BRASIL



ESTRADAS RURAIS
UMA PORTA PARA O DESENVOLVIMENTO E CONECTIVIDADE TERRITORIAL

CAF BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Título:
Estradas rurais, uma porta para o desenvolvimento e conectividade territorial / Brasil

ISBN:
Editor: CAF

Vice-Presidência Corporativa de Programação Estratégica
Gestão de Infraestrutura Física e Transformação Digital
Mónica López
Yerko Eterovic

Autor:
Aislan Buhler

Direção de Arte: Alejandro Maiocchi / www.maiocchipublicidad.es

A versão digital deste livro se encontra em: scioteca.caf.com

© 2023 Corporação Andina de Fomento, todos os direitos reservados

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade de seus autores e não comprometem a posição oficial do CAF.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO 5

CAPÍTULO 2
APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO E POLÍTICA DE MANUTENÇÃO NO BRASIL 7

2.1 Políticas e legislação 12

2.2 Ritos normativos 13

CAPÍTULO 3
A REALIDADE DOS CAMINHOS RURAIS NO BRASIL 15

3.1 Dimensionamento de caminhos rurais 19

3.2 Patologias em caminhos rurais 22

3.3 Causas e ações corretivas 30

3.4 Sistemas de drenagem 32

CAPÍTULO 4
EXPERIÊNCIAS E SOLUÇÕES INTERESSANTES 37

4.1 Revestimento primário com solo brita 38

4.2 Pavimentação com pedras 39

4.3 Solos tropicais 42

4.3.1 Recomendações para estradas rurais 47

4.4 Resíduos de construção e demolição (RCD) 48

4.5 Resíduo da indústria siderúrgica 51

4.6 Materiais fresados - RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) 52

4.7 Tratamentos superficiais 54

CAPÍTULO 5
INICIATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE CAMINHOS 61

5.1 Patrulha Rural 62

5.2 Melhor Caminho 63

5.3 Caminhos do Vale 64

5.4 Estudo Básico de Desenvolvimento Municipal (EBDM) 65

5.5 Patrulha Mecanizada - Bahia 66

CAPÍTULO **6**
AVALIAÇÃO DE CAMINHOS RURAIS 68
6.1 Método Road Condition Survey/ Detailed Visual Inspection (RCS/DVI) 70
6.2 Método Earth Road Condition Index (ERCI) 71
6.3 Método Unsurfaced Road Condition Index (URCI) 72

CAPÍTULO **7**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75



CAPÍTULO **1**

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

Nesta publicação vamos explorar a complexidade e a diversidade das estradas rurais do Brasil. Este livro procura abordar, de maneira profunda e detalhada, as melhores práticas, estratégias e tecnologias aplicadas na pavimentação e manutenção dessas vias essenciais para o desenvolvimento socioeconômico do nosso país.

Cada capítulo abordará um tema específico, discutindo os desafios climáticos e as soluções de pavimentação utilizadas para superar esses obstáculos. Compartilharemos casos, experiências e lições aprendidas da realidade do Brasil.

Além disso, vamos mergulhar nas inovações técnicas e metodológicas que estão revolucionando o campo da pavimentação rural. Analisaremos, passo a passo, como a tecnologia está permitindo uma melhor adaptação às condições locais e aumentando a eficiência e a sustentabilidade desses projetos.

Este livro foi criado para engenheiros, técnicos, estudantes e todos os profissionais da área que estão interessados em expandir seus conhecimentos e habilidades na arte e na ciência da pavimentação de estradas rurais.

Um aspecto fundamental e muitas vezes subestimado da pavimentação de caminhos rurais é a sua manutenção e conservação. O cuidado contínuo dessas estradas não só garante a sua funcionalidade ao longo do tempo, mas também protege o investimento significativo que representa cada quilômetro pavimentado.

A manutenção adequada desses caminhos tem um impacto direto e profundo na qualidade de vida das populações rurais. Ao garantir a transitabilidade destas vias ao longo do ano, facilita-se o acesso a serviços essenciais como educação, saúde e comércio. Uma estrada em bom estado permite que os produtos agrícolas cheguem aos mercados, que as crianças acessem as escolas mesmo em dias chuvosos e que a assistência médica esteja acessível quando mais se necessita. **Em outras palavras, um caminho rural bem conservado é um elo vital para conectar as comunidades rurais ao resto do país e do mundo.**

Este livro busca enfatizar a importância da manutenção e conservação das estradas rurais e oferecer as ferramentas e conhecimentos necessários para garantir a sua longevidade. Acreditamos que um investimento adequado e oportuno na manutenção de nossas estradas rurais não é apenas uma decisão estratégica, mas também uma obrigação social e moral.



CAPÍTULO **2**

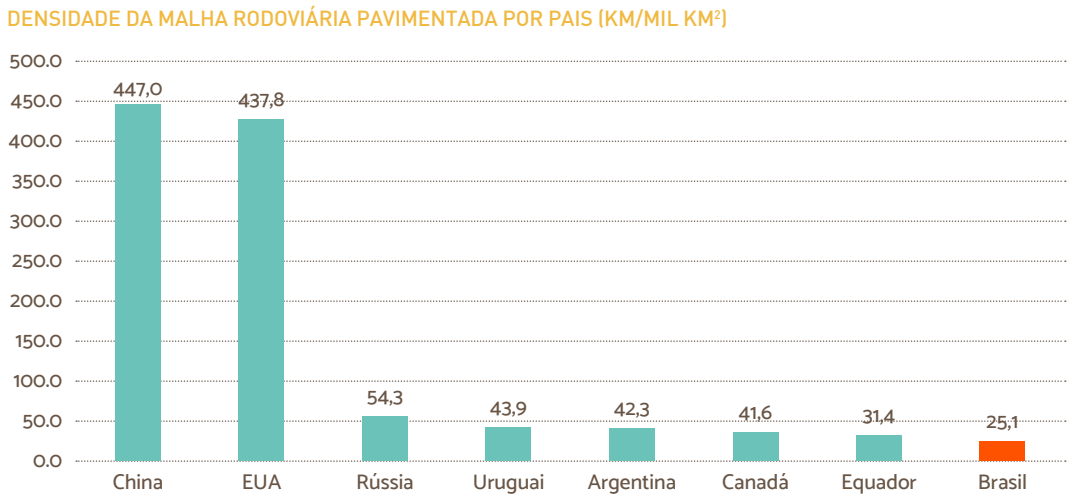
APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO E POLÍTICA DE MANUTENÇÃO NO BRASIL

CAPÍTULO **2**
APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO E POLÍTICA DE MANUTENÇÃO NO BRASIL

O Brasil é um país continental, com mais de 8,5 milhões de km2 de superfície e o quinto no mundo em área demográfica. A população estimada é de aproximadamente 200 milhões de habitantes, com maior concentração urbana próxima aos grandes centros urbanos (76%). Por outro lado, a maioria dos municípios brasileiros, aproximadamente 60%, são predominantemente rurais e concentram apenas 17% da população (1). Quanto mais afastada das regiões mais desenvolvidas do país, menor é a densidade de malha rodoviária, assim como a concentração de pessoas, dificultando a acessibilidade. Por exemplo, a região Norte tem 65% de municípios rurais, e o Nordeste, 68,9%.

Um dos principais fatores de desequilíbrio populacional entre cidade e campo, que se reflete em graves problemas socioeconómicos, e o crescente êxodo rural, é a reduzida oferta de rodovias asfaltadas quando se avalia a totalidade do território nacional. Mesmo que este critério de densidade de redes de rodovias não seja uniforme em todo o país, ele representa uma medida adequada para comparar as condições de infraestrutura. A malha brasileira é muito pequena, especialmente quando comparada com países de similar extensão territorial, como a China, Estados Unidos, Rússia e Canadá, mas a fragilidade ainda é mais evidente em relação a países da América Latina, como Uruguai, Argentina e Equador (2) Figura 1.

FIGURA 1. DENSIDADE DA MALHA DE RODOVIAS PAVIMENTADAS

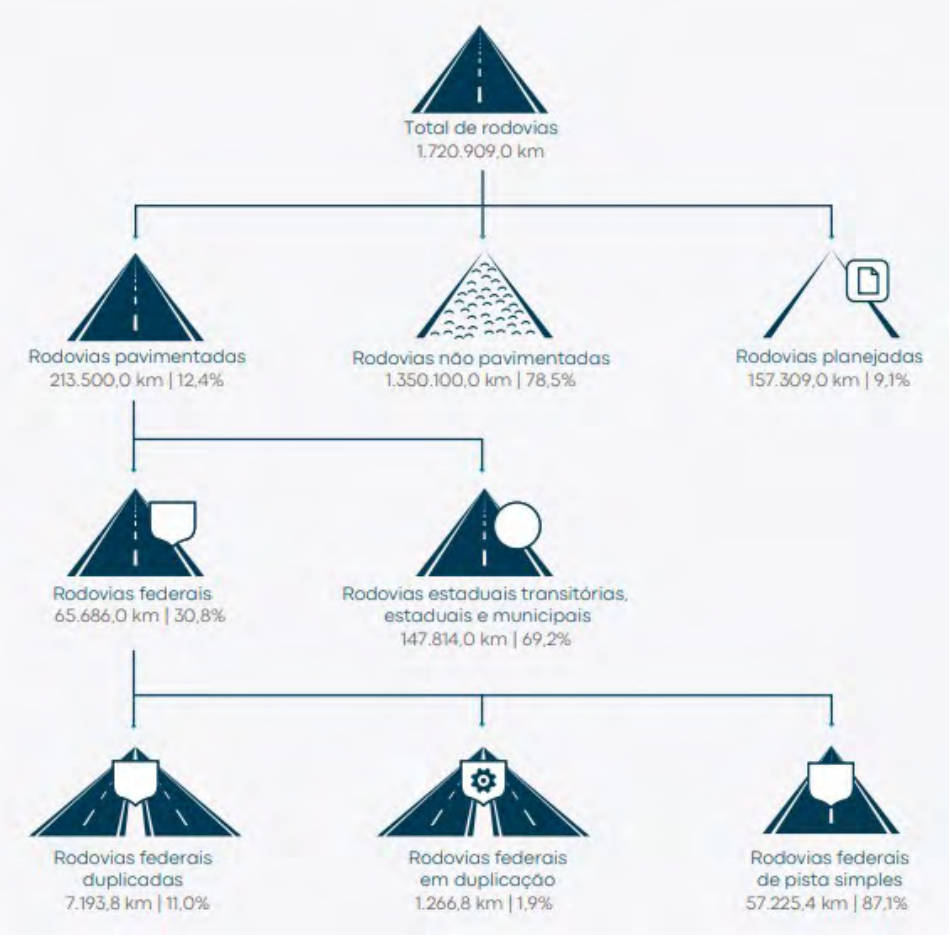


Fonte: Pesquisa CNT, 2022 (2).

O indicador de densidade de rodovias mostra que o Brasil tem uma malha pouco pavimentada, tanto em relação a sua área total, como em relação a outros países. Sabendo da heterogeneidade do país e da baixa disponibilidade de modais de transporte, fica evidente que a malha nacional é precária e composta principalmente por caminhos rurais sem pavimentação. Esta falta de disponibilidade de estradas e as más condições de conservação das mesmas geram atrasos no desenvolvimento e altos custos para um país continental que possui mais de 25% da sua geração de receitas concentrada no escoamento e exportação de cereais.

Pesquisa realizada anualmente no Brasil pela CNT (2), com dados de 2022, mostra que o Brasil tem um total de 1.720.909 km de rodovias, das quais apenas 12% são pavimentadas. Isto significa que aproximadamente 1.507.409 km de rodovias não são pavimentadas. Estes 88% de caminhos rurais não são elegíveis para grandes investimentos e manutenção para sua conservação, ações fundamentais para garantir as mínimas condições de acesso a escolas, hospitais e cidades.

FIGURA 2. COMPOSIÇÃO DA MALHA BRASILEIRA



Fonte: Pesquisa CNT, 2022 (2).

Para a correta manutenção destes 88% de estradas não pavimentadas, devem ser criadas políticas nacionais de manutenção e conservação, tendo em vista que a grande maioria destes caminhos rurais e florestais são a base do desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Claramente, o país necessita gerir adequadamente seus caminhos rurais.

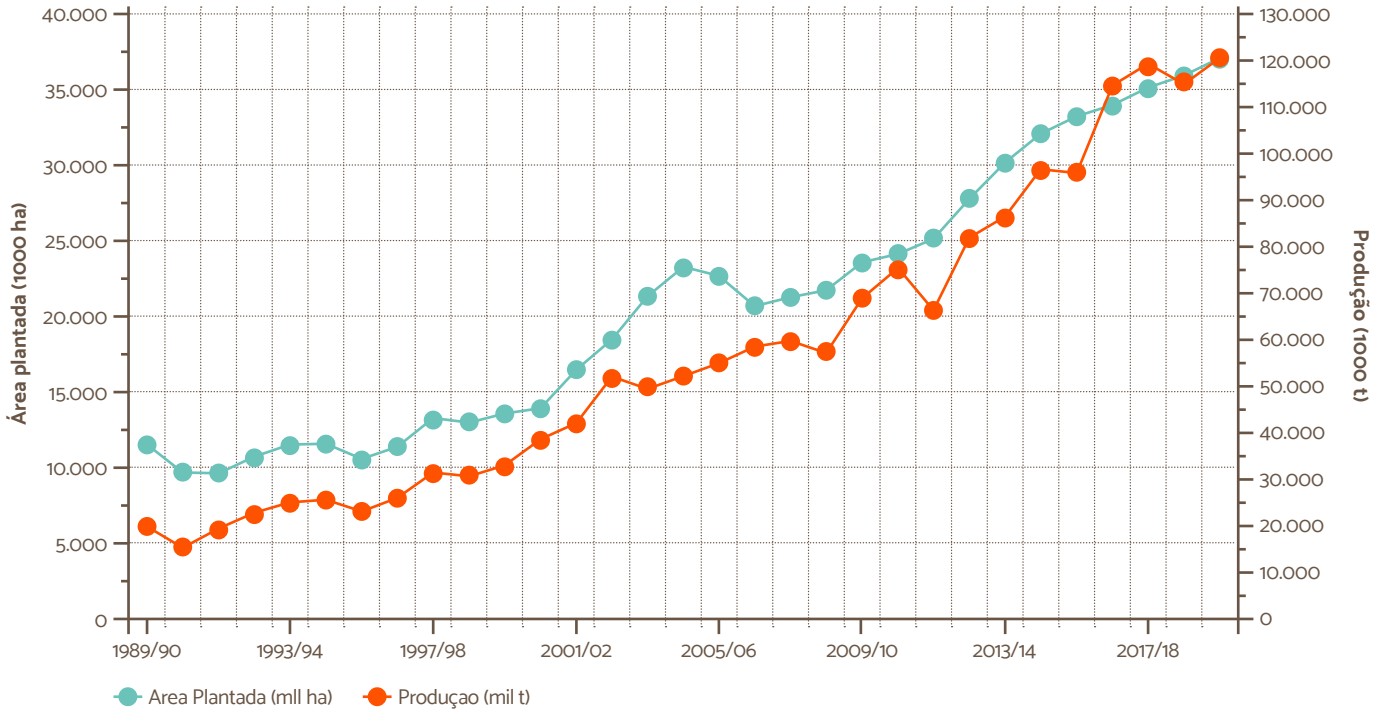
Por outro lado, mais importante que pavimentar os caminhos é mantê-los em boas condições, uma vez que o investimento para implantação de pavimentos asfálticos e sua correta conservação é elevado, ainda mais para uma rede de rodovias não pavimentadas.

A malha não pavimentada administrada pelo Ministério de Infraestrutura representa apenas 10.400 km (3) e encontra-se em condições precárias. As ações federais são planejadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), responsável pela gestão das políticas públicas para estimulo do agronegócio, setor este muito impactado tanto pelas condições de acesso à saúde e educação, como pela dificuldade de escoamento dos seus produtos. Este fato acentua um grande problema social, pois a população rural migra para as cidades, porém sem o preparo para assumir postos de trabalho. Assim, é crucial a melhoria das condições de vida no campo.

Atualmente, o Brasil tem a quinta maior área agriculturável, superado pela Índia, Estados Unidos, China e Rússia. Contudo, o Brasil é tido como o grande celeiro mundial. Produz em menos de 8% do território e alimenta aproximadamente 10% da população mundial, com destaques para soja, carnes, café, milho, algodão, cana de açúcar e laranja. De acordo com dados da Embrapa (4), é o país com maior potencial de crescimento de área agrícola. Associado a este crescimento, é muito importante que os caminhos rurais também recebam investimentos e que as ações neles realizadas sejam duráveis. As Figuras 3 e 4 ilustram o crescimento mencionado.

