de insumos em estradas de revestimento primário está sujeito a interrupções durante a estação chuvosa, quando o solo se torna lamacento e

impede a passagem de veículos pesados. Esse fator amplia os custos de manutenção, uma vez que aumenta o desgaste dos materiais e a necessidade de reposição em prazos mais curtos (Pinto, 2006; DNIT, 2013).

Assim, o quadro de valores evidencia que a conservação do trecho não pavimentado da BR-156/AP é intensiva em insumos de recomposição e transporte, refletindo os desafios logísticos e ambientais do corredor amazônico. A análise indica que, enquanto o trecho pavimentado concentra custos na camada de rolamento e insumos betuminosos, o não pavimentado está diretamente condicionado ao fornecimento contínuo de material de jazida e à capacidade de transporte em condições climáticas adversas.

4.2 Resultados da Avaliação dos ligantes asfálticos

O Quadro 9 a seguir, apresenta uma avaliação comparativa dos principais modificadores utilizados em ligantes asfálticos — SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), borracha moída proveniente de pneus inservíveis e AMP (Asfalto Modificado por Polímero). São descritas suas vantagens, limitações e aplicações típicas no setor rodoviário, permitindo identificar o desempenho esperado em diferentes condições de uso.

Quadro 9 – Avaliação técnica de aditivos asfálticos (SBS, CRM e AMP)

Modificador	Vantagens	Desvantagens	Aplicações Típicas
SBS (Estireno-Butadieno-Estireno)	Alta elasticidade; excelente resistência à deformação permanente; menor suscetibilidade térmica; maior vida útil	Custo elevado; necessidade de controle rigoroso de temperatura; possível incompatibilidade com alguns ligantes	Rodovias de alto tráfego; regiões com grande variação térmica; pistas aeroportuárias
Borracha Moída (Crumb Rubber)	Melhora resistência à fadiga; maior desempenho em altas temperaturas; benefício ambiental; redução de ruído	Aumento da viscosidade; maior temperatura de operação; risco de sedimentação	Vias urbanas e rodovias de médio/alto tráfego; clima quente
Aditivo AMP	Melhora adesividade e resistência à umidade; reduz stripping; pode melhorar elasticidade com baixo impacto no processo	Custo adicional; desempenho depende da compatibilidade com o ligante	Pavimentos sujeitos à umidade elevada; obras que precisam aumentar coesão sem mudar o processo de usinagem

Fonte: Adaptado Traçado Distribuidora (2024), EMAM Asfaltos (2023), Greca Asfaltos (2024), Brasquímica (2022) e ANTT (2021)

4.2.1 Resultados de análise de aplicação dos três tipos de ligantes

4.2.1.1 Utilização de polímero SBS — caso de referência

A modificação do CAP 50/70 com polímero estireno-butadieno-estireno (SBS) tem apresentado resultados consistentes no aumento da resistência à deformação permanente e à fadiga em pavimentos asfálticos. Em estudo conduzido por Souza (2023) na rodovia SC-163, comparando misturas produzidas com CAP 50/70, CAP+SBS e CAP+borracha moída, observou-se que o CAP+SBS apresentou redução média de 38% na deformação permanente e aumento de 22% na vida de fadiga em relação ao ligante convencional. Resultados complementares de ensaios de fluência-recuperação (MSCR) realizados por Mendes (2022) demonstraram que asfaltos modificados por SBS apresentaram recuperação elástica superior a 60%, enquanto os CAPs convencionais registraram valores inferiores a 10%. Além disso, o parâmetro de compliância não recuperável (Jnr) reduziu de $3,2 \text{ kPa}^{-1}$ para $0,8 \text{ kPa}^{-1}$, indicando maior resistência às deformações repetidas.

Esses resultados demonstram que o uso de SBS se ajusta às condições operacionais de rodovias expostas a tráfego pesado e altas temperaturas, perfil semelhante ao observado na BR-156.

