

ANÁLISE METODOLÓGICA COMPARATIVA PARA SOLUÇÕES DE ANTEPROJETO DE PAVIMENTAÇÃO EM MELHORAMENTO DE RODOVIAS

Alexandre S. Ramalho

Alessandra C. Gosch

Hélio F. B. Thomaz

Cristhyano C. da Luz

Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná

Tennison Freire de Souza Junior

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

A rodovia federal BR-135/BA, no trecho entre Barreiras e São Desidério na Bahia, atualmente não atende à demanda de tráfego existente na região, e encontra-se em desacordo com os critérios geométricos e de segurança viária necessários ao pleno atendimento dos usuários da via. No ano de 2016 foi executado um Serviço de Manutenção com recapeamento do trecho, porém não foram executados ensaios de caracterização posterior, tendo sido apenas realizados ensaios dois anos antes da execução do serviço. Para adequação de classe e atendimento do tráfego atual, há necessidade de readequações do pavimento, tanto superficial quanto estruturalmente, entretanto não há disponibilidade de dados representativos da condição atual do pavimento. Assim, para tornar possível um dimensionamento de recuperação do pavimento já existente se utilizou um método de retroanálise da deflectometria. Um Anteprojeto de Engenharia foi elaborado para o trecho, envolvendo adequações de traçado e redimensionamento do pavimento, para o cumprimento das normativas referentes à classe e tráfego da rodovia. Foram orçadas três alternativas de anteprojeto de pavimentação, uma com a deflectometria atualizada pela retroanálise, uma sem atualização e outra de reconstrução total do pavimento. Observou-se que a utilização da retroanálise permitiu um dimensionamento mais econômico do que o dimensionamento de restauro sem a consideração da atualização do pavimento, e do que a reconstrução total.

Palavras-chave: anteprojeto, melhoramento, pavimentação, orçamento.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a solução técnica adotada pelo Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná (ITTI/UFPR), em termo de cooperação com o Departamento Nacional de Transportes (DNIT) para o dimensionamento de um anteprojeto de pavimentação em trecho de rodovia existente, no estado da Bahia. O trecho dimensionado é parte integrante da já existente BR-135, entre os municípios de Barreiras e São Desidério (km 179,9 a 205,8), com extensão de 25,9 quilômetros.

O trecho implantado não atende à demanda atual de tráfego existente na região, e encontra-se em desacordo com os parâmetros geométricos e critérios de segurança viária necessários ao pleno atendimento dos usuários da via. Apresenta ainda defeitos estruturais no pavimento que colocam em risco a estabilidade da via. Devido à falta de uma estrutura rodoviária adequada, a produtividade da região é limitada às condições da infraestrutura existente, fator que é de fundamental importância para viabilizar o avanço econômico e contribuir com a redução dos custos dos transportes e desenvolvimento dos municípios.

No ano de 2012 foram realizados ensaios de caracterização do tráfego e condições do pavimento, pela Diretoria de Obras e Cooperação do Exército Brasileiro, sendo utilizados para elaboração de um Projeto Executivo de adequação do trecho em questão. Segundo dados do referido projeto, as condições do trecho apontam a necessidade de readequações, tanto superficiais quanto estruturais. Entretanto, o projeto elaborado pelo Exército Brasileiro não recebeu aprovação pela Superintendência do DNIT responsável, e, portanto, não houve sua

implantação, continuando o trecho em suas condições originais. Em 2014, foram licitados Serviços de Manutenção Rodoviária (Conservação/Recuperação) que abrangeram o trecho em estudo, sendo concluídos em 2017. O Termo de Referência licitado, entretanto, não abrangeu a realização de ensaios de caracterização do pavimento. Desse modo, embora atualmente as condições de superfície pareçam satisfatórias, a segurança estrutural não foi verificada.

O ITTI/UFPR elaborou um Anteprojeto de Engenharia para o trecho, envolvendo adequações de traçado e redimensionamento do pavimento, de modo a garantir o cumprimento das normativas referentes à classe e tráfego da rodovia. Devido às alterações no eixo de projeto, a separação por segmentos homogêneos de soluções de pavimentação empregada pelo Exército Brasileiro não pôde ser utilizada, mesmo que os dados de levantamento de condições tenham advindo do projeto anteriormente realizado. Desse modo, foi elaborado um projeto levando em consideração o tráfego atual, as condições de superfície anteriores ao Serviço de Manutenção, e os levantamentos estruturais realizados pelo Exército Brasileiro. Para a atualização das condições estruturais do pavimento foi utilizado um método de retroanálise de bacias de deflexões por meio de módulos de resiliência equivalentes (NETTO, 2004).