FIGURA 3. VISÃO NACIONAL DA SOJA

ÁREA PLANTADA / PRODUÇÃO NACIONAL

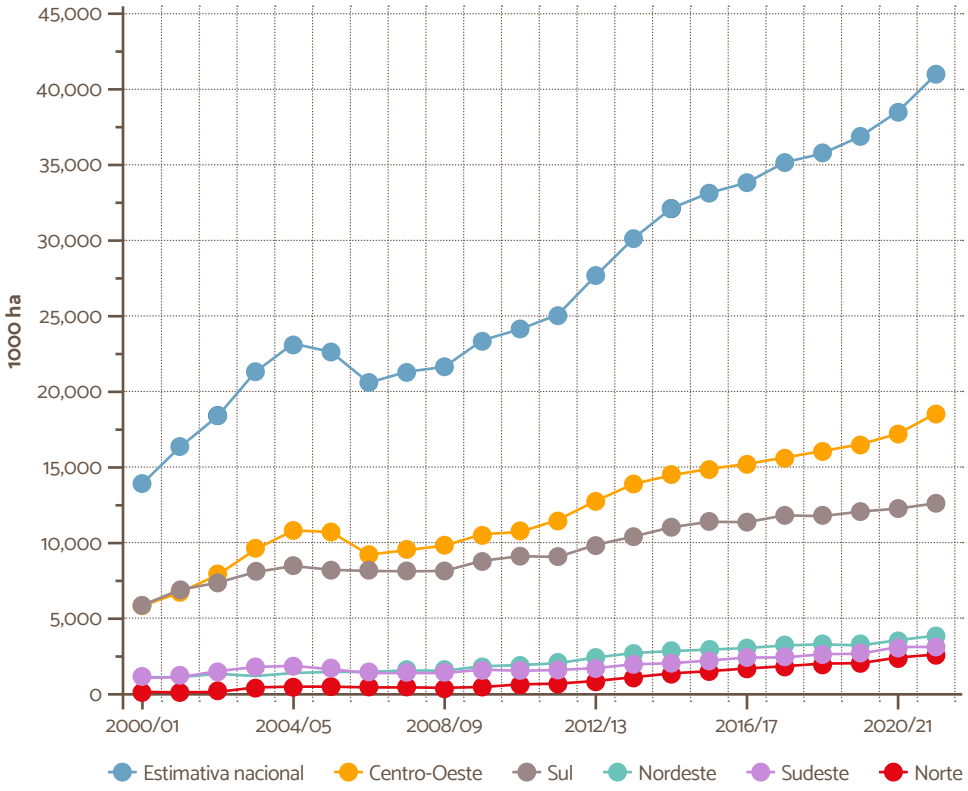


Fonte: Conab, 2022 (5).

Esta série histórica representa a área de plantação e produção de soja ao longo do tempo. Desde a safra de 2000, a área plantada aumentou em 193%, enquanto a produção do cereal cresceu 323%. Com estes dados da Empresa Nacional de Abastecimento (CONAB), fica evidente que o Brasil é um país com vocação agrícola e que para o escoamento desta produção devemos aplicar as melhores técnicas de manutenção e conservação dos nossos caminhos rurais.

FIGURA 4. VISÃO REGIONAL DA SOJA

ÁREA PLANTADA POR REGIÃO



Fonte: Conab, 2022 (5).

Esta análise complementar mostra o crescimento de áreas agricultáveis por regiões, sendo os grandes vetores de crescimento o Centro-Oeste, Sul e Norte do país, que necessitam investimentos e cuidados especiais, tanto na pequena extensão de rodovias pavimentadas quanto na necessidade de planejamento e manutenção dos caminhos rurais. Tendo em vista que este aumento de áreas acarreta em aumento de volume de trânsito de grandes caminhões e pessoas, a segurança e acessibilidade passam a ser importantes para a redução do tempo de deslocamento e distâncias.

Portanto, estados e municípios, estes últimos responsáveis pela maior malha de caminhos rurais, adotam individualmente suas próprias estratégias de manutenção e conservação, os quais geralmente carecem de planejamento e continuidade. Em sua maioria são ações pontuais e ineficazes, que ano após ano refletem a dificuldade de acesso às cidades, aumentando os custos socioeconômicos e distâncias e acarretando prejuízos nas áreas da saúde, educação, custos de alimentos e manutenção de veículos e, por conseguinte, na manutenção de estradas.

Uma maneira de reduzir este impacto é a adoção de políticas de manutenção para a conservação dos caminhos rurais.

2.1 POLÍTICAS E LEGISLAÇÃO

As leis e suas resoluções são orientações que subsidiam as políticas públicas, sejam a nível federal, estadual ou municipal. Atualmente, a composição da rede de estradas nacional é predominantemente rural e não pavimentada, administrada em sua maioria pelos municípios, em menor escala pelos estados e somente 1%, aproximadamente, pela esfera federal. Na prática, não existe uma regra específica – uma diretriz nacional - para organizar e nortear a gestão destes caminhos rurais. Cada município adota suas próprias definições, em alguns casos alinhadas com leis estaduais e nacionais (5). Esta necessidade de políticas de manutenção para cada uma destas 27 unidades federativas é latente, pois são 5.568 municípios com diferentes características e necessidades. Cada um deles trabalha isoladamente, com distintas políticas, leis municipais e práticas. Existem, no entanto, algumas boas práticas, experiências locais, manuais e especificações técnicas disponíveis.

A maioria das ações realizadas pelos municípios são dirigidas a programas de manutenção de caminhos pavimentados que servem de conexões entre as cidades, ligações com rodovias principais, ações de implantação, restauração e até sinalização. Em outras palavras, estes programas englobam as principais vias de acesso dos municípios.

Existem diversos programas em todo o país, com diferentes nomenclaturas. Entre eles, o "Programa Estrada Legal" (6) em Bragança Paulista (SP), por exemplo, e o "Programa Melhor Caminho", do Departamento de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, estabelecido em 1997 para a preparação de convênios entre a Secretaria e as cidades (7), entre outras ações pontuais realizadas para o controle de erosões, desenvolvimento da agricultura familiar e redução de acidentes em caminhos rurais. Embora essas ações dos estados sejam louváveis, há uma carência de regras que garantam a continuidade e o planejamento das iniciativas ao longo dos governos.

Um caminho interessante é a criação de Leis Municipais que busquem garantir a sistematização das ações de conservação em estradas rurais. Dentre essas experiências, pode-se citar o município de Lages, em Santa Catarina. O município planejou um programa de Gestão de Estradas Rurais, abrangendo as mais diversas disciplinas, por meio da Secretaria Municipal de Agricultura e Pesca. Assim, desenvolveu uma política pública estruturada para realizar esta gestão, baseada em pilares sólidos, conforme descrito por Savian et al. (8), incluindo a criação das Leis Municipais (9) e (10) que definiram os benefícios da infraestrutura ativa. Assim, através deste sistema, a autarquia priorizou satisfazer as necessidades da população, atendendo às exigências técnicas e sociais para a manutenção das estradas rurais, tendo em conta a criação da normalização, a participação da população para definir prioridades sociais, procedimentos técnicos para manutenção de estradas, seu registro em banco de dados e critérios de priorização.

2.2 RITOS NORMATIVOS

Os caminhos rurais devem atender à necessidade das pessoas ao se deslocar para realizar suas atividades sociais e econômicas. Ao longo dos anos, com o acréscimo de tráfego, também foram aceleradas as ocorrências de patologias, sejam estas associadas às condições inadequadas de drenagem, condições de rolamento, condições geométricas, larguras de faixa de rolamento e segurança.

As especificações nacionais são abundantes para rodovias pavimentadas, mas são poucas as recomendações quando se trata de estradas de terra. Nesta perspectiva, pode-se citar algumas referências:

a. Especificações Técnicas de Órgãos Federais[1]:
   - IPR 706 - Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - 1999 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER (11),
   - IPR 710 - Manual de Conservação Rodoviária - 2005 – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT (12),

b. Especificações Técnicas de Órgãos Rodoviários Estaduais (DER's):
   - O Manual do Estado de São Paulo (DER-SP) é utilizado como exemplo (13),

c. Especificações particulares, internacionais e manuais:
   - Por exemplo: Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina - DER-SC (14),

[1] www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas

Estes manuais trazem recomendações sobre as características das estradas rurais no que tange a parâmetros geométricos (largura de faixa e acostamentos, rampas máximas, velocidade orientativas, raios, inclinação longitudinal), porém não contemplam o dimensionamento destes revestimentos.

Portanto, é importante apresentar um resumo das patologias mais comuns e suas possíveis medidas corretivas.



CAPÍTULO **3**

A REALIDADE DOS CAMINHOS RURAIS NO BRASIL

CAPÍTULO **3**
A REALIDADE DOS CAMINHOS RURAIS NO BRASIL

As estradas rurais originaram-se essencialmente dos antigos caminhos e estradas primitivamente construídos, que sofreram melhoramentos devido à evolução das comunidades e, fundamentalmente, ao desenvolvimento. Baesso e Gonçalves (14) classificam as estradas rurais de acordo com diferentes critérios:

a. Conforme sua administração:
   - Federais,
   - Estaduais,
   - Municipais,
   - Privadas.

b. Conforme sua função:
   - Vias arteriais: função principal é promover fluidez,
   - Vias coletoras: caminhos que combinam funções de escoamento e acesso,
   - Vias locais: caminhos cuja função principal é permitir acesso.

c. Conforme suas características físicas:
   - Pavimentadas,
   - Não pavimentadas,
   - Pistas simples ou duplas.

d. Conforme seu padrão técnico:
São determinadas a partir de parâmetros como rampa máxima, inclinação, raio de curvatura, larguras de faixa, existência ou não de acostamentos, revestimentos, entre outros.

No caso particular dos caminhos rurais, objeto deste guia, deve-se definir as classes das estradas e seus usos, para assim assumir uma classificação padrão com suas respectivas larguras de pista, acostamentos, velocidade e superfície, as quais são fundamentais para o planejamento de medidas de conservação e investimentos.

De acordo com o tipo de superfície de rolamento:

Categoria A – A superfície de rolamento é composta por agregados naturais e de jazidas (cascalhos),
Categoria B - A superfície de rolamento é composta por materiais britados,
Categoria C - A superfície de rolamento é composta por solos naturalmente estabilizados (saibros),
Categoria D - A superfície de rolamento é composta por solos naturais de seu próprio leito.

Geralmente, as estradas rurais foram construídas intuitivamente, evitando grandes custos de implantação, sem nenhum planejamento ou estudo de engenharia. Ou seja, não se conhecia a ocorrência de solos expansivos, moles ou erosivos. Com o passar do tempo e a evolução do trânsito, estas vias passaram a ser mais utilizadas, dando origem a estradas classificadas nas categorias acima referidas. Normalmente, isto eleva os custos de manutenção e conservação, especialmente pelas precárias condições das mesmas.

A associação do aumento do volume de tráfego (muito frequente devido ao desenvolvimento agrícola), dificuldade de escoamento de água em períodos chuvosos e a capacidade de suporte da estrutura (revestimento) são fatores fundamentais para a deterioração das estradas e o alto investimento para sua manutenção. A Figura 5 mostra uma estrada rural em boas condições em que a falta de drenagem superficial provoca a formação de zonas de falha da estrutura na borda devido à saturação da camada e aparecimento de buracos.



Figura 5. Caminho rural em Santa Catarina

Fonte: elaborado pelo autor

Além disso, em outras condições de solo, mais expansivos, o caminho sem nenhum tipo de drenagem favorece a ocorrência de deformações na presença de água (Figura 6). Para mitigar essas ocorrências de forma pouco onerosa, deve-se investir em drenagem e na plataforma de terraplenagem elevada. Caso contrário, devem ser implementadas ações de estabilização granulométrica, utilização de geogrelhas, estabilização (cal ou cimento) ou mesmo a sua remoção e substituição, todas estas soluções de alto custo.



Figura 6. Caminho rural com solo expansivo

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 6 ilustra a ocorrência de baixa capacidade de suporte causada pela presença de água e saturação do solo.
O desempenho da estrutura da estrada não pavimentada depende da combinação das características do tráfego, da ação da água, seu adequado escoamento (sistemas de drenagem) e das características da plataforma (aterro). Portanto, sua vida útil é determinada pelo aparecimento de defeitos até certo nível de deterioração aceitável em termos de rolamento e segurança.

Evidentemente, estas premissas não são atendidas na maioria das situações no país, e a má conservação dos caminhos rurais é um importante fator de empobrecimento das comunidades, migração para áreas urbanas, perda de competitividade do setor agrícola e precária disponibilidade de acesso à educação e saúde.

Algumas ações menos onerosas devem ser tomadas ao longo do tempo para preservar as estradas rurais, evitando que se tornem intrafegáveis e inseguras, acarretando, consequentemente, custos de restauração altíssimos. Do ponto de vista econômico, essas ações ao longo do tempo permitem a manutenção do ativo (estrada) com baixo custo.

Portanto, é necessário conhecer as manifestações patológicas para entender as ações corretivas e de manutenção, considerando sempre a necessidade de tornar as soluções mais eficazes. Por outro lado, para vias de maior tráfego é necessária a implantação de estruturas de pavimentação mais robustas. Por isso, deve-se avaliar a pavimentação asfáltica ou revestimento primário.

3.1 DIMENSIONAMENTO DE CAMINHOS RURAIS

As estradas rurais, assim como as pavimentadas, são estruturas construídas para suportar os esforços, deformações das cargas de tráfego, principalmente os esforços normais gerados pelos veículos comerciais (caminhões), essencialmente, toda a carga torna-se um eixo padrão rodoviário com carga de 8,2 toneladas legais. No caso de estradas de terra, o efeito deletério das tensões verticais que geram deformações é altamente concentrado nas camadas de solos, pois os revestimentos primários raramente são resultado de dimensionamento de engenharia.

Assim, a capacidade de suporte do subsolo é um parâmetro fundamental para a durabilidade da estrutura da via, estando sempre associada ao seu comportamento na presença de água. No entanto, como já mencionado, a maioria das estradas rurais não são pavimentadas e, portanto, não são contempladas nos modelos de projeto.

Os métodos de dimensionamento nacional do DNIT (15) e as adaptações dos órgãos estaduais (DER's) baseiam-se na distribuição de forças verticais nas diferentes camadas da estrutura do pavimento, medidas por índice de capacidade de suporte, camadas de reforço e sub-base, geralmente base granular e revestimentos asfálticos. O tráfego é estimado pelo número de veículos e sua conversão em um eixo rodoviário padrão.

Este método é baseado nos seguintes fatores:

TABELA 1. CRITÉRIO DE TRÁFEGO *VERSUS* ESPESSURA MÍNIMA

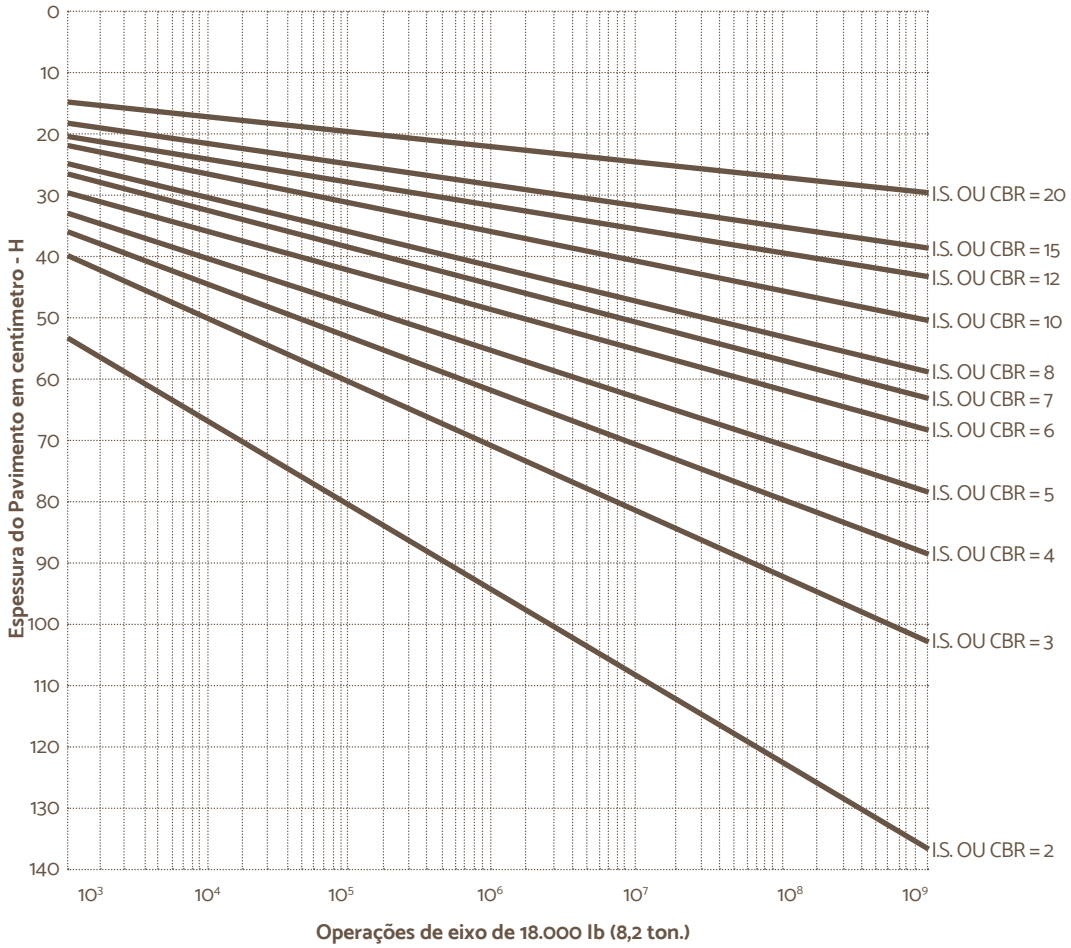
N	Espessura Minima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7.5 cm de espessura
$10^7 < N$ 5 5×10^7	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Souza, 1981 (15).