4.2.1.2 Utilização de borracha moída de pneus (asfalto-borracha)

O asfalto-borracha, obtido pela incorporação de borracha moída de pneus inservíveis ao CAP, tem se destacado pela melhoria consistente no desempenho mecânico dos pavimentos. Estudos de Lima (2008) demonstram que misturas contendo esse modificador apresentam incremento de cerca de 25% na resistência à fadiga, redução aproximada de 30% na deformação permanente e menor suscetibilidade térmica, características essenciais para rodovias submetidas a altas temperaturas e elevados índices pluviométricos. Resultados práticos reforçam tais evidências: segundo levantamento da Associação Brasileira de Tecnologia em Borracha (ABTB, 2021), pavimentos com asfalto-borracha alcançaram até 40% de aumento na vida útil quando comparados a revestimentos com CAP convencional em trechos com tráfego pesado.

Além dos ganhos técnicos, a tecnologia possui relevância ambiental, pois cerca de 1.000 pneus por quilômetro são reutilizados na produção do revestimento, conforme apontado pela Revista Pesquisa FAPESP (2019). Ensaio realizado pelo DER-MG (2024) também mostram que misturas com CRM atingiram TSR de 87%, acima dos requisitos mínimos, o que reforça a adequação do material para regiões de alta umidade como o Amapá.

4.2.1.3 Ligantes modificados por polímero – AMP

Os ligantes AMP (Asfalto Modificado por Polímero) representam uma evolução tecnológica em relação ao CAP convencional. Em ensaios realizados por Cordeiro (2021), misturas produzidas com AMP apresentaram redução de 45% na deformação permanente, aumento de 35% na resistência à tração indireta e recuperação elástica superior a 50%, valores significativamente maiores que os observados com CAP 50/70.

Segundo relatório técnico da Prefeitura de Porto Alegre (2023), a aplicação de AMP do tipo 65/90-80 (HiMA) em vias urbanas resultou em aumento estimado de 12 para 20 anos na vida útil do pavimento, com redução de intervenções de manutenção em aproximadamente 40% no período projetado.

Esses resultados mostram que o AMP combina desempenho mecânico elevado com facilidade de aplicação semelhante à do asfalto convencional, oferecendo alternativa tecnicamente viável para rodovias tropicais como a BR-156, especialmente em segmentos de tráfego intenso e alta temperatura de serviço.

4.3 Considerações Comparativas

A comparação entre os casos revela que cada tecnologia possui particularidades que podem ser exploradas de acordo com o contexto geotécnico, climático e operacional da rodovia. A BR-163 demonstra que os polímeros SBS são altamente eficazes em ambientes tropicais com tráfego intenso. A Rodovia dos Bandeirantes evidencia os benefícios econômicos e ambientais do reaproveitamento de pneus em forma de asfalto-borracha. Já a I-35W ilustra o alto desempenho e durabilidade das soluções nanotecnológicas, mesmo em climas adversos. Esses casos reforçam a necessidade de um projeto técnico ajustado à realidade local, utilizando critérios de desempenho, custo-benefício e sustentabilidade ambiental como base para a tomada de decisão. A adoção de uma ou mais dessas soluções na BR-156/AP pode representar um avanço significativo

na durabilidade e eficiência do pavimento, contribuindo para a redução dos custos de manutenção e aumento da segurança viária a longo prazo.

4.4 Potencial de aplicação na BR-156/AP

A manutenção da BR-156/AP baseia-se predominantemente no uso de CAP 50/70, associado a emulsões para imprimação e a remendos com emulsão modificada, configurando uma solução tradicional amplamente empregada em obras rodoviárias. Contudo, embora funcional, esse conjunto de ligantes apresenta limitações quando submetido às condições críticas da rodovia, fatores que aceleram processos de deformação e envelhecimento do pavimento. Nesse sentido, os ligantes modificados analisados na pesquisa — SBS, CRM e AMP — surgem como alternativas tecnicamente mais robustas, capazes de aprimorar o comportamento reológico do asfalto, aumentar a resistência a trilhas de roda e mitigar o aparecimento precoce de manifestações patológicas.

