

Proposição de uma Estratégia para Alocação de Recursos Financeiros em Atividades de Manutenção e Restauração de Pavimentos Flexíveis

Thayse Balarotti Pedrazzi
Cassio Eduardo Lima de Paiva

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para alocação de recursos financeiros em atividades de manutenção e restauração (M&R) de pavimentos flexíveis, que permita analisar a distribuição destes recursos em diferentes níveis de disponibilidades orçamentárias.

A metodologia proposta foi desenvolvida com o intuito de auxiliar na tomada de decisões relativas à seleção das soluções de intervenção, bem como à alocação dos recursos financeiros disponíveis para a elaboração do plano anual de ações de M&R para os diferentes segmentos de pavimentos de uma malha rodoviária, sendo que os recursos financeiros disponíveis podem representar de 1 a 100% da verba total solicitada para a execução das soluções ideais de engenharia em todos os segmentos de pavimentos analisados.

A estratégia propõe para a análise de intervenções de M&R, cenários alternativos de pavimentos flexíveis deteriorados, compostos de revestimento em TSD ou CBUQ, base e sub-base granulares e subleito com CBR

igual a 8%, de rodovias rurais em pista simples, considerados em segmentos homogêneos de pavimentos (em termos de estrutura de pavimento e de solicitação de tráfego) com área padrão igual a 350 m² (3,5 m x 100 m).

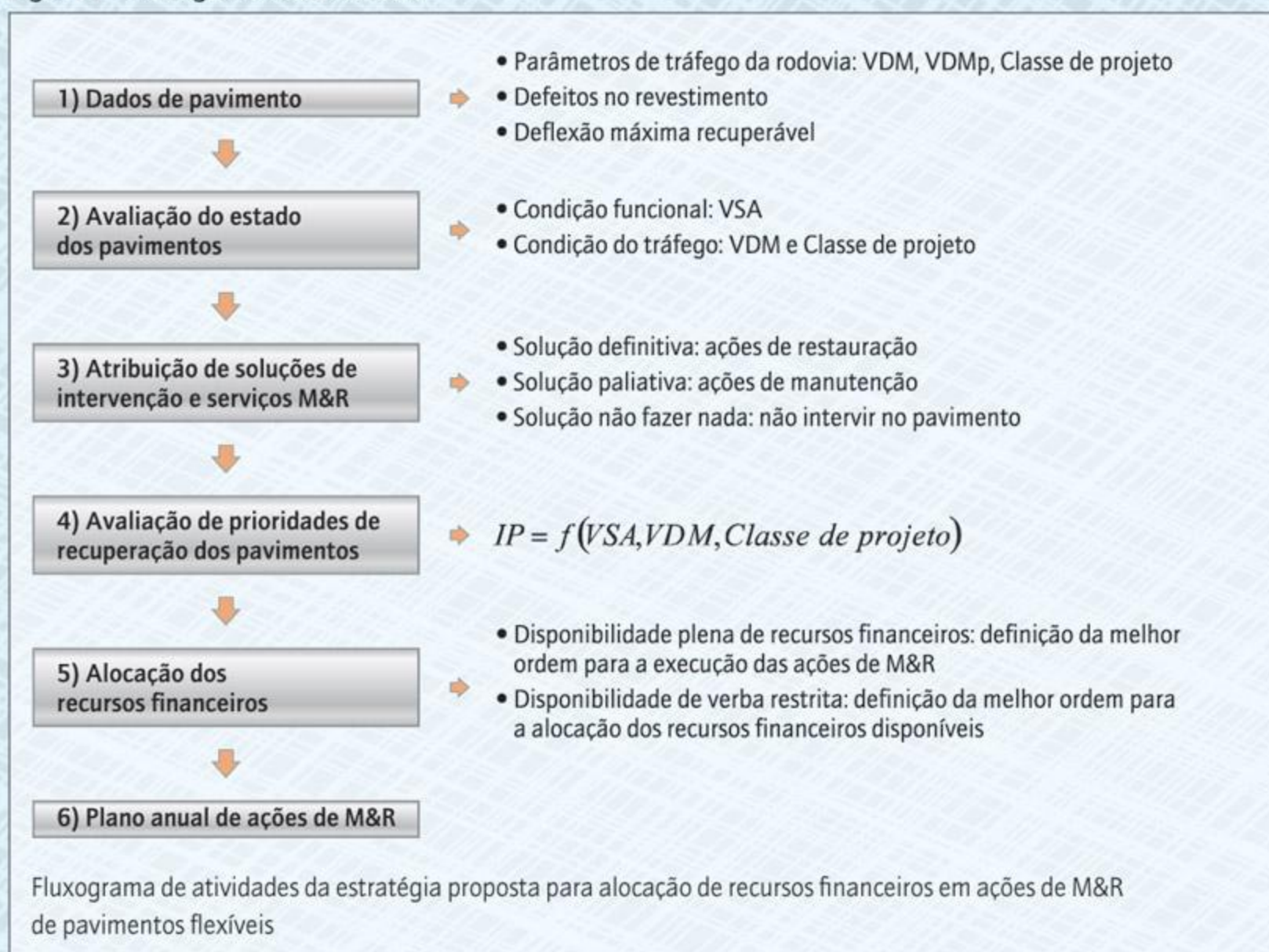
Baseada em levantamentos da condição de superfície (defeitos no revestimento) e estrutural (deflexão máxima recuperável) dos pavimentos e nas características de tráfego das rodovias, a estratégia permite que, para cada uma das diferentes condições de pavimento deteriorado analisadas, seja feito o diagnóstico do estado funcional do pavimento, que sejam identificadas soluções alternativas de intervenção, com o respectivo conjunto de serviços de M&R necessários para cada solução de intervenção e os seus custos, e que seja estabelecida a sua ordem de prioridade para receber intervenção e para a alocação dos recursos financeiros disponíveis. Desta forma, produziu-se um plano de prioridades de serviços de M&R para o período de um ano, que pode ser executado com a cota de recursos

