

PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS: PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA REFLEXÃO DE TRINCAS

Monique Paixão Paixão¹

Cristóvão César Carneiro Cordeiro²

Maria da Conceição Nogueira Correia³

RESUMO

Este artigo estuda os pavimentos semirrígidos e as patologias causada pela Reflexão de Trincas. Descreve o processo de Reflexão desde a origem até suas causas mais danosas, buscando analisar os impactos causados à estrutura física das camadas asfálticas, advindas do emprego de bases cimentícias comumente utilizadas, com foco na base granular tratada com cimento (BGTC). Com base em pesquisa bibliográfica, apresenta parâmetros para escolha das técnicas mais apropriadas para prevenção e tratamento da reflexão de trincas, dentro das suas especificidades. Este estudo permite concluir que não existe técnica ideal, e sim, combinações apropriadas que visem melhores resultados.

Palavras-chave: Pavimentos Semirrígidos; Brita Graduada Tratada Com Cimento; Reflexão de Trincas; Técnicas de restauração de pavimentos.

ABSTRACT

This paper studies the semi-rigid pavements and pathologies caused by the Crack Reflection. It describes the process of Reflection from the origin to its most harmful causes, seeking to analyze the impacts caused to the physical structure of the asphalt layers, from the application of commonly used cementitious layers, focusing on the granular base treated with cement (BGTC). Based on bibliographical research, it presents parameters to choose the most appropriate techniques for prevention and treatment of crack reflection, within its specificities. This study concludes that there is no ideal technique, but rather Appropriate combinations for better results.

Keywords: Semi-rigid paving; BGTC; Reflection of Cracks; Floor restoration techniques.

1 INTRODUÇÃO

Os custos envolvidos nos processos de execução e manutenção do setor de transporte é um dos maiores do Brasil e do mundo. Dentre os investimentos brasileiro em infraestrutura, o do setor de transporte justifica-se por conta do impulso à economia local e global ao qual é diretamente ligado o setor viário. A qualidade dos pavimentos impacta diretamente nos custos financeiros; o risco de menosprezar a manutenção é alto e pode causar grandes prejuízos, não apenas ao governo, mas também aos usuários. As malhas viárias em execução devem prever mecanismos que garanta a qualidade por longos períodos sem que os custos sejam acrescidos absurdamente.

¹ Engenheira Civil pela UNIFACS, Pós graduanda em Geotecnia das Contenções pelo instituto Prominas . E-mail: moniquepaixao.s@hotmail.com

² Coordenador do curso de Engenharia Civil da UNIFACS – Campus Feira. Professor Assistente da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. E-mail: cristovao.cordeiro@unifacs.br

³ Professora da UNIFACS Campus Feira. E da UEFS. E-mail: maria.correia@pro.unifacs.br

Com relação ao asfalto, por se tratar de um material tradicional e amplamente utilizado, as práticas antigas, ainda que obsoletas, demoram de ser renovadas, mesmo que não sejam notoriamente viáveis, pois os vícios de práticas dos funcionários influenciam diretamente na execução do serviço. Atualmente a malha rodoviária revestida é constituída predominantemente de pavimentos em que as camadas finais são compostas de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), amplamente conhecido como asfalto.

São três as classificações existentes para pavimentos: Rígidos, Flexíveis e Semirrígidos. Os pavimentos Semirrígidos serão estudados neste trabalho pois sua utilização vem sendo cada vez mais comum, torna-se primordial este estudo para o setor de transporte, pela importante produção de conhecimento, como também, pela possibilidade de geração de novas pesquisas. Dentre as bases cimentícias a Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC, será o foco deste estudo, pois, sua utilização vem sendo bastante difundida diante da escassez de jazidas para extração mineral de matéria-prima pétreas; tal estudo se dará através da análise bibliográfica.

Este artigo tem como objetivo compendiar informações técnicas sobre os pavimentos semirrígidos, analisando o processo de trincamento da base cimentícias, na busca de diretrizes metodológicas para o tratamento e a prevenção da reflexão de trinca a partir da análise dos defeitos causados a estrutura das camadas de revestimentos.

2 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

A NBR 7207/82 da ABNT diz que pavimento

É uma estrutura construída após a terraplenagem, destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a: Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornado mais durável a superfície de rolamento (NBR, 1982, p. 3).

A evolução da pavimentação rodoviária brasileira aconteceu conforme a evolução da própria sociedade e economia do país. Deste modo, na medida que evoluía a economia e a sociedade, evoluíam também as rodovias.

No Brasil, segundo Bond (2009), a primeira estrada pavimentada a que se tem relato foi a que ligava o Brasil (São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul) ao Peru, passando por Paraguai e Bolívia no século XVI, chamado de Caminho de Peabiru, cuja principal função era guiar migrações indígenas, mas também serviu para facilitar a circulação de mercadorias e

missões religiosas. De Peabiru para a atualidade muita coisa mudou, diversas técnicas foram desenvolvidas, outras modificadas e melhoradas. A pavimentação se subdividiu em diferentes tecnologias que se adequam a fim de atender as necessidades da sociedade.

Dentre os modais de transporte, a saber, aquaviários, ferroviários, aéreos e rodoviários, os mais difundidos no Brasil são os rodoviários e, conseqüentemente, os que mais atraem investimentos. Isso se deu conforme a economia brasileira priorizava as rodovias em detrimento a outros modais. A tradição das técnicas de pavimentação cria na mão de obra fatores e vícios que colocam as rodovias num cenário mais cultural que técnico. Tal cenário é resultado do mau planejamento político-estratégico que o setor dos transportes foi desenvolvido ao longo dos anos (BERNUCCI et al., 2006).

Para Huang (2003) os pavimentos se classificam em: pavimentos rígidos ou de concreto; flexíveis ou asfálticos; e compostos ou “overlays” (aqui chamados de Semirrígidos).

