

Utilização da fresagem contínua na resolução de patologias superficiais em pavimentos asfálticos na BR-116/BA: km 768,50 ao km 769,00.

Use of continuous milling to resolve surface pathologies in asphalt pavements on BR-116/BA: km 768.50 to km 769.00.

Marcelo Paiva dos Santos Junior
Luzia Bomfim Tavares Souza
Isabelle Gomes da Silva Carvalho
Orientadora: Profa. Livia Ramos Lima
Coorientador: Márcio Céio dos Santos

RESUMO

A infraestrutura rodoviária brasileira depende diretamente das condições funcionais e estruturais dos pavimentos, especialmente em corredores logísticos de elevada solicitação, como a BR-116. Nesse contexto, a identificação das manifestações patológicas e a avaliação da efetividade das intervenções de manutenção são fundamentais para o gerenciamento adequado da malha viária. O presente trabalho analisa comparativamente a condição superficial de um trecho de pavimento flexível da BR-116, compreendido entre o km 768,5 e o km 769,0, antes e após a execução de fresagem contínua, com base em registros fotográficos e na determinação do Índice de Gravidade Global (IGG). A pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de estudo de caso com abordagem predominantemente qualitativa, complementada por dados quantitativos de avaliação superficial. O levantamento foi orientado por procedimentos normativos do DNIT, com destaque para a DNIT 006/2003-PRO, considerando o registro e a classificação de defeitos superficiais em seções homogêneas. Os resultados evidenciaram que, antes da intervenção, o trecho apresentava condição classificada como péssimo, com valores de IGG variando de 162 a 327. Após a fresagem, todas as seções homogêneas passaram a apresentar IGG igual a zero, com classificação ótima. Conclui-se que a fresagem contínua foi altamente eficaz na restauração da condição superficial do pavimento no trecho analisado, embora a interpretação global do desempenho da estrutura demande cautela quanto à possibilidade de falhas subjacentes não detectáveis apenas pela avaliação superficial.

Palavras-chave: Pavimento flexível; Fresagem contínua; Manifestações patológicas; IGG; BR-116.

ABSTRACT

Brazilian road infrastructure directly depends on the functional and structural conditions of pavements, especially on logistics corridors subjected to heavy traffic, such as BR-116. In this context, identifying pavement distresses and evaluating the effectiveness of maintenance interventions are essential for proper pavement management. This study comparatively analyzes the surface condition of a flexible pavement section on BR-116, between km 768.5 and km 769.0, before and after continuous milling, based on photographic records and determination of the Global Severity Index (IGG). The research is classified as applied, exploratory, and descriptive, developed through a case study with a predominantly qualitative approach, complemented by quantitative surface evaluation data. The survey was guided by DNIT normative procedures, especially DNIT 006/2003-PRO, considering the recording and classification of surface defects in homogeneous sections. The results showed that, before the intervention, all sections presented very poor condition, with IGG values between 162 and 327. After milling, all homogeneous sections presented an IGG equal to zero, classified as excellent. It is concluded that continuous milling was highly effective in restoring the pavement surface condition in the analyzed section, although the overall performance interpretation of the structure still requires caution regarding possible underlying failures not detectable solely by surface evaluation.

Keywords: Flexible pavement; Continuous milling; Pavement distresses; IGG; BR-116.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária brasileira exerce papel estratégico no desenvolvimento econômico e social do país, uma vez que responde por parcela expressiva do transporte de cargas e de passageiros. Nesse cenário, a qualidade dos pavimentos influencia diretamente a segurança viária, a eficiência logística, a mobilidade regional e os custos operacionais associados ao sistema de transportes. Em rodovias de grande relevância nacional, como a BR-116, o desempenho do pavimento torna-se fator decisivo para a manutenção da funcionalidade da via e para a racionalização dos investimentos destinados à conservação e à reabilitação da malha.

Entre os tipos de pavimento mais difundidos no Brasil, os pavimentos flexíveis ocupam posição de destaque em razão de sua ampla aplicação e de sua relativa adaptabilidade às condições executivas e de manutenção. Contudo, o comportamento desses pavimentos em serviço é fortemente influenciado pela repetição das cargas de tráfego, pelas condições climáticas, pela eficiência da drenagem, pela qualidade dos materiais e pela adequação da execução. A interação entre esses fatores favorece o aparecimento progressivo de manifestações patológicas, como trincamentos, deformações permanentes, desgastes

superficiais, panelas e remendos, que comprometem a condição funcional e, em muitos casos, indicam deficiências estruturais da via.

No âmbito da manutenção rodoviária, a escolha da técnica de intervenção deve considerar não apenas a aparência superficial do defeito, mas também a sua origem e sua gravidade. Dentre as alternativas empregadas em obras de restauração, destaca-se a fresagem contínua, procedimento que consiste na remoção controlada da camada superficial do revestimento asfáltico, com o objetivo de retirar material deteriorado, corrigir irregularidades e preparar a superfície para eventual recomposição. Embora amplamente utilizada, a eficácia da fresagem não deve ser interpretada de forma automática, pois seus resultados dependem das condições preexistentes do pavimento e da natureza das patologias presentes no trecho analisado.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objeto de estudo um segmento da BR-116 compreendido entre o km 768,5 e o km 769,0, no qual foi realizada fresagem contínua. A relevância deste estudo está associada à necessidade de analisar, de forma crítica, a aplicação da fresagem contínua em um trecho real de rodovia federal, observando seus efeitos sobre as manifestações patológicas e sobre a classificação funcional do pavimento. Parte-se da hipótese de que a fresagem contínua promove melhora expressiva da condição superficial do pavimento e reduz significativamente os defeitos considerados na avaliação funcional, elevando a classificação do trecho. Entretanto, admite-se que a melhoria observada superficialmente não necessariamente elimina, por si só, a possibilidade de problemas estruturais mais profundos, que demandariam métodos complementares de investigação.