O método considera que estradas rurais com tráfego inferior a 1.000.000 de repetições do eixo padrão necessitam de uma simples camada de tratamento superficial. Já para estradas rurais de baixo tráfego podem ser usados revestimentos primários, estabilizações de solo, brita, entre outras técnicas de baixo custo.

O critério de dimensionamento das camadas baseia-se na definição da espessura total em função do tráfego e da capacidade de suporte (*California Bearing Ratio*). A Figura 7 mostra o ábaco.

FIGURA 7. CORRELAÇÃO NÚMERO N VERSUS CBR



Fonte: Souza, 1981 (15).

Assim, a definição do pacote estrutural faz-se da combinação de materiais e coeficientes para assumir a espessura total do projeto, sendo que cada material possui fatores de acordo com sua resistência, Tabela 2.

TABELA 2. COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL

Componentes do Pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulares	**1,0**
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,7
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,4
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,2

Fonte: Souza, 1981 (15).

Como apresentado anteriormente, esses critérios se aplicam muito bem a estradas a serem pavimentadas. Já as estradas rurais geralmente são constituídas de solos locais, misturas de solo e cascalho, e apenas em situações específicas de revestimentos primários.

Nesse sentido, em seu manual, Baesso e Gonçalves (14) apresentam uma correlação desenvolvida pelo *South Dakota Department of Transportation* que atribui espessuras de revestimento primário com base na resistência do solo (CBR) e no volume de tráfego diário. Este método da *Federal Highway Administration* (FHWA), adotado desde 2000, não inclui parâmetros mecânicos (módulo de resiliência) ou parâmetros de sazonalidade, porém estabelece um ponto de partida muito importante para projetos de caminhos não pavimentados.

TABELA 3. RELAÇÃO CBR *VERSUS* VOLUME DE PESADOS

ESPESSURAS MÍNIMAS SUGERIDAS PARA CAMADAS DE REVESTIMENTO PRIMÁRIO

Volume estimado de Veículos Pesados (VDM)	Condições de suporte do subleito (CBR)	Espessura mínima sugerida (cm)
0 a 5	CBR < 3%	16,5
	3% < CBR < 10%	14,0
	CBR > 10%	11,5
5 a 10	CBR < 3%	21,5
	3% < CBR < 10%	18,0
	CBR > 10%	14,0
10 a 25	CBR < 3%	29,0
	3% < CBR < 10%	23,0
	CBR > 10%	18,0
25 a 50	CBR < 3%	37,0
	3% < CBR < 10%	29,0
	CBR > 10%	21,5

Fonte: Skorseth e Selim, 2000 (16).

Muitas regiões do Brasil têm a presença de solos tropicais, com alta capacidade de suporte (CBR), superiores a 30%. Nestas localidades, certamente a correlação acima deve ser desprezada, pois são solos de excelente comportamento.

3.2 PATOLOGIAS EM CAMINHOS RURAIS

O levantamento de defeitos observados em pavimentos é protagonista na análise dessas estruturas de engenharia, pois pela sua frequência de ocorrência e severidade está associada a avaliação dos mecanismos de deterioração que estão atuando para esse processo de degradação e sua expectativa de vida útil.

Através de sua ocorrência, severidade e velocidade de degradação, é possível alimentar os métodos de avaliação de vias, objetivos ou subjetivos, e definir seu real estado de deterioração e até mesmo priorização de manutenção.

Mesmo sendo o Brasil um país essencialmente formado por estradas rurais, as metodologias de avaliação são desenvolvidas nos Estados Unidos. Praticamente não se faz diagnóstico local, mas sim são utilizadas técnicas padronizadas que deveriam ser otimizadas por meio de um diagnóstico preciso. Isso contribui para o menor nível de conhecimento dos engenheiros nessa área e tão pouco para a oferta de formação de profissionais voltadas para estradas rurais.

Conforme apresentado no Manual do DER-SC, Baesso e Gonçalves (14) apontam os defeitos mais frequentes:

- seção transversal inadequada,
- drenagem inadequada,
- corrugações,
- excesso de poeira,
- buracos,
- deformações plásticas (trilhas de rodas),
- perda de agregados.

Esta terminologia é popularmente conhecida nas zonas rurais por nomes mais típicos como *pinguela, costela de vaca, facão, lama e poeirão*.

Independentemente da nomenclatura adotada, este são os principais agentes de deterioração de estradas rurais. Sua intensidade e frequência alimentam as metodologias de avaliação de defeitos. A identificação destas ocorrências deve auxiliar na tomada de decisão quanto às ações corretivas a serem adotadas.



Figura 8. Seção Transversal sem abaulamento

Fonte: elaborado pelo autor

A seção transversal quando inadequada geralmente é causada pela falta de abaulamento e declividade para escoamento da água. Sempre que possível, deve-se evitar seções enterradas/encaixada (mais baixas que o perfil da faixa de domínio), pois geram acúmulo de água na plataforma rodante, fator de aceleração de deterioração.

A seção de rampa longitudinal em um perfil encaixado faz com que a água se acumule na faixa de rolamento, canalizando a passagem do trânsito. Portanto, a combinação de defeitos aumenta a gravidade dos problemas nas estradas rurais e a necessidade de ações corretivas.

O trabalho de Baesso e Gonçalves (14) apresenta um exemplo deste caso na Figura 9.



Figura 9. Problemas na plataforma encaixada

Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003 (14)

Mais evidente é a situação apresentada na Figura 9, onde o trecho da estrada está enterrado, o que faz com que toda a água fique retida na plataforma. Além da influência da qualidade do solo, quanto mais a seção transversal é cortada, maior é a tendência do aparecimento de solos mais pobres. Uma regra básica para estradas rurais é que estas devem estar niveladas ou acima do solo existente, devendo-se evitar escavações. Isso reduz os problemas com a resistência, drenagem e estabilidade da berma.

O problema de drenagem inadequada é comum e se deve ao acúmulo de água na pista por falha ou falta dela. Dessa forma, a água se acumula causando buracos, fragilidades ou até mesmo criando valetas na pista para encontrar uma saída. Figura 10.



Figura 10. Drenagem inadequada

Fonte: elaborado pelo autor

Para estradas rurais, a plataforma deve ser protegida da ação da água, que aliada ao tráfego intenso causa sérios danos ao pavimento. A Figura 11 mostra esse efeito em um pavimento com pedras.



Figura 11. Drenagem inadequada e plataforma estreita

Fonte: elaborado pelo autor

Esta acumulo de água na pista é um severo gerador de buracos, trilhas de rodas (futuros atoleiros) e dificuldade de circulação do tráfego. Portanto, a prevenção adequada é essencial para a boa conservação da estrada rural e, sem dúvida, esta ação preventiva resulta em uma boa economia. Nesta imagem, observa-se ainda que a falta de limpeza também impede a saída da água. É possível ver também o desrespeito com a faixa de domínio, com a construção de edificações à margem do caminho.

Corrugações ou ondulações são irregularidades transversais que ocorrem no revestimento e que causam desconforto aos usuários. Suas causas são diversas, desde elevado tráfego, baixo suporte do subleito, até a presença de agregados que são transportados pela água ou se dissipam em períodos de estiagem e falta de abaulamento. A Figura 12 mostra um exemplo.

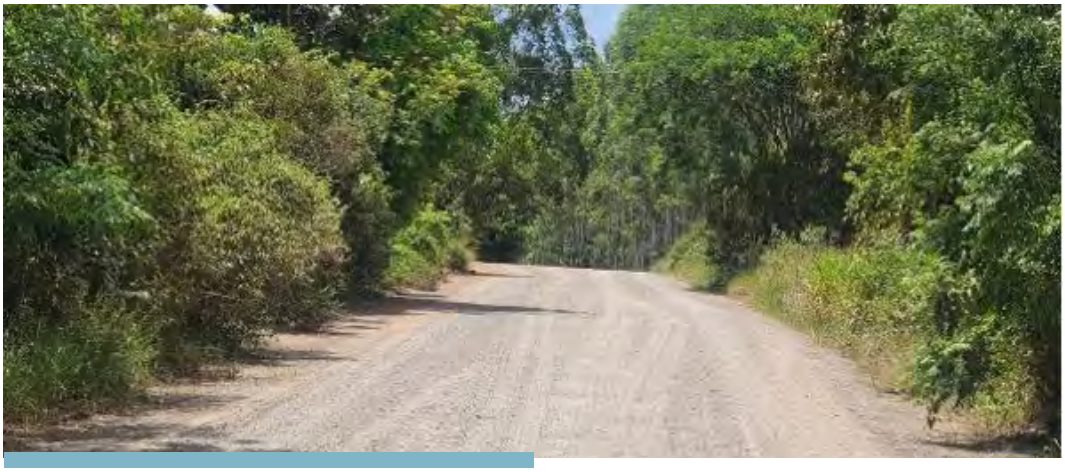


Figura 12. Corrugações ou irregularidades em caminhos rurais

Fonte: elaborado pelo autor

A correção destas ondulações geralmente depende do tipo de solo, mas requer o uso de equipamentos pesados (motoniveladora e rolo compactador) para regularizar o revestimento ou mesmo fazer estabilizações de solos e/ou brita para garantir maior conforto ao rolamento. Os custos dessa correção são maiores, mas este defeito influencia muito no tempo de deslocamento e conforto.

A geração de poeira é consequência das camadas de materiais finos, geralmente em excesso. Essa patologia é uma das mais agressivas porque não pode ser considerada simplesmente como uma nuvem de poeira. Seus danos estão relacionados à segurança (causando acidentes), saúde humana e animal (doenças inflamatórias e alérgicas), agricultura (cultivo de alimentos nocivos), economia (deterioração da durabilidade de veículos e equipamentos) e também contribui para ondulações e deslizamentos devido ao acúmulo de materiais finos na superfície. Seu aparecimento é muito comum em solos arenosos e lateríticos e em períodos de estiagem. A Figura 13 apresenta um exemplo.



Figura 13. Geração de poeira

Fonte: elaborado pelo autor

Baesso e Gonçalves (14) sugerem que a formação de poeira depende do volume de tráfego, velocidade do veículo e granulometria do solo (Figura 14). Uma das soluções para sua correção é o uso de estabilizadores químicos com clorito de cálcio e clorito de magnésio, lignosulfatos. Também são aplicadas estabilizações com solo brita ou cascalho.



Figura 14. Formação de poeira

Fonte: elaborado pelo autor

O aparecimento de buracos ou panelas resulta da conjugação destas patologias mencionadas ou do seu aparecimento isolado. Sua baixa ou alta gravidade definirá a necessidade de ações pontuais ou de grande escala. Em trechos com grande concentração de buracos, a camada de subleito existente deve ser regularizada, o material substituído ou compactado, muitas vezes exigindo a inclusão de revestimentos primários para resistir aos esforços do tráfego.

Quando isoladas, devem ser prontamente corrigidas, tendo em vista que esta patologia é a mais grave em termos de danos aos veículos, tempo de viagem e condições de rodagem. A Figura 15 apresenta uma ilustração do defeito.



Figura 15. Formação de buracos

Fonte: elaborado pelo autor

Os afundamentos ou trilhas de rodas nos caminhos rurais estão associados à baixa capacidade de suporte do subleito, geralmente na presença de água. Essas deformações ocorrem com a passagem do tráfego, principalmente quando as condições de drenagem não são adequadas e se associam a pontos de baixa velocidade. Seu acúmulo pode tornar a estrada intransitável, gerando atoleiros com frequência. A Figura 16 ilustra o problema.



Figura 16. Formação de atoleiros

Fonte: elaborado pelo autor

As ações corretivas dependem muito dos solos encontrados e de sua resistência na presença de água. Em casos mais simples, a correção pode ser feita com drenagem e regularização do solo. Em situações de maior acumulação de tráfego, pode-se proceder à estabilização granulométrica e aplicação de revestimentos primários, sendo que em casos mais críticos é ainda necessário remover e substituir solos ou mesmo reforçá-lo com geogrelhas. No entanto, qualquer uma dessas técnicas deve incluir uma correção do sistema de drenagem.

A perda de agregados é consequência do volume de tráfego e da velocidade de operação da via. Estes geram o desprendimento do revestimento e sua deterioração. A substituição desses materiais, o nivelamento e a manutenção com reparos localizados são soluções de baixo custo que evitam a formação de buracos e seu posterior agravamento durante a ocorrência de chuvas (Figura 17).



Figura 17. Perda de agregados

Fonte: elaborado pelo autor

Todas essas patologias definem a necessidade de ações corretivas, sempre associando fatores de resistência do solo, tráfego e condições ambientais. Sua correta combinação resulta em técnicas acertadas de manutenção e conservação e projetos adequados de caminhos rurais.

3.3 CAUSAS E AÇÕES CORRETIVAS

As patologias encontradas em caminhos rurais são recorrentes e ocorrem devido à baixa capacidade de suporte do subleito, tráfego e sua exposição à água. Também resultam da falta de ações de conservação da faixa de domínio e pista, que geram normalmente más condições de superfície.

Muitas dessas patologias são fáceis de identificar e resolver. A tabela a seguir mostra algumas sugestões de ações corretivas tomadas no Brasil.

TABELA 4. AÇÕES CORRETIVAS

Patologia	Causa	Ação corretiva
Ondulação / irregularidade	A baixa resistência do solo ou a falta de drenagem fazem com que a água se acumule ou penetre na via e promova a perda de agregados.	Melhorias no sistema de drenagem (vazão de água). Correção isolada de pontos de baixa capacidade com reposição de solo. Substituição da camada de rolamento ou execução de nova camada.
Atoleiros	Ocorrência de água no subleito ou nos pontos baixos da plataforma, gerando deformações.	Implementação do sistema de drenagem profunda. Reconstruções parciais do subleito.
Formação de poeira	Ocorre devido ao excesso de material solto (fino) que se deposita na faixa de rolamento. Ocorre em períodos de seca e devido a ação de pesados.	Execução de revestimento primário ou estabilização química da camada.
Pista escorregadia	Excesso de umidade em solos argilosos. Geram problemas de segurança viária e passagem dos veículos, especialmente em rampas.	Execução de revestimento primário.
Segregação	Eliminação de agregados soltos na pista de rolamento.	Mistura de material existente com argila ou inserção de revestimento primário.
Erosão	Este é o problema mais severo nos caminhos rurais. Quando estas estradas interrompem o curso natural da água podem ser criados importantes processos erosivos.	Os serviços de drenagem devem ser realizados para organizar adequadamente o escoamento da água, desde sua origem até o destino adequado. Podem ser serviços de alto custo, que envolvem obras geotécnicas, e também obras preventivas.
Buracos / panelas	Possuem muitas causas, que variam desde a inexistência de camada de revestimento primário, ausência de partículas aglutinantes, plataforma de estrada mal drenada e falta de abaulamento transversal.	Estas correções vão desde correções pontuais “tapa buraco” até o uso de equipamentos pesados como motoniveladoras e rolos para refazer a camada.
Afundamentos plásticos	As deformações são causadas pela má qualidade do solo do subleito, pela falta de revestimento primária e pela sobrecarga do tráfego associada. Não estão descartados problemas de drenagem.	As soluções devem ser tomadas imediatamente, variando desde uma simples regularização da camada, passando por casos que requerem uma camada de revestimento e chegando até mesmo em ações mais onerosas, com reconstruções parciais das estruturas.
Perda de Agregados	Muitas são as causas deste problema, mas necessariamente passam pela ausência de ligação/imbricamento dos materiais.	As soluções típicas são a regularização da capa de rolamento, correção com frações de materiais de ligação, até a substituição total da camada.