Os Pavimentos rígidos e os flexíveis não serão estudados neste artigo. Entretanto, para melhor compreensão, eles serão conceituados. Os Pavimentos Rígidos ou de concreto, associados aos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito, quando necessário. Quanto aos Pavimentos Flexíveis, segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.

Segundo dados da ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem (BERNUCCI et al., 2006). O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) lista mais de 100 das principais aplicações desse material, desde a agricultura até a indústria. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos também. Dentre as várias razões para o uso do asfalto em pavimentação, destacam-se: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

Bernucci e outros (2006), avaliam o pavimento do ponto de vista estrutural e funcional. Neste aspecto, para estes autores, pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

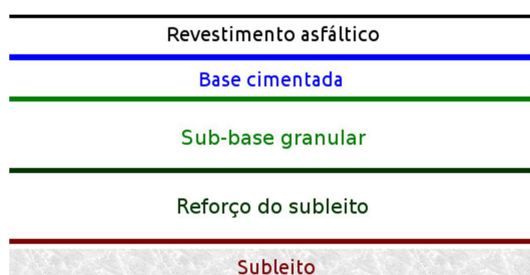
Os Pavimentos Semirrígidos, foco deste estudo, encontram-se no meio termo entre o rígido e o flexível e, portanto, tem características e peculiaridades de ambos, sem, no entanto, pertencer a nenhuma dessas duas classificações e, por conta disso, essa classe de pavimento é bastante peculiar e seu estudo é de suma importância.

3 PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO

Esta sessão apresenta os pavimentos semirrígidos, descrevendo suas características e composição.

Segundo o Manual Pavimentos Flexíveis e Rígidos do DER-Paraná (2008), pavimentos semirrígidos caracterizam-se por uma base cimentada quimicamente. Compõem-se de: Revestimento, Base Cimentada, Sub-Base Granular, Reforço do Subleito e Subleito. A distribuição destas camadas é exemplificada na figura 1.

Figura 1 - Composição dos pavimentos semirrígidos



Fonte: DER-PR, 2008

Assim como nos flexíveis, os Pavimentos Semirrígidos também são revestidos de material asfálticos. O que diferencia um do outro é a presença de ligantes hidráulicos (cimento Portland ou cal hidratada) em sua base, com o intuito de se alcançar uma camada com rigidez suficiente para resistir às cargas de tráfego de projeto. A adição dos ligantes hidráulicos pode ser em diversos materiais, cada um com características próprias. Os mais usuais são: Sand-

Creet, Solo Tratado com Cimento, Solo Cimento, Solo-cimento-cal e a Brita Graduada Tratada Com Cimento – BGTC.

Sand-Creet é um material com características semelhantes ao concreto em virtude da grande quantidade de areia e alto teor de cimento e seus componentes são: areia (solo arenoso), cimento Portland e água.

Solo Tratado com Cimento é uma mistura íntima, executada na pista ou em usina, composta por solo, sem presença de materiais orgânicos, cimento Portland e água, adequadamente compactados e submetidos a processo eficiente de cura. Aos sete dias de idade a resistência a compressão simples deste material deve ser entre 1,2 e 2,1 MPa. Em geral, as trincas geradas durante a cura do cimento não chegam a refletir no pavimento devido à baixa composição cimentícia, pois o solo tratado com cimento possui menor retração durante o processo de cura e, conseqüentemente, menor índice de trincamento (DER/PR, 2005).

Solo Cimento possui a mesma composição do Solo Tratado com Cimento. A distinção se dá com relação a resistência à compressão simples deste material com sete dias de idade que deve ser superior a 2,1 MPa. Seguindo os mesmos padrões do Solo Tratado com Cimento, o Solo Cimento, por apresentar maior quantidade de cimento, confirmado pela maior capacidade resistiva à compressão, tem maior trincamento durante a cura e, conseqüentemente, maior é a reflexão às camadas superiores (DER/PR, 2005).

Solo-cimento-cal, conforme a Especificação de Serviço do DER/PR (2005), tem como objetivo a estabilização direta com cal no solo para atender exigência do projeto em relação à resistência do pavimento. A mistura deve ser feita na pista, adequadamente compactada e submetida a processo eficiente de cura. O solo utilizado na mistura deve apresentar boa reação com a cal e o cimento, como por exemplo: derivados de rochas basálticas, do tipo “latossolo roxo”, ou “latossolo vermelho escuro”. Podem ser utilizados cimento Portland comum e pozolânico. A cal recomendada deve ser a hidratada cálcica, com teor mínimo de 50% de cal solúvel (CaO + CaOH₂).

A **Brita Graduada Tratada Com Cimento (BGTC)**, objeto deste estudo, segundo a Norma particular da Arteris (2015, p. 3):

Consiste na associação de agregado mineral, cimento Portland, aditivos e água, em proporções determinadas experimentalmente, que cumpre certos requisitos de qualidade, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada, resultando uma mistura homogênea, compactada e rígida.

A BGTC começou a ser mais difundida no Brasil no final da década de 1970. Desde então tem sido bastante utilizada, principalmente em pavimentos de vias de alto volume de tráfego. Entretanto, seu alto custo de implantação, comparada a técnicas semelhantes, aliada a pouca informação, e a erros de execução, acarreta a exclusão desta técnica nos projetos rodoviários. É empregada geralmente como base de pavimentos com revestimentos betuminosos, porém, também é empregada como base de pavimentos intertravados ou sub-base de pavimentos de concreto. Na BGTC, em princípio, se usa o mesmo material pétreo da BGS (Brita Graduada Tratada com Cimento), porém com adição de cimento na proporção de 3 a 5% em peso (BERNUCCI et al., 2006). Recomenda-se que seja compactada a pelo menos 95% da energia modificada para aumento de resistência e durabilidade (ABNT NBR 12262, 2013). A Resistência à Compressão Simples mínima aos sete dias deve ser de 4,2 MPa e 7,0 MPa aos 28 dias (ABNT NBR 5739). Balbo (2007) ressalta que são obtidas maiores resistências para este material em misturas com umidade 1% abaixo da ótima.