A investigação baseia-se na análise comparativa das condições do pavimento antes e após a intervenção, utilizando registros fotográficos e levantamento do Índice de Gravidade Global (IGG) em seções homogêneas. Busca-se, com isso, analisar a condição superficial do pavimento flexível no trecho da BR-116 compreendido entre o km 768,5 e o km 769,0, antes e após a execução da fresagem contínua, com base na identificação de manifestações patológicas e nos resultados do IGG. Para tanto, os objetivos específicos são: identificar as principais manifestações patológicas presentes no trecho antes da fresagem; avaliar a condição superficial do pavimento por meio do IGG em seções homogêneas; comparar os resultados obtidos antes e depois da intervenção; discutir a efetividade da fresagem contínua como técnica de manutenção; e relacionar os resultados da avaliação funcional à interpretação técnica das manifestações patológicas observadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Os pavimentos rodoviários constituem estruturas de engenharia concebidas para suportar e distribuir ao subleito as tensões decorrentes da ação do tráfego, preservando, ao longo do período de serviço, condições satisfatórias de segurança, conforto e funcionalidade. Sua estrutura é formada por um conjunto de camadas superpostas, cada uma com função específica no comportamento mecânico global do sistema, de modo que o desempenho do pavimento não depende exclusivamente da qualidade do revestimento superficial, mas da interação entre todos os seus componentes. Nessa perspectiva, o pavimento deve ser compreendido como sistema estrutural integrado, cuja eficiência resulta da compatibilização entre materiais, espessuras, capacidade de suporte do subleito, condições de drenagem e intensidade das solicitações impostas pelo tráfego. Conforme Bernucci (2010), o sucesso do desempenho de um pavimento ao longo de sua vida útil está diretamente associado à correta articulação entre concepção de projeto, execução e manutenção, uma vez que falhas em qualquer dessas etapas tendem a acelerar o processo de degradação.

Além da função estrutural de resistir às cargas repetidas dos veículos, o pavimento desempenha papel funcional essencial na operação da rodovia, pois é por meio de sua superfície que se estabelece a interface direta entre a via e os usuários. Em razão disso, exige-se que a pista apresente regularidade superficial adequada, aderência compatível com as condições de tráfego, conforto ao rolamento e condições seguras de dirigibilidade. Quando essas exigências deixam de ser atendidas, a deterioração do pavimento passa a produzir impactos que transcendem a esfera técnica, repercutindo sobre os custos operacionais dos veículos, o tempo de deslocamento, o consumo de combustível e a segurança viária. Tal constatação reforça que a avaliação dos pavimentos rodoviários não pode restringir-se a uma perspectiva puramente construtiva, devendo incorporar também dimensões funcionais e econômicas relacionadas à prestação de serviço da infraestrutura rodoviária (Bernucci, 2010; Ceratti, 2012).

No contexto brasileiro, a relevância dos pavimentos assume caráter ainda mais estratégico em razão da predominância do transporte rodoviário na movimentação de cargas e passageiros. Essa dependência da malha viária torna a conservação dos pavimentos tema central para a eficiência logística nacional, especialmente em rodovias de grande circulação e relevância econômica, como a BR-116. Desse modo, a análise técnica da condição do

pavimento deve ser entendida não apenas como atividade de inspeção da superfície, mas como instrumento de apoio à gestão da infraestrutura, à priorização de investimentos e à definição de intervenções de manutenção e reabilitação mais adequadas ao quadro de deterioração observado. Sob esse enfoque, o estudo dos pavimentos rodoviários envolve não apenas sua caracterização estrutural, mas também a compreensão de seu comportamento em serviço e de sua importância para o desempenho do sistema de transportes como um todo (Motta, 2015; Fernandes Júnior, 2014).

2.2 TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

A classificação dos pavimentos rodoviários está relacionada principalmente à forma como a estrutura responde mecanicamente às solicitações de tráfego e aos materiais empregados em suas camadas constituintes. De forma geral, a literatura técnica distingue os pavimentos em flexíveis, rígidos e semirrígidos, categorias que expressam diferentes modos de distribuição de tensões e de absorção de deformações ao longo da estrutura. Essa classificação não possui caráter meramente descritivo, pois está diretamente associada à durabilidade do sistema, à natureza das patologias mais recorrentes, às técnicas de manutenção mais apropriadas e aos custos de implantação e conservação ao longo do ciclo de vida. Conforme Ceratti (2012), a compreensão dessas tipologias é indispensável para a correta leitura do desempenho do pavimento e para a interpretação dos mecanismos que conduzem à deterioração em serviço.

Quadro 1 - Classificação dos pavimentos quanto ao comportamento estrutural.

TIPO DE PAVIMENTO	DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS	REVESTIMENTO TÍPICO	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL
FLEXÍVEL	As cargas são distribuídas em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. A deformação ocorre em todas as camadas.	Misturas betuminosas (CBUQ, pré-misturados).	Sofre deformações elásticas e plásticas significativas. A resistência depende do conjunto de camadas e do solo.
RÍGIDO	A placa de concreto absorve a maior parte das tensões devido ao seu alto módulo de elasticidade. A carga	Concreto de Cimento Portland (Placas).	A laje de concreto possui alta rigidez, minimizando as tensões que chegam à sub-base e ao subleito.

	é distribuída sobre uma área maior.		
SEMIRRÍGIDO	Comportamento intermediário. Possui uma camada de base com tratamento químico (cimento, cal) que confere certa rigidez.	Geralmente revestimento asfáltico sobre base cimentada.	A base cimentada atua como uma placa de rigidez moderada, mas o revestimento superior ainda mantém características flexíveis.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Ceratti (2012); Bernucci (2010); DNIT (2003)

Os pavimentos flexíveis, predominantes na malha rodoviária brasileira, são constituídos por revestimento asfáltico apoiado sobre camadas de base, sub-base e subleito, geralmente compostas por materiais granulares ou estabilizados. Nessa configuração, as tensões geradas pelo contato pneu-pavimento são distribuídas gradativamente pelas camadas até atingirem o subleito, de modo que o comportamento estrutural do sistema depende da atuação conjunta de seus componentes. Uma característica importante dos pavimentos flexíveis é a sua capacidade de acomodar pequenas deformações sem ruptura imediata, o que contribui para sua ampla aplicação. Entretanto, essa mesma característica torna o sistema sensível à repetição de cargas pesadas, à infiltração de água, às variações térmicas e à perda de aderência entre camadas, fatores que, quando combinados, favorecem o surgimento de trincamentos, afundamentos e desgastes superficiais (Bernucci, 2010; Motta, 2015).