orçamentários disponíveis.

A principal variável usada na estratégia para avaliação da condição funcional dos pavimentos e definição de soluções alternativas de intervenção de M&R foi o VSA (Valor de Serventia Atual), obtido de forma indireta através da correlação com o IGG (Índice de Gravidade Global) avaliado para cada cenário de pavimento.

O conjunto de serviços de manutenção e restauração que compõem as soluções de intervenção, foi definido em função do tipo, frequência de ocorrência e severidade dos defeitos presentes no revestimento do pavimento, do valor da deflexão máxima recuperável (DC) e do volume de tráfego futuro previsto para o período de projeto de restauração (VDMp). Outras variáveis usadas na estratégia incluem volume de tráfego incidente (VDM) e classe de projeto da rodovia (classe de projeto) que, juntamente com o VSA, descrevem a prioridade do pavimento para receber intervenção (prioridade de recuperação), através da malha e entre os diferentes tipos e categorias de rodovias analisadas.

Figura 1 – Fluxograma de atividades



Os horizontes de disponibilidade de recursos financeiros considerados para análise pela estratégia foram o ideal e o de restrições orçamentárias. No horizonte ideal de recursos financeiros foi considerada a condição da disponibilidade plena de recursos financeiros, igual à solicitada para a execução das soluções ideais de engenharia em todos os cenários de pavimentos analisados: atividades de restauração nos pavimentos que se encontram comprometidos estruturalmente, e atividades de manutenção nos pavimentos que apresentam deficiências

funcionais e/ou estruturais, mas que ainda não estão comprometidos estruturalmente.

No horizonte de restrições orçamentárias foi considerada a condição do recebimento de uma porcentagem (entre 1 e 99%, no intervalo de porcentagens inteiras) da verba total solicitada para a execução das ações de M&R em todos os cenários de pavimentos considerados.