A BGTC, devido à cura do cimento, apresenta retração, levando ao aparecimento de microfissuras e trincas. Estes problemas podem levar a reflexão destas trincas ao revestimento asfáltico no caso do emprego da BGTC como material de base (BALBO, 1993).

Balbo (2006), afirma que as bases em BGTC unânime e inexoravelmente, apresentam fissuração intensa logo em idades iniciais e após alguns anos de serviço o trincamento é aumentado por conta da fadiga. Segundo este mesmo autor, mecanicamente, a base, após fissurar, funciona como um conjunto de blocos que fornecem incontáveis entalhes para a abertura de fissuras e sua posterior propagação ascensional na camada de revestimento asfáltico, apenas pelo contato, que cria uma descontinuidade na distribuição de tensões na interface, concentrando-se as mesmas na face inferior do revestimento asfáltico, que muitas vezes é induzido à fissura prematura por essa contingência.

Atualmente as bases de BGTC costumam usar maior teor de cimento (5%), são transportadas em caminhões basculante, tem consistência seca e é adensada com rolo compressor, fazendo com que seu comportamento seja semelhante ao de Concretos Compactados com Rolo – CCR, cujo desempenho é bastante elevado (de 80 kg/m³ a 380 kg/m³). Porém, a fissuração em idade inicial é maior, provocando a reflexão rápida dessas trincas, afetando o pavimento de modo funcional e estrutural (BALBO, 2006).

A BGTC é uma boa alternativa quando não se tem disponível jazidas minerais, pois diminuem a quantidade de materiais pétreos. Conforme Rodrigues (2007), as dificuldades e os altos custos para a realização de restauração no pavimento semirrígido, tornam esta alternativa

mais eficaz apenas quando outras alternativas não se mostrarem viáveis, no entanto sua execução deve ser criteriosa a fim de evitar ou mitigar problemas que venham a comprometer a qualidade do mesmo.

4 REFLEXÕES DE TRINCAS

Para se conhecer melhor o fenômeno de Reflexão das trincas, faz-se necessário observar e controlar as seguintes ações: (i) Tráfego; (ii) Variações de temperatura; (iii) Movimentos de expansão/retração das camadas cimentícias; (iv) Movimentos de expansão/retração do subleito.

Reflexão de Trincas ocorrem, normalmente, por ação térmica ou fadiga à solicitação de tráfego, relacionadas a movimentos horizontais que geram tensões cisalhantes. Tais tensões são causadas por pneus que, ao passar pelas trincas formadas na estrutura base do pavimento (BGTC), causam ações solicitantes de modo a acarretar aumento no comprimento e na espessura da mesma, propagando-a para camadas superiores do pavimento, gerando o fenômeno de reflexão das trincas. A magnitude dessas tensões depende da espessura do revestimento asfáltico, da capacidade de carga do subleito e da magnitude das trincas. Se o revestimento asfáltico é solicitado continuamente por cargas de tráfego repetitivas, a resistência e a estabilidade são reduzidas a cada ciclo de cargas até que o asfalto finalmente se rompe e a reflexão das trincas acontece, provocando uma perda de servicibilidade e de vida útil do pavimento (BERNUCCI et al., 2006).

Os fenômenos de retração térmica devido a variações de temperatura também podem ocasionar tensões de tração e tais ações são comumente observadas em regiões em que a temperatura varia intensamente entre baixas e altas ao longo do tempo.

As bases cimentícias têm comportamentos semelhantes a concreto; por conta disso as dificuldades impostas começam nas idades iniciais, enquanto o processo de cura ainda está ocorrendo por conta da possibilidade de retração. A pouca adição de cimento à base afeta diretamente na capacidade de carga do material, facilitando a ocorrência de fadiga com o decorrer do uso, entretanto, diminuem a ocorrência de trincas ocasionadas pela cura, enquanto isso, adicionar mais cimento conferirá maior resistência, diminuindo a probabilidade de fadiga, no entanto um limite deve ser observado pois aumentar significativamente o teor de cimento eleva os valores de módulo de elasticidade, mas não aumenta nas mesmas proporções a resistência à ruptura por tração do material, resultando num aumento das tensões de tração

absorvidas pela camada, sem que esta tenha capacidade resistiva suficiente para suportar aos esforços solicitantes.

Por se tratar de bases rígidas, devem ser assentadas em leitos estáveis, que garantam imobilidade. Nesse sentido, todo material constituinte do leito e subleitos não devem apresentar expansão e/ou retração superiores a 1%, para que não ocorra abalo da estrutura da base.

As trincas refletidas são provenientes de um trincamento primário, consequências de um problema já existente e, muitas vezes, é o indicio de que algo não está correto com a estrutura do pavimento. As possíveis causas para o aparecimento dessas trincas são: Erros de projeto ou de execução; Movimentação do subleito; Fadiga e Retração térmica da base.

Erros de projeto ou de execução: Partindo do pressuposto que as obras de engenharia de estradas são complexas, implica numa correta utilização dos recursos disponíveis durante todo o projeto, isto é, projetos estruturados, mão-de-obra qualificada e bem remunerada, material de qualidade e tecnologias adequadas. Ainda que todos estes itens estejam em consonância, caso falte comunicação entre as partes, todo o empreendimento estará fadado ao fracasso.

Movimentação do subleito: Em geral é associada aos erros de projeto ou de execução. As causas mais comuns são: retração e expansão hidráulica, aumento de umidade, escorregamentos, recalques.

Fadiga: Submissão do pavimento a esforços ou carregamentos cíclicos, pela ação dos veículos, em dimensão superior à que o pavimento foi projetado. Caracteriza-se pela formação e propagação lenta de trincas microscópicas, com ruptura súbita e sem aviso prévio.