Os pavimentos rígidos, por sua vez, são constituídos principalmente por placas de concreto de cimento Portland, cuja elevada rigidez permite a distribuição das cargas em área mais ampla, reduzindo as tensões transmitidas às camadas inferiores. Essa condição pode representar vantagem significativa em cenários de tráfego intenso, sobretudo quando se busca maior estabilidade estrutural em longo prazo. Contudo, a maior rigidez do sistema também impõe exigências específicas relacionadas à execução de juntas, ao controle da retração, à drenagem e à complexidade dos reparos localizados. Já os pavimentos semirrígidos, situados em posição intermediária, combinam revestimento asfáltico com bases tratadas com ligantes hidráulicos, buscando associar maior capacidade estrutural à manutenção de uma superfície flexível. Apesar disso, esse tipo de solução pode apresentar suscetibilidade à fissuração por reflexão, o que exige atenção especial no projeto e na manutenção (Ceratti, 2012; Motta, 2015).

A escolha entre essas diferentes tipologias de pavimento não deve ser reduzida a uma comparação simplificada entre vantagens e desvantagens isoladas. Trata-se, na realidade, de decisão de engenharia que deve considerar uma série de condicionantes, como características geotécnicas do terreno, volume e composição do tráfego, clima regional, disponibilidade de materiais, custos de execução, custos de manutenção e desempenho esperado ao longo do tempo. Nesse sentido, a classificação dos pavimentos ultrapassa o campo conceitual e passa a integrar a lógica do planejamento e da gestão rodoviária, pois cada sistema responde de modo distinto às ações de serviço e impõe diferentes demandas de conservação (DNIT, 2003; Ceratti, 2012). No caso específico deste trabalho, o foco recai sobre o pavimento flexível, uma vez que o trecho estudado da BR-116 se insere nessa tipologia e apresenta manifestações patológicas compatíveis com os mecanismos de deterioração usualmente observados em revestimentos asfálticos.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM A DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO

A deterioração do pavimento é resultado de um processo progressivo e multifatorial, no qual atuam simultaneamente variáveis mecânicas, ambientais, executivas e operacionais. Essa compreensão é essencial para evitar interpretações reducionistas, frequentemente limitadas à ideia de que o tráfego, isoladamente, seria o responsável pelo aparecimento dos defeitos observados na superfície. Embora a repetição das cargas veiculares represente fator central de degradação, o desempenho real do pavimento depende da interação entre a intensidade dessas cargas e a capacidade de suporte oferecida pela estrutura. Assim, a deterioração deve ser entendida como consequência do desequilíbrio entre demanda de solicitação e capacidade resistente do sistema, desequilíbrio esse agravado por fatores como presença de água, envelhecimento dos materiais, deficiências de execução e ausência de manutenção adequada (Soares, 2011; Bernucci, 2010).

O tráfego constitui, de fato, um dos principais agentes de deterioração, especialmente em rodovias submetidas à circulação frequente de veículos pesados. A repetição de cargas ao longo do tempo provoca fadiga das camadas do pavimento, favorece a propagação de trincas e induz deformações permanentes, sobretudo quando o sistema se encontra próximo de seu limite estrutural ou quando o suporte das camadas inferiores é insuficiente. A sobrecarga, a má distribuição do tráfego sobre a plataforma e a atuação concentrada em trilhas de roda intensificam esse processo, levando ao surgimento de afundamentos, fissuração e perda de

regularidade superficial. Entretanto, a ação do tráfego raramente atua sozinha. Seu efeito tende a ser potencializado por condições ambientais desfavoráveis, que enfraquecem os materiais e reduzem a capacidade resistente da estrutura (Soares, 2011; Motta, 2015).

As condições climáticas e ambientais desempenham papel decisivo no processo de deterioração. As variações de temperatura modificam o comportamento reológico do ligante asfáltico, podendo torná-lo mais suscetível ao trincamento em temperaturas mais baixas ou à deformação em temperaturas elevadas. Paralelamente, a água representa um dos agentes mais críticos para o desempenho do pavimento, uma vez que sua infiltração compromete a coesão dos materiais, enfraquece a adesão entre camadas, reduz a resistência das bases granulares e acelera processos de desagregação. Quando a drenagem superficial ou subsuperficial é deficiente, a água deixa de ser um fator complementar e passa a integrar diretamente o mecanismo de falha, amplificando os efeitos do tráfego e antecipando a evolução das manifestações patológicas (Bernucci, 2010; Soares, 2011).

A deterioração também está fortemente associada à qualidade dos materiais e ao controle tecnológico da execução. Misturas asfálticas inadequadas, compactação insuficiente, espessuras incompatíveis com o projeto, falhas de imprimação ou pintura de ligação e heterogeneidades construtivas introduzem fragilidades que comprometem a resposta do pavimento desde o início de sua vida útil. Nessas situações, a estrutura já nasce com vulnerabilidades que se manifestarão de forma mais intensa sob ação do tráfego e do ambiente. Soma-se a isso a relevância da manutenção, pois a ausência de intervenções oportunas faz com que defeitos incipientes evoluam para quadros mais graves e extensos, elevando a complexidade e o custo das soluções necessárias. Portanto, a deterioração do pavimento deve ser analisada como fenômeno sistêmico, em que fatores estruturais, ambientais, construtivos e gerenciais se articulam de forma dinâmica ao longo do tempo (Fernandes Júnior, 2014; Santos e Boni, 2025).