Três soluções de projeto foram orçadas e comparadas para definição do pavimento. Das três alternativas, duas propostas consideram a manutenção do pavimento existente, sendo uma delas com atualização das condições estruturais por método teórico (Ivanov) e a segunda sem a consideração da manutenção realizada uma vez que não se dispõe de dados de ensaios que caracterizem a condição melhorada do pavimento atual. Tais dimensionamentos utilizam reforço estrutural pelo aumento da camada de revestimento asfáltico nos trechos possíveis, ou seja, onde não houve necessidade de alteração de traçado ou greide e o dimensionamento existente não requer reforço no subleito. Nestas alternativas, embora o pavimento original seja mantido, devido ao alargamento de plataforma (inerente à adequação de projeto geométrico) uma faixa adicional de dois metros será implantada na via atual, com dimensionamento de pavimento novo. A terceira alternativa orçada apresenta um dimensionamento para a totalidade do trecho estudado como um pavimento novo, devido à grande quantidade de segmentos a serem implantados ou reconstruídos e a inexistência de dados de caracterização da situação atual.

2. ESTUDOS E DIMENSIONAMENTO

O trecho em estudo teve seu projeto geométrico adaptado para o atendimento das características geométricas de uma rodovia Classe I-B, seguindo a classificação utilizada pelo Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1996). Foi necessária a adequação de curvas horizontais, superelevação e superlargura da pista, adequação de rampas e curvas verticais, resultando em cerca de 30% de alteração do traçado original. Alterou-se ainda a largura da plataforma no perímetro rural da rodovia, de 10 metros para 12 metros, a fim de adequar a largura do acostamento existente.

Para a determinação da alternativa de pavimentação mais adequada à situação do trecho, foram levados em consideração fatores relativos as áreas de projeto que venham a interferir no dimensionamento, seguindo-se o recomendado no Manual de Restauração de Pavimentos do DNIT (2006a). A situação do pavimento foi verificada pelas condições de superfície detectadas antes e depois da intervenção de manutenção; as características de tráfego foram determinadas pelo fluxo contabilizado em 2017; e a avaliação estrutural do pavimento baseou-se nos ensaios realizados pelo Exército Brasileiro em 2012, com atualização do ensaio de deflectometria e

reclassificação dos segmentos homogêneos para acomodação dos trechos de alteração de traçado ou greide de projeto.

Com relação à qualidade da pista de rolamento, em 2012 foram realizados ensaios de auscultação em campo com levantamento de irregularidade, estado da superfície do pavimento e deformações plásticas, resultando na definição do Índice de Gravidade Global do pavimento. Entretanto, com os serviços de manutenção realizados em 2016 e 2017, foi adicionada uma camada de CBUQ de 4,8 cm no trecho para regularização superficial. Não foram realizados ensaios de caracterização do pavimento após a execução do serviço. Em vista disso, as características de superfície atuais não condizem com a situação global do pavimento. Na indisponibilidade de dados representativos da condição atual do pavimento, a solução adotada pelo ITTI/UFPR para dimensionamento de recuperação com a consideração do melhoramento executado consistiu em aplicar o Método de Ivanov para retroanálise da resiliência do pavimento existente. Pode-se assim avaliar a espessura de revestimento necessário para adequar as condições do pavimento ao tráfego atual e futuro.

As características de tráfego foram determinadas seguindo-se a metodologia estipulada pelo Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006b), com a realização de uma contagem volumétrica classificatória do tráfego no trecho. Os dados de volume de tráfego adquiridos no posto de contagem instalado pelo ITTI no trecho estudado, foram processados e ajustados de acordo com as informações de tráfego disponíveis de postos permanentes já existentes (contagens classificatórias), os quais forneceram subsídios sobre os hábitos de transporte de carga regionais. Assim, houve a obtenção de resultados necessários e suficientes para a determinação dos Volumes Médios Diários (VMD) de tráfego no ano de contagem (2017) e suas projeções durante o período de vida útil de 10 anos do segmento (2018 a 2027); classificação da frota do tráfego existente no trecho da BR-135/BA, entre Barreiras e São Desidério; e cálculo do número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 toneladas (número N) durante o período de vida útil do projeto, utilizado no dimensionamento do pavimento. O número N foi calculado pelos métodos propostos pela *United States Army Corps of Engineers* (USACE) e pelo *American Association Standard Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Os fatores de veículos foram determinados em consonância com as normas brasileiras de tráfego rodoviário (BRASIL, 1997; CONTRAN, 2006, 2007), para obter-se a carga permitida por tipo de eixo, e os fatores de equivalência de carga dos métodos empregados (DNIT, 2006b).