Retração térmica da base: É o processo pelo qual os componentes cimentícios passam a expulsar a água contida em sua mistura através da exsudação (retração plástica e por secagem ou hidráulica). A elevada rigidez da mistura cimentada é uma das causas da retração, ou seja, altos teores de cimento, e/ou condições de cura não adequadas.

Quando as técnicas de minimizar a ação da reflexão das trincas falham, faz-se necessário pensar em restauração. Neste sentido, antes de analisar as técnicas é necessário observar a qual tipo de trinca está se enfrentando. As definições a seguir foram baseadas da norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia.

Fenda: Qualquer descontinuidade, abertura, na superfície do pavimento, que provoque ranhuras de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas.

Fissura: Fenda inofensiva, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, assim denominada se a ranhura é perceptível a uma distância inferior a 1,50 m.

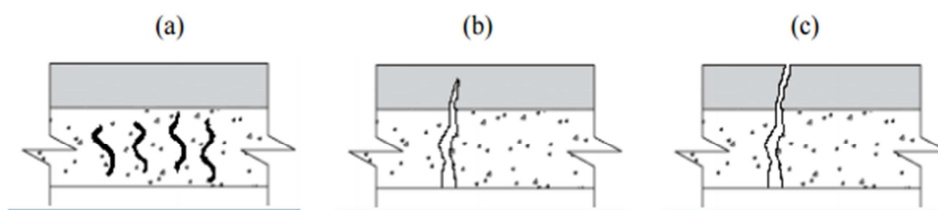
Trinca: Fenda com abertura superior à da fissura, facilmente perceptível; se subdivide em: trinca isolada (Trinca transversal, longitudinal e de retração) ou trinca interligada (tipo “Couro de Jacaré” e tipo “Bloco”).

- **Trinca transversal:** Isolada e com direção predominante ortogonal ao eixo da via.
- **Trinca longitudinal:** Isolada e com direção predominante paralela ao eixo da via.
- **Trinca de retração:** Isolada, não ligada aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado (reflexão).
- **Trinca tipo “Couro de Jacaré”:** Interligadas sem direções predominantes, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré.
- **Trinca tipo “Bloco”:** Interligadas, formam blocos caracterizado por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

É de suma importância investigar as características do trincamento refletido. Deve ser observado, por exemplo, se a trinca refletiu de cima para baixo do pavimento e, neste caso, deve-se proceder a investigação através da retirada de um corpo de prova utilizando-se sondas rotativas ou analisando-se o seu módulo de elasticidade efetivo e observar a integridade ou não da base. A partir da análise deste corpo de prova é possível avaliar se o trincamento observado na superfície se deve à fadiga da base cimentada, ou se progrediu a partir de trincas transversais de retração da base.

Segundo Vilchez (1996), a reflexão das trincas divide-se em três etapas, ilustradas conforme figura 2. São elas: (i) Início do fissuramento, figura 2.a; (ii) Crescimento estável da trinca, figura 2.b; (iii) Propagação instável da fissura (aparecimento e propagação na superfície), figura 2.c.

Figura 2 - Etapas da reflexão de trincas



Fonte: Vilchez, 1996

4.1 Prevenção da reflexão de trincas

A prevenção das trincas pressupõe técnicas elaboradas ainda no projeto e executada concomitantemente desde a terraplenagem até a o revestimento do pavimento.

Segundo afirma Balbo (2006), os meios para evitar a propagação das fissuras abertas nas bases cimentadas para as novas camadas asfálticas de reforço ainda são meios pouco eficientes se aplicados isoladamente, fazendo-se necessária a combinação de diversas técnicas a fim de minimizar as trincas de reflexão.

É importante perceber que não existe combinação de técnica ideal, pois cada caso em particular tem suas peculiaridades e devem ser avaliadas na ocasião do projeto. A reflexão de trincas deve ser prevenida, mediante análises e, neste sentido devem ser avaliados: Aumento da espessura da camada asfáltica, Camadas de dissipação, Camadas intermediárias (SAMI), Revestimentos asfálticos com ligantes modificados, Pavimentos invertidos, Geossintéticos.

4.1.1 Aumento da espessura da camada asfáltica

Segundo Bernucci e outros (2006, p.472):

O aumento da espessura de recapeamento não previne a ocorrência de trincas por reflexão, mas reduz a velocidade de propagação e a severidade das trincas refletidas por reduzir os esforços de flexão e cisalhamento sob carga e também por reduzir a variação de temperatura na camada de revestimento. Sua relação custo-benefício deve ser considerada em relação a outras técnicas.

O aumento da espessura da camada asfáltica majora o tempo de reflexão das trincas, uma vez que alonga o caminho a ser percorrido pela trinca,

A escolha da espessura da capa deve avaliar previamente os esforços solicitantes a qual a via será exposta, bem como a capacidade estrutural das camadas adjacentes. Não se

deve redimensionar a espessura do pavimento sem que seja previsto em projeto ou, caso as fissuras da base sejam intensas, sem que se faça uma avaliação das causas da trinca. Caso o pavimento tenha sua espessura aumentada sem o devido tratamento de suas causas, as trincas tornarão a se refletir.

4.1.2 Camadas de dissipação

Segundo Bernucci e outros (2006, p.472), as camadas de dissipação:

São camadas granulares com poucos finos e agregados com diâmetro máximo de 75mm, granulometria aberta e podem ser misturadas com pequeno teor de ligante asfáltico, tipicamente um pré-misturado a quente, que são executadas sobre o revestimento antigo deteriorado. Sobre ela é executada uma camada de recapeamento asfáltico. Propiciam volume de vazios elevados que efetivamente interrompem a propagação das trincas, mesmo aquelas sujeitas a grandes movimentos. São executadas em espessuras mínimas de 100 mm.