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

As manifestações patológicas em pavimentos flexíveis correspondem às evidências visíveis do processo de deterioração em curso e representam importante instrumento para o diagnóstico do estado da via. Mais do que simples irregularidades superficiais, essas ocorrências funcionam como sinais do comportamento do pavimento frente às solicitações de tráfego, ao ambiente e às limitações estruturais ou executivas do sistema. Sua identificação é essencial para a avaliação técnica da superfície, pois permite reconhecer não apenas a

presença do defeito, mas também a sua gravidade, sua distribuição e sua possível causa. Conforme Fernandes Júnior (2014), a leitura das manifestações patológicas constitui etapa indispensável em programas de avaliação e gerenciamento de pavimentos, uma vez que subsidia a classificação da condição da via e a seleção das intervenções mais adequadas.

Quadro 2 - Manifestações Patológicas em Pavimentos Flexíveis.

CATEGORIA	MANIFESTAÇÃO	DESCRIÇÃO	PROVÁVEIS CAUSAS
TRINCAS	Trincas Longitudinais	Fendas paralelas ao eixo da via.	Recalques diferenciais; má execução da junta de construção; reflexão de trincas de camadas subjacentes.
	Trincas Transversais	Fendas perpendiculares ao eixo da via.	Variações térmicas (contração do asfalto); endurecimento precoce do ligante.
	Trincas interligadas "Couro de Jacaré"	Conjunto de trincas interconectadas sem direção definida, assemelhando-se à pele de um réptil.	Fadiga do revestimento sob tráfego pesado; envelhecimento do ligante; deficiência de suporte das camadas inferiores.
	Trincas interligadas "Tipo Bloco"	Interligação de trincas que formam blocos retangulares ou quadrados de grandes dimensões (geralmente com lados superiores a 30 cm).	Endurecimento (oxidação) prematuro do ligante asfáltico; variações térmicas diárias; reflexão de trincas de camadas subjacentes estabilizadas com cimento.
DEFORMAÇÕES	Afundamento em Trilha de Roda	Deformação permanente longitudinal ao longo da trajetória dos pneus.	Compactação deficiente das camadas; excesso de carga; instabilidade da mistura asfáltica (excesso de ligante).

	Corrugação (Ondulações)	Deformações transversais em forma de "costelas" ou ondas na superfície.	Falta de estabilidade da mistura asfáltica; frenagem e aceleração constante em trechos específicos.
DESINTEGRAÇÃO	Panelas (Buracos)	Cavidades de tamanhos variados que se formam no revestimento, podendo atingir a base.	Evolução de trincas não seladas; infiltração de água; falta de aderência entre camadas.
	Desagregação (Desgaste)	Perda progressiva de agregados da superfície, tornando-a áspera.	Baixo teor de ligante; oxidação do asfalto pelo tempo; tráfego abrasivo.
OUTROS	Exsudação	Surgimento de um filme de ligante asfáltico na superfície, tornando-a brilhante e escorregadia.	Excesso de asfalto na mistura; aplicação excessiva de pintura de ligação; compactação excessiva pelo tráfego.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Ceratti (2012); Bernucci (2010); DNIT (2003).

Entre os defeitos mais recorrentes em pavimentos asfálticos, destacam-se os trincamentos, que podem assumir diferentes configurações e refletir mecanismos distintos de dano. Trincas longitudinais podem estar associadas à fadiga, à retração ou a falhas construtivas; trincas transversais, por sua vez, geralmente se relacionam a variações térmicas ou a fenômenos de reflexão; já as trincas em malha, ou couro de jacaré, costumam indicar estágio avançado de fadiga estrutural, especialmente quando surgem em áreas submetidas a carregamento repetido intenso. A interpretação técnica dessas ocorrências exige análise conjunta de fatores como extensão, abertura, posição na pista e associação com outros defeitos, uma vez que tais aspectos ajudam a distinguir manifestações predominantemente superficiais de sinais de comprometimento estrutural mais profundo (Fernandes Júnior, 2014; DNIT, 2003).

Outro grupo de manifestações patológicas de grande relevância é o das deformações permanentes, entre as quais se destacam os afundamentos em trilha de roda. Esses defeitos comprometem diretamente a regularidade da superfície, afetam o conforto de rolamento e

podem representar risco à segurança, sobretudo em situações de acúmulo de água na pista. Os afundamentos podem decorrer da instabilidade da mistura asfáltica, da deformação das camadas inferiores ou da insuficiência estrutural do pavimento como um todo. Também merece destaque o desgaste superficial, caracterizado pela perda progressiva de finos e agregados na camada de revestimento, o que reduz a aderência pneu-pista e expõe o pavimento a deterioração acelerada. Em estágios mais avançados, esse processo pode culminar na formação de panelas, consideradas defeitos severos pela perda localizada de material e pelo impacto direto na funcionalidade da via (Caporrino, 2018; Fernandes Júnior, 2014).

Os remendos também compõem o quadro patológico dos pavimentos e devem ser analisados de maneira crítica. Embora representem intervenções corretivas voltadas à recomposição localizada do revestimento, sua presença frequente pode indicar recorrência de defeitos, manutenção predominantemente reativa ou ausência de solução estrutural mais abrangente. Além disso, remendos mal executados podem gerar discontinuidades geométricas e mecânicas na superfície, favorecendo o aparecimento de novas patologias nas interfaces entre o material novo e o pavimento adjacente. Assim, a análise das manifestações patológicas não deve limitar-se a uma listagem de defeitos, mas deve buscar compreender as relações entre esses defeitos, os mecanismos de degradação subjacentes e o comportamento global do trecho avaliado (Caporrino, 2018; DNIT, 2003). Essa perspectiva é especialmente importante em estudos comparativos, como o presente, nos quais se busca compreender os efeitos de uma intervenção de manutenção sobre a condição superficial do pavimento.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PAVIMENTO

A avaliação das condições do pavimento pode ser realizada por meio de diferentes métodos, cuja seleção depende dos objetivos do estudo, do nível de detalhamento pretendido e dos recursos técnicos disponíveis. Em linhas gerais, tais métodos abrangem desde inspeções visuais expeditas até ensaios não destrutivos e medições funcionais mais sofisticadas, todos voltados à obtenção de informações que permitam compreender o estado da via e embasar decisões de manutenção e reabilitação. A diversidade de métodos existentes reflete a própria complexidade do pavimento como sistema estrutural, já que sua condição não pode ser plenamente traduzida por um único parâmetro ou procedimento isolado (Motta, 2015; Ceratti, 2012).