Fonte: elaborado pelo autor

Estes problemas apontados são os mais comuns e sua recorrência afeta a durabilidade das estradas e a qualidade de vida da população. Portanto, o ideal é uma ação preventiva, evitando que eles ocorram.

Desenvolver um bom projeto, programa de conservação adequada, orientação de tráfego apropriado e sinalização eficiente, por si só não garante um bom desempenho. Se for negligenciada a drenagem das águas, certamente ocorrerão problemas na plataforma rodoviária e também no ambiente rodoviário rural.

3.4 SISTEMAS DE DRENAGEM

O planejamento da drenagem é fator relevante para o projeto de uma estrada rural. Por melhor que seja a solução de pavimentação, com certeza ela terá sua plataforma comprometida nas primeiras chuvas se não for contemplada esta disciplina. Portanto, devem ser contemplados investimentos em elementos de drenagem claramente eficientes, que normalmente possuem custos baixos.

Os dispositivos de drenagem devem atender às necessidades de retirada rápida das águas superficiais sem gerar alagamentos nas áreas próximas, erosão nas encostas e sua permanência na plataforma da pista. São elementos fundamentais para o bom funcionamento da via e seu baixo custo de manutenção:

- Clima,
- Topografia,
- Geologia,
- Estudo das características do solo.

A má condução da água afeta a capacidade de uso da estrada. Quando esta se acumula ou permanece na superfície da estrada, depressões e sulcos aparecem com a ação do tráfego. Se a água não for retirada de seu leito, pode causar erosão e sulcos nas na camada de rolamento. De forma prática, Baesso e Gonçalves (14) sintetizam os princípios básicos mais importantes para se obter uma boa drenagem em estradas rurais:

a. Desenvolver, sempre que possível, traçados próximos aos divisores de água,

b. Remover da pista toda a água sem danificar a estrada ou sua estrutura, o mais rápido possível,

c. Reduzir a velocidade da água, bem como a distância que esta deve percorrer,

d. Utilizar drenagens transversais, quando necessário, por exemplo, galerias,

e. Adotar preferencialmente plataformas com larguras e alturas de cortes e aterros, que produzam um mínimo de perturbações,

f. Evitar a construção de caminhos rurais em áreas úmidas, instáveis ou com fortes rampas,

g. Remover as águas subterrâneas, quando necessário, no caso de trechos de caminhos em cortes onde o tráfego seja composto por veículos pesados,

h. Conservar a vegetação natural de cortes e aterros, entre outras zonas sensíveis a processos erosivos,

i. Manter a plataforma mais elevada que o terreno natural sempre que seja possível.

Desta forma, são apresentadas a seguir as principais ações de drenagem utilizadas como drenagem superficial, corrente e profunda.

Os elementos de drenagem superficial mais comuns são canaletas, bigodes, valas, dissipadores de energia e caixas de acúmulo de água.

Um exemplo, em uma estrada secundária bastante inovadora, foi a execução de uma camada de microrrevestimento asfáltico a frio executado sobre o solo local compactado, com boa inclinação na plataforma, canaletas de concreto e uma caixa de armazenamento de água.



Figura 18. Sistema de drenagem superficial adequado

Fonte: elaborado pelo autor

No caso a seguir, observa-se uma ligação entre uma estrada rural e uma estrada de ligação que não atende aos requisitos de geometria. A precariedade na drenagem superficial faz com que a água escoe pela plataforma da estrada pavimentada, ocasionando sérios problemas de segurança e risco de aquaplanagem em períodos de chuva.



Figura 19. Sistema de drenagem superficial inexistente

Fonte: elaborado pelo autor

A execução de bigodes inibe o aparecimento de acúmulo de água e a formação de atoleiros. A necessidade de implementá-lo pode ser vista abaixo. A segunda imagem mostra que, da mesma forma, a própria comunidade pode adotar soluções mais rudimentares para direcionar a água para longe da plataforma.



Figura 20. Sistema de drenagem superficial inadequado

Fonte: elaborado pelo autor

A figura a seguir mostra uma boa prática de drenagem e segurança, pois além de criar uma boa declividade, eliminando possíveis pontos de acúmulo de água, foi preservada a cobertura vegetal. Esta é uma boa prática e de baixo custo que reduz muito a necessidade de gastos de manutenção. Contudo, a roçada deve ser realizada continuamente, para que não seja um elemento que mantenha a água na superfície ao invés de promover seu escoamento.

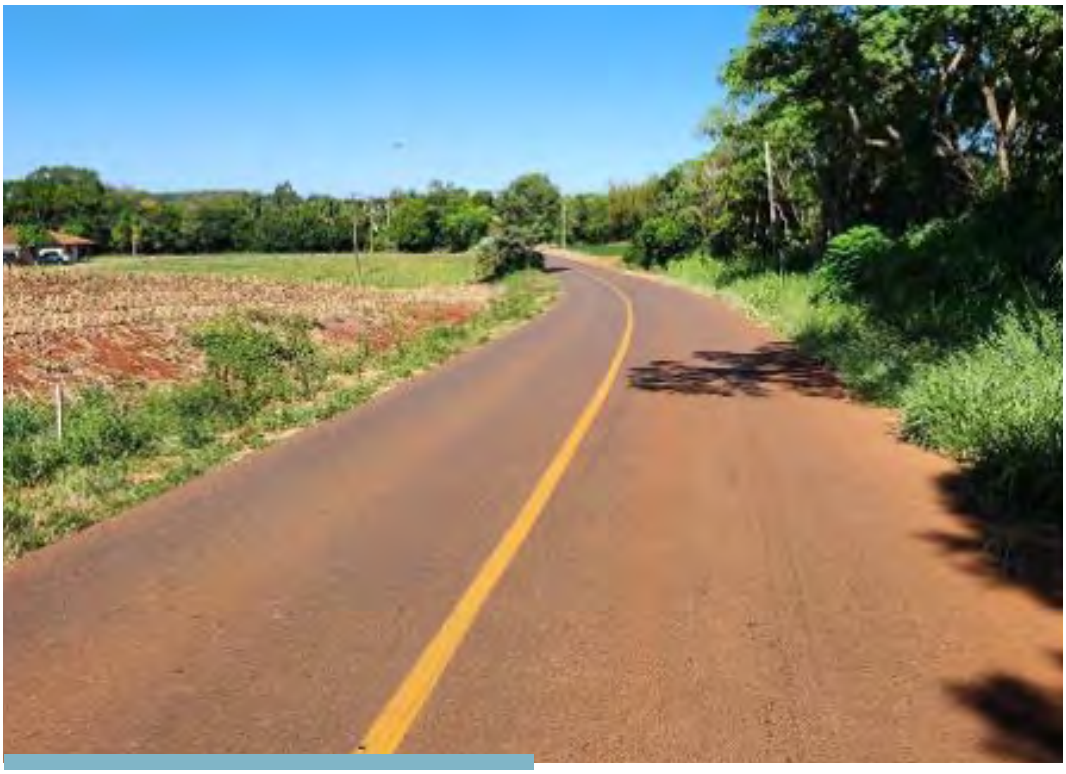


Figura 21. Boas práticas

Fonte: elaborado pelo autor

Em muitas regiões do Brasil ocorrem períodos chuvosos concentradas e intensos, tornando-se necessária a criação de bacias hidrográficas ou caixas de retenção como medida protetiva e proativa. Essas bacias evitam a erosão, a sedimentação e até o uso agrícola dessa água.



Figura 22. Bacias de captação ou "barraginhas"

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA, 2028 (17).

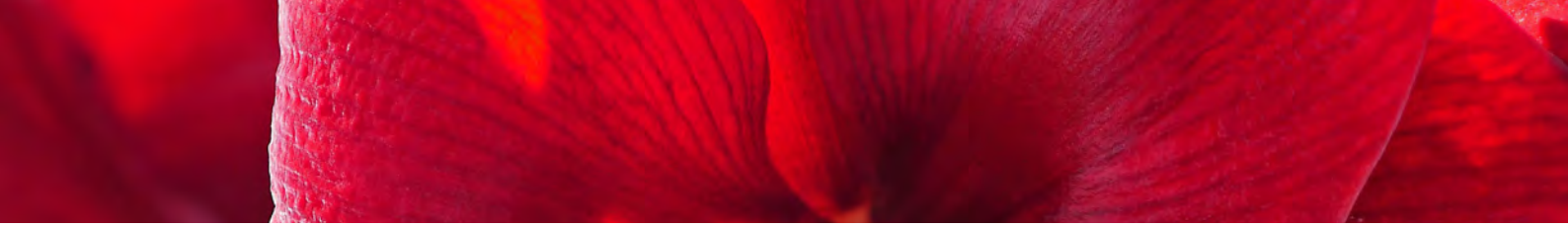
A importância da drenagem corrente e profunda para escoamento das águas se faz com a construção de galerias e até dissipadores de energia. Nesse sentido, reduzir a velocidade da água e afastá-la da estrada são essenciais.



Figura 23. Inspeção de drenagem

Fonte: elaborado pelo autor

As ações de manutenção e conservação são essenciais para o bom funcionamento da drenagem, de forma que inspecioná-las e preservá-las limpas e desobstruídas são premissas básicas.



CAPÍTULO **4**

EXPERIÊNCIAS E SOLUÇÕES INTERESSANTES

CAPÍTULO 4
EXPERIÊNCIAS E SOLUÇÕES INTERESSANTES

A maior parte das estradas rurais é gerida com os recursos dos municípios, que em geral são bastante limitados. Neste capítulo são descritas algumas alternativas interessantes como soluções que podem ser adaptadas e replicadas por outros municípios.

4.1 REVESTIMENTO PRIMÁRIO COM SOLO BRITA

A prefeitura de Assis Chateaubriand, no oeste do Paraná, município de aproximadamente 34.000 habitantes e com muita atividade agrícola, adotou serviços de melhoria da plataforma das vias com correções de abaulamento e regularização da camada, seguidos pelo revestimento primário com solo brita. Esta solução de melhoria das condições de tráfego nas suas estradas rurais permite a boa circulação, tanto no inverno como verão.



Figura 24. Revestimento primário com solo brita — Fonte: Jornal do Oeste, 2021 (18)

Estes serviços foram realizados em convênio financeiro entre a Itaipú Binacional e recursos próprios. Conforme relato da administração local, os resultados são satisfatórios e a técnica já foi utilizada em aproximadamente 20 km de estradas rurais. A seguir, a imagem de um trecho em serviço, sendo o desempenho satisfatório para a comunidade.

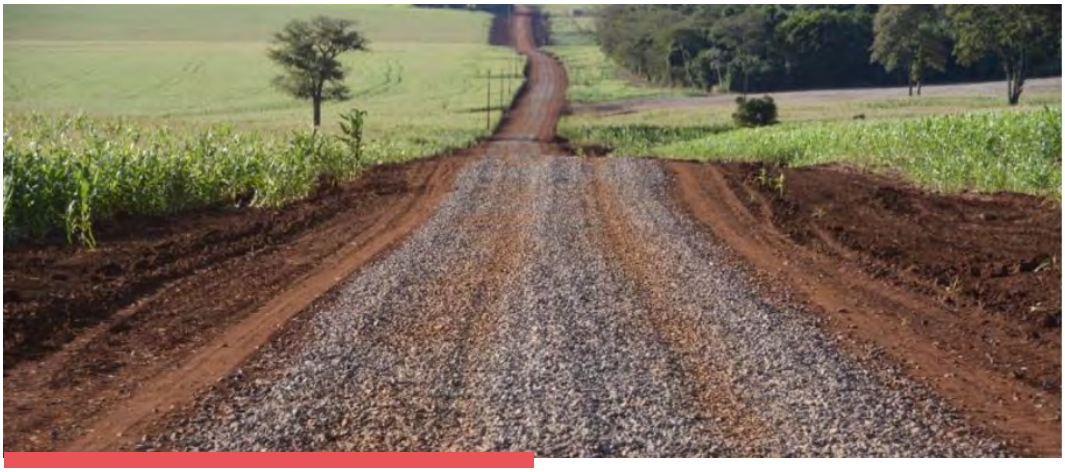


Figura 25. Revestimento solo brita

Fonte: Jornal do Oeste, 2021 (19)

4.2 PAVIMENTAÇÃO COM PEDRAS

Alguns municípios com grande disponibilidade de pedras basálticas utilizam esta técnica de pavimentação nos caminhos rurais como forma de promover maior qualidade de rolamento nas principais ligações entre cidades e comunidades rurais importantes. A Figura a seguir mostra dois diferentes municípios.



Figura 26. Revestimento com pedras irregulares

Fonte: elaborado pelo autor

Esta técnica consiste em ter uma fundação com boa capacidade de suporte (California Bearing Ratio maior que 5%) e expansão baixa (inferior a 2%). Sobre a base aplica-se uma camada de argila ou areia com a espessura de 15 a 20 cm, e sobre ela colocam-se manualmente as pedras (espessura de 10 a 20 centímetros) de pedra basáltica (com 4 a 8 faces), distribuídas uniformemente, sem desagregação ou decomposição. A seguir, aplica-se uma camada de pó de pedra com 3 cm para enchimento e sua posterior compressão com rolos.

Esta solução, com o passar do tempo e acúmulo do tráfego, tende a criar um certo nível de desconforto ao usuário, principalmente se a drenagem e manutenção forem negligenciados. Os municípios buscam, como medida de manutenção, sua pavimentação com camada asfáltica diretamente sobre as pedras (com espessura de 3 a 5 centímetros). A Figura a seguir mostra um caso.



Figura 27. Restauração sobre pedras

Fonte: elaborado pelo autor

Esta técnica de restaurar pavimentos em pedras com camadas asfálticas possui vários pontos a serem discutidos, pois a aplicação direta de uma espessura asfáltica de 3 ou 4 centímetros tende a durar pouco, devido ao mapeamento das irregularidades onde os blocos estão soltos, e em regiões com presença de água. Por outro lado, geram melhores condições de rolamento e fluidez de tráfego. Desta forma, o ideal é desenhar um pavimento adequado, com uma camada de pedra e em seguida um revestimento asfáltico durável.

A figura seguinte mostra uma obra de implantação de pavimentos em caminhos rurais e a construção de dispositivos de drenagem.



Figura 28. Implementação de caminhos rurais

Fonte: Eng. Cristian Ticiani

Além disso, em caminhos rurais devem ser inseridas sinalizações e redutores de velocidades para que não ocorram acidentes e atropelamentos, pois a tendência é que os motoristas dirijam com velocidades mais elevadas. Devem ser implantados acostamentos para a comunidade se deslocar com segurança e implementados sistemas de drenagem adequados. Do contrário, esta ação de pavimentação terá baixa durabilidade e será um gerador de problemas.



Figura 29. Camada asfáltica sobre pedras

Fonte: elaborado pelo autor

Na figura 29 são observados problemas precoces na pavimentação de estrada rural onde foi aplicada camada asfáltica diretamente sobre as pedras. Estes problemas foram gerados pela falta de cuidado na aplicação da mistura asfáltica. A estrada pode tornar-se mais segura com a implantação de acostamentos, facilitando o deslocamento de pessoas, e com reforço na sinalização para melhoria da visibilidade.

4.3 SOLOS TROPICAIS

Os solos típicos de regiões tropicais estão diretamente associados ao conceito de pavimentos de baixo custo no Brasil. Muito se deve aos esforços e experiências de vários anos de estudos, pesquisas e trechos experimentais originados no estado de São Paulo e por seus técnicos. Nesse processo, destaca-se a criação de metodologias próprias para classificar e reconhecer esses materiais e seu bom comportamento estrutural como base e sub-base de pavimentos de baixo tráfego.