Quanto à avaliação estrutural do pavimento existente, foram utilizados dados do ensaio de viga Benkelman realizado pelo Exército Brasileiro em 2012 com atualização da deflexão admissível para o número N calculado para o ano de projeto. Segundo Francisco (2012), a capacidade estrutural de um pavimento é estimada com base no estudo das deflexões, pois representa o comportamento estrutural de um pavimento, o qual é medido e verificado em campo através da atuação de uma carga padrão de 8,2 t, sendo assim possível se obter o módulo de deformabilidade de cada camada e do solo de fundação que constituem o pavimento. O levantamento por viga Benkelman utilizado para o dimensionamento foi realizado a cada 20 m de distância, resultando em linhas de influência das bacias de deformação medidas (DNIT, 2010). Os valores máximos de deflexão em bacias permitem observar a resposta do pavimento em termos de sua deformação sob ação de cargas (BALBO, 2016). A partir dos valores medidos de deflexões máximas por bacia, o trecho foi dividido em 12 segmentos homogêneos, com uma deflexão característica calculada por segmento.

Segundo Netto (2004), o módulo de resiliência de materiais que constituem um pavimento pode se determinado através de ensaios cíclicos, ou por retroanálises de bacias de deflexões, com vantagens sobre outros métodos como minoração da quantidade de ensaios destrutivos, módulos estimados para condições reais de campo, rapidez e menor custo. A literatura apresenta alguns autores que desenvolveram pesquisa para determinação do módulo de resiliência equivalente em pavimento a partir da análise das bacias de deflexão, alguns desses autores são: Alternaz et al (1996), Villibor et al (1995), Bernucci (1995). Murilo Lopes de Souza (1980), cita o método russo, ou de Ivanov, para o cálculo da resiliência equivalente.

Uma vez que os dados do levantamento deflectométrico realizado no trecho não correspondem a situação atual, devido ao Serviço de Manutenção executado e ao tempo decorrido desde a realização do ensaio, e não se dispondendo de dados de ensaios de campo para caracterização, optou-se comparar os dimensionamentos com a deflectometria inalterada e com atualização dos valores de deflexão por meio de uma retroanálise. Utilizou-se o método de Ivanov para atualização dos módulos de resiliência equivalentes e valores de deflexão.

Atualizados os valores de deflexão e módulos equivalentes, foram considerados dois métodos para o dimensionamento das alternativas de pavimentação: o “Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis”, denominado Método do DNER e o Método da Resiliência, ou TECNAPAV (DNER, 1981; DNIT, 2006a). Conforme apresentado o Manual de Restauração de Pavimentos do DNIT (2006), o Método do DNER se aplica à reconstrução de vias, criação de terceiras faixas, acostamentos e interseções. Seu uso no projeto em estudo, portanto é justificado, uma vez que se trata de um trecho de reconstrução e adaptação do acostamento. Segundo Balbo (2016), o método do DNER utiliza o Índice de Suporte Califórnia (ISC), apresentando como modo de ruptura o acúmulo de deformações plásticas causado pelos esforços de cisalhamento que ocorrem no subleito e nas demais camadas granulares do pavimento ao longo do período de projeto. O dimensionamento para a reconstrução total do pavimento considerou como um único trecho homogêneo a extensão total do traçado. Considerou-se o ISC médio do trecho, com valor de 3,8%. A camada de reforço foi dimensionada, portanto com 35,0 centímetros, a sub-base com 20,0 centímetros, a base com 15,0 centímetros e o revestimento com 13,0 centímetros.

Para a determinação das espessuras de reforço do pavimento existente utilizou-se o método DNER-PRO 269/94, denominado o Método da Resiliência, ou TECNAPAV. Esse método permite a consideração das propriedades resilientes de solos e materiais usualmente encontrados no Brasil, sendo fundamentado em modelos de fadiga de misturas betuminosas, no comportamento resiliente típico de solos finos e materiais granulares e no cálculo de tensões e deformações considerando a teoria da elasticidade não linear (DNIT, 2006).