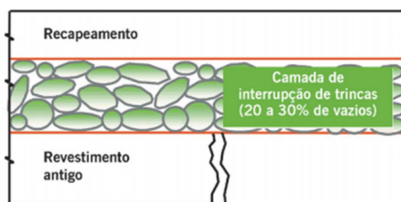
As camadas de dissipação, quando de espessuras inferior a 100 mm, são chamadas de TSS, TSD e TST, cujos significados são Tratamento Superficial Simples, Tratamento Superficial Duplo e Tratamento Superficial Triplo, respectivamente.

Para execução a superfície onde será assentada deve estar seca, limpa e imprimada a fim de eliminar as partículas de pó.

Os agregados deverão ser compostos por partículas duras, resistentes, limpas, livres de torrões de argila, materiais orgânicos e substâncias nocivas. Exemplo de agregados que podem ser utilizados: Pedra, escória, cascalho ou seixo rolado, britados. Seja qual for o agregado deve ter uma massa específica aparente igual ou superior a 1200 Kg/m³.

Na figura 3 observa-se a posição e funcionamento da camada de interrupção de trincas.

Figura 3 - Posicionamento de camada de interrupção de trincas



Fonte: Bernucci et al.. 2006

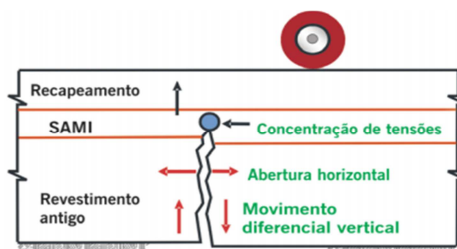
4.1.3 Camadas intermediárias – SAMI

Segundo Bernucci e outros (2006, p.472):

[As] camadas intermediárias, chamadas de SAMI (stress absorbing membrane interlayer), podem ser constituídas de microrrevestimentos asfálticos, tratamentos superficiais por penetração com ligantes asfálticos modificados por polímeros ou por borracha de pneus, ou mesmo misturas asfálticas com elevado teor de asfalto modificado por polímero em camadas delgadas. A SAMI atua dissipando movimentos e tensões em trincas e juntas de severidade baixa a média, devido às características de recuperação elástica do ligante asfáltico empregado.

As SAMI podem ser previstas no Projeto executivo, mas também são eficazes quando há a necessidade de executar um pavimento assente num pavimento pré-existente deteriorado, sem que seja viável sua fresagem, conforme figura 4.

Figura 4 - Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões



Fonte: Bernucci et al., 2006

4.1.4 Revestimentos asfálticos com ligantes modificados

Na concepção de um novo pavimento, este sistema bloqueia as trincas de retração da base cimentada na medida em que estas forem surgindo, pois, o material preenche os espaços gerados pela retração, impedido que as trincas se desenvolvam (RODRIGUES, 2007).

Segundo Bernucci e outros (2006, p.473):

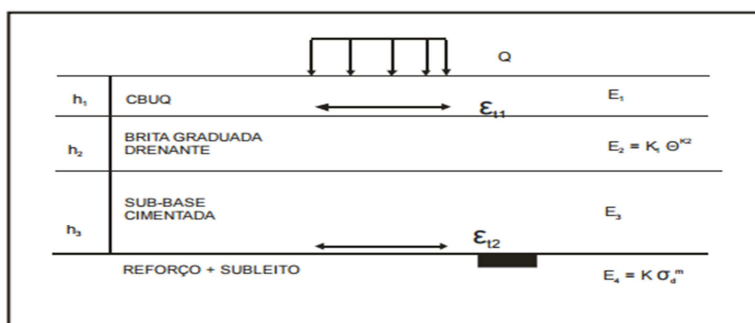
Podem ser confeccionadas misturas asfálticas com ligantes modificados por polímeros ou borracha moída de pneus que apresentem baixa rigidez (valores de módulo de resiliência mais baixos que os usuais) visando menor absorção de tensões e conseqüente retardamento da ascensão das trincas de reflexão. Também é possível executar-se uma camada de nivelamento fina (com agregados passantes na peneira 3/8”) com ligante modificado, que funcionaria como uma camada de dissipação parcial de trincas e, em seguida, aplicar-se um novo revestimento com ligante modificado. Esta é uma alternativa que visa retardar o aparecimento de trincas através da aplicação de revestimentos delgados com ligantes modificados.

4.1.5 Pavimentos invertidos

Na técnica de Pavimentos Invertidos (figura 5) a sub-base em BGS (Brita Graduada Simples) troca de posição com a base de BGTC. Tem se mostrado uma técnica simples, mas, por vezes, inviável econômica e ambientalmente, uma vez que alonga demasiadamente o tamanho da camada da base granular de BGS, aumentando, por consequência a quantidade de material desprendido a execução do serviço. Havendo disponibilidade dos insumos, logística favorável e economicamente viável, ele demonstra ser a melhor alternativa em virtude de a mão de obra não ser modificada, apenas adaptada, minorando os possíveis erros de execução.

Nos pavimentos invertidos é necessário que as camadas de revestimento sejam aumentadas para que os esforços solicitantes sejam atenuados ao chegarem na base de BGS.