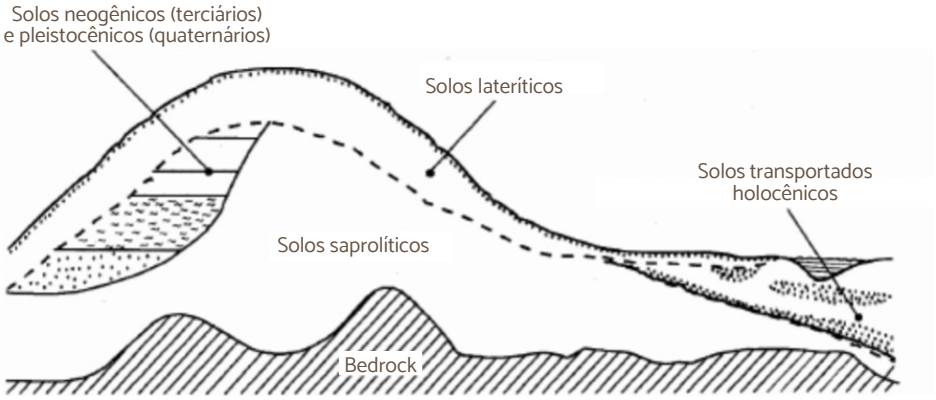
Nogami e Villibor (20) definem solos tropicais como aqueles que apresentam comportamento e peculiaridades decorrentes da atuação de processos geológicos e/ou pedológicos típicos das regiões tropicais úmidas. Assim, para que um solo seja considerado tropical, não basta que tenha sido formado em regiões de clima tropical úmido. É necessário que apresente peculiaridades de interesse geotécnico, isto é, materiais com alta resistência e presença de laterização para seu uso em pavimentação conforme a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Bernucci (21) lista as diversas experiências e desenvolvimento tecnológico com o uso de solos tropicais sob a direção de portugueses, franceses e ingleses em suas ex-colônias africanas. Pesquisadores e técnicos de outros países, como Brasil, Estados Unidos, Suíça, Canadá, África do Sul, Gana, Austrália, Nigéria, Paquistão, Índia, México e Peru, entre tantos outros, têm se dedicado ao estudo de solos tropicais e sua aplicação para estradas locais.

A relevância do tema e o comportamento da laterização (cimentação) do solo associado aos seus benefícios definem a continuidade de experiências e avaliação do dimensionamento e desempenho deste uso, pois agregam desenvolvimento a países de climas e solos tropicais.

Dentre os solos tropicais estão os solos lateríticos, saprolíticos e os transportados (Figura a seguir). Os dois primeiros são mais utilizados em rodovias. São os solos lateríticos (cimentados) que apresentam excelentes condições de resistência, são pouco erosivos e de excelente comportamento a presença de água. Por outro lado, os solos saprolíticos são muito erosivos, heterogêneos e mecanicamente se comportam muito mal quando submetidos à ação da água. Conforme Villibor e Alves (22), uma porção de aproximadamente 80% do Brasil apresenta ocorrência de solos lateríticos.

FIGURA 30. ESQUEMA DE FORMAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS



Fonte: Villibor e Alves, 2019 (22)

O perfil da estrada mostra as ocorrências mais superficiais de solo lateralizado e o solo saprolítico abaixo, com suas erosões. Na execução desta via, pode-se observar o uso de solo laterítico.



Figura 31. Ocorrência de solo laterítico

Fonte: elaborado pelo autor

Villibor e Alves (22) destacam que o aparecimento de solos lateríticos (latim: cor de tijolo) resulta do processo de cimentação de partes bem drenadas em regiões tropicais úmidas. São solos maduros e apresentam algumas peculiaridades, como o enriquecimento da parte fina, principalmente a argilosa, por óxidos e hidróxidos de ferro e/ou alumínio e caulinitas. Essas placas de caulinita são cimentadas por óxidos e hidróxidos que produzem uma microestrutura semelhante à pipoca. Sua porção arenosa é constituída por quartzo, sendo que o percentual dessa fração é responsável pelo aparecimento de solos que variam de arenosos a argilosos.

Já os solos saprolíticos (sapro, do grego: podre) resultam da decomposição da rocha matriz, mantendo sua estrutura. Eles estão subjacentes à camada superior do solo. Possuem mineralogia complexa e heterogênea, portanto, solos jovens de aproveitamento mais limitado.

No Brasil, os solos tropicais, sobretudo os solos lateríticos, começaram a ser utilizados em larga escala por volta de 1956 e 1960, durante a administração do governador Jânio Quadros no estado de São Paulo. Nesse período, o solo laterítico foi misturado com brita e argila dando origem à uma mistura de baixo custo popularmente chamada de "virado à paulista" Esta mistura já apresentava bons resultados estruturais apesar de contrariar os princípios de estabilização tradicional (HRB e USCS) e de não possuir normas nem estudos técnicos na época. Apenas em 1978 os primeiros estudos técnicos começaram a fundamentar esse tipo de material.

Gutiérrez Klinsky (24) lista os primeiros usos de solos lateríticos nas camadas mais nobres do pavimento, que ocorreram de forma inovadora e agregando o conceito de pavimento de baixo custo, utilizados no estado de São Paulo desde a década de 1980. São eles:

- Acessos à cidade de Campinas, DER-SP. Base em argila laterítica, realizada nos anos 1950 com excelente desempenho por mais de 20 anos,

- Variante da rodovia SP-310, próximo de Araraquara, realizada em maio de 1967. Foram construídos 300 metros com Solo Laterítico de Aria Fina (SAFL) como base e recobrimento de tratamento superficial simples. Este trecho teve excelente desempenho,

- Ruas na cidade de Taquaritinga, bairro Cidade Talavasso, estado de São Paulo, em 1968,

- Rua 22 de agosto no município de Araraquara, estado de São Paulo, 1971,

- Trecho da Rodovia SP-310, entre as cidades de Pereira Barreto até Ilha Solteira, em 1968,

- Rodovia SP-326, acostamentos dos acessos Dobrada e Santa Ernestina, em 1971,

- Acesso aos municípios de Dois Córregos e Guarapuã, em 1972,

- Acesso da BR-153 a SP-270, conexão com Ourinhos, em 1972.

De acordo com Villibor *et al.* (25), 50% da área do estado de São Paulo possui solos lateríticos finos que poderiam ser utilizados em bases de pavimentos. Outros estados também apresentam alta ocorrência desse material, como Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Paraná. Até o ano 2000, foram construídos mais de 12.300 km de estradas vicinais com bases lateríticas, sendo mais de 8.000 km construídos no estado de São Paulo. Solução adotada com camadas finas em tratamento de superfície ou camadas finas de asfalto.

Dentre as especificações de serviços dos solos tropicais destacam-se as normas do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER-SP[2] e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes[3]:

- ET-DE-P00/003 – Sub-base ou base de solo de comportamento laterítico brita descontínua – SLBD,
- ET-DE-P00/015 – Sub-base ou base de solos arenosos finos de comportamento laterítico – SAFL,
- IP-DE-P00/005 – Identificação de defeitos e soluções para recuperação funcional de estradas vicinais,
- DNIT 098/2007 – ES – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de Serviço,

Os solos tropicais podem ser aplicados puramente como base ou sub-base (baixos níveis de tráfego, geralmente até 500 veículos por dia), ou com algum processo de estabilização química usando cal ou cimento como mostrado por Villibor e Alves (22) e também por Veloso e outros (26).

Veloso et al (26) realizou uma avaliação do comportamento destes materiais para o uso na pavimentação da BR-163 no estado do Pará, visto que o custo de transporte dos materiais que atendiam as metodologias clássicas eram muito elevados na região amazônica. O estudo tinha como objetivo permitir o uso dos solos in natura para as camadas de pavimentação, levando em conta que os solos da região se desenvolveram a partir de grandes depósitos sedimentares gerando espessos depósitos de materiais finos com características lateríticas. Já Nervis (27) realizou o estudo de dois trechos experimentais com uma mistura de argila laterítica com pedregulhos como camada de rolamento de vias vicinais.



Figura 32. Mistura de argila laterítica com brita em trechos experimentais

Fonte: Nervis, 2010 (27)

[2] http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx
[3] https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas

Esses solos podem ser classificados por meio da metodologia de Miniatura Compactada Tropical (MCT), com método descrito nas normas DNER - ME 254/97, DNER - ME 256/94, DNER - ME 258/94, como alternativa aos métodos tradicionais de classificação, no qual, estes são avaliados quanto à contração, permeabilidade, expansibilidade, coeficiente de penetração d'agua, coesão, capacidade de suporte e curvas de compactação. E são classificados em dois grupos: solos lateríticos e não lateríticos conforme o DNIT (28). Na figura a seguir é possível visualizar essa classificação.

TABELA 5. CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS

CLASSES				N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"		
Grupos				NA Areias	NA Arenosos	NS Siltosos	NG Argilosos	LA Areias	LA Arenosas	LG Argilosos
Granulometria típica (MINERAIS) (1)				areias, areias siltosas, siltes(q)	areias siltosas, areias argilosas	silte (km), siltes arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto	> 30	Alto a médio	Alto	Alto a médio	Alto	Alto	Alto a médio	Alto
		Alto	dez/30							
		Nedio	04/dez							
		Baixo	< 4							
	Perda de suporte por imersão (%)	Ata	> 70	Média a baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
		Media	40 - 70							
		Baixa	< 40							
EXPANSÃO	(%)	Alta	> 3	Baixa	Baixa	Alta	Alta a média	Baixa	Baixa	Baixa
	(2)	Média	0,5 - 3							
CONTRAÇÃO	(%)	Media	0,5 - 3	Média a baixa	Média a baixa	Média	Alta a média	Baixa	Média a baixa	Alta a média
	(2)	Baixa	< 0,5							
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	(2)	Alta	> (-3)	Alto a médio	Baixa	Média a baixa	Média a baixa	Média a baixa	Baixa	Baixa
		Média	(-3) a (-6)							
		Baixa	< (-6)							
PLASTICIDADE	(%)	IP	LL	Baixa a NP	Média a NP	Alta a média	Alta	Baixa a NP	Média a baixa	Alta a média
	Alto	>30	> 70							
	Médio	7 - 30	30 - 70							
	Baixo	<7	< 30							

Propriedades típicas dos grupos de solos
g = quartzo: m = mica, k= caullinita
corpos de prova compactados na umidade ótima de energia normal, com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Fonte: DNIT, 2006 (28)

Os solos tropicais lateríticos são uma boa alternativa de baixo custo para o uso em bases e sub-bases de pavimentos, bem como em revestimentos primários em caminhos rurais.

Esses solos, em alguns casos, não atendem às metodologias clássicas empíricas de dimensionamento ou não apresentam resultados teóricos favoráveis. Por conta disso, foi desenvolvido no Brasil um método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos flexíveis a partir dos estudos de Veloso (26). Seguindo a referida metodologia é possível projetar o pavimento considerando a qualidade dos solos lateríticos.

Seu uso mais comum ocorre em bases de pavimentos flexíveis devido ao seu alto CBR, normalmente superior a 80%. Também em bases de solo e cascalho, solo e cimento ou outras adições químicas por ser um solo muito resistente. Suas aplicações em pavimentação são muito comuns, pois em estradas de menor tráfego são utilizadas diretamente no subleito e recebem um tratamento superficial duplo como revestimento.

Uma interessante adaptação aos métodos tradicionais de dimensionamento nacional foi realizada por Villibor *et al.* (29) para avaliar o CBR de solos lateríticos, e sua utilização em pavimentos de baixo custo, onde apresenta diferentes valores de CBR aceitáveis para solos lateríticos:

- Subbase – solos com 20% CBR,
- Bases – solos e estabilizações com CBR entre 12% e 80%.

4.3.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTRADAS RURAIS

O reaproveitamento de materiais de baixo custo é um dos grandes desafios da engenharia. A busca pela economia e durabilidade das ações de manutenção e conservação também deve se tornar uma realidade nos projetos. Assim, a utilização de solos lateríticos nas camadas de base deve seguir alguns parâmetros.
Villibor et al. (25) entendem que um pavimento de baixo custo deve atender aos seguintes critérios:

- Camadas de base e sub-base em solos lateríticos,
- Camada delgada em tratamento superficial ou concreto asfáltico com espessura fina (< 3 cm),
- Dimensionamento para atender os seguintes tráfegos:

  i. Urbano, leve a médio, como mostra a seguinte tabela,
  ii. Principal, com volume de trânsito abaixo de 1.500 veículos comerciais, com um máximo de 30% de veículos pesados e número N < 5x106 repetições do eixo padrão de 80 kN.

TABELA 6. CLASSIFICAÇÃO DE VIAS

Via	Tipo	Tráfego	Durabilidade	Tráfego dia		N
			Anos	Leves	Caminhões	
VI	Via Secundária	Leve	10	100 a 400	4 a 20	$1x10^5$
V2	Vía Principal	Média	10	401 a 1500	21 a 1500	$5x10^5$

Fonte: Villibor *et al.* , 2009 (25)

Com estas premissas, o pavimento pode ser dimensionado de acordo com os métodos de projeto estabelecidos e utilizando seus respectivos fatores de equivalência ou relação modular.

4.4 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O reaproveitamento de materiais é um dos grandes desafios da engenharia, tanto do ponto de vista ambiental como social. A busca por sustentabilidade e economia, aliada à durabilidade de ações de manutenção e conservação de caminhos, deve se tornar uma realidade.

No Brasil, desde o ano de 2002, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (30), os resíduos da construção civil e demolições (RCD) possuem seu descarte controlado e os seus geradores têm responsabilidades compartilhadas sob o gerenciamento destes resíduos. Desta forma, algumas inciativas de reutilização estão sendo tomadas.

O município de Fortaleza, no Ceará, vem utilizando estes materiais (RCD) na pavimentação urbana. Santos et al. (31) relatam um estudo de caso desta técnica como camada de base e subbase com e sem a incorporação de brita na Avenida Paulino Rocha, região da Arena Castelão. Nestes segmentos foram utilizadas misturas com 100% de RCD e com 75% de RCD + 25% de brita (brita ¾"), atendendo as faixas granulométricas de Brita Graduada do DNIT. Sobre elas foi realizada uma capa asfáltica.

Este material atendeu à matriz granulométrica do DNIT (Norma DNIR 141/2010-ES) para tráfego pesado, observada na tabela abaixo. A capacidade de suporte (CBR) ficou acima de 80% em todos os ensaios e sua compactação.

TABELA 7. GRADUAÇÃO DO AGREGADO

Tipo		Para N > 5x10⁶			Para N < 5x10⁶			Tolerância pontual
Malha	(mm)	A	B	C	D	E	F	
		% em peso de paso						
2"	50,8	100	100	-	-	-	-	+/- 7
1"	25,4	-	75-90	100	100	100	100	+/- 7
3/8"	9,5	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	+/- 7
N°4	4,8	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	+/- 5
N°10	2,0	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	+/- 5
N°40	0,42	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	+/- 2
N°200	0,074	8 - 20	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	+/- 2

N - Trânsito de acordo USACE.

Fonte: DNIT 141/2010-ES , 2010 (32)

O estudo de custos realizado demonstra que a aplicação da técnica pode ser uma boa alternativa para pavimentações de baixo custo e caminhos rurais, pois além de atender as especificações de serviços apresenta uma redução de custos significativa para os municípios, acima de 50% neste item. Associado a isto, há benefícios intangíveis para a população e o meio ambiente, com o reaproveitamento de resíduos. Nas Figuras a seguir são apresentadas imagens da obra.



Figura 33. Execução do trabalho

Fonte: Santos *et al.*, 2019 (31)

Para um retrato da condição atual, apresentamos uma imagem do Google Maps para esta avenida que, passados quase 10 anos, transformou-se numa ligação importante no município.



Figura 34. Avenida Paulino Rocha, 2022 Fonte: Google Maps (2022)

Por estas imagens, de fevereiro de 2022, observa-se a ocorrência de trincas e reparos localizados, associadas ao tráfego importante. Contudo, o pavimento aparenta um desempenho aceitável. Portanto, esta é uma técnica que pode ser incorporada ao mix de soluções para caminhos rurais, seja para uma estabilização ou até mesmo como revestimento.

Estes usos são muito específicos e sua aplicação localizada. Ainda que o uso da RCD no Brasil tenha começado na década de 1980, apenas em 2004 as normas técnicas começaram a ser publicadas, conforme cita Motta (35).

4.5 RESÍDUO DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

São muitos os materiais alternativos que podem ser utilizados nas obras de pavimentação, sendo que sua disponibilidade e uso local são soluções que podem apresentar custo-benefício adequado, principalmente em caminhos rurais. As características locais são muito importantes para definição de alternativas de manutenção ou construção de estradas, sejam elas pela indisponibilidade de materiais de boa qualidade, condições climáticas e outras variáveis. Recentemente, tem ocorrido uma mudança nos conceitos e há uma maior busca pela utilização de resíduos de indústrias disponíveis regionalmente.

Nesse cenário, surge o aproveitamento do resíduo siderúrgico, um material granular nobre que pode ser utilizado como revestimento primário.

Nas diversas regiões do Brasil onde há indústria siderúrgica também são abundantes seus agregados/sucatas, que podem ser utilizados em estabilizações com propriedades de redução de expansão e ganho de resistência. Podem ser utilizados em estradas em camadas de base, inclusive especificações DNIT 406 /2017 (33). Mas também como camada de revestimento, como é o caso do município de Alpercata/MG, com população de cerca de 7.000 habitantes, que já realizou obras através de uma siderúrgica (34), melhorando a qualidade de estradas rurais com sustentabilidade e baixo custo.