Assim, a comparação evidencia que, embora o CAP 50/70 cumpra adequadamente seu papel como ligante convencional, a incorporação de modificadores pode representar um avanço significativo no desempenho e na durabilidade das intervenções de manutenção, alinhando-se às exigências operacionais e ambientais específicas da BR-156. Considerando as condições da BR-156, como alta umidade do subleito, baixa capacidade de suporte (CBR médio de 4,8%) e elevada precipitação anual (2.550 mm), a combinação de tecnologias pode representar uma solução mais robusta. Por exemplo, o uso de polímeros SBS com asfalto-borracha pode otimizar tanto a elasticidade quanto a resistência à umidade.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos ao longo da análise demonstram, de forma clara e inequívoca, que o emprego de aditivos no ligante asfáltico promove uma série de melhorias significativas que vão muito além da simples aplicação técnica. Tais benefícios abrangem aspectos estruturais, financeiros e ambientais, configurando uma abordagem multifacetada extremamente vantajosa, sobretudo quando aplicada em trechos estratégicos como a BR-156/AP, que atravessa regiões críticas da Amazônia brasileira.

- **Desempenho técnico:** Os polímeros do tipo SBS (estireno-butadieno-estireno), por exemplo, apresentam notável recuperação elástica, com capacidade de retorno de até 320%, conforme destacado por Oliveira et al. (2021). Esse índice representa um grande salto em relação aos ligantes convencionais, que tendem a apresentar falhas progressivas sob ação contínua de cargas. Por sua vez, o asfalto-borracha, além de agregar valor a um resíduo ambientalmente problemático, apresentou excelente desempenho em testes de resistência à umidade, com índice TSR (Tensile Strength Ratio) de 87%, conforme os resultados do ABPv (2023). Esse dado indica maior resistência à ação da água e menor suscetibilidade ao aparecimento de trincas, condição essencial em zonas de alta pluviosidade.
- **Viabilidade econômica:** Quando se considera a durabilidade e a baixa exigência de intervenções corretivas, observa-se que o retorno sobre o investimento ocorre em um curto período de 3,8 anos, de acordo com estudo técnico do DNIT (2023). Esse tempo de retorno, inferior a um ciclo político padrão, pode representar uma justificativa suficiente para investimentos públicos, considerando a economia gerada a longo prazo com redução de obras emergenciais e contratos de manutenção.
- **Impacto ambiental:** No aspecto ambiental, a análise é igualmente favorável. A inserção de resíduos na composição do pavimento, como pneus inservíveis, contribui diretamente para a mitigação de passivos ambientais e para a contenção de gases de efeito estufa. A substituição de agregados tradicionais por resíduos borrachosos pode reduzir até 5.400 toneladas de CO₂ ao longo de 10 anos, segundo estimativas da Reciclanip (2023).
- **Sustentabilidade e segurança viária:** Os benefícios estendem-se ainda à segurança e à sustentabilidade social. Estimativas sugerem que o uso desses materiais pode reduzir em até 25% os acidentes nas rodovias, contribuindo diretamente para a preservação da vida humana. Soma-se a isso o aproveitamento de até 800 pneus por quilômetro de pavimento, o que representa um impacto ambiental altamente positivo. De acordo com Costa e Almeida (2023), “a adoção de materiais reciclados é essencial

para a eficiência ambiental da infraestrutura viária moderna”, o que reforça o alinhamento dessas práticas com o desenvolvimento sustentável.

5.1 Uso de materiais reciclados

Durante o processo de estudo, as informações contidas nos conteúdos relacionados ao tema revelam forte presença de uso de materiais reciclados em tecnologias de pavimentação. A introdução de materiais reciclados no setor de infraestrutura rodoviária vem se consolidando como uma tendência mundial. Essa prática não apenas promove a sustentabilidade, como também reduz custos e melhora o desempenho do pavimento em determinadas situações climáticas e estruturais.

5.1.1 Borracha De Pneus

A aplicação da borracha proveniente de pneus inservíveis é uma das alternativas mais eficazes nesse contexto. Para cada quilômetro de pavimentação que utiliza 15% de borracha em sua composição, são reaproveitados aproximadamente 800 pneus, de acordo com a Reciclanip (2023). Essa solução não apenas evita o descarte inadequado dos pneus – um grave problema ambiental –, como também melhora o desempenho elástico do pavimento, proporcionando maior durabilidade. Um caso emblemático dessa prática foi registrado na Rodovia do Ouro, em São Paulo, onde cerca de 2,4 milhões de pneus foram reciclados em um trecho de 300 km, conforme relatório da ABPv (2022).

5.1.2 Resíduos Siderúrgicos

A escória de alto-forno, subproduto da indústria do aço, também tem se mostrado eficaz como substituto parcial dos agregados naturais. Quando inserida na faixa de 20% a 30% da mistura, pode substituir até 40% dos agregados convencionais, aumentando em até 25% a resistência à deformação do pavimento, segundo o Instituto Aço Brasil (2023). Isso representa uma vantagem técnica expressiva e ainda contribui para a economia circular da indústria siderúrgica.

5.1.3 Plástico Reciclado

A inclusão de plásticos pós-consumo em pavimentos asfálticos vem ganhando destaque por sua versatilidade e impacto positivo no meio ambiente. A

adição de 8% desse material pode evitar o descarte de cerca de 12 toneladas por quilômetro em aterros sanitários (CONAMA, 2022), ao mesmo tempo em que reduz em 18% a necessidade de ligantes asfálticos virgens (DNIT, 2021), gerando economia e sustentabilidade.

5.2 Redução de emissões de CO₂

5.2.1 Produção Mais Limpa

As técnicas de produção mais eficiente, implicam não apenas menor consumo energético como também redução expressiva nas emissões de CO₂. Segundo a Embrapa (2023), essa prática permite economia de 1,2 litros de diesel por tonelada de mistura produzida. Tal economia, quando aplicada em larga escala, representa uma contribuição significativa para a redução do impacto ambiental da construção rodoviária.

5.2.2 Menos Intervenções

A durabilidade estendida dos novos pavimentos reduz a frequência de manutenção corretiva, o que, por sua vez, diminui o número de intervenções que demandariam novos deslocamentos logísticos, máquinas pesadas e uso de materiais. Isso evita, por quilômetro de intervenção evitada, a emissão de 8,7 toneladas de CO₂ (IPCC, 2021) e aproximadamente 120 viagens de caminhão (ANTT, 2023), resultando em menor desgaste das vias e menores riscos de acidentes.

5.3 Desafios e mitigações

A adoção de ligantes modificados na BR-156/AP enfrenta desafios estruturais como: a fragilidade logística, a baixa disponibilidade de usinas de produção e a dependência de materiais importados de outros estados prolongam prazos e elevam custos operacionais. A variabilidade climática local também compromete o desempenho do pavimento quando o transporte e a aplicação dos insumos sofrem atrasos. Soma-se a isso a carência de laboratórios regionais capazes de realizar controle tecnológico contínuo, dificultando a verificação de consistência e qualidade dos ligantes antes do uso em campo. Como estratégia de mitigação, recomenda-se a instalação de unidades móveis de produção e modificação de asfalto nas proximidades dos canteiros, reduzindo o tempo entre fabricação e aplicação. Além disso, parcerias institucionais com universidades e

centros de pesquisa locais podem suprir a lacuna de monitoramento laboratorial, assegurando a validação dos materiais em condições ambientais reais do estado. Essas ações, combinadas, ampliam a viabilidade operacional e aumentam a confiabilidade do uso de ligantes modificados na malha rodoviária amapaense.

6 CONCLUSÕES OBTIDAS

A BR-156/AP desempenha um papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico do Amapá, sendo vital para o transporte de pessoas e mercadorias. No entanto, os desafios estruturais da rodovia exigem soluções inovadoras e adaptadas às condições climáticas da região. Este estudo propôs medidas para aumentar a durabilidade do pavimento, minimizar custos de manutenção e melhorar a segurança viária. Com a implementação dessas estratégias, espera-se que a BR-156/AP apresente melhorias significativas a curto, médio e longo prazo.

6.1 Benefícios da abordagem híbrida na pavimentação

A principal conclusão deste estudo é a comprovação da viabilidade do uso de tecnologias sustentáveis na pavimentação da BR-156/AP. A abordagem híbrida, que combina diferentes materiais e técnicas de construção, pode garantir maior resistência do pavimento às variações climáticas e ao tráfego intenso. O emprego de concreto asfáltico modificado com polímeros, geossintéticos e bases estabilizadas mostrou-se promissor para aumentar a vida útil da rodovia.

A combinação desses materiais permite maior resistência às deformações plásticas provocadas pelo calor intenso e pelo tráfego de veículos pesados. Além disso, a estabilização das camadas de base reduz os impactos da umidade excessiva no solo, prevenindo erosões e rachaduras precoces. Segundo estudos recentes, rodovias que adotam essas tecnologias apresentam uma redução de até 50% na frequência de reparos estruturais (SILVA et al., 2021).

Outro benefício significativo da abordagem híbrida é a redução dos impactos ambientais. A utilização de asfalto modificado com borracha reciclada, por exemplo, além de proporcionar maior durabilidade ao pavimento, contribui para a reutilização de resíduos sólidos, reduzindo a poluição ambiental e os custos de descarte de pneus usados.

6.2 Impactos das soluções adaptadas ao clima tropical

Os desafios climáticos enfrentados pela BR-156/AP exigem soluções específicas que minimizem os danos causados pela umidade elevada e pelas temperaturas extremas. A adoção de misturas asfálticas drenantes demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a aderência do pavimento e reduzir o risco de aquaplanagem. Estudos indicam que esse tipo de pavimento pode aumentar a segurança viária em até 30%, reduzindo acidentes relacionados a pistas escorregadias (ALMEIDA, 2018).

Outro impacto positivo das soluções adaptadas ao clima tropical é a durabilidade do asfalto modificado. Com a incorporação de polímeros e borracha reciclada, o pavimento se torna mais resistente às variações térmicas, evitando a formação de trincas e deformações. A longo prazo, isso reduz os custos de manutenção e aumenta a confiabilidade da rodovia.

Além disso, a implementação de barreiras vegetais ao longo da rodovia pode reduzir significativamente os impactos da erosão. Estudos apontam que a revegetação das encostas pode diminuir a perda de solo em até 60%, prevenindo deslizamentos e melhorando a drenagem natural da região (LIMA et al., 2022). Essa abordagem contribui para a conservação ambiental e para a estabilidade estrutural da BR-156/AP.

6.3 Importância da manutenção preventiva

A manutenção preventiva desempenha um papel essencial na preservação da infraestrutura rodoviária, reduzindo a necessidade de reparos emergenciais e prolongando a vida útil do pavimento. A adoção de um plano de manutenção contínua permitirá a identificação precoce de falhas estruturais, possibilitando intervenções pontuais antes que pequenos danos evoluam para problemas mais graves.

Outro método de manutenção preventiva a ser considerado é a implementação de inspeções periódicas, aliada ao uso de tecnologias de monitoramento, pode otimizar os recursos destinados à conservação da BR-156/AP. Sensores inteligentes instalados no pavimento podem fornecer dados em tempo real sobre a qualidade da rodovia, permitindo a tomada de decisões mais assertivas. Se-

gundo estudos, esse tipo de monitoramento pode prolongar a vida útil do pavimento em até 20% e reduzir custos de reparo em até 35% (Lopes, 2020; Nascimento et al., 2021).

Assim como a aplicação de selantes asfálticos para evitar a infiltração de água nas fissuras também se mostra uma medida eficiente para a manutenção preventiva. Em regiões tropicais, onde a umidade elevada acelera o processo de degradação do pavimento, a selagem pode minimizar a formação de buracos e rachaduras, garantindo maior segurança para os usuários da rodovia (MOREIRA & COSTA, 2019).

6.4 Necessidade de estudos futuros

Embora as propostas apresentadas neste estudo demonstrem potencial para melhorar a qualidade da BR-156/AP, é fundamental a realização de investigações adicionais e testes de campo para garantir a validação da sua viabilidade prática. Ensaio laboratoriais e experimentos em trechos específicos da rodovia poderão fornecer dados mais precisos sobre o desempenho dos materiais e das técnicas sugeridas.

Futuras pesquisas podem focar na adaptação de novas misturas asfálticas à realidade climática do Amapá, bem como na análise econômica da implementação das soluções propostas. Além disso, a realização de estudos comparativos entre diferentes métodos de manutenção preventiva poderá auxiliar na definição das estratégias mais eficientes para a conservação da rodovia.

Outra área de estudo relevante é a análise do impacto ambiental das tecnologias aplicadas na BR-156/AP. A adoção de práticas sustentáveis na infraestrutura rodoviária pode reduzir significativamente os danos ecológicos e contribuir para a preservação do bioma amazônico. Pesquisas futuras podem avaliar o efeito da revegetação de encostas, do uso de materiais reciclados e da redução da emissão de gases poluentes durante a construção e manutenção da rodovia.

6.5 Considerações finais

A BR-156/AP é uma rodovia de extrema importância para o estado do Amapá, sendo essencial para a mobilidade e o desenvolvimento econômico da região. No entanto, os desafios estruturais enfrentados pela rodovia exigem soluções inovadoras e eficazes para garantir sua durabilidade e segurança.

Este estudo demonstrou que a abordagem híbrida na pavimentação, aliada a soluções adaptadas ao clima tropical e a um plano de manutenção preventiva, pode proporcionar melhorias significativas para a BR-156/AP. A incorporação de materiais de alta resistência, a utilização de barreiras vegetais e o monitoramento contínuo da rodovia são estratégias fundamentais para prolongar sua vida útil e reduzir custos de manutenção.

Além disso, a necessidade de estudos futuros foi destacada como um fator crucial para a implementação bem-sucedida dessas propostas. A realização de testes de campo e análises econômicas permitirá um planejamento mais eficiente e embasado, garantindo que as soluções adotadas sejam sustentáveis e viáveis a longo prazo.

Contudo, a viabilização dessas propostas, dependerá da capacidade dos órgãos gestores em superar desafios históricos de execução e manutenção do Amapá.

Por fim, espera-se que os resultados deste estudo contribuam para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura rodoviária do Amapá. O investimento em tecnologias inovadoras e práticas sustentáveis pode transformar a BR-156/AP em um modelo de eficiência e durabilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Pavimentação asfáltica – Procedimentos técnicos e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. **Boletim Técnico**: Asfalto-borracha na Rodovia dos Bandeirantes. São Paulo: ABPV, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BORRACHA. **Relatório técnico de desempenho de misturas CRM em obras nacionais**. São Paulo: ABTB, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Relatório sobre o tráfego na BR-156 e impactos do excesso de carga**. Brasília: ANTT, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Avaliação do emprego de polímeros do tipo RET na modificação do CAP**. Brasília: ANTT, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/.../avaliacao-do-emprego-de-polimeros-do-tipo-ret.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2025.

ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO AMAPÁ. **Acervo fotográfico**: implantação da BR-156 (1940–1950). Macapá: APEA, 1950.

ASTM, D. 6373; Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder. American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 2007.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**: diretrizes técnicas. Brasília: DNIT, 2017.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2013.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de desempenho de rodovias federais – BR-156**. Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatórios técnicos sobre obras da BR-156**. Brasília, 1975.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Avaliação do desempenho do pavimento na BR-163 após uso de polímeros SBS**. Brasília, 2022.

BRASQUÍMICA. **Produtos** – Asfaltos modificados. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www.brasquimica.com.br/produtos>>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BRASKEM. **Polímeros e suas aplicações no setor rodoviário**. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br>>. Acesso em: 20 mar. 2025, 17:52.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Análise dos impactos ambientais do uso de borracha moída proveniente de pneus inseríveis**. São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2025.

CONSELHO EM REVISTA. **Nova tecnologia de asfalto de alto desempenho**. 2024. Disponível em: <<https://www.conselhoemrevista.inf.br/nova-tecnologia-de-asfalto>>. Acesso em: 05 abr. 2025, 19:30.

CORDEIRO, M. R. **Análise reológica de asfaltos modificados por polímeros em misturas de alto desempenho**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Diretrizes Básicas para Execução de Misturas Asfálticas com Uso de Aditivos (IPR 747)**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Pavimentação: Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço**. Brasília, 2024.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. **Boletim técnico de ensaios de misturas asfálticas com borracha**. Belo Horizonte: DER-MG, 2024.