O dimensionamento de recuperação adotado utilizou 11 segmentos, em função da divisão por segmentos homogêneos resultante da deflectometria e das alterações de traçado. O dimensionamento de cada segmento observou as medidas corretivas com base na caracterização da estrutura resultante da análise deflectométrica, para as duas alternativas de dimensionamento (deflectometria inalterada e atualizada por retroanálise).

O cálculo da altura efetiva do revestimento (hef) utilizou como base o ISC, o grau de fissuração, a altura média da camada granular, a altura média do revestimento existente, tipo de solo e a deflexão atualizada pela equação de Ivanov, de cada trecho como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensionamento de recuperação do pavimento com retroanálise

Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (m)	Dc (0,01mm)	FC-2 (%)	FC-3 (%)	Hcg (cm)	CBR (%)	Tipo de Solo	Dadm (0,01 mm)	he (cm)	hef (cm)	hef adotada (cm)	HR (cm)
0	155	3100	83,35	28	34	38	3,9	III	47,8	7,3	8,1	0	20
155	200	900	100,33	52	43	37	5,4	III	47,8	7,3	6,4	0	20
200	255	1100	97,86	48	4	37	5,4	III	47,8	7,3	6,6	6,6	11
255	350	1900	60,77	32	2	37	5,8	III	47,8	7,3	11,7	7,3	10
350	411	1220	44,34	32	0	34	12,7	III	47,8	7,3	16,6	7,3	10
411	443	640	83,22	64	6	37	13,0	III	47,8	7,3	8,1	7,3	10
443	696	5060	40,49	63	5	18	5,2	III	47,8	7,3	18,3	7,3	10
696	787	1820	91,11	62	4	32	9,8	III	47,8	7,3	7,2	7,2	10
787	867	1600	34,65	47	4	27	2,7	III	47,8	7,3	21,7	7,3	10
867	1092	4500	50,62	53	7	27	4,0	III	47,8	7,3	14,3	7,3	10
1092	1167	1500	34,42	59	11	28	3,1	III	47,8	7,3	21,8	7,3	10
1162	1295	2660	52,45	35	2	38	4,7	III	47,8	7,3	13,8	7,3	10

Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (m)	REF (cm)	SB (cm)	B (cm)	R (cm)	Intervenção
0	187	3740				20	Reforço+Ampliação
187	303	2320	35	20	15	13	Alteração no Greide
303	414	2220				10	Reforço+Ampliação
414	440	520	35	20	15	13	Alteração no Greide
440	535	1900				10	Reforço+Ampliação
535	678	2860	35	20	15	13	Alteração no Greide
678	708	600				10	Reforço+Ampliação
708	953	4900	35	20	15	13	Alteração de Traçado
953	990	740				10	Reforço+Ampliação
990	1218	4560	35	20	15	13	Alteração de Traçado
1218	1295	1540				10	Reforço+Ampliação

As espessuras de camadas adotadas para a recuperação do pavimento sem a uso de retroanálise estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensionamento de recuperação do pavimento sem retroanálise

Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (m)	Dc (0,01mm)	FC-2 (%)	FC-3 (%)	Hcg (cm)	CBR (%)	Tipo de Solo	Dadm (0,01 mm)	he (cm)	hef (cm)	hef adotada (cm)	HR (cm)
0	155	3100	112,00	28	34	38	3,9	III	47,8	2,5	5,6	0	20
155	200	900	139,00	52	43	37	5,4	III	47,8	2,5	4,2	0	20
200	255	1100	135,00	48	4	37	5,4	III	47,8	2,5	4,3	2,5	16
255	350	1900	77,90	32	2	37	5,8	III	47,8	2,5	8,7	2,5	16
350	411	1220	54,50	32	0	34	12,7	III	47,8	2,5	13,2	2,5	16
411	443	640	111,80	64	6	37	13,0	III	47,8	2,5	5,6	2,5	16
443	696	5060	49,20	63	5	18	5,2	III	47,8	2,5	14,8	2,5	16
696	787	1820	124,20	62	4	32	9,8	III	47,8	2,5	4,9	2,5	16
787	867	1600	41,30	47	4	27	2,7	III	47,8	2,5	17,9	2,5	16
867	1092	4500	63,30	53	7	27	4,0	III	47,8	2,5	11,1	2,5	16
1092	1167	1500	41,00	59	11	28	3,1	III	47,8	2,5	18,1	2,5	16
1162	1295	2660	65,90	35	2	38	4,7	III	47,8	2,5	10,6	2,5	16

Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (m)	REF (cm)	SB (cm)	B (cm)	R (cm)	Intervenção
0	187	3740				20	Reforço+Ampliação
187	303	2320	35	20	15	13	Alteração no Greide
303	414	2220				16	Reforço+Ampliação
414	440	520	35	20	15	13	Alteração no Greide
440	535	1900				16	Reforço+Ampliação
535	678	2860	35	20	15	13	Alteração no Greide
678	708	600				16	Reforço+Ampliação
708	953	4900	35	20	15	13	Alteração de Traçado
953	990	740				16	Reforço+Ampliação

Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (m)	REF (cm)	SB (cm)	B (cm)	R (cm)	Intervenção
990	1218	4560	35	20	15	13	Alteração de Traçado
1218	1295	1540				16	Reforço+Ampliação

As seções transversais das alternativas de pavimentação dimensionadas estão apresentadas na Figura 1, para a seção tipo de restauração o dimensionamento do alargamento foi realizado como para um trecho novo, daí a diferença das espessuras de materiais utilizados.

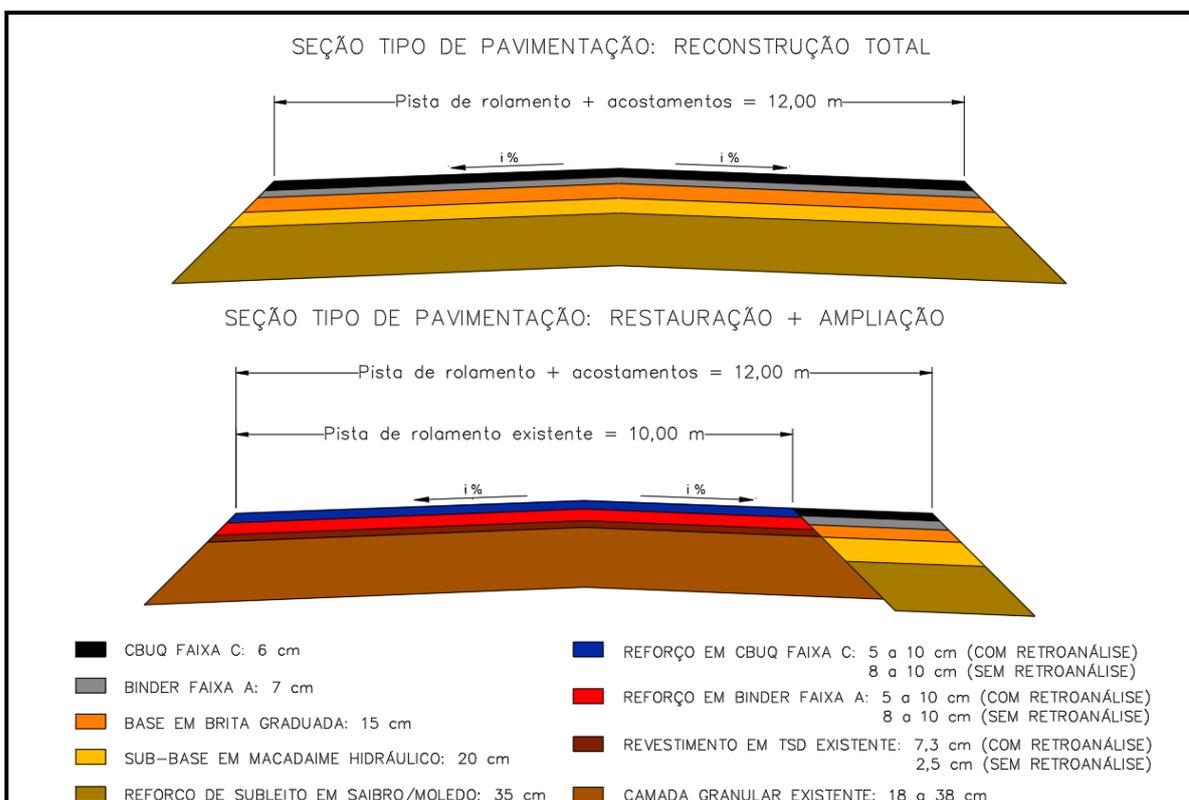
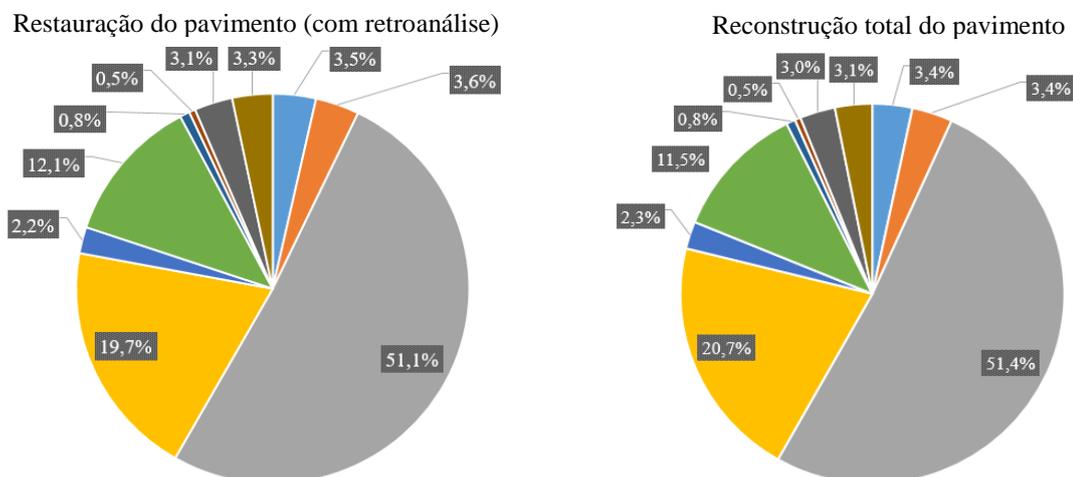