Figura 35. Revestimento primário em aço. Alpercata - MG

Fonte: Prefeitura Municipal de Alpercata , 2021 (35)

Em termos de sustentabilidade, esse uso é fundamental por se tratar da transformação de um aço altamente poluente. O aproveitamento dos resíduos dessas quase 30 milhões de toneladas de aço produzidas anualmente no Brasil é uma atitude muito benéfica para as comunidades locais e para o desenvolvimento das estradas rurais onde o aço é produzido.

É fundamental atender às normas ambientais, bem com avaliar essas técnicas e suas limitações, como disponibilidade de resíduos, já que seu custo de transporte tem um impacto muito alto no custo final da técnica.

4.6 MATERIAIS FRESADOS - RAP (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*)

Dentre os materiais de pavimentação mais nobres está o material fresado (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Há alguns anos esse material era tratado no mundo todo como sobra de trabalho e portanto, como um problema: era considerado lixo. No entanto, com a escassez de recursos minerais, o alto custo e o potencial de reaproveitamento desses materiais, eles se tornaram altamente valiosos.

Inicialmente, eram armazenados em áreas de bota fora, sob a ação das intempéries, normalmente doados para lindeiros. A sua utilização limitava-se a usos em limpa rodas e pequenos pátios. Atualmente, seu reaproveitamento é obrigatório em alguns países. No Brasil, isso está sendo desenvolvido tanto na reciclagem de estruturas asfálticas, uma técnica bastante sofisticada e bem-sucedida, quanto em novas misturas asfálticas. Estas requerem maior cuidado na dosagem, mas até 30% deste material pode ser reaproveitado em uma nova mistura.

No Brasil, em 2021, o Departamento Nacional de Infraestrutura Rodoviária (DNIT) atualizou suas normativas para tornar obrigatório o uso da RAP em obras de restauração e pavimentação em rodovias federais por meio do DNIT 033/2021 (36). O objetivo é reduzir os impactos ambientais e os custos de construção.

A utilização em estradas rurais vem crescendo gradativamente, principalmente com a utilização de material RAP de obras municipais. Estes materiais estão sendo reservados e aplicados em revestimentos primários em seus municípios. A ilustração a seguir mostra um depósito de material fresado, de forma comum e precária.



Figura 36. Material fresado

Fonte: elaborado pelo autor

No entanto, esses materiais devem ser devidamente selecionados e armazenados para seu melhor aproveitamento, tanto em termos de granulometria quanto de resíduo asfáltico e desempenho futuro.

Uma ação interessante foi realizada pela prefeitura de Guarujá, estado de São Paulo, que estabeleceu por meio do Decreto nº 14.839, de março de 2022 (37), a obrigatoriedade do reaproveitamento de material asfáltico fresado em vias públicas urbanas como camada de revestimento. Embora as especificações técnicas não estejam definidas, este é um grande passo.

O município de São Miguel do Iguaçu (38), no Paraná, aplicou material fresado para melhorar estradas rurais em 2021, com bom desempenho na camada final para melhorar a condição de rodagem.

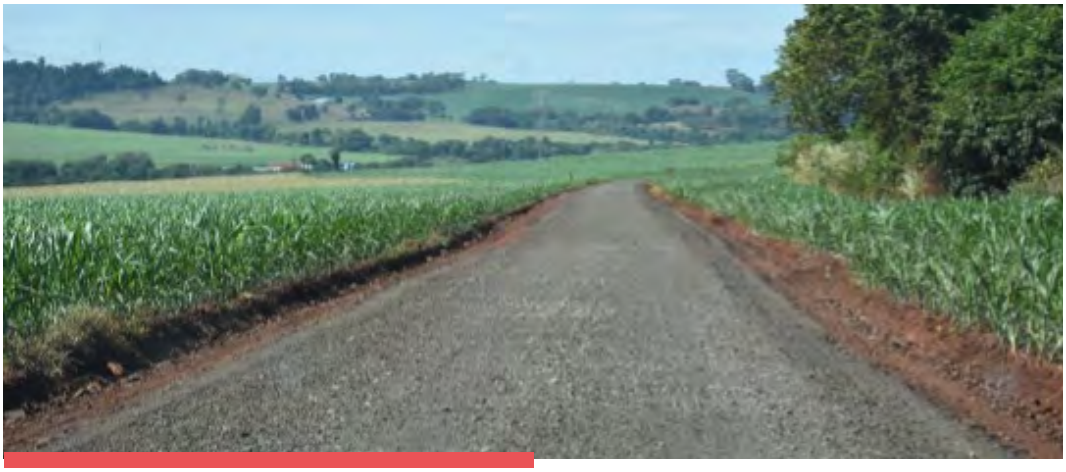


Figura 37. Revestimento com fresado

Fonte: Prefeitura de São Miguel do Iguaçu, 2021 (38)

Uso semelhante foi feito pela prefeitura de Campos, estado do Rio de Janeiro, utilizando material fresado em vias urbanas e em estradas rurais. Este trabalho foi realizado em março de 2022.



Figura 38. Revestimento com fresado. Campos (RJ) Fonte: Prefeitura de Campos, 2022 (39)

Esta é uma alternativa muito interessante para uso em revestimentos primários, porém deve se ter um subleito resistente. O material fresado selecionado (evitando grumos) e seu desempenho pode ser melhorado com a distribuição adequada do material e sua compactação correta.

4.7 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

O tratamento de superfície é uma técnica de pavimentação muito antiga, utilizada com grande sucesso no Brasil. Nas últimas décadas, no entanto, tem sido negligenciada em estradas rurais, com o uso cada vez maior de misturas asfálticas duráveis, com custos de implantação e manutenção mais elevados.

O tratamento de superfície é uma camada fina (de 5 a 20 mm), de baixo custo e alta resistência ao desgaste, que cumpre também a função de impermeabilizar o subleito e garantir uma ótima adaptação às deformações do subleito. Por outro lado, é pouco eficiente em termos de trincamento por fadiga, uma vez que a sua função estrutural é muito limitada por sua pequena espessura. No entanto, sua necessidade estrutural em estradas com pouco tráfego também é menos determinante.

É uma técnica muito interessante para estradas rurais e secundárias, pois é de baixo custo e de fácil aplicação, com equipamentos e técnicas de aplicação relativamente simples.

Algumas das principais referências bibliográficas no Brasil (40) citam que os tratamentos superficiais consistem na aplicação de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia, com posterior compactação que promove cobertura parcial e aderência entre agregados e ligantes.

A este respeito, Larsen (41) acrescenta: "Tratamento superficiais por penetração: revestimento flexível de pequena espessura, executado por espalhamento sucessivo de ligante betuminoso e brita, numa única ou múltiplas operações. O tratamento simples começa, obrigatoriamente, com a aplicação única da emulsão asfáltica, que é coberta pouco depois por uma única camada de pedra. O ligante penetra no agregado de baixo para cima (penetração 'reversa'). O tratamento múltiplo começa, em todos os casos, com a aplicação do ligante que penetra de baixo para cima na primeira camada de pedra, enquanto a penetração das camadas seguintes de ligante é 'invertida' ou 'direta'. A espessura final é da ordem de 5 a 20 mm".

As espessuras variam de acordo com a constituição das camadas, de uma a três. Assim, podem ser TSS (tratamento superficial simples), TSD (tratamento superficial duplo) e TST (tratamento superficial triplo).

Os autores (42) apresentam um esquema de execução da técnica, visto que ela é amplamente aplicada até mesmo em rodovias estaduais e vicinais nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Bahia, Tocantins, Goiás e Santa Catarina, mais do que em muitos municípios. Esta técnica é utilizada e padronizada por estes municípios, além de órgãos rodoviários como DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), DAER-RS (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Estado do Rio Grande do Sul), DER-PR (Departamento de Estradas de Rodagem, Estado do Paraná), DER-SP (Departamento de Estradas de Rodagem, Estado de São Paulo), GOINFRA (Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes) e SIE-SC (Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina), entre outros.

A aplicação do tratamento é até então tida como artesanal, com aplicação de emulsão asfáltica sobre a superfície já compactada, distribuição prévia de pedra conforme padrão de referência da dosagem, com equipamento distribuidor de material. As imperfeições devem ser corrigidas manualmente (locais sem agregados). Depois disso, a camada é compactada. Para tratamentos duplos ou triplos, o processo é repetido com sua granulometria e taxas específicas.

FIGURA 39. EXECUÇÃO DO TRATAMENTO



(a) Aplicação de ligante



(b) Distribuição de agregados



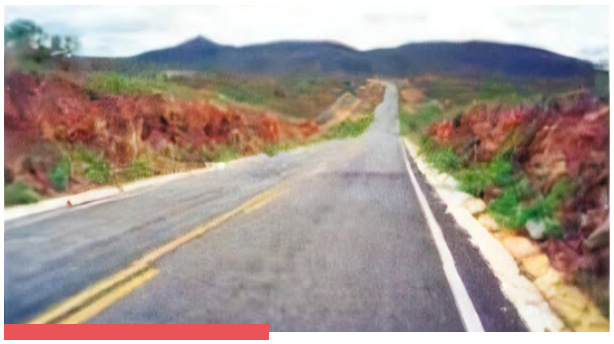
(c) Correção de imperfeições



(d) Compressão dos agregados



(e) Aspecto superficial



(f) Vista geral

Fonte: Bernucci,2022 (42)

A tabela a seguir mostra um exemplo de faixas granulométricas que podem ser utilizadas no TSD, conforme DNIT 147/2012-ES (43).

TABELA 8. PADRÕES BRASILEIROS TSD

Tipo		1ª camada	2ª camada		Tolerância da faixa de projeto
Malha	(mm)	A	B	C	
		% passando, em peso			
1"	25,4	100	-	-	+/- 7
3/4"	19,0	90 - 100	-	-	+/- 7
1/2"	12,7	20 - 55	100	-	+/- 7
3/8"	9,5	0 - 15	85 - 100	100	+/- 7
N°4	4,8	0 - 5	10 - 30	85 - 100	+/- 5
N°10	2,0	-	0 - 10	10 - 40	+/- 5
N°200	0,074	0 - 2	0 - 2	0 - 2	+/-2

Taxas de Aplicação		
Camada	Ligante (l/m^2)	Agregado (kg/m^2)
1ª	1,2 a 1,8	20 a 25
2ª	0,8 a 1,2	10 a 12

Fonte: DNIT, 2012 (43)

A utilização de tratamentos superficiais e outras técnicas propostas baseiam-se na busca de soluções economicamente eficientes, que contribuam para aumentar a qualidade dos caminhos rurais e reduzir o déficit de pavimentação nas estradas não pavimentadas. O DNIT recomenda que, para um trânsito diário de aproximadamente 100 caminhões e ônibus e 1.500 veículos leves, sejam adotadas soluções de tratamento superficial, ou seja, não são necessários revestimentos asfálticos.

Em outras palavras, a utilização de pavimentos alternativos que tenham custos mais baixos do que os pavimentos tradicionais (asfalto) é muito importante para gerir os escassos investimentos e reduzir o tempo de viagem entre o campo e a cidade.

São muitas as iniciativas de utilização do tratamento superficial em estradas rurais. Outro grande exemplo é o trabalho da Associação Baiana dos Produtores de Algodão (ABAPA) que, desde 2013, vem trabalhando nesse vetor para melhoria de estradas rurais. No município de Luís Eduardo Magalhães, já foram construídos mais de 70 km de estradas rurais com TSD, beneficiando cerca de 300 famílias em uma área de 50 mil hectares de produção de soja, algodão e milho no oeste baiano. A figura a seguir mostra a evolução da técnica com equipamentos modernos (multidistribuidor).

Este método substitui o uso habitual de dois caminhões, um espargidor de emulsão asfáltica e outro para distribuir pedras, por um único caminhão que faz ambas as etapas simultaneamente. Isso implica em maior agilidade e redução de número de operadores. A automatização também proporciona melhor qualidade no processo executivo e economia de funcionários.

Assim, se desmistifica a baixa produtividade e uso artesanal da solução, comprovada por um uso de alta produtividade e controle de qualidade superior.



Figura 40. Execução de TSD na Bahia

Fonte: BA de Valor, 2020 (44)

Essa técnica, amplamente utilizada desde a década de 1970, precisa ser entendida como uma técnica com bons resultados e que garante uma melhor condição das estradas rurais em um cenário de escasso investimento. Acima de tudo, traz melhores condições de vida, sustentabilidade e redução de custos de transporte.

A seguir, algumas imagens que demonstram a facilidade de execução da técnica com equipamentos antigos ou modernos.



Figura 41. Execução de TSD em São Desidério (Bahia)

Fonte: Prefeitura Municipal de São Desidério, 2022 (45)

As Figuras a seguir mostram diferentes execuções de tratamentos superficiais, tanto em estradas rurais quanto em municípios.



Figura 42. Execução de TSD com multidistribuidor

Fonte: elaborado pelo autor

A seguir, uma via em serviço com excelente desempenho ao longo do tempo e com a ação de tráfego intenso.

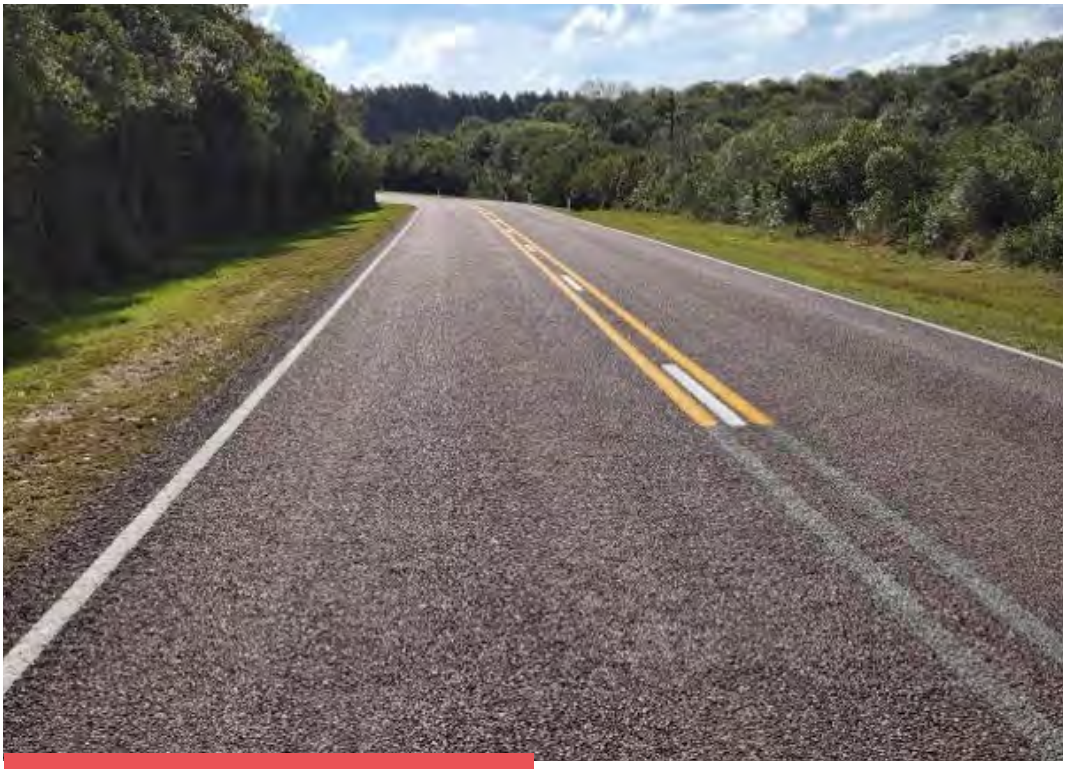


Figura 43. Pavimento em TSD Ruta 39 (Maldonado, Uruguai)

Fonte: elaborado pelo autor



CAPÍTULO **5**

INICIATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE CAMINHOS

CAPÍTULO **5**
INICIATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE CAMINHOS

5.1 PATRULHA RURAL

No noroeste do Paraná foi realizado um convênio entre o Consórcio Intermunicipal da APA Federal do Noroeste do Paraná (COMAFEN) e a Secretária de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB), em atendimento ao Programa "Estradas da Integração - Patrulha do Campo". O objetivo era atender as necessidades referentes à recuperação de estradas rurais dos municípios consorciados com objetivo de manter as estradas rurais em boas condições, com foco no desenvolvimento rural e urbano dos municípios participantes do consórcio.

Os municípios tem à disposição, para atendimento de suas necessidades, máquinas pesadas como escavadeira hidráulica, trator de esteira, moto niveladora, pá-carregadeira, rolo-compactador, caminhão-comboio e caminhões basculantes. Os recursos são do governo do Paraná, através de financiamentos com bancos de fomento. Os municípios, em contrapartida, investem em mão de obra, alimentação e combustível para os funcionários e em equipamentos.