Figura 5 - Pavimento invertido



Fonte: DNIT, 2006

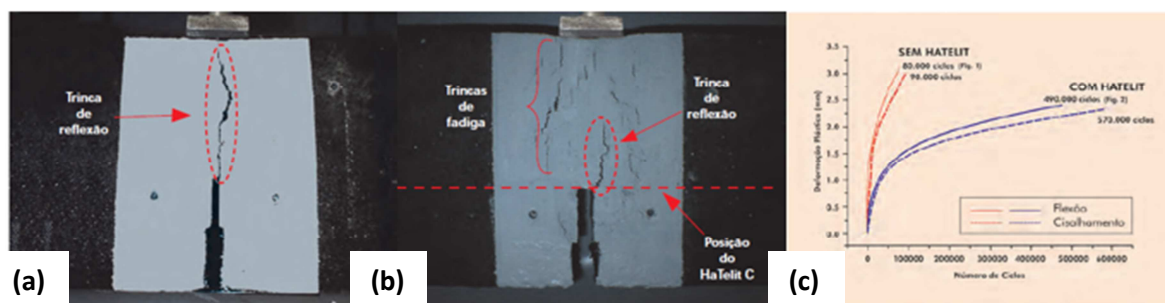
4.1.6 Geossintéticos

Geossintéticos são integrantes dos SART (Sistemas Anti-Reflexão de Trincas), que combinam técnicas apuradas e de simples aplicação, mas com custos iniciais elevados, que podem inviabilizar sua implantação; entretanto com garantia, eficiência e durabilidade garantidas. A exemplo de SART têm-se as Geogrelhas de Poliéster, cujos benefícios ultrapassam o impedimento das reflexões de trincas, pois atuam de duas formas: amentam, significativamente, a resistência à tração da camada de asfalto; e absorvem uma porção significativa das tensões horizontais na camada de asfalto, assegurando uma distribuição uniforme da tensão numa área maior, levando à redução dos picos de tensão e dos riscos de sobrecarregamento da camada asfáltica.

A aplicação deve se restringir apenas aos locais afetados pelas trincas, pois, aplicar em toda extensão do pavimento seria demasiadamente oneroso.

Dentro do programa de doutorado do Eng. Guillermo Montestruque Vilchez, desenvolvido no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), foram estudadas as influências de vigas de concreto asfáltico com e sem Geogrelha de poliéster como camada intermediária a fim de verificar os mecanismos de propagação de trincas. Deste modo, foram realizados ensaios simulando carregamentos cíclicos para provocar trincas de reflexão. Nas vigas sem a Geogrelha, a trinca de reflexão surgiu após poucos ciclos de aplicação de carga. Sua ascensão ocorreu rapidamente e de forma vertical (Figura 6a). O ensaio foi finalizado com a ruptura das vigas, ao redor de 80.000 ciclos. Nas vigas reforçadas com HaTelit C®, a ascensão vertical da trinca de reflexão foi interrompida e, após vários ciclos de carga e descarga, um novo padrão de trincamento foi observado: microfissuras foram surgindo de forma aleatória, associadas à própria fadiga da massa asfáltica (Figura 6b), independente do mecanismo de reflexão e pôde-se, então, concluir que a Geogrelha impediu a propagação das trincas subjacentes, comprovando que a sua presença como camada intermediária teve um efeito significativo no aumento da vida útil da nova camada asfáltica (Figura 6c).

Figura 6 – Comportamento do pavimento com ou sem o uso de geossintéticos



Fonte: Vilchez, 1996

6a – Sem Geogrelha: Propagação rápida da trinca de reflexão.

6b – Com Geogrelha: Trinca e reflexão interrompida, surgimento de micro trincas por fadiga no concreto asfáltico.

6c – Curvas de Fadiga.

Neste contexto, as Geogrelhas de Poliéster se destacam dentre as técnicas por ser de aplicação simples, qualidade e garantia (Permanece em bom estado, sem trincas, por longos anos, segundo o Manual HaTelit®: Pavimentos sem trincas-Huesker®). Alguns dos aspectos que explicam a qualidade e garantia das Geogrelhas são os elevados graus de: Aderência com

camadas asfálticas; Resistência ao cisalhamento das camadas asfálticas; Módulo de elasticidade (compatível com o concreto asfáltico); Resistência ao carregamento cíclico; Estabilidade térmica; Facilidade na aplicação. As Geogrelhas ainda atendem a necessidade de reparar os pavimentos trincados, por ocasião das reflexões de trincas, sem ter que refazer camadas inferiores. Sendo assim, atua de modo, tanto a combater o fenômeno, como de restaurar, caso o dano já tenha se concretizado. Além disso, caso seja necessária a restauração de um pavimento já reforçado com Geogrelhas, nenhum procedimento especial é necessário, pois, a mesma pode ser fresada juntamente com o asfalto e ser normalmente reutilizado graças ao ponto de fusão do poliéster (Cerca de 250°C).

5 AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS

Uma via adequadamente projetada deve sempre levar em consideração aspectos funcionais e estruturais para que a qualidade seja garantida.

Ao se avaliar questões funcionais, está se avaliando as características superficiais do pavimento, ou seja, avalia-se os aspectos imediatamente percebidos pelos usuários e como o conforto do rolamento influencia na qualidade do mesmo, como por exemplo: defeitos e irregularidades que causam desconforto ao se trafegar. O desconforto do usuário também significa desconforto do automóvel, refletindo em prejuízos financeiros relacionados à manutenção dos automóveis, tempo de viagem, consumo de combustível, consumo de pneus etc. Assim, garantir aspectos funcionais num pavimento significa economia nos custos de transporte. A fim de avaliar a qualidade das rodovias foi criada a escala de VSA (Valor de Serventia Atual).

A Norma DNIT 009 (2003d, p. 2) refere-se ao valor de serventia atual como: “A capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego”. Deste modo, o VSA é dado a partir de uma escala numérica compreendida de 0 a 5, composta pelas médias de notas atribuídas ao trecho pelos avaliadores, que julgam o conforto de rolamento do trecho em questão. A escala de VSA pode ser melhor compreendida visualizando a figura 7.

Figura 7 - Escala de VSA

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Ótimo	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Bernucci et al. 2006

Em geral, o VSA é maior logo após a construção do pavimento, quando executado adequadamente, não sendo possível, na prática, condições perfeitas (VSA=5), porém, com o decorrer do tempo, através dos fatores tráfego e intempéries, o VSA diminui. (BERNUCCI et al., 2006, p.404).