A estratégia proposta foi desenvolvida a partir de procedimentos existentes na literatura para quantificar a condição do pavimento (VSA), para

atribuir serviços de M&R (árvores de decisão) e estabelecer prioridades (IP). A partir dos resultados destes procedimentos, foi proposta uma metodologia para a geração de soluções alternativas de intervenção (solução definitiva, solução paliativa e não fazer nada) para cada condição de pavimento, além de uma metodologia para alocação dos recursos financeiros disponíveis entre os projetos de M&R identificados.

A figura 1 apresenta o fluxograma geral da estratégia proposta para alocação de recursos financeiros em atividades de M&R de pavimentos flexíveis.

Tabela 1 – Valores adotados para os dados de pavimento: defeitos, deflexão e tráfego

DEFEITOS	FC-1, D, FC-2, FC-3, ATP, ALP, O e P		
Frequência de ocorrência	0, 10, 35 ou 75% da área da seção		
Severidade	ATP/ALP	8, 15 ou 25 mm – para pavimento com revestimento em CBUQ	
		8 ou 15 mm – para pavimento com revestimento em TSD	
	O	15 ou 30 mm	
	P	15, 25 ou 50 mm	
DEFLEXÃO	60, 90, 120 ou 150 (10-2mm)		
TRÁFEGO	VDM (veículos/dia)	VDMp (veículos/dia)	Classe de projeto
	1501	1501	1 ou 0
	651	651 ou 1501	2 ou 1 ou 0
	201	201 ou 651 ou 1501	4 ou 3 ou 2 ou 1 ou 0
	61	61 ou 201 ou 651	4 ou 3 ou 2 ou 1 ou 0
	12	12 ou 61 ou 201	4 ou 3 ou 2
	3	3 ou 12 ou 61	4 ou 3

De modo a estar coerente com a realidade nacional, a estratégia propõe o estudo de características de tráfego e de degradação dos pavimentos flexíveis definidas por autores e órgãos nacionais, que refletem as condições encontradas na malha rodoviária brasileira, como mostra a tabela 1.

A rotina de atividades apresentada na Figura 1 foi organizada em um programa computacional, escrito em linguagem Visual Basic e que deve ser executado em planilhas eletrônicas do programa Microsoft Excel do Office 2000, que permite, a partir dos dados constantes no quadro 1 da figura 1, para cada segmento de pavimento analisado e da verba disponível, a obtenção de uma lista de prioridades para os investimentos em M&R.

A estratégia proposta consiste em uma sistemática de auxílio ao gestor de distribuição de verbas para manutenção e restauração de

pavimentos flexíveis, que permite o estabelecimento de um critério técnico e justificativo para a priorização dos serviços quando há disponibilidade plena de recursos financeiros, bem como para a divisão da verba quando o montante disponível venha a ser inferior ao solicitado inicialmente.

No Brasil, a escassez de recursos financeiros e a falta de planejamento para a manutenção das estradas pavimentadas têm contribuído para a inadequada aplicação dos limitados orçamentos destinados para este fim, e para o agravamento do estado dos pavimentos da malha rodoviária brasileira, principalmente das rodovias federais. A escassez de recursos financeiros e a maior exigência dos órgãos financiadores para a captação de empréstimos e para o uso racional dos orçamentos liberados, obrigaram as agências de estradas e prefeituras a buscarem melhores e mais eficazes meios para

quantificar e justificar os recursos financeiros necessários em ações de M&R nos pavimentos, e para a alocação dos recursos financeiros disponíveis.

A grande expectativa de praticamente todos os órgãos é dispor de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) que faça recomendações de soluções de intervenção e que possibilite a análise da distribuição dos recursos financeiros para a disponibilidade de níveis orçamentários inferiores ao total pleiteado para o atendimento de todas as necessidades de M&R constatadas. Da literatura revisada, não se tem notícia da existência de um SGP que permita tratar do problema de alocação de verbas em atividades de M&R para a situação onde a dotação disponível é inferior àquela solicitada para a plena execução das atividades de M&R identificadas. Normalmente, os SGP convencionais procuram definir, com o uso de modelos de

otimização de recursos financeiros, um plano de ações de M&R para ser executado com um valor máximo de recursos financeiros a ser solicitado, não considerando a condição do recebimento de outros níveis orçamentários.