Figura 1: Seção transversal para as alternativas de reconstrução total e restauração com ampliação (acostamentos) do pavimento

Ambas as alternativas foram orçadas, em conjunto com as demais áreas do Anteprojeto. A Figura 2 apresenta a contribuição de cada item no custo total da obra, para a opção de restauração com reforço do pavimento existente e para a reconstrução de todo o pavimento.



Restauração do pavimento (sem retroanálise)

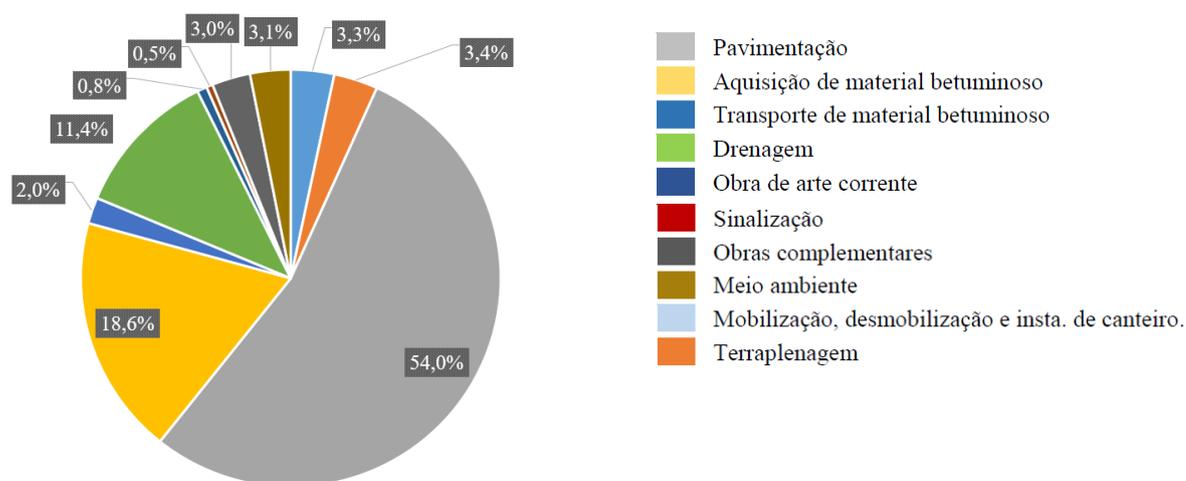


Figura 2 - Custos por serviço para restauração e reconstrução total do pavimento

Como pode ser observado na Figura 2 tanto para a restauração do pavimento e para a reconstrução total do pavimento os custos de pavimentação, aquisição e transporte de material betuminoso são responsáveis por mais de 70% dos custos totais da obra. A tabela 3 apresenta os custos para execução da pavimentação para as três soluções propostas.

Tabela 3: Custos por serviço para reconstrução total e recuperação do pavimento

	Restauração do pavimento (Com retroanálise)	Reconstrução total do pavimento	Restauração do pavimento (Sem retroanálise)
Pavimentação	R\$ 36.006.712,27	R\$ 40.415.775,23	R\$ 38.259.600,07
Material betuminoso	R\$ 13.857.710,47	R\$ 13.891.065,09	R\$ 15.376.593,92
Terraplenagem	R\$ 2.539.186,96	R\$ 2.539.186,96	R\$ 2.539.186,96
Transporte de material betuminoso	R\$ 1.537.686,23	R\$ 1.514.898,18	R\$ 1.725.557,94
Total	R\$ 53.941.295,93	R\$ 58.360.925,46	R\$ 57.900.938,89

Nota-se que com o uso da retroanálise de deflectométrica do pavimento através do método de Ivanov possibilitou uma proposta mais econômica, com considerável economia de recursos e as soluções de reconstrução total do pavimento e de restauração sem considerar a retroanálise apresentam valores próximos, com menos de 1% de variação.

3. CONCLUSÕES

Em vista dos orçamentos calculados para os projetos de pavimentação analisados, verifica-se que a retroanálise deflectométrica permitiu um dimensionamento mais econômico em vista dos dados disponíveis. Por meio da utilização do método de Ivanov pôde-se verificar que, embora as condições estruturais não tenham sido recuperadas com o Serviço de Manutenção realizado, pode-se proceder um dimensionamento que considere a camada adicionada por meio de seu módulo de resiliência equivalente de modo a reduzir os custos necessários para a adequação do trecho.

Percebe-se ainda que, sem a utilização do método de Ivanov os custos de reconstrução total e restauração são bastante semelhantes, com menos de 1% de diferença no orçamento final. Na

avaliação desse resultado, deve-se levar em conta as particularidades do trecho em estudo, devido à necessidade de adequação do traçado e alargamento da plataforma da rodovia para o atendimento da demanda atual. Embora 70% do traçado original permaneça inalterado no Anteprojeto proposto, houve necessidade de alargamento da plataforma para a adequação da largura do acostamento em quase a totalidade do trecho. Ainda, devido à gravidade dos defeitos estruturais encontrados no pavimento atual, a recuperação da via existente requer utilização extensiva de reforços para a recuperação de capacidade do pavimento original se não considerada a resistência adicionada pela camada adicionada pelo Serviço de Manutenção.

Assim, demonstrou-se que embora as condições de superfície do pavimento tenham sido melhoradas, a necessidade de reforço estrutural para adequação à demanda de tráfego atual e futura, somada a necessidade de alargamento da pista e correção geométrica de traçado tornam a alternativa de restauração com consideração da retroanálise deflectométrica a mais viável para o trecho, visto já ter sido adicionada uma camada de CBUQ média de 4,8 cm.

REFERÊNCIAS

- BALBO, J. T. (2016) *Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração* (3ª ed.). Oficina de Textos, São Paulo.
- BRASIL (1997). *Lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997*. Casa Civil.
- CONTRAN (2006) *Resolução nº 210 de 13 de novembro de 2006*. Conselho Nacional de Trânsito.
- CONTRAN (2007) *Resolução nº 258 de 30 de novembro de 2007*. Conselho Nacional de Trânsito.
- DNER (1981) *Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis* (3ª ed.). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006a) *IPR-720: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006b) *IPR-719: Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) *Norma 133/2010 – ME Pavimentação Asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2016) *IPR-706: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- FRANCISCO, A. P. S. (2012) *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- NETTO, Rogério Silveira Bezerra. *Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecânico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)*. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.
- SOUZA. M. L. de (1980). *Pavimentação rodoviária* (2ª ed). Livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro.

Alexandre S. Ramalho (alekostkoski@gmail.com)

Alessandra C. Gosch (alecgosch@gmail.com)

Hélio F. B. Thomaz (heliobth@gmail.com)

Cristhyano C. da Luz (criscluz@hotmail.com)

Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná

Centro Politécnico da UFPR Prédio da Administração 1º andar, Jardim das Américas, Curitiba, PR, Brasil

Tennison Freire de Souza Junior (tennisonufpr@outlook.com)