As trincas de reflexões advindas da BGTC, quando não tratadas previamente, se propagam rapidamente, diminuindo o VSA. A reflexão, vista do modo funcional se dá através dos ciclos de passagens de automóveis que estimulam o estado de deterioração do pavimento, ou seja, a superfícies sofrem alterações que afetam diretamente a funcionalidade do pavimento, abrindo caminho para que aspectos estruturais sejam afetados.

Segundo Bernucci e outros (2006, p. 442):

A avaliação estrutural [...] está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculada diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes.

Neste contexto, uma trinca de reflexão pode causar inicialmente defeitos funcionais que, com o decorrer dos ciclos de passagem dos veículos, podem se agravar. Ao subirem para as superfícies dos pavimentos as trincas abrem caminho para ações do intemperismo e facilitam a ação da temperatura provocando danos mais severos, podendo ocasionar, se não tratados adequadamente, deformações permanentes que afetam a estrutura do pavimento.

6 ALTERNATIVAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS TRINCADOS

As técnicas de restauração devem, primariamente, passar por estudos para se avaliar se as trincas apresentam defeitos funcionais ou estruturais.

6.1 Tratamento para defeitos funcionais

Quando os defeitos são superficiais, de ordem funcional, as técnicas tendem a ser mais simples e, conseqüentemente, mais baratas.

Na ocasião de trincas isoladas, segundo Bernucci e outros (2006), a mesma deve ser tratada por selagem, seguindo os seguintes passos: a) Abertura da trinca para selagem e limpeza; b) Aplicação de produto selante; c) Aplicação de cal para proteção, caso se aplique uma nova camada de revestimento asfáltico; d) impermeabilização através de revestimento asfáltico – Lama asfáltica.

Bernucci e outros (2006), ainda afirma que as técnicas usuais que podem ser combinadas para o eficiente tratamento de trincas interligadas, em geral são: Fresagem superficial; Reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina; Tratamento superficial por penetração; Microrrevestimento asfáltico a frio; e Camada porosa de atrito (CPA).

Fresagem superficial: Processo mecânico a frio, cujo objetivo é cortar superficialmente a camada degradada sem atingir camadas inferiores estáveis. É importante que as camadas inferiores, as fresadas, tenham superfície aparentemente uniforme, entretanto os defeitos não corrigidos pela fresagem poderão ser sanados pela Reperfilagem.

Reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina: Tem a função de corrigir pequenas deformações de camadas, promovendo a selagem das fissuras existentes, utilizando massa asfáltica de graduação fina. Sempre deve ser utilizada após processo de fresagem.

Tratamento superficial por penetração: Funciona como uma barreira no processo de reflexão das trincas. É aplicado inicialmente o ligante seguido do espalhamento imediato de agregados e posterior compactação. Caso seja necessário mais de uma camada, sempre deve se iniciar pela aplicação do ligante.

Microrrevestimento asfáltico a frio: Aplicação simplificada e fácil, dispensando a compactação; cura rápida. Corrige rugosidade fornecendo um pavimento antiderrapante, impermeável e durável.

Camada porosa de atrito (CPA): Última camada do revestimento, cujo objetivo é dar mais aderência ao pavimento, principalmente em dias chuvosos. Por conta de sua porosidade elevada funcionam como camada drenante, impedindo a formação de lâminas d'água na superfície de rolamento, conduzindo a água até que alcance as sarjetas.

A combinação das técnicas em função dos defeitos funcionais identificados nos pavimentos quando há presença de trincas interligadas, estão dispostas no quadro 1.

Quadro 1 - Técnicas de tratamento para defeitos funcionais

TÉCNICAS DE TRATAMENTO PARA DEFEITOS FUNCIONAIS - TRINCAS INTERLIGADAS					
DEFEITOS \ TÉCNICAS	Fresagem superficial	Reperilagem com concreto asfáltico tipo massa fina	Tratamento superficial por penetração	Microrrevestimento asfáltico a frio	Camada porosa de atrito
Fissuras refletidas de grau leve e impermeabilização ineficiente				X	X
Trincamento de grau elevado com desagregação e condição de ação abrasiva acentuada pelo tráfego	X	X		X	
Trincamento de grau elevado com superfície de rolamento ineficiente em vias de alto volume de tráfego	X	X	X	X	
Trincamento de grau elevado com desagregação, aderência e escoamento superficial ineficiente.	X	X			X
Trincamento de grau elevado com desagregação; impermeabilização, aderência, escoamento e superficial ineficiente e alto volume de tráfego	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

6.2 Tratamento para defeitos estruturais

Quando os defeitos danificam a estrutura do pavimento, geralmente associado a fadiga da base, deve-se proceder técnicas que restabelecem ou incrementam a capacidade estrutural do pavimento. Neste sentido, o ideal é tratar as camadas existentes por fresagem profunda, adicionando novas camadas à estrutura.

Defeitos estruturais pedem total revisão do projeto. Em muitos casos o reforço estrutural dar-se após fresagem das camadas defeituosas e adicionando novas camadas com boa capacidade de carga.

Para Bernucci e outros (2006), os revestimentos utilizados como recapeamento têm em comum o emprego de cimentos asfálticos convencionais, modificados por borracha moída de pneus ou modificados por polímeros. São eles: Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ); Concreto Asfáltico Especial; Pré Misturado a Quente; SMA - Matriz Pétreo Asfáltica.

Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ): Mistura quente, em usina, de agregado mineral graúdo e fino, filler e ligante betuminoso.

Concreto Asfáltico Especial: É um CBUQ com adição de polímeros que o caracteriza como asfalto borracha.

O Pré Misturado a Quente: É um CBUQ sem controle, com características menos nobres. Não existe especificação rígida de projeto.

SMA – Matriz Pétreo Asfáltica: Granulometria maior com elevada interação grão/grão; grande volume de vazios, preenchidos por um mástique asfáltico composto por areia, fíler, ligante e fibras.