Conforme o Portal da cidade de Loanda (46), desde 2018 esta ação possibilitou 66 km de melhorias nas estradas rurais nos 12 munícipios consorciados, garantindo melhoria na trafegabilidade, desenvolvimento urbano e rural, além de promover o treinamento aos gestores públicos e técnicos. O convênio continua em andamento e vem sendo aprimorado para o atendimento aos municípios participantes. A Figura adiante mostra a realização dos serviços.



Figura 44. Patrulha Rural

Fonte: Portal da cidade de Loanda (2021)

A patrulha é composta por dois caminhões-caçamba, um caminhão- comboio, uma pá-carregadeira, um rolo compactador, uma motoniveladora, uma escavadeira hidráulica e um trator de esteira.

5.2 MELHOR CAMINHO

No estado mais desenvolvido industrialmente do Brasil, São Paulo, desde o ano de 1997 existe o programa "Melhor Caminho". Segundo o site da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (49), o programa consiste em convênios entre a secretaria e as prefeituras municipais com o intuito de recuperar e conservar trechos de estradas rurais através de execução de obras. De acordo com a Assembleia Legislativa de São Paulo (50), em 21 anos a iniciativa atendeu 12 mil km de estradas rurais, devendo ser ampliado em mais 5 mil km de vias na nova fase do programa.

No âmbito deste programa, a cidade de Bauru (51) anunciou investimentos em 5,87km de vias neste município, com recuperação do revestimento, alteamento do greide, abaulamento da estrada e compactação do solo, com serviços adicionais de construções de saídas de águas pluviais e caixas de contenções.



Figura 45. Programa "Melhor Caminho"

Fonte: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2022 (50)

Outro exemplo é o município de Dracena (47), que iniciou a execução de mais 7km de manutenção e adequação de estradas rurais no município. Ainda estão previstos a contratação de mais 5km nos próximos meses.

5.3 CAMINHOS DO VALE

No estado de Minas Gerais, uma parceria entre uma empresa siderúrgica e comunidades do leste do estado (48) deu origem ao programa chamado Caminhos do Vale. A empresa disponibiliza o agregado siderúrgico, o qual é misturado com solo local e aplicado com a utilização de rmotonoveladoras e compactados com rolo compressores, para a pavimentação de estradas rurais da região como revestimento primário.

A empresa faz a doação e é responsável pelo material até a chegada aos pátios disponibilizados pelos municípios. Após cinco anos de programa, 84 municípios já são beneficiados, e receberam cerca de 2,8 toneladas de agregados produzidos a partir de rejeitos dos processos de siderurgia. A empresa também é responsável pela doação de mudas a serem plantadas nas áreas de nascentes que precisam ser recuperadas.

Os municípios ficam responsáveis pela execução dos serviços, misturando o agregado ao solo local e compactando a mistura. Este tipo de solução mostrou efetividade, principalmente em períodos de intensas chuvas, quando as estradas onde os serviços tinham sido executados se mantiveram trafegáveis.

Em contrapartida ao material recebido, os municípios devem implementar projetos voltados ao meio ambiente, como a recuperação de nascentes e plantio de mudas. Ao longo da existência deste projeto, quase 4.000 nascentes foram mapeadas e recuperadas, com o plantio de milhares de mudas recebidas da empresa metalúrgica.



Figura 46. Caminhos do Vale

Fonte: Blog da Usiminas, 2020 (48)

Esta iniciativa permite que milhares de pessoas da comunidade leste de Minas tenham acesso à e saúde, tendo em vista que podem frequentar escolas e hospitais com maior facilidade.

O programa faz tanto sucesso no Vale do Aço que outras indústrias aderiram à iniciativa sustentável. Cidades como Santana do Paraíso, Ipaba, Naque e Marliéria recebem o apoio desta nova empresa com maquinários e aplicação de materiais. Até agora, a empresa recuperou mais de 50 quilômetros de estradas rurais.



Figura 47. Vale do Aço

Fonte: Site UaiAgro, 2021 (51)

5.4 ESTUDO BÁSICO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (EBDM)

Elaborado pelo CREA do estado do Paraná, o Estudo Básico de Desenvolvimento Municipal (EBDM) (52) visa apresentar diversas propostas e soluções, contribuindo com gestores públicos e demais autoridades na elaboração de planos plurianuais de investimentos em caminhos rurais.

As diretrizes dos estudos (53) foram apresentadas à prefeitura de Maringá, indicando, por meio de cadastros e relatórios técnicos, necessidades e recomendações técnicas para a melhoria destas estradas. Além disso, o documento também apresenta a legislação aplicável na região.

As normas também foram apresentadas em mais de 40 municípios do estado, abrangendo diversos guias técnicos temáticos em distintas áreas da engenharia, a fim de padronizar a necessidade de ações ordenadas.

Sabendo que cada município possui suas particularidades e legislação, o documento apresenta modificações para atender as necessidades e particularidades de cada município.

Por exemplo, o município de Ponta Grossa (54), que possui aproximadamente 3.500 km de estradas rurais, apresenta legislação própria, que classifica as estradas rurais em três classes de acordo com a largura, desde estradas principais, com 10 m de largura, até estradas secundárias com 5 m de largura.

Além disso, define que todos terão uma faixa de domínio lateral de cinco metros em ambos os lados. Também estabelece que o município é responsável pela adequação da via, bem como pela construção das obras de drenagem e demais obras necessárias à sua manutenção.

Estas inciativas são muito importantes para o desenvolvimento regional e para a padronização de uso de técnicas adequadas para a manutenção de caminhos rurais.

5.5 PATRULHA MECANIZADA - BAHIA

O Programa Patrulha Mecanizada é uma iniciativa financiada pelo Instituto Brasileiro do Algodão (IBA), realizada pela Associação dos Produtores de Algodão da Bahia (ABAPA). Tem parceria com os produtores rurais do Oeste da Bahia, Associação dos Agricultores e Irrigadores do Bahia (AIBA), o Programa de Desenvolvimento da Agricultura (PRODEAGRO), o Fundo de Desenvolvimento da Agroindústria do Algodão (FUNDEAGRO) e os municípios desta região (55).

Essa aliança surgiu para proporcionar obras de melhoria das estradas rurais, levando em conta que após as chuvas de abril inicia-se o escoamento da safra de grãos e um verdadeiro pesadelo se repete ano após ano devido às péssimas condições das estradas rurais, que ligam a propriedades as rodovias estaduais e federais.

Em 2021, mesmo durante as chuvas, as obras não pararam e mais de 433 km de estradas rurais receberam ações corretivas para melhorar a plataforma de estradas em 14 “linhas”. Foram realizadas obras de contenção, drenagem e correções pontuais, evitando um desastre para a comunidade e para o agronegócio.

A estratégia principal é recuperar as estradas e, posteriormente, executar sua pavimentação em tratamento superficial duplo (TSD). A meta para o biênio 2021/2022 foi a implantação de 280 km de caminhos rurais recuperados e pavimentados. Desde sua criação, em 2013, o programa "Patrulha Mecanizada" já recuperou mais de 3.000 km, com a pavimentação de três estradas rurais.

O Programa Patrulha Mecânica é um projeto de aquisição de máquinas, suprimentos e veículos auxiliares para a conservação dos recursos naturais na cultura do algodão e escoamento produtivo, integrando campo e acesso às comunidades (55). Faz parte do compromisso da ABAPA com a sustentabilidade, pois contribui para uma melhor gestão hídrica na região, pois promove o aproveitamento das águas pluviais e auxilia na recarga dos lençóis freáticos.

Há muitos benefícios indiretos, já que boas estradas significam redução do tempo de viagem de uma ambulância a uma emergência médica, menor custo de transporte de produtos para as comunidades e até redução de perdas de produtos ou animais durante o transporte.

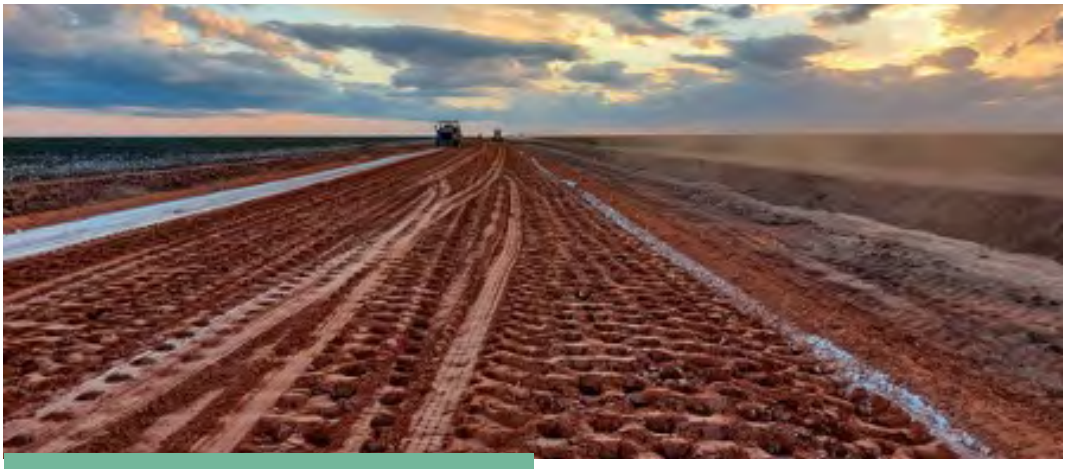


Figura 48. Patrulha Mecanizada – Caminho do Estrondo

Fonte: Associação dos Produtores de Algodão da Bahia – Abapa , 2021 (56)



Figura 49. Patrulha Mecanizada – São Sebastião

Fonte: Associação dos Produtores de Algodão da Bahia – Abapa, 2021(56)



CAPÍTULO **6**

AVALIAÇÃO DE CAMÍNHOS RURAIS

CAPÍTULO 6
AVALIAÇÃO DE CAMINHOS RURAIS

Este trabalho abordou a caracterização da malha viária rural existente no Brasil, seus aspectos legislativos, patologias encontradas, técnicas de manutenção e iniciativas de cooperação.

Porém, para a criação de um programa de gestão de caminhos rurais, é necessário considerar, além das técnicas, os locais onde as ações devem ser realizadas, a experiência das empresas regionais, a definição das ações, a priorização e os custos envolvidos para um determinado período de vida útil.

Quanto à avaliação da deterioração ou estado de conservação das estradas rurais, questão fundamental para um sistema de gestão, observa-se a precariedade dos métodos existentes utilizados no país (57).

O grande desafio para a correta avaliação do pavimento de estradas rurais está na definição do procedimento de avaliação (objetivo ou subjetivo) que envolva os parâmetros a serem observados para a identificação dos mecanismos de deterioração e a definição de trechos de comportamento homogêneo compatível para a representação da malha em estudo. Estes devem refletir a realidade da estrada. Por exemplo, se um trecho de estrada completamente deteriorado em 20 metros for selecionado para representar uma unidade amostral de 1000 metros, certamente teremos 980 metros com uma solução de manutenção ou reconstrução extremamente onerosa, onde uma simples correção de abaulamento seria suficiente.

O Brasil, além da falta de manutenção de suas estradas rurais, também apresenta deficiência no desenvolvimento de métodos de análise para avaliação de defeitos. As principais metodologias disponíveis para a avaliação de superfícies de estradas rurais são desenvolvidas nos Estados Unidos, Europa e África.

Essa etapa de coleta de dados é fundamental para avaliação e identificação de defeitos e verificação da necessidade de intervenções. A transcrição correta das patologias que ocorrem ao longo do percurso é determinante para a escolha da solução a se adotar.

Ao avaliar um sistema de gestão de caminhos rurais, todas as decisões e estratégias dependem desta etapa. Por isso, é prudente aplicar uma metodologia que represente as estradas rurais de forma consistente.

Algumas metodologias apresentadas por Bühler são comumente utilizadas por grandes organizações internacionais como o Banco Mundial. No entanto, qualquer metodologia a ser utilizada deve ser validada ou calibrada em campo previamente.

A seguir são listadas algumas sugestões de metodologias que podem ser utilizadas para avaliação de estradas rurais com base em estudos normalmente financiados por organizações ao redor do mundo.

6.1 MÉTODO *ROAD CONDITION SURVEY/ DETAILED VISUAL INSPECTION* (RCS/DVI)

O método divide a avaliação da estrada em duas etapas com objetivos diferentes, mas complementares. A primeira etapa determina o estado geral da malha (levantamento das condições viárias). Contempla o todo, sem detalhar a ocorrência de defeitos, mas sim as condições gerais, incluindo acostamentos, sinalização e conservação. A segunda avaliação é mais específica (inspeção visual detalhada) e pode ser aplicada diretamente na avaliação da superfície da estrada de terra, pois determina a ocorrência de defeitos de revestimento.

A metodologia é reconhecida pelo Banco Mundial e foi desenvolvida pela OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) na década de 1990 (58)

As unidades de amostragem por este método devem ser superiores a 500 metros mas não acima de 5.000 metros em cada sentido da estrada. O tamanho da amostra é um dos principais pontos de atenção, pois uma avaliação subjetiva primária, com definição visual do observador, pode mascarar regiões críticas e resultados, como em serras, planícies aluviais e outras que apresentem particularidades.

A avaliação de rede (RCS) ou nível gerencial avalia três parâmetros diferentes ligados à condição da estrada (pontuação de 1 a 5). O primeiro avalia a superfície da estrada, seus defeitos e quando está em situação ruim serve como gatilho para avaliação detalhada (DVI).

O segundo parâmetro identifica elementos da faixa de domínio, como sistemas de drenagem, processos erosivos e conservação, (pontuações de 1 a 3).

O terceiro e raro no Brasil (pontuações de 1 a 3) avalia condições de sinalização e elementos de segurança. Adicionalmente, , mesmo sendo pouco usual no Brasil, pode ser incluída nesta análise, a avaliação física de obras de arte especiais, passagem de cursos d'água e córregos.

Quando acionado o gatilho pela nota RCS, é requerida a inspeção visual detalhada (DVI) para avaliar detalhadamente o tipo de defeito, sua frequência e severidade, fornecendo mais informações para o diagnóstico do trecho afetado. Essa análise também é realizada para avaliar ondulações, deformações, seção transversal, espessura do revestimento, erosão, buracos e atoleiros.

6.2 MÉTODO *EARTH ROAD CONDITION INDEX* (ERCI)

O método originado no Egito para determinar áreas que necessitam de manutenção, segundo Ferreira(59), é uma adaptação de outros métodos objetivos de avaliação utilizados para pavimentos flexíveis.

O procedimento divide a via em trechos homogêneos, com a particularidade de representar no mínimo 10% da extensão de cada subtrecho. Ou seja, os trechos de 1000 metros devem ter subseções de 100 metros, o que torna as unidades de análise bastante adequadas e representativas da condição da via.

Após o levantamento de campo em todos os trechos e subtrechos, é calculado o índice ERCI. Todos os defeitos são classificados por sua gravidade (baixa ou alta) e densidade (ocasional, frequente ou grande escala). Posteriormente, é aplicado um valor de ponderação individual para cada defeito e para cada item, sendo o ERCI o valor máximo da escala (100) subtraído dos valores individuais. Assim, quanto menor a ocorrência de defeitos, ou menor sua importância, maior a classificação desse segmento homogêneo. O grande segredo do método está no peso atribuído a cada classe de defeito. Este é um método derivado do PCI (*Pavement Condition Index*) e muito semelhante aos métodos brasileiros de avaliação de rodovias.

A adoção desse tipo de metodologia considera frequências, pesos e fatores de redução, além das características locais, que interferem muito no escore como um todo e prejudicam sua eficiência. Por exemplo, uma leve erosão localizada tem um peso (redutor) de 10 pontos, enquanto que para a ocorrência de buracos com a mesma intensidade o valor é de somente 4 pontos, sendo que a correção da erosão interfere menos no tráfego e afeta menos o usuário. Ou seja, a validação dos pesos atribuídos a cada tipo de defeito considerado pode interferir no diagnóstico correto.

A seguinte tabela resume os fatores considerados e seu alcance.