As inspeções visuais ocupam posição central entre os métodos de avaliação, sobretudo em atividades rotineiras de conservação, levantamentos preliminares e estudos voltados à identificação de manifestações patológicas. Regulamentadas por procedimentos técnicos do DNIT, essas inspeções possibilitam reconhecer defeitos superficiais, registrar sua distribuição e avaliar sua severidade de forma relativamente rápida e com baixo custo operacional. Sua principal vantagem reside justamente na praticidade e na capacidade de abranger extensos trechos com razoável eficiência. No entanto, por se basearem na observação da superfície, as inspeções visuais apresentam limitações quanto à inferência de problemas estruturais não manifestados diretamente na face do pavimento, o que exige cautela na interpretação dos resultados (DNIT, 2003; Motta, 2015).

Em complemento às observações visuais, existem métodos voltados à avaliação funcional e estrutural da via. As medições de irregularidade longitudinal, por exemplo, permitem quantificar a qualidade de rolamento, enquanto os ensaios de deflexão e outros procedimentos não destrutivos fornecem informações sobre a capacidade estrutural das camadas do pavimento. Tais métodos ampliam substancialmente a profundidade do diagnóstico, mas demandam equipamentos específicos, condições operacionais adequadas e equipe especializada, o que nem sempre se mostra viável em estudos acadêmicos de escopo mais delimitado. Em razão disso, a escolha metodológica precisa considerar a relação entre objetivo, viabilidade e qualidade da informação a ser obtida (Ceratti, 2012; Motta, 2015).

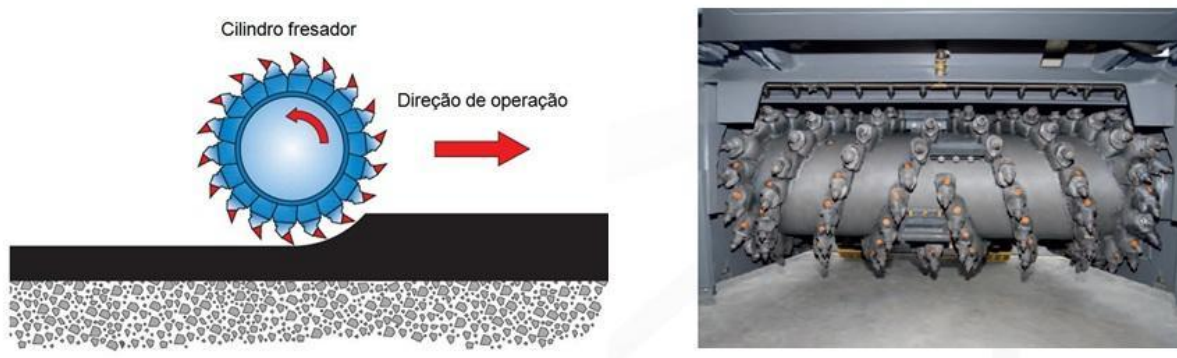
No contexto deste trabalho, a avaliação foi conduzida por meio de levantamento visual sistematizado, apoio fotográfico, verificação com treliça e cálculo do Índice de Gravidade Global, em conformidade com os procedimentos normativos aplicáveis. Essa combinação mostrou-se adequada para a análise comparativa da condição superficial do trecho antes e após a fresagem, pois permitiu articular documentação visual, observação técnica e quantificação da gravidade dos defeitos em seções homogêneas. Portanto, embora não substitua avaliações estruturais aprofundadas, a metodologia adotada oferece base consistente para a interpretação funcional da superfície do pavimento e para a discussão da efetividade da intervenção executada (DNIT, 2003; Fernandes Júnior, 2014).

2.6 FRESAGEM COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

A fresagem é uma técnica de manutenção e reabilitação de pavimentos asfálticos que consiste na remoção mecânica controlada de parte da camada superficial do revestimento. Sua

aplicação é amplamente difundida em obras rodoviárias devido à capacidade de retirar material deteriorado, corrigir irregularidades, restabelecer cotas geométricas e preparar a superfície para a posterior recomposição com nova camada de revestimento. Em termos operacionais, trata-se de procedimento que oferece relativa rapidez de execução, o que o torna particularmente vantajoso em trechos com alto volume de tráfego, nos quais a redução do tempo de interdição representa aspecto relevante para a logística da obra e para a operação da via (Soares, 2011).

Figura 1 - Representação esquemática da fresagem em pavimento asfáltico.



Fonte: ASFALTO DE QUALIDADE. Fresadoras de Asfalto.

A Figura 1 ilustra, de maneira simplificada, o princípio da fresagem e sua atuação sobre a camada superficial do pavimento. Sob o ponto de vista técnico, entretanto, a fresagem não pode ser entendida como solução universal para toda e qualquer condição de deterioração. Sua efetividade depende da natureza dos defeitos existentes e da relação entre a profundidade de remoção e o nível real de comprometimento do pavimento. Quando os problemas estão predominantemente concentrados na camada superficial, como em casos de desgaste acentuado, irregularidades funcionais ou envelhecimento do revestimento, a fresagem tende a apresentar resultados bastante satisfatórios, sobretudo como etapa preparatória para recomposição da camada de rolamento. Contudo, quando o trecho apresenta patologias relacionadas a falhas estruturais mais profundas, a simples retirada da camada superior não elimina, necessariamente, a origem do dano, podendo produzir apenas melhora funcional imediata ou exposição temporária dos problemas subjacentes (Soares, 2011; Motta, 2015).

Um aspecto particularmente importante da fresagem é sua dimensão diagnóstica. Ao remover a camada superficial deteriorada, a técnica pode evidenciar defeitos anteriormente

mascarados pelo revestimento envelhecido, como trincamentos refletidos, remendos mal integrados, descontinuidades localizadas e áreas com degradação mais intensa. Isso significa que a fresagem não atua apenas como procedimento executivo, mas também como elemento que modifica a leitura técnica da superfície remanescente. Em razão disso, sua análise em estudos comparativos assume grande relevância, pois permite observar em que medida a intervenção suprime defeitos previamente contabilizados e como altera a interpretação das condições do pavimento após a obra (Ceratti, 2012; Soares, 2011).

Outro ponto de destaque refere-se ao aproveitamento do material removido, conhecido como Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Sua possível reutilização em novas misturas asfálticas confere à fresagem vantagens ambientais e econômicas, contribuindo para a racionalização de insumos e para a sustentabilidade das intervenções rodoviárias. Ainda assim, o reaproveitamento do material exige controle tecnológico e compatibilização com os requisitos de desempenho da nova solução adotada. Portanto, a fresagem deve ser compreendida como técnica de manutenção e restauração de grande relevância prática, cuja eficácia depende de diagnóstico prévio adequado, correta execução e integração com estratégia mais ampla de conservação do pavimento (Soares, 2011; Bernucci, 2010).

2.7 GESTÃO DE PAVIMENTOS

A gestão de pavimentos compreende o conjunto de atividades voltadas ao monitoramento, à avaliação, ao planejamento e à priorização de intervenções ao longo da vida útil da malha rodoviária. Seu propósito central é assegurar que os recursos disponíveis sejam aplicados de forma tecnicamente racional, maximizando o desempenho da infraestrutura e minimizando custos ao longo do ciclo de vida. Em vez de se limitar à execução de reparos corretivos pontuais, a gestão de pavimentos baseia-se na ideia de acompanhamento sistemático da condição da via, de modo a antecipar cenários de deterioração e definir intervenções mais adequadas ao estágio de degradação identificado (Fernandes Júnior, 2014).

Os programas de gerenciamento de pavimentos incorporam informações provenientes de inspeções visuais, índices de condição, avaliações estruturais, medições funcionais e histórico de manutenção, permitindo a construção de modelos de decisão voltados à priorização de trechos e à seleção de estratégias de intervenção. Essa lógica é particularmente importante porque a deterioração do pavimento é progressiva e não linear: trechos que ainda apresentam condição aparentemente aceitável podem atingir rapidamente níveis críticos caso não recebam manutenção oportuna. Nessa perspectiva, a gestão eficiente depende da qualidade das

informações coletadas em campo e da capacidade de transformar essas informações em critérios objetivos de decisão (Fernandes Júnior, 2014; DNIT, 2003).

A relevância dos índices de condição, como o IGG, está justamente em permitir a síntese técnica da gravidade dos defeitos observados na superfície, facilitando a comparação entre trechos e a avaliação da evolução do estado do pavimento ao longo do tempo. Entretanto, esses índices devem ser interpretados em conjunto com a leitura das manifestações patológicas e com o conhecimento das condições de tráfego, clima e histórico de intervenção da via. Isso evita que a gestão se torne excessivamente dependente de um único parâmetro numérico, desconsiderando aspectos importantes do comportamento estrutural e funcional do pavimento (Fernandes Júnior, 2014; Motta, 2015).

No contexto deste trabalho, a análise do trecho da BR-116 antes e após a fresagem contínua insere-se diretamente na perspectiva da gestão de pavimentos, pois permite discutir a adequação de uma intervenção de manutenção a partir de parâmetros objetivos de avaliação superficial. Ao comparar a condição do trecho em dois momentos distintos, o estudo fornece elementos para refletir sobre o papel da fresagem na recuperação funcional da via, bem como sobre a importância de métodos padronizados de avaliação para subsidiar decisões técnicas em conservação rodoviária. Dessa forma, o estudo de caso contribui não apenas para a compreensão de um trecho específico, mas também para a discussão mais ampla sobre diagnóstico, priorização e efetividade das intervenções aplicadas à malha rodoviária.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desta pesquisa fundamentou-se em procedimentos compatíveis com a investigação científica aplicada à Engenharia Civil, particularmente no campo da pavimentação rodoviária. Conforme Gil (2019), o processo de pesquisa científica pressupõe a construção ordenada de um caminho metodológico voltado à compreensão de um problema, à formulação de hipóteses, à coleta de informações e à análise dos dados obtidos. Nessa perspectiva, o presente estudo foi estruturado de maneira a garantir coerência entre o problema investigado, a natureza dos dados utilizados e os procedimentos de avaliação adotados.

Esta pesquisa classifica-se como aplicada, uma vez que busca produzir conhecimento com finalidade prática, direcionado à análise de um problema real de engenharia rodoviária. Quanto aos objetivos, caracteriza-se como exploratória e descritiva: exploratória porque

procura aprofundar a compreensão dos efeitos da fresagem contínua sobre a condição superficial do pavimento em um trecho específico da BR-116; descritiva porque se dedica à identificação, ao registro, à classificação e à comparação das manifestações patológicas e dos resultados do IGG antes e depois da intervenção. Quanto à abordagem, o estudo é predominantemente qualitativo, por se apoiar na interpretação técnica de registros visuais e na leitura das manifestações patológicas observadas na superfície do pavimento, incorporando também elementos quantitativos por meio do cálculo e da comparação do IGG em seções homogêneas. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa configura-se como estudo de caso, pois se concentra em um segmento delimitado da BR-116, complementado por análise documental, observacional e normativa.

A área de estudo corresponde ao trecho da rodovia BR-116 situado entre o km 768,5 e o km 769,0, no qual foi executada fresagem contínua. A escolha desse segmento decorreu da disponibilidade de registros fotográficos obtidos antes e depois da intervenção, bem como da possibilidade de aplicação dos procedimentos de avaliação superficial previstos nas normas do DNIT. Para fins deste trabalho, o trecho foi subdividido em cinco seções homogêneas, permitindo a análise comparativa da condição superficial do pavimento ao longo do segmento estudado.

A avaliação da condição superficial do pavimento foi orientada pela DNIT 006/2003-PRO, procedimento normativo que trata da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. Esse procedimento estabelece critérios para o levantamento dos defeitos superficiais em campo, sua quantificação e sua transformação em um índice representativo da condição do trecho, o Índice de Gravidade Global (IGG). O cálculo do IGG decorre da soma das contribuições parciais dos defeitos identificados, ponderadas de acordo com sua gravidade e frequência, conforme a formulação:

$$IGG = IGI_{FC01} + IGI_{FC02} + IGI_{FC03} + IGI_{OUTROS}$$

Onde IGI representa o índice de gravidade individual correspondente a cada grupo de defeitos ou parâmetros avaliado na seção.

O levantamento das manifestações patológicas foi realizado com base em inspeção visual e em registros fotográficos do trecho estudado, obtidos antes e depois da execução da fresagem contínua. O acervo utilizado foi composto por mais de 300 imagens, organizadas e analisadas segundo o momento do registro, a localização aproximada no trecho e a natureza do defeito visível. Além da identificação visual dos defeitos, o levantamento contemplou a

utilização de treliça para medição de irregularidades superficiais associadas a Trilha de Roda Interna (TRI) e Trilha de Roda Externa (TRE), possibilitando a verificação de variações superficiais associadas à ocorrência de afundamentos ou outras deformações perceptíveis. Para a realização da pesquisa, foram utilizados registros fotográficos, fichas de levantamento de campo, planilhas de cálculo do IGG, norma técnica do DNIT e recursos computacionais para organização e interpretação dos dados. A metodologia adotada apresenta como principal limitação o fato de a análise centrar-se na condição superficial do pavimento, não abrangendo ensaios estruturais complementares capazes de verificar diretamente o comportamento das camadas inferiores, o que não compromete a validade do estudo no âmbito de sua proposta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento realizado antes da fresagem evidenciou que o trecho analisado apresentava condição superficial fortemente comprometida, com predominância de defeitos associados a trincamentos, afundamentos e outras irregularidades classificadas no procedimento do DNIT. No grupo das trincas isoladas, verificou-se elevada recorrência de ocorrências enquadradas principalmente nas categorias iniciais do levantamento, o que indica presença disseminada de fissuração superficial no trecho. Também foram observadas trincas interligadas, cuja presença é tecnicamente relevante por sugerir evolução do dano e possível comprometimento mais avançado da integridade da camada de revestimento. Esse tipo de manifestação patológica possui maior peso na avaliação funcional, pois expressa não apenas defeito localizado, mas um padrão de deterioração que tende a se agravar com a continuidade da ação do tráfego e das condições ambientais.

Os afundamentos, verificados com apoio do levantamento de flechas medido por meio da treliça, também se mostraram relevantes no diagnóstico do trecho antes da intervenção. Os valores de TRI e TRE registrados em campo indicaram variações que, em diversos pontos, ultrapassaram 10 mm, critério a partir do qual a flecha passa a ser considerada na avaliação como indicativo de deformação. Isso confirma que o trecho não apresentava apenas manifestações fissurantes, mas também irregularidades geométricas capazes de comprometer a condição funcional da via.

A análise por seções homogêneas mostrou que a deterioração não estava restrita a pontos isolados, mas distribuía-se de forma significativa ao longo de todo o trecho estudado. Os resultados do IGG confirmam esse comportamento, uma vez que todas as cinco seções homogêneas avaliadas antes da intervenção foram classificadas como péssimas. A seção

homogênea SH 02 apresentou o maior valor de IGG, igual a 327, configurando-se como o segmento mais crítico entre os avaliados. Em seguida, destacaram-se as seções SH 03, com IGG 291, e SH 01, com IGG 232. As seções SH 04 e SH 05 também registraram valores elevados, respectivamente 198 e 162, permanecendo igualmente enquadradas na condição péssima.

Quadro 3 – IGG por seção homogênea antes da fresagem

SEÇÃO HOMOGÊNEA	IGG	CLASSIFICAÇÃO
SH 01	232	Péssimo
SH 02	327	Péssimo
SH 03	291	Péssimo
SH 04	198	Péssimo
SH 05	162	Péssimo

Fonte: Autoria própria (2026).

Após a execução da fresagem contínua, os resultados indicaram mudança completa na condição superficial do trecho. Todas as seções homogêneas passaram a apresentar IGG igual a zero, sendo classificadas como ótimo. Esse resultado demonstra, de forma objetiva, que os defeitos contabilizados na condição anterior deixaram de compor a avaliação funcional do pavimento após a intervenção, evidenciando forte impacto positivo da fresagem sobre a superfície analisada. A uniformidade do resultado posterior é aspecto particularmente relevante: não houve permanência de valores residuais de IGG em nenhuma das seções homogêneas, o que sugere que a intervenção atuou de maneira abrangente e consistente ao longo de todo o segmento.

A comparação entre os resultados anteriores e posteriores à fresagem evidencia alteração substancial no estado do pavimento. Antes da intervenção, o trecho apresentava deterioração severa em todas as seções homogêneas, com IGG variando de 162 a 327. Após a fresagem, todos os valores foram reduzidos a zero. Do ponto de vista estatístico, o IGG médio antes da intervenção era igual a 242, valor compatível com condição superficial extremamente desfavorável; depois da intervenção, a média foi igual a zero.

Tabela 1 – Síntese estatística do IGG antes e depois da fresagem

SITUAÇÃO DO PAVIMENTO	IGG MÍNIMO	IGG MÁXIMO	IGG MÉDIO
ANTES DA FRESAGEM	162	327	242
DEPOIS DA FRESAGEM	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2026).