Comparamos o desempenho de cada tipo de revestimento, a partir de uma escala de 1 a 5, em que 1 equivale a “Insuficiente”, 2 = Ruim, 3=Razoável, 4=Bom e 5=Ótimo.

Com relação à rugosidade/aderência, somente o SMA apresenta desempenho ótimo (5). Já a impermeabilização, somente CBUQ especial atinge nível de desempenho ótimo. Para facilitar a drenagem superficial, o SMA é o mais indicado. O quadro 2, a seguir, apresenta de forma detalhada, essa comparação

Quadro 2 - Revestimentos utilizados como recapeamento para pavimentos com defeitos estruturais

REVESTIMENTOS UTILIZADOS COMO RECAPEAMENTO PARA PAVIMENTOS COM DEFEITOS ESTRUTURAIS				
REVESTIMENTOS DESEMPENHO	CBUQ	CBUQ Especial	Pré-Misturado a Quente	SMA
Rugosidade/Aderência	4	1	3	5
Impermeabilização	4	5	3	2
Facilita a drenagem superficial	4	1	4	5
Estabilidade elevada	5	4	4	4
Flexibilidade	4	5	3	2
Durabilidade	5	5	4	4

Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Conforme pode ser observado, cada revestimento apresenta vantagens e desvantagens e sua utilização vai depender dos objetivos a que se propõe. Por exemplo: Caso seja aplicado a Geogrelha de poliéster sob as camadas de base, pode-se implantar revestimento CBUQ, cujo desempenho está compreendido nas categorias “bom e ótimo”.

7 CONCLUSÃO

Os pavimentos semirrígidos são assim chamados por apresentarem bases cimentícias. Tais bases são excelentes alternativas quando se projeta pavimentos com capacidade de suporte elevada e não se tem disponível jazidas minerais suficientes, pois diminuem a quantidade de materiais pétreos. O grande problema das bases cimentícias é que a presença do cimento influencia diretamente, pois, caso tenha uma quantidade pequena o pavimento fica frágil e mais propenso a fadiga e caso a quantidade seja maior o pavimento tem comportamento semelhante ao concreto, estando propenso a retração; ambos os processos causam trincas que são refletidas nas camadas superiores até chegar ao revestimento.

As trincas refletidas, a depender de sua severidade, afetam diretamente a servicibilidade do pavimento e tratá-las torna-se fundamental.

As técnicas de prevenção devem ser planejadas ainda no projeto executivo da rodovia e não devem ser usadas isoladamente e sim combinadas. As principais técnicas são: Aumento da espessura da camada asfáltica, Camadas de dissipação, Camadas intermediárias (SAMI), Revestimentos asfálticos com ligantes modificados, Pavimentos invertidos, Geossintéticos. Dessas, destaca-se o Pavimento invertido e o uso dos Geossintéticos. A vantagem dos pavimentos invertidos é a mão de obra sem modificações significativas, diminuindo os erros de execução; entretanto, por necessitar aumentar as espessuras das demais camadas, não se torna usual pois as limitações de jazidas minerais é uma realidade. Os Geossintéticos garantem o impedimento praticamente total de trincas severas, entretanto seu alto custo, aliado com a necessidade de mão de obra qualificada deve ser avaliado.

Quando há falhas no processo de prevenção, faz-se necessário restaurar o pavimento danificado. Neste sentido, quando os defeitos são de ordem funcionais as técnicas podem ser combinadas, como por exemplo: Selagem de trincas, Remoção por fresagem, Reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina, Microrrevestimento a frio, Camada porosa de atrito, Tratamentos superficiais e etc. Quando os defeitos afetam a estrutura do pavimento o ideal é fresar toda camada que estiver danificada e tratar as camadas remanescentes com as técnicas de prevenção, adicionando novas camadas à estrutura. Os revestimentos ideais para pavimentos com probabilidade de trincamento refletido devem conter cimentos asfálticos convencionais, modificados por borracha moída de pneus ou modificados por polímeros.

Faz-se necessário estudos mais aprofundados na busca de baratear as técnicas de prevenção da reflexão, bem como a criação de novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 12262**: Execução de base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 2013.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 1982.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 2007.
- ARTERIS. **Especificação particular de serviço – BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento)**. São Paulo, SP, Brasil: 2015.
- BALBO, J.T. **Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos**. 1993. 181 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- BALBO J.T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos. 2007.
- BALBO J.T. **Britas graduadas tratadas com cimento: uma avaliação de sua durabilidade sob o enfoque de porosidade, tenacidade e fratura**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros/** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ADEBA, 2006.
- BOND Rosana. **História do Caminho de Peabiru: Descobertas e segredos da rota indígena que ligava o Atlântico ao Pacífico**. Rio de Janeiro: Editora Aimberê, 2009.
- BRASIL. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- BRASIL. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma 005/03 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia**. Rio de Janeiro: 2003.
- BRASIL. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma 009/03 - Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.
- Huesker®. Manual: **HaTelit C®: Pavimentos sem trincas**. São José dos Campos, SP: 2003.
- HUANG, Y.H. **Pavement Analysis and Design**. Nova Jersey, Estados Unidos da América: Prentice Hall, 2003.
- PARANA. Departamento de Estradas e Rodagens – DER. **Normas de pavimentação**. 2005.

PARANA. Departamento de Estradas e Rodagens – DER. **Norma de Pavimentos Flexíveis e Rígidos**. 2008.

RODRIGUES, Régis Martins. **Engenharia de Pavimentos**: parte I – projeto de pavimentos; e parte II – gerência de pavimentos. São José dos Campos: ITA, 2007. Apostila de curso.

VILCHEZ, Guillermo Montestruque. **Estudos de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos**. 142 f. 1996. Tese (Mestrado em Ciências de Infraestrutura de Transporte) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1996.