EMAM ASFALTOS. **CAP modificado por polímero**. Goiânia, 2023. Disponível em: <<https://emamasfaltos.com.br/produtos-home/categoria/cap-modificado-por-polimero>>. Acesso em: 07 abr. 2025, 13:04.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Boletim técnico: logística e escoamento da produção agrícola no Amapá**. Belém: EMBRAPA, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental>>. Acesso em: 25 jan. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório sobre condições climáticas e geotécnicas do Amapá**. Estado do Amapá: EMBRAPA. 2025. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 08 mar. 2025.

ESTRUTURAS & BIM. **Asfalto**: o que é, como é produzido e suas principais aplicações. 2025. Disponível em: <<https://estruturasebim.com/.../asfalto-o-que-e-como-e-produzido>>. Acesso em: 10 abr. 2025.

FAPEAP – FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO AMAPÁ. **Influência da amplitude térmica na deterioração do pavimento**. Macapá, 2025. Disponível em: <<https://www.fapeap.ap.gov.br>>. Acesso em: 08 mar. 2025.

GRECA ASFALTOS. **G-Bond**: aditivo melhorador de adesividade. Curitiba, 2024. Disponível em: <<https://www.grupogreca.com.br/produto/g-bond>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Economia circular e sustentabilidade no uso de materiais recicláveis em pavimentação**. Brasília, 2025. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2025, 06:55.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Acervo fotográfico**: obras rodoviárias na Amazônia – BR-156. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Panorama da mineração no Amapá**. Brasília: IBRAM, 2022. Disponível em: <<https://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados climáticos do estado do Amapá**. Disponível em: <<https://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 17 fev. 2025, 11:12.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. **Caminhos e acessos de comunidades tradicionais na Amazônia**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.iphan.gov.br>>. Acesso em: 26 jan. 2025.

LIMA, C. S. **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas com borracha de pneus**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2008.

LU, Xiaohu; ISACSSON, Ulf. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer testing*, v. 20, n. 1, p. 77-86, 2000.

MENDES, R. L. **Caracterização reológica de ligantes modificados por polímero SBS por meio do ensaio MSCR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Nano-engineered pavements: performance results from I-35W case study. Washington, 2021.

PESQUISA FAPESP. Asfalto com menor impacto ambiental. **Revista Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 286, p. 22-25, 2019.

PETROBRAS. **Diretrizes para pavimentação asfáltica em clima tropical úmido**. Disponível em: <<https://www.petrobras.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto; SUZUKI, Carlos Yukio; DOMINGUES, Felipe Augusto Aranha; BALBO, José Tadeu; BERNUCCI, LIEDI Légi Bariani. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2025.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Relatório técnico**: aplicação de asfalto modificado por polímero HiMA em vias urbanas. Porto Alegre, 2023.

SANTOS, João; SILVA, Maria; OLIVEIRA, José. Modelagem da viabilidade econômica na pavimentação com ligantes modificados. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 34, n. 5, p. 78-92, 2019.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

SILVA, José de Oliveira. **Tecnologia de pavimentos asfálticos**. 2. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2018.

SILVA, H. M. et al. Crumb rubber modifier in asphalt: A review. *Sustainability*, 2020.

SILVA, M. F.; COSTA, J. L. Polímeros modificadores em pavimentos asfálticos: uma revisão técnica. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 45-60, 2022.

SOUZA, A. P. **Estudo comparativo do CAP 50/70, CAP+SBS e CAP+borracha na SC-163**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

SOUZA, Maria Cristina; LIMA, Antônio Carlos. **Gestão de infraestruturas rodoviárias: teoria e prática**. Rio de Janeiro: FGV, 2020.

TOSTES, José Alberto. **História das rodovias do Amapá**. Macapá: Editora Valer, 2012.

TRAÇADO DISTRIBUIDORA. **Asfaltos modificados por polímero (AMP)**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://tracado.com.br>. Acesso em: 01 abr. 2025, 15:28.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ. **Estudo sobre a degradação do pavimento da BR-156 e suas causas**. 2023