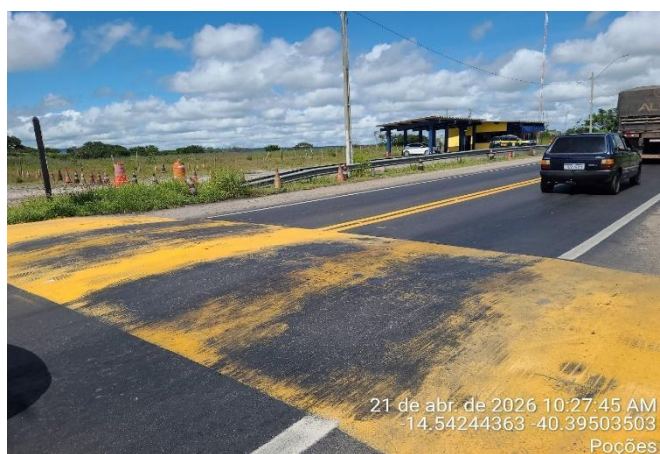
Os resultados obtidos permitem responder de forma direta aos objetivos específicos propostos no trabalho. A identificação das principais manifestações patológicas antes da fresagem foi atendida pelo levantamento do DNIT 006/2003-PRO, que evidenciou predominância de trincas isoladas, trincas interligadas, afundamentos e outros defeitos associados à degradação superficial do pavimento. O mapeamento da ocorrência e da severidade das patologias ao longo do trecho foi atendido pela análise das seções homogêneas e pelos valores do IGG, que mostraram quadro generalizado de condição péssima antes da intervenção. A avaliação das condições superficiais do pavimento após a fresagem foi respondida pelos resultados do IGG posterior, uma vez que todas as seções homogêneas passaram a apresentar valor zero e classificação ótima.

Figura 2 - Registro fotográfico antes da fresagem.



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 3 - Registro fotográfico após a fresagem.



Fonte: Autoria própria (2026).

A fresagem contínua mostrou-se extremamente eficiente no trecho estudado, sobretudo quando analisada sob o ponto de vista funcional e superficial. A eliminação dos defeitos contabilizados pelo procedimento do DNIT e a consequente redução do IGG a zero em todas as seções homogêneas evidenciam que a intervenção cumpriu plenamente sua função imediata de remover o revestimento deteriorado e restabelecer a condição superficial da pista. Contudo, uma leitura tecnicamente crítica exige reconhecer que o IGG reflete a condição da superfície no momento da inspeção e não substitui, por si só, avaliações estruturais aprofundadas. Isso significa que a melhoria obtida e demonstrada pelos resultados é inequívoca no plano superficial e funcional, mas não permite afirmar, de maneira isolada, a eliminação absoluta de eventuais problemas estruturais subjacentes.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a condição superficial do pavimento flexível em um trecho da BR-116, entre o km 768,5 e o km 769,0, antes e após a execução de fresagem contínua, com base na identificação de manifestações patológicas e no cálculo do Índice de Gravidade Global conforme o procedimento DNIT 006/2003-PRO. Os resultados obtidos permitiram avaliar de forma objetiva a magnitude da deterioração existente antes da intervenção e a efetividade da solução adotada sob o ponto de vista funcional e superficial.

O levantamento realizado antes da fresagem evidenciou a presença significativa de manifestações patológicas, com destaque para trincas isoladas, trincas interligadas, afundamentos e outros defeitos observados ao longo do trecho. A distribuição dessas ocorrências mostrou que a deterioração não estava restrita a pontos localizados, mas apresentava caráter disseminado nas seções homogêneas avaliadas. Esse quadro foi confirmado pelos valores de IGG, que variaram de 162 a 327, enquadrando todas as seções na classe péssima e caracterizando condição superficial severamente comprometida. Após a execução da fresagem contínua, todas as seções homogêneas passaram a apresentar IGG igual a zero, sendo classificadas como ótimo, com redução do IGG médio de 242 para zero.

Conclui-se, portanto, que a fresagem contínua se mostrou tecnicamente adequada como intervenção de manutenção para o trecho analisado, sobretudo em função da gravidade e da distribuição das patologias observadas antes da obra. Os resultados também reforçam a importância da avaliação sistemática das manifestações patológicas e do uso de índices normativos como o IGG para o diagnóstico da condição do pavimento e para o apoio à tomada de decisão em gestão rodoviária. À luz dos objetivos propostos, verifica-se que o

estudo alcançou seus propósitos ao identificar as principais manifestações patológicas, analisar sua distribuição ao longo do trecho, avaliar a condição superficial após a fresagem e comparar objetivamente os cenários anterior e posterior à obra.

A principal contribuição deste trabalho consiste em demonstrar, por meio de um estudo de caso real, que a fresagem contínua pode produzir ganhos expressivos na condição funcional da superfície de pavimentos flexíveis quando aplicada em trechos com degradação superficial severa. Ao mesmo tempo, o estudo reforça a necessidade de que avaliações desse tipo sejam realizadas com base em critérios normativos, de forma sistematizada e associadas a documentação de campo adequada. Por fim, recomenda-se que trabalhos futuros complementem a análise superficial com investigações estruturais e com monitoramento do comportamento do trecho ao longo do tempo, de modo a verificar a durabilidade da melhoria observada e a possível recorrência de manifestações patológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASFALTO DE QUALIDADE. **Fresadoras de asfalto**. Disponível em: <https://asfaltodequalidade.blogspot.com/2012/12/fresadoras-de-asfalto.html>. Acesso em: 10 maio 2026.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA, 2010.
- CAPORRINO, C. F. **Patologia das obras civis**. São Paulo: PINI, 2018.
- CERATTI, J. A. P.; REIS, R. M. M. (Org.). **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **DNIT 006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.
- FERNANDES JÚNIOR, J. L. Avaliação de pavimentos e sistemas de gerência de pavimentos. In: BALBO, J. T. (Ed.). **Pavimentação asfáltica**. São Paulo: ABGE, 2014.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- MOTTA, L. M. G. da. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015.
- SANTOS, R. B.; BONI, A. **Desempenho estrutural e funcional de pavimentos flexíveis: uma abordagem integrada**. Revista de Engenharia de Transportes, v. 18, n. 1, 2025.
- SOARES, J. B. **Pavimentos de baixo volume de tráfego**. Fortaleza: UFC, 2011.