TABELA 9. CLASSIFICAÇÃO PELO ERCI

Defeitos	Pesos	Severidade		Densidade			Dedução
		Leve	Grave	Ocasional	Frequente	Extenso	
Falha eroão de aterro	20	0,5	1	0,4	0,8	1	
Falha muro de contenção	12	0,3	1	0,4	0,8	1	
Altura de superfície	15	0,5	1	0,4	0,8	1	
Abaulamento	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Rodeiras (ATR)	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Buracos	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Superfície saturada	8	0,6	1	0,4	0,8	1	
Estrutura ilegal de irrigação	7	0,4	1	0,4	0,8	1	
Plantas na superfície da estrada	7	0,5	1	0,4	0,8	1	
Ocupação da superfície da estrada	7	0,4	1	0,4	0,8	1	

Fonte: Buhler, 2019 (57)

O método necessita de desenvolvimento e ajustes para a avaliação da superfície de estradas rurais, pois entre os defeitos considera apenas, buracos e áreas com atoleiros. Mesmo assim, essas patologias são menos importantes quando comparadas a problemas como erosão, falhas em muros de contenção e outros fatores importantes que não se referem ao pavimento, como a presença de plantas na plataforma e a ocupação do pavimento por equipamentos ou produtos.

6.3 MÉTODO *UNSURFACED ROAD CONDITION INDEX* (URCI)

Este é o método mais utilizado no Brasil. A Agência Reguladora de Concessões de Rodovias de São Paulo (ARTESP) o utiliza para avaliar trechos de estradas não pavimentadas. O método *Unsurfaced Road Condition Index* foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (USACE) com uma pontuação de 0 a 100 pontos para determinar a condição da superfície da estrada. Sua descrição completa pode ser encontrada no *Technical Manual TM 5-626 "Unsurfaced Road Maintenance Management"* do USACE, 1995 (60).

As unidades amostrais definidas pelo método são função da área da via. A densidade de defeitos é obtida através da relação entre a quantidade total de um determinado defeito com uma determinada severidade e a área total da amostra, ou seja:

$$Densidade = \frac{medida\ do\ defeito\ (m^2,\ m\ unidade)}{área\ da\ amostra\ (m^2)} .100\%$$

O modelo norte-americano é bastante detalhado em termos de análise de trechos e ocorrência de defeitos, pois culturalmente os Estados Unidos tem muito cuidado com a manutenção de estradas rurais.

Para maior adequação à condição brasileira, sugere-se que as unidades amostrais não sejam fixadas por área predeterminada, uma vez que o Brasil não possui uma regulamentação que determine a padronização da largura das estradas rurais, nem uma fixação correta do uso do solo. Nesse caso, a avaliação seria muito sensível à variação de largura das estradas e sua faixa de domínio.

A pontuação URCI é baseada na avaliação dos diferentes defeitos observados, sua densidade de área e gravidade (alta, média ou baixa), novamente deduzida por fatores contribuintes.

Os defeitos considerados são:

1. Adequação da seção transversal - uma seção transversal é imprópria quando a superfície não é capaz de drenar a água na via, que resulta na acumulação de água,

2. Adequação da drenagem lateral – responsável pelo fluxo e proteção dos processos erosivos,

3. Ondulações – conforto ao rolamento,

4. Formação de poeira - vinculado à segurança (visibilidade) e saúde,

5. Buracos – degradação da superfície,

6. Rodeiras – deformações da estrutura e atoleiros,

7. Segregação e perda de agregados - aspectos de segurança e aderência.

O método fornece gráficos, nos quais, através da densidade de defeitos (%) obtida, encontra-se o um valor dedutível (DV) para cada defeito e grau de severidade. Somando-se o DV de cada defeito e levantado e grau de severidade obtém-se o Valor Total Dedutível (VDT).

A classificação das estradas rurais pelo índice URCI é apresentada na tabela a seguir:

TABELA 10. CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO DO CAMINHO RURAL

URCI	
Nota	**Conceito**
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muito bom
70 - 55	Bom
55 - 40	Regular
40 - 25	Mal
25 - 0	Péssimo

Fonte: adaptado pelo autor

Este método abrange todos os defeitos de superfície, sendo adequado para a avaliação de superfícies de caminhos rurais. A sua eficácia depende muito da qualidade e experiência dos avaliadores e da sua formação, para a correta identificação destes defeitos. Mas esse problema pode ser mitigado com o uso de equipamentos com câmeras para coletar imagens de superfície e definir ocorrências no escritório com técnicos bem capacitados.

As limitações do método e, por isso, o requerimento de calibração do seu modelo, estão nas curvas que supostamente avaliam a evolução dos defeitos. Isso resulta do fato de este ser um método americano, país que investe muito em pesquisa e em suas estradas rurais e possui critérios de manutenção rigorosos, bem como matriz de tráfego atuante diferente.

Por isso, a implementação de ferramentas para a gestão de estradas rurais, através da utilização de indicadores que caracterizem os aspetos técnicos, ambientais, sociais, econômicos e regionais são úteis para a priorização de ações de manutenção de cada região. A definição de estratégias e alocação de recursos são dependentes do conhecimento da rede rodoviária rural. O resultado é a geração de melhor fluidez de tráfego, desenvolvimento social, melhor escoamento da safra e redução dos custos de transporte associados a um melhor acesso à saúde e educação para a população rural, além de economia de investimentos por parte dos municípios.



CAPÍTULO **7**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO **7**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CENSO 2020. **Site Saúde Amanhã/Fiocruz**, 2017. Disponível em: https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html. Acesso em: 26 jul. 2023.

2. CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **PESQUISA CNT de Rodovias**, 2022. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/. Acesso em: jul. 2023.

3. BRASIL. Ministério da Infraestrutura, 2019. Rodovias Federais. Disponível em: https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html. Acesso em: jul. 2023.

4. NASA confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil. **Embrapa**, 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil. Acesso em: jul. 2023.

5. CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção Agrícola. Safra: Série Histórica dos Grãos**. Disponível em: https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html.

6. ESTRADA Legal: Prefeitura lança maior programa de recuperação de estradas rurais: Trabalhos incluem pavimentação, recapeamento e PMVP. **SITE DA PREFEITURA DE BRAGANÇA PAULISTA**, 2021. Disponível em: https://www.braganca.sp.gov.br/noticias/estrada-legal-prefeitura-lanca-maior-programa-de-recuperacao-de-estradas-rurais.

7. SÃO PAULO. **Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo**. Disponível em: https://www.agricultura.sp.gov.br/melhor-caminho. Acesso em26 jul. 2023SAVIAN, Moisés *et al.* **Sistema de Gestão de Estradas Rurais**: Inovação na Administração Municipal de Lages, Santa Catarina. X Congresso CONSAD, Brasília, Brasil: 2017.

8. LAGES. **Lei Municipal N° 4.159, de 31 de maio de 2016**. Aprova o Plano Municipal de Desenvolvimento Rural e prevê outras medidas. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a1/sc/l/lages/lei-ordinaria/2016/416/4159/lei-ordinaria-n-4159-2016-aprova-o-plano-municipal-de-desenvolvimento-rural-e-da-outras-providencias. Acesso em: jul. 2022.

9. LAGES. **Lei Municipal N° 4.135, de 12 de novembro de 2015**. Dispõe sobre as estradas rurais municipais de Lages, cria o Sistema de Gestão de Caminhos Rurais – SISGE rurais , R. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/lages/lei-ordinaria/2015/414/4135/lei-ordinaria-n-4135-2015-dispoe-sobre-as-estradas-rurais-municipais-de-lages-cria-o-sistema-de-gestao-de-estradas-rurais-sisger-e-da-outras-providencias. Acesso em: Jul. 2022.

10. BRASIL. Departamento Nacional de Rodovias. Direção de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de Projetos Geométrico de Estradas Rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

11. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Conservação de Rodovias**. Rio de Janeiro, 2005.

12. BRASIL. Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. **Manual Básico de Rodovias**. Volumes I, II, III. São Paulo, 2012.

13. BAESSO, D., GONÇALVES, F. L. **Técnicas Adequadas de Estradas de Terra**. Florianópolis: DER-SC, 2003.

14. SOUZA, M. L. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. 3a. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1981.

15. SKORSETH, K., SELIM, A., **Gravel roads: maintenance and design manual**. South Dakota Local Transportation Program. D.O.T. Dakota del Sur – FHWA, 2000.

16. BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Diretrizes para o Programa Produtor de Água**. Brasília, 2018.

17. QUASE 20 quilômetros de estradas rurais recebem melhorias. **Jornal do Oeste**, Toledo - PR, 23 abr. 2021. Região. Disponível em: https://www.jornaldooeste.com.br/regiao/quase-20-quilometros-de-estradas-rurais-recebem-melhorias/. Acesso em: jun. 2022.

18. MELHORIAS de estradas rurais não param em Assis Chateuabriand. **Jornal do Oeste**. PR, 2 jun 2021. Disponível em: https://www.jornaldooeste.com.br/regiao/melhorias-em-estradas-rurais-nao-param-em-assis-chateaubriand/. Acesso em: jun. 2022.

19. NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Caracterização e Classificação Gerais de Solos para Pavimentação: Limitações do Método Tradicional, Apresentação de uma Nova Sistemática**. Anais da XV Reunião Anual de Pavimentação, ABPv. Belo Horizonte, MG. 1980.

20. BERNUCCI, Liédi Légi Bariani. **Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Laeríticos para Rodovias de Baixo volume de Tráfego**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1995.

21. VILLIBOR, Douglas Fadul, ALVES, Driely Mariane Lancarovici. **Pavimentação de baixo custo para Regiões Tropicais: Projeto e Construção: novas considerações**. Florianópolis, 2019.

22. NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo, 1995.

23. GUTIÉRREZ KLINSKY, Luis Miguel. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

24. VILLIBOR, D. F. *et al*. **Pavimentos de Baixo Custo para vias urbanas, bases alternativas com Solos Lateríticos**. São Paulo, 2007.

25. VELOSO, Jean França et al. **Análise de solos tropicais para pavimentação da rodovia BR-163/PA/**Analysisof tropical soils for pavingtheroad BR-163/PA. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 53471-53493, 2020.

26. NERVIS, Leandro Olivio. **Estudo de revestimento primário para utilização em estradas vicinais da região de Santana do Livramento-RS**. 2010.

27. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de Pavimentação** - IPR 719. Rio de Janeiro, 2006.

28. VILLIBOR, D. F. *et al*. **Pavimentação de baixo custo para vias urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.

29. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Brasília, 5 jul. 2022.

30. SANTOS, Joyce Oliveira, ARAÚJO, Carla Beatriz Costa de, AYRES, Thiago Moura da Costa. **Análise da Utilização de RCD em Obras de Pavimentação na Cidade de Fortaleza**. MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 65-72, jul. 2019.

31. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço** - NORMA DNIT 141/2010 - ES. Rio de Janeiro, 2010.

32. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com Açobrita® - Especificação de serviço** - NORMA DNIT 406/2017 - ES. Rio de Janeiro, 2017.

33. ESTRADAS rurais recebem cascalhamento com agregado siderúrgico. **Site da Prefeitura Municipal de Alpercata**. 2021. Disponível em: https://www.alpercata.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/estradas-rurais-recebem-cascalhamento-com-agregado-siderurgico/27223. Acesso em: 27 de jul. 2022.

34. MOTTA, R.S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentos de baixo volume de tráfego**. 2005, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

35. BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária – Concreto asfáltico reciclado em usina a quente - Especificação de serviço** - NORMA DNIT 033/2021 – ES. Rio de Janeiro, 2021.

36. GUARUJÁ, **DECRETO Nº 14.839**. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a1/sp/g/guaruja/decreto/2022/1484/14839/decreto-n-14839-2022-regulamenta-a-lei-n-4968-de-06-de-janeiro-de-2022-que-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-do-reaproveitamento-do-material-fresado-de-asfalto-raspa-nas-vias-publicas-nao-pavimentadas-do-municipio-e-da-outras-providencias. Acesso em: 01 out. 2022.

37. GOVERNO Municipal inicia aplicação de fresado de asfalto em estrada rural. **Site da Prefeitura de São Miguel do Iguaçu**. Disponível em: https://www.saomiguel.pr.gov.br/governo-municipal-inicia-aplicacao-de-fresado-de-asfalto-em-estrada-rural/. Acesso em: 08 out. 2022.

38. ASFALTO transformado é reaproveitado na recuperação de estradas. **Site da Prefeitura de Campos**. Disponível em: https://campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=69308 – Acesso em: 08 out. 2022.

39. BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

40. LARSEN, J. **Tratamento superficial na conservação e construção de rodovias**. Rio de Janeiro: ABEDA, 1985.

41. BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 750 p.: il. ISBN 978-85-69658-02-3.

42. BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo** - Especificação de serviço. Norma DNIT 147/2012 – ES. Rio de Janeiro, 2012.

43. PRODUTORES investem R$12 milhões em pavimentação de mais uma estrada do Oeste da Bahia. **Site BA de Valor**. 26 de julho de 2020. Disponível em: https://badevalor.com.br/produtores-investem-r12-milhoes-em-pavimentacao-de-mais-uma-estrada-do-oeste-da-bahia/ - Acesso em: 09 de out. 2022.

44. PREFEITURA inicia trabalhos de pavimentação asfáltica TSD na avenida paralela a BR- 135. **Site da Prefeitura Municipal de São Desidério**. Disponível em: https://saodesiderio.ba.gov.br/mais-noticias/prefeitura-inicia-trabalhos-de-pavimentacao-asfaltica-tsd-na-avenida-paralela-a-br-135/ - Acesso em: 09 out.2022.

45. MAIS de 65 quilômetros de estradas rurais da região de Loanda recebem melhorias. **Portal da cidade de Loanda**. 15 de abril de 2022. Disponível em: https://loanda.portaldacidade.com/noticias/agronegocio/mais-de-65-quilometros-de-estradas-rurais-da-regiao-de-loanda-recebem-melhorias-3254. Acesso em: jun. 2021.

46. PROGRAMA Melhor Caminho é iniciado em Dracena. **Site da Prefeitura de Dracena**. Disponível em: https://www.dracena.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/108893/programa-melhor-caminho-e-iniciado-a-todo-vapor-em-dracena. Acesso em 08 de outubro de 2022.

47. CAMINHOS do Vale: levando desenvolvimento e acesso às comunidades do Leste de Minas. **Blog da Usiminas**. 14 de agosto de 2020. Disponível em: https://www.usiminas.com/blog/comunidade/mobiliza/. Acesso em: 08 out. 2022.

48. SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Melhor Caminho. Disponível em: https://www.agricultura.sp.gov.br/pt/melhor-caminho. Acesso em: 08 out. 2022.

49. ESTRADAS Rurais: governo de SP retoma Programa Melhor Caminho. **Portal da Alesp**. 21/10/2021. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=429929. Acesso em: 08 out. 2022.

50. AGREGADO Siderúrgico é usado em estradas rurais de Minas. **Site UaiAgro**. 21 de novembro de 2021. Disponível em: https://uaiagro.com.br/agregado-siderurgico-e-usado-em-estradas-rurais-de-minas/. Acesso em: 08 out. 2022.

51. CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ (CREA-PR). **O que é EBDM**. Disponível em: https://agendaparlamentar.crea-pr.org.br/o-que-e-ebdm. Acesso em: 08 out. 2022.

52. MARINGÁ tem nove 'carências' municipais, apontam estudos de Entidades de Classe parceiras do Crea-PR. **Site do Jornal Noroeste**. 27 de outubro de 2020. Disponível em: https://jornalnoroeste.com/pagina/regiao/maringa-tem-nove-carencias-municipais-apontam-estudos-de-entidades-de-classe-parceiras-do-crea-pr. Acesso em: 08 out. 2022.

53. EBDM - Ponta Grossa - Estradas rurais: conservação e sinalização. **Site O Paraná em Debate**. Agenda Parlamentar CREA – PR. Disponível em: https://agendaparlamentar.crea-pr.org.br/download-ebdm/ponta-grossa/ebdm-ponta-grossa-estradas-rurais-conservacao-e-sinalizacao. Acesso em: jul. 2023.

54. Obras do Patrulha Mecanizada vão acelerar com o final do período chuvoso no Oeste da Bahia. **Site Notícias Agrícolas**. 07 de abril de 2021. Disponível em: https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/284737-obras-do-patrulha-mecanizada-vao-acelerar-com-o-final-do-periodo-chuvoso-no-oeste-da-bahia.html. Acesso em: 09 out. de 2022.

55. Patrulha trabalhando a mil. **Site da Abapa**. 2 de julho de 2021. Disponível em: https://abapa.com.br/noticias/patrulha-trabalhando-a-mil. Acesso em: 09 de out. 2022.

56. BUHLER, A. V. **Metodologias para avaliação das condições das estradas rurais no Brasil**. MBA Gestão do Agronegócio, UFPR, Curitiba, 2019.

57. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT (IBRD). Road Monitoring Manual for Maintenance Management. Volume 1: Manual for Developing Countries. Paris, 1990.

58. ERREIRA, F. M. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estradas não-pavimentadas**. Campinas: UNICAMP, 2004.

59. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). TM 5-626 "Unsurfaced Road Maintenance Management", Washington D.C., 1995.



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE