

IAG219-05-2013
GESTÃO DE RISCOS DE PROJETOS DE RESTAURAÇÃO DE
PAVIMENTOS
GESTIÓN DEL RIESGO DE LOS PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE
FIRMES

Amanda Helena Marcandali da Silva
Universidade de São Paulo
São Paulo – Brasil
amarcandali@usp.br

Liedi Legi Bariani Bernucci
Universidade de São Paulo
São Paulo – Brasil
liedi@usp.br

Edison Fernandes Polo
Universidade de São Paulo
São Paulo – Brasil
polo@usp.br

José Mario Cortes Chaves
Arteris SA
São Paulo – Brasil
jmariochaves@uol.com.br

Resumen

Restauración de firmes deteriorados menudo presentados como un todo controlado con parámetros de control especificadas con precisión, sin embargo, han visto una serie de fracasos, sin una investigación adecuada de los agentes causales, y después, sin los controles adecuados que impidan la recurrencia.

La estructuración del proceso de toma de decisiones en materia de indicación de los procedimientos eficaces para la restauración de pavimento establece el orden racional y secuencial para la aprobación de proyectos que pueden satisfacer todos los criterios necesarios para la ejecución de plantas resistentes.

Fases de la identificación del problema y el diagnóstico de la situación deben ser considerados con mayores consecuencias, dado que las causas de los problemas encontrados pueden guiar con mayor precisión la técnica necesaria para la corrección.

En secuencia definida en el proceso de decisión, el paso de alternativas generadoras está directamente relacionada con el diagnóstico correcto como una opción para una alternativa simplificada se puede realizar mediante el análisis de las ventajas y desventajas de cada solución propuesta.

El documento propone una matriz de soporte para detallar los pasos necesarios para la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados. La matriz se evalúa desde la perspectiva de un estudio de caso de deterioro temprano de pavimento semi-rígida en carretera de alto tráfico.

Resumo

A restauração de pavimentos deteriorados frequentemente se apresenta como uma situação integralmente controlada, com parâmetros de controle especificados com exatidão, contudo, têm se observado uma série de insucessos, sem adequadas investigações dos agentes causadores, e posteriormente, sem controles adequados que possam impedir reincidência.

A estruturação do processo de tomada de decisão na indicação de procedimentos eficientes para a restauração de pavimentos estabelece ordem racional e sequencial para a adoção de projetos que possam atender a todos os critérios necessários para a execução de pavimentos duráveis.

As fases de identificação do problema e de diagnóstico da situação devem ser consideradas com maiores implicações, tendo em vista que as causas dos problemas encontrados pode nortear mais precisamente a técnica necessária para a correção.

Em sequencia definida no processo decisório, a etapa de geração de alternativas está diretamente relacionada ao diagnóstico correto enquanto a escolha por uma alternativa pode simplificadaamente ser realizada por meio da análise de vantagens e desvantagens de cada solução proposta.

O trabalho propõe uma matriz de suporte para o detalhamento das etapas necessárias para a reabilitação de pavimentos asfálticos deteriorados. A matriz é avaliada sob a perspectiva de um estudo de caso de deterioração precoce de pavimento semirrígido em rodovia de alto tráfego.

OBJETIVOS

Este trabalho se propõe a avaliar as decorrências do processo de decisão para a reabilitação de pavimentos rodoviários deteriorados, de modo que um sistema simplificado sequencial possa ser alimentado com informações necessárias para que as alternativas de restauração propostas encontrem aplicabilidade adequada às condições de contorno verificadas.

A ferramenta administrativa relativa ao processo decisório é apresentada como mecanismo de gerência das informações concernentes à restauração, propiciando análises mais completas, e decisões estrategicamente direcionadas, congruentes para otimização de recursos e durabilidade dos trabalhos.

Entre os objetivos desta pesquisa, está a proposição de uma matriz estratégica fundamentada em uma sequencia lógica para a correta identificação e diagnóstico de problemas, e pela definição de alternativas com caráter assertivo que possam ser monitoradas para a gestão de desempenho das práticas implementadas.

JUSTIFICATIVA

Os projetos propostos para a restauração de pavimentos são usualmente baseados em experiências dos projetistas, considerando apenas as características técnicas mais elementares acerca do conhecimento dos materiais disponíveis; entretanto, diversos fatores tem influência direta nos trabalhos de restauração de pavimentos, dentre os quais se destacam o tipo de pavimento existente bem como as características das camadas que o compõe, o tipo e volume de tráfego incidente e as condições do sistema de drenagem. A partir destas informações pode-se verificar o cenário em que o projeto deve atuar.

As avaliações sobre o pavimento existente deteriorado, no entanto, são frequentemente descartadas, apesar de fornecer informações sobre o tipo de defeito que acomete o pavimento, indicando o principal mecanismo de falência a que este esteve sujeito. As análises podem indicar ainda, com maior precisão, quais camadas se encontram comprometidas.

Embora os projetos sejam realizados considerando levantamentos de condições estruturais e de condições funcionais, investigações mais específicas podem, por exemplo, indicar se um pavimento semirrígido com a camada cimentada trincada, apresenta essas condições por (i) fadiga típica de materiais cimentados após o período de vida útil previsto, (ii) fadiga por espessura insuficiente (de revestimento ou da própria camada cimentada) para resistir à vida útil prevista, (iii) baixa capacidade de suporte das camadas de fundação, dentre outras possíveis causas.

Deste modo, a estruturação do processo que subsidia a adoção de uma alternativa representa uma etapa crucial, fornecendo um padrão esquemático a ser preenchido, garantindo que o maior número de informações sejam contempladas nos projetos.

A implantação de um sistema organizado para facilitar o processo decisório se baseia essencialmente nas ferramentas da administração que se destinam a este fim, seguindo um processo lógico de (i) identificação dos problemas, (ii) diagnóstico, (iii) geração de alternativas e (iv) avaliação e escolha de uma alternativa. O monitoramento da alternativa adotada fortalece o processo decisório, abastecendo novas situações com resultados estatísticos para a resolução de problemas.

PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS

A restauração de pavimentos asfálticos constitui um importante e difícil sistema de ponderação dos fatores que influenciam a qualidade dos trabalhos e daqueles que provocam a deterioração dos pavimentos. Muitas dificuldades estão principalmente relacionadas à determinação do tráfego atuante e do dano causado somado aos efeitos das condições climáticas, fatores estes, de difícil precisão e controle. Apesar das dificuldades na associação dos danos a estes agentes causadores, previamente à construção de uma estrutura de pavimento, pode-se após a incidência dos defeitos, se identificar mais facilmente os impactos destes e de outros fatores construtivos.

Dentre os principais fatores associados à deterioração dos pavimentos encontram-se aqueles relativos (i) ao tráfego, incluindo volumes de veículos, carga por eixo, configuração de eixos, pressão de enchimento de pneus, tempo de aplicação de carga; (ii) às propriedades dos materiais e características das camadas, tais como distribuição granulométrica, teor e tipos de ligantes utilizados, espessura das camadas, comportamento mecânico estimado em projeto; (iii) ao clima, tais como precipitação, nível de lençol freático, existência e operação dos dispositivos de drenagem; e (iv) ao nível de manutenção e presença de irregularidades na pista.

É comum para a restauração de pavimentos, a adoção de procedimentos simplificados de análise, pautados nos resultados de medidas de deflexão e de quantificação de defeitos superficiais. A partir dos dados mencionados, estima-se as características de rigidez das camadas que constituem os pavimentos.

Os métodos de projeto comumente utilizados são empíricos, formulados a partir de análises de dados de desempenho em campo, e extrapoladas estatisticamente para condições distintas das originais. Os métodos empírico-mecanicista se utilizam de calibrações a partir de respostas estruturais obtidas no desempenho observado em campo, com base na Teoria da Elasticidade, usada na mecânica dos pavimentos. Os métodos puramente mecanicistas associam um modelo teórico para previsão de tensões e deformações ao processo de deterioração verificado especificamente para as condições de aplicação e compatibilizam com as propriedades resistentes dos materiais, sendo este o método com maior confiabilidade, contudo de maior complexidade.

O efeito danoso dos veículos de carga nos pavimentos deve ser contemplado nos métodos de projeto de pavimento, contudo, diante das dificuldade em se correlacionar o tráfego atuante ao dano causado, os projetos têm se mostrado pouco assertivos na previsão de desempenho. O método de projeto de pavimentos flexíveis em vigor no Brasil define espessuras necessárias para que não ocorra (i) ruptura por tensões verticais no subleito/ reforço de subleito, (ii) fadiga da camada asfáltica de revestimento por tensões de tração na fibra inferior desta, (iii) fadiga da camada cimentada de base/ ou sub base, por tensão de tração na fibra inferior e (iv) fadiga estrutural por deflexões no topo do revestimento.

Convém mencionar entretanto, que os danos verificados nos pavimentos podem ser fruto da falência combinada dos mecanismos de danos mencionados, sendo influenciado de modo aleatório por cada fator, sendo fundamental a investigação do processo de acúmulo de defeitos.

MATRIZ ORGANIZACIONAL

A definição da matriz proposta na tabela 1, se fundamentou em dois princípios elementares: (i) associação frequente de defeitos oriundos nas etapas de identificação do problemas e de diagnóstico, e (ii) facilidade na obtenção das informações necessárias, considerando dificuldades para interrupção no tráfego e nos custos relacionados à realização de ensaios detalhados.

As fases de identificação dos problemas e de diagnóstico são dependentes e complementares entre si, de modo que os itens do diagnóstico podem indicar os tipos de defeitos, da mesma forma que a identificação dos problemas indica compulsoriamente o diagnostico adequado.

A geração de alternativas é permeada pelos conceitos que integram os métodos de projeto vigentes, considerando planos de ação integrados em sistemas de gerência de pavimentos, que considera fatores como manutenção de conserva, durabilidade, intervenções programadas e custos relacionados para a constância das características de conforto ao rolamento, limitando-se ainda deficiências nas condições estruturais.

A matriz pode ser flexibilizada de acordo com características específicas de pavimentos avaliados, sem contudo se alterar a função primordial proposta dentro das etapas do processo decisório. A sequência lógica, definida na matriz deve ser avaliada também sob a perspectivas dos riscos associados à cada etapa.

Tabela 1 – Matriz organizacional como ferramenta no processo decisório

<i>Etapas do processo</i>	<i>Parâmetros de análise</i>	<i>Questionamento</i>
Identificação dos problemas	<i>Defeitos funcionais</i>	Trincamento
		Deformações
		Textura superficial
	<i>Deficiência estrutural</i>	Bacias de deflexão
	<i>Drenagem</i>	Bombeamento de finos
		Velocidade de escoamento superficial
Diagnóstico	<i>Estrutura existente</i>	Espessura das camadas
		Integridade das camadas
		Materiais constituintes
		Capacidade de suporte da fundação
	<i>Condição climática</i>	Chuva
		Temperatura
	<i>Histórico de manutenção</i>	Defeitos
		Frequência
		Tipo de reparos
	<i>Traáfego atuante</i>	Composição do tráfego
		Volume diário médio
	<i>Deflexão admissível</i>	Comprometimento estrutural
	<i>Índice de Gravidade Global</i>	Comprometimento funcional
Geração de Alternativas	<i>Horizonte de projeto</i>	Durabilidade
		Intervenções programadas
	<i>Dificuldades operacionais</i>	Pista simples, pista duplicada,
		transito local,
		acessos,
	<i>Projeto de pavimentos</i>	disponibilidade de material
		Limitação de greide
		Técnicas disponíveis
	<i>Recursos disponíveis</i>	Custos de cada alternativa
Seleção de Alternativa	<i>Vantagens</i>	Operacionais
		Custos
		Riscos
	<i>Desvantagens</i>	Operacionais
		Custos
		Riscos

ESTUDO DE CASO

O pavimento flexível construído originalmente em uma rodovia de alto tráfego apresentou limitações de desempenho, sendo indicada sua substituição por pavimentos com camada de base cimentada, mais adequadamente destinados a vias de elevado tráfego. A rodovia foi submetida à intervenção em 2010, com execução de pavimentos semi-rígidos, dados os incrementos estruturais propiciados pela presença da camada cimentada de base.

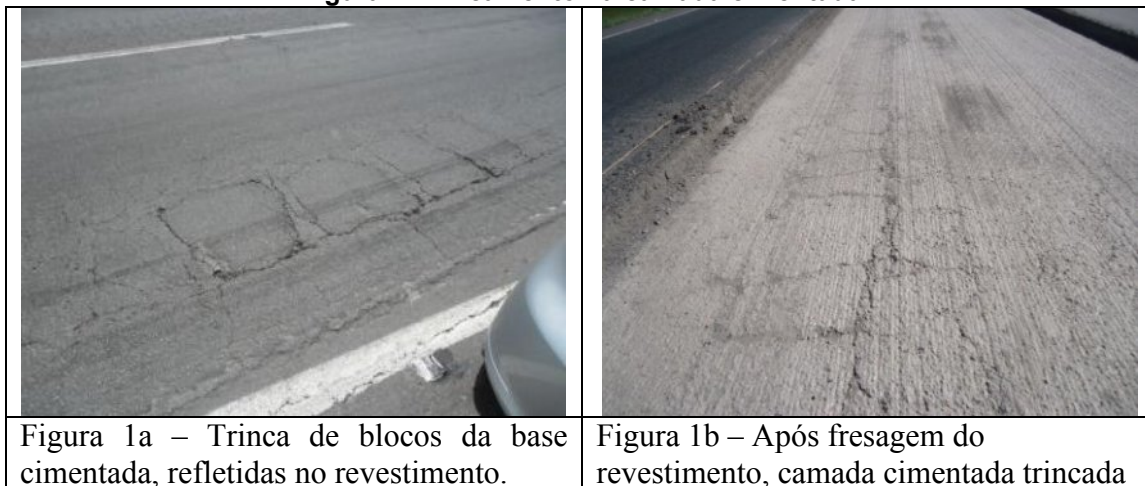
A determinação da espessura de 20 cm da camada de reciclada com cimento seguiu especificação brasileira do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes - DNIT, tendo sido protegida por camada de 8 a 12 cm de revestimento asfáltico convencional, atendendo ao horizonte de projeto de 6 anos. O processo de restauração foi projetado com base em levantamento das condições deflectométricas medidas por equipamento Falling Weight Deflectometer – FWD, levantamento das condições de irregularidade e ainda por avaliações acerca das características geométricas da via, características dos materiais existentes nas camadas do pavimento a partir da abertura de 20 poços de inspeção, condições de segurança, drenagem e condição climática.

O projeto atende corretamente os métodos de projeto vigentes em normatização brasileira, sendo: (i) DNER PRO 269/1994, (ii) DNER PRO 159/1985, (iii) Método do DNER/1966 – Murillo Lopes de Souza e (iv) Método Mecanístico – Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT/2006, sendo compatibilizadas as estruturas resultantes de cada método para adoção da solução mais conservadora. A base granular existente foi avaliada em laboratório, por meio de ensaios de granulometria (DNER 083/1998), teor de umidade (DNER 196/1998) e abrasão Los Angeles (DNER 035/1998). Os resultados indicaram que o agregado tinha condições adequadas para ser utilizado no processo de reciclagem com incorporação de cimento Portland.

A produção da mistura reciclada foi balizada pela Especificação Técnica de Reciclagem de Pavimento Asfáltico In Situ com Cimento e Brita (DER ET-DE-P00/035 - 2006), atendendo a todos os critérios definidos, além de especificações internas da concessionária, com parâmetros nunca inferiores às especificações nacionais. O teor de cimento definido na etapa de dosagem foi de 4%, alcançando as resistências de tração e compressão estabelecidas no projeto estrutural. Para a definição das resistências e características de rigidez da mistura, foram atendido os valores propostos para camadas de Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC, conforme especificação do DER/PR ES-P 16/2005.

O procedimento executivo foi realizado com equipamento de reciclagem ‘in situ’ com a capacidade necessária para homogeneizar a mistura de agregados fresados, água e cimento Portland, oferecendo a vantagem de assegurar o período de 3 horas entre a distribuição de cimento e água e a compactação. A distribuição de cimento se deu por meio de caminhão-silo, enquanto o fornecimento de água ocorre através do equipamento reciclador, com controle digital. A compactação foi realizada em uma única camada, por rolos corrugados vibratórios. O pavimento restaurado teve, contudo, durabilidade insignificante comparado com a expectativa de vida, apresentando problemas precoces de trincamento, afundamentos em trilha de rodas e aumento de deflexão, com evidente falência da camada cimentada por trincamentos, que por sua vez, se refletiram para a camada asfáltica, tal como esperado para pavimentos semi-rígidos ao final da vida de fadiga, tal como se verifica nas figuras 1a e 1b.

Figura 1 – Tricamento na camada cimentada



A deterioração acentuada foi atribuída ao excesso de peso estimado, tendo em vista que a via não tem disponível nenhum tipo de controle de carga, e que não é possível prever a extensão de tal ilegalidade. O trecho não tem praça de pedágio próxima que aponte a contagem do tráfego real, sendo estimado por processo sistemático de contagem volumétrica e classificatória.

Diante dos defeitos observados e dos fatores de difícil estimativa, foram definidos parâmetros mais conservadores para uma nova intervenção, com a implantação de pavimento com elevadas espessuras de material cimentado e novas camadas de revestimento asfáltico. Procurou-se limitar as tensões de tração atuantes na camada cimentada, ampliando sua vida de fadiga e, portanto, a durabilidade do pavimento. Diferentes medidas foram identificadas para cumprir o objetivo de combater as tensões atuantes na fibra inferior da camada cimentada: (i) aumento da espessura da camada cimentada, (ii) controle da deformabilidade das camadas subjacentes à camada cimentada e, (iii) aumento das características de rigidez da própria camada.

O aumento da espessura de material cimentado compactado em única camada, promove a redução das tensões de tração na fibra inferior da camada, pelo efeito mecânico do momento de inércia, no qual a altura (espessura) é um fator elevado ao cubo, sendo portanto, ampliada a resistência ao movimento, limitando a flexão da camada. O comportamento da camada cimentada é também afetada diretamente pela capacidade de suporte das camadas de fundação subjacentes.

Tendo em perspectiva o incremento de vida útil, o projeto contempla o aumento na espessura, aumento da resistência e limitação da deformabilidade da sub-base/ subleito. Possibilitando a investigação das condições das camadas subjacentes na sua totalidade, e não por amostragem, no intuito de combater eventuais deficiências provenientes destas camadas, o processo de reciclagem adotado foi alterado para preparação da mistura em usina, com processamento de todo o material fresado. As análises foram realizadas em segmentos considerados homogêneos, com base nas condições funcionais e estruturais. Foram definidos parâmetros de controle para a execução, sendo limitados nas camadas de sub-base e subleito, níveis deflectométricos máximos. O procedimento executivo para a restauração do pavimento, contempla desta forma, a avaliação detalhada de todos os segmentos; a abertura de poços de inspeção se mostrou insuficiente para a caracterização precisa das condições das camadas de fundação, dificuldade que norteou a

definição do processo de reciclagem em usina, com retirada de 100% do material de revestimento e de base fresados.

A definição pela espessura de 25 cm também foi resultante da alteração no processo executivo, pois apesar da identificação dos ganhos atribuídos ao aumento da espessura para 30 cm, dificuldades operacionais poderiam comprometer a execução, dada a redução na produtividade da compactação das misturas em uma única camada, aumentando o tempo necessário para a compactação, podendo interferir no tempo limite de 3 horas após a incorporação do cimento. Deste modo, definiu-se pela espessura padrão de 25 cm, que por sua vez, também representa expressivo incremento na vida útil da camada cimentada. A espessura de 30 cm permanece como opção viável em segmentos de menor extensão, respeitando os limites deflectométricos estabelecidos.

A sequência executiva demandada para garantir a qualidade da execução, impõe a avaliação da deflexão em todas as camadas, limitando especificamente o nível deflectométrico sobre a sub-base e subleito. Durante a avaliação da camada de sub-base, além da deflexão dever ser observadas as condições de integridade da camada granular existente e a presença de umidade excessiva. O subleito deve ser avaliado sob a mesma ótica, com avaliações sobre o tipo de solo existente (CBR e expansão), além da umidade local.

A figura 2a mostra que durante a investigação das condições da sub-base, foram identificados diversos segmentos com cravação do material granular na camada de subleito, reduzindo assim a espessura, a resistência e o confinamento da camada granular. O excesso de umidade existente na camada de sub-base também foi identificado na camada de subleito, parte do qual contava com a presença de saibro expansivo, susceptível à variação de umidade, e inadequado para uso na pavimentação.

Figura 2 – Umidade na camada de subleito

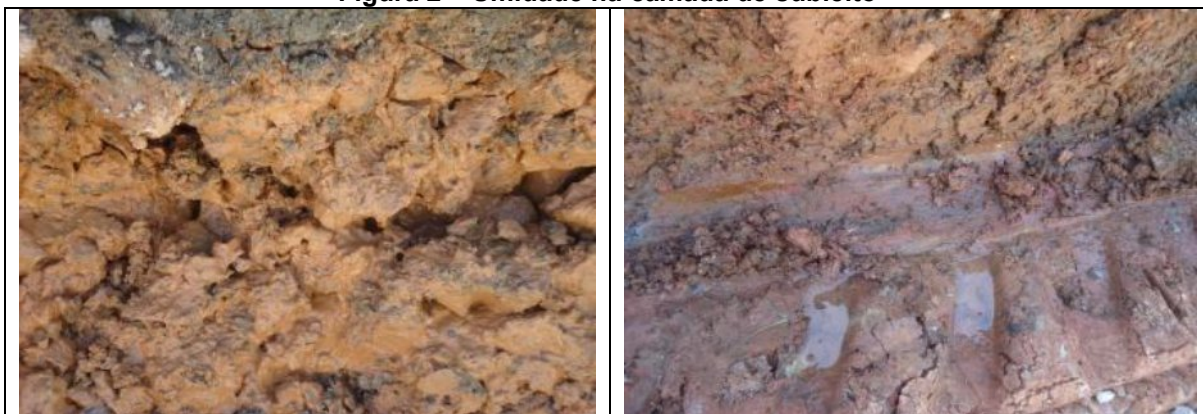


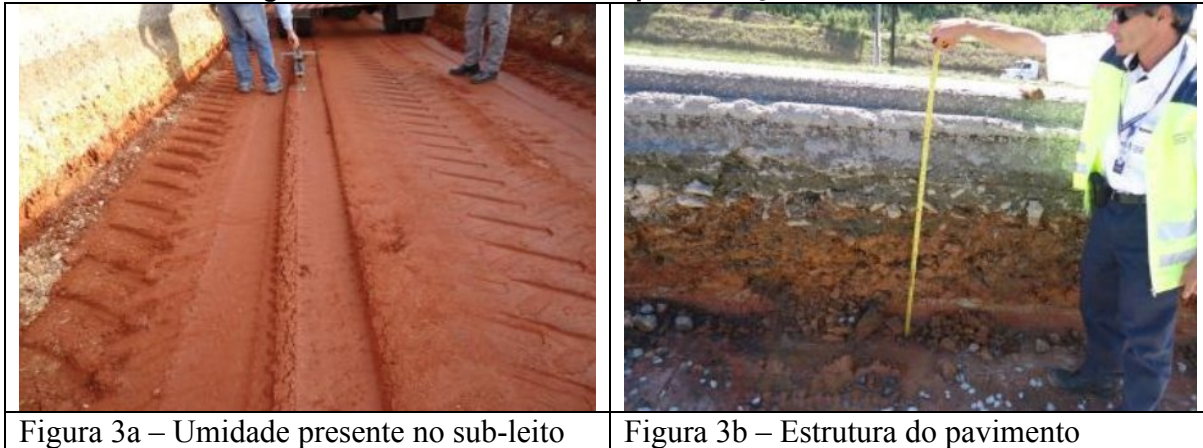
Figura 2a – Cravação de material granular no solo do subleito.

Figura 2b – Umidade excessiva presente no sub-leito.

Em virtude da limitação do nível deflectométrico, a instrução prevê a substituição das camadas deficientes, por camada de macadame seco, adequadamente travado, em espessura suficiente para garantir estabilidade e correção da deflexão, ampliando a capacidade de suporte das camadas de fundação. A presença de umidade excessiva está sendo combatida com a inserção de drenos com declividade pronunciada. Apesar de esperadas eventuais substituições ou tratamento das camadas existentes de subleito e sub-base em pontos localizados, previstos pelo levantamento

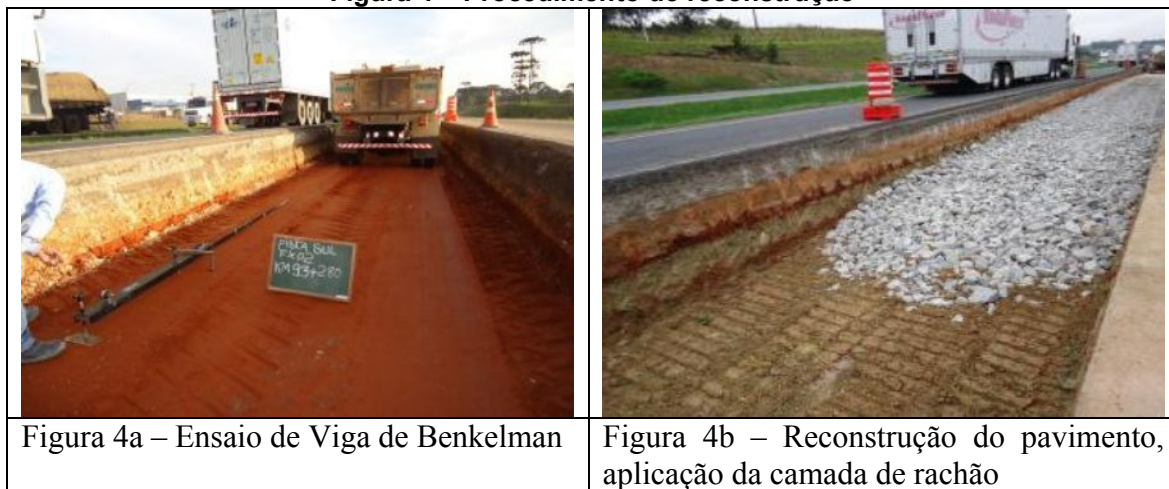
deflectométrico com FWD, as condições existentes se mostraram como via de regra, muito aquém do requerido, impondo a substituição de grandes espessuras de material existente por macadame, conforme apresentado nas figuras 3a e 3b.

Figura 3 – Estrutura existente após remoção das camadas



A exigência da substituição do material existente por espessuras elevadas é definida pelo levantamento de deflexão com Viga Benkelman, realizado sempre após a regularização da camada, conforme apontado nas figuras 4a e 4b.

Figura 4 – Procedimento de reconstrução



Os dados apresentados evidenciam que a investigação dos agentes causadores dos defeitos verificados poderia ter norteado adequadamente o processo de restauração desde o princípio, indicando a falência das camadas de fundação. O processo decisório aplicado ao problema verificado, teria indicado também que a recuperação parcial, com tratamento exclusivo da camada de base, não configurou como alternativa adequada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração de pavimentos proposta em projetos que se baseiam exclusivamente nos métodos de dimensionamento vigentes não tem se mostrado suficiente, conduzindo a diversos insucessos,

que implica em retrabalho, com custos e dificuldades operacionais associados. Os problemas podem ser minimizados com a adoção de um sistema lógico e simplificado, para verificação dos defeitos existentes e dos agentes causadores.

O processo decisório, como ferramenta de gestão dos parâmetros de projeto representa um sistema eficiente de auxílio na determinação de alternativas de restauração viáveis e adequadas, reduzindo os riscos inerentes ao processo de reabilitação de pavimentos asfálticos. A matriz organizacional proposta neste trabalho procura contemplar os principais fatores envolvidos na deterioração dos pavimentos, impondo uma sistemática para a correta identificação dos defeitos, não se limitando aos levantamentos visuais contínuos e medidas de deflexão, sugeridos em métodos de projetos. A matriz acrescenta a fase de diagnóstico na etapa de projeto, que costuma ser automatizada, baseada somente nos levantamentos normatizados mencionados.

Com esta matriz organizacional, a identificação correta dos defeitos existentes e dos fatores de maior impacto na ocorrência destes, implica de modo mais acertado na geração de alternativas de restauração adequadas, tanto do ponto de vista técnico, quanto no que se refere aos custos relacionados. O procedimento de investigação proposto, embora seja mais extenso e conseqüentemente mais custoso, também oferece maior credibilidade ao projeto de restauração, reduzindo os riscos na adoção de medidas insuficientes de correção de defeitos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Arteris S.A. pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- DNER PRO 269 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – TECNAPAV. 1994.
- DNER PRO 159 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Projeto de restauração de pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. 1985.
- Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2006.
- DNER 083 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio – Agregados – análise granulométrica. 1998.
- DNER 196 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio –Agregados – determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. 1998.
- DNER 035 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio –Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. 1998.
- DER ET-DE-P00/035 – Departamento de Estradas de Rodagem – Especificação técnica – Reciclagem de pavimento asfáltico in situ com cimento e brita. 2006
- DER/PR ES-P 16 – Departamento de Estradas de Rodagem – Pavimentação: Brita graduada tratada com cimento. 2005