Portanto, com o objetivo de desenvolver uma forma para analisar a distribuição dos recursos financeiros em ações de M&R para a condição da disponibilidade de níveis orçamentários inferiores ao solicitado para a plena execução dos serviços de M&R - problema bastante típico da realidade

brasileira -, foi proposta uma abrangente estratégia para alocação de recursos financeiros em atividades de M&R de pavimentos flexíveis, que permite ao gestor da manutenção de pavimentos elaborar um plano de ações de M&R para os diferentes segmentos de pavimentos de uma malha rodoviária na condição de haver disponibilidade plena de recursos financeiros, e também na condição da disponibilidade de verba restrita.

Desta forma, os gestores da manutenção de pavimentos flexíveis passam a dispor de uma

ferramenta bastante útil e baseada em critérios técnicos para a gestão da manutenção da malha rodoviária sob sua responsabilidade. Esta ferramenta pode ser utilizada inicialmente para definir o programa-orçamento para captação de financiamentos, quantificando os recursos financeiros necessários para a execução das soluções ideais de engenharia em todos os pavimentos analisados, e, posteriormente, para a elaboração do plano de ação a ser executado com o orçamento liberado, sendo que esta análise pode ser realizada

Tabela 2 – Seções hipotéticas de pavimentos flexíveis deteriorados

SEÇÃO	FC-1	D	FC-2	FC-3	ATP	SV	ALP	SV	O	SV	P	SV	Dc	VDM	CLASSE	VDM _p
1	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	90	3	4	3
2	35	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	12	4	12
3	0	0	0	0	0	0	75	8	0	0	10	15	90	61	1	61
4	10	0	0	0	35	8	0	0	0	0	0	0	90	3	3	3
5	0	0	0	0	35	15	0	0	0	0	35	15	90	12	2	12
6	0	0	0	0	0	0	10	8	75	15	0	0	90	61	2	61
7	10	0	0	0	75	8	0	0	0	0	0	0	90	3	3	3
8	0	0	0	0	0	0	0	0	75	15	0	0	90	12	2	12
9	0	0	0	0	0	0	0	0	75	30	0	0	90	61	0	61
10	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	3	3	3
11	0	0	0	0	0	0	35	8	0	0	35	15	90	12	3	12
12	0	0	0	0	35	15	10	15	10	15	35	15	90	61	0	61
13	0	0	10	0	0	0	0	0	75	15	10	15	90	61	1	61
14	0	0	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0	60	201	3	201
15	0	0	0	0	0	0	10	8	0	0	10	15	60	651	2	651
16	10	0	0	0	0	0	35	15	0	0	0	0	60	201	4	201
17	0	0	75	0	10	8	0	0	0	0	10	15	60	651	1	651
18	0	0	35	10	35	8	0	0	10	15	10	15	60	651	2	651
19	0	0	10	10	75	8	0	0	0	0	0	0	60	201	2	201
20	0	0	0	0	0	0	0	0	75	30	0	0	60	201	2	201

Tabela 3 – Avaliação das seções de pavimentos flexíveis

SEÇÃO	VSA	VDM	CLASSE	SOL_DEF	CUSTO_DEF	SOL_PAL	CUSTO_PAL	SOL_NÃO	CUSTO_NÃO	IP
1	1	1	1		0	manutenção	1031,15	não fazer nada	0	6
2	1	2	1		0	manutenção	663,73	não fazer nada	0	8
3	4	3	4	reforço	6340,83	manutenção	1158,77	não fazer nada	0	22
4	3	1	2		0	manutenção	335,82	não fazer nada	0	13
5	5	2	3	reconstrução	2874,3	manutenção	995,02	não fazer nada	0	22
6	5	3	3	reconstrução	2238,34	manutenção	80,85	não fazer nada	0	24
7	4	1	2	reforço	3990,88	manutenção	659,22	não fazer nada	0	16
8	4	2	3	reforço	4442,2	manutenção	0	não fazer nada	0	19
9	4	3	5	reforço	5552,75	manutenção	0	não fazer nada	0	23
10	1	1	2		0	manutenção	1025,9	não fazer nada	0	7
11	4	2	2	reforço	5361,13	manutenção	918,93	não fazer nada	0	18
12	5	3	5	reconstrução	3334,62	manutenção	1557,94	não fazer nada	0	26
13	5	3	4	reconstrução	2420,04	manutenção	689,18	não fazer nada	0	25
14	1	4	2		0	manutenção	1594,88	não fazer nada	0	13
15	1	5	3		0	manutenção	762,39	não fazer nada	0	16
16	2	4	1		0	manutenção	1155,35	não fazer nada	0	15
17	4	5	4	reforço	15395,87	manutenção	3420,52	não fazer nada	0	26
18	5	5	3	reconstrução	20233,92	manutenção	3131,69	não fazer nada	0	28
19	5	4	3	reconstrução	9110,79	manutenção	2283,83	não fazer nada	0	26
20	4	4	3	reforço	8938,37	manutenção	2953,76	não fazer nada	0	23

para a condição do recebimento de 1 a 99% dos recursos financeiros totais solicitados.

A estratégia proposta pode ser definida como uma heurística, por não ser um procedimento otimizador e demonstrável. Portanto, para verificar a sua veracidade e sensibilidade, a estratégia deve ser testada com dados existentes e comparada com resultados já obtidos. Com o objetivo de apenas testar o funcionamento da estratégia, foram feitas 30 (trinta) simulações no programa de computador desenvolvido com cenários hipotéticos de pavimentos

flexíveis, porém presentes na realidade brasileira dos órgãos gestores de estradas. Os resultados obtidos das aplicações no programa confirmaram que ele está atendendo satisfatoriamente ao objetivo da estratégia.

Para exemplificar, será apresentada uma simulação, conforme a tabela 2, na qual foi considerado para análise um conjunto de 20 seções de pavimento com diferentes condições de defeitos no revestimento, deflexão máxima recuperável, VDM, VDMp e Classe de projeto, tomadas conforme a tabela 1. E para o conjunto de

seções de pavimento definido para esta simulação, foram consideradas as condições da disponibilidade de 100%, 55%, 45% e 35% dos recursos financeiros necessários para a execução das soluções ideais de engenharia em todos os pavimentos analisados.

A tabela 3 mostra, para cada seção de pavimento considerada, os resultados da avaliação do estado do pavimento (VSA, VDM, Classe), das soluções alternativas de intervenção e os seus custos, calculados a partir dos preços unitários do DER-SP (Solução definitiva, custo definitivo, Solução paliativa, custo paliativo,

Tabela 4 – Plano de ações de M&R com a disponibilidade de 100%, 55%, 45% e 35% dos recursos financeiros

	(2) 100%	(3) 55%	(4) 45%	(5) 35%
(1) seção	Tipo de solução	Tipo de solução	Tipo de solução	Tipo de solução
18	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Definitiva
12	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Definitiva
19	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Definitiva
13	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Paliativa
6	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Paliativa
5	Definitiva	Definitiva	Definitiva	Não fazer nada
17	Definitiva	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada
9	Definitiva	Definitiva	Não fazer nada	Não fazer nada
20	Definitiva	Paliativa	Paliativa	Não fazer nada
3	Definitiva	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
8	Definitiva	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
11	Definitiva	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada
7	Definitiva	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
15	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
16	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
14	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
4	Paliativa	Não fazer nada	Paliativa	Paliativa
2	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
10	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
1	Paliativa	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada
Recursos disponíveis	R\$ 96.803,26	R\$ 53.241,79	R\$ 43.561,47	R\$ 33.881,14
Recursos gastos	R\$ 96.803,26	R\$ 53.057,97	R\$ 43.501,59	R\$ 33.785,18
Saldo	0	R\$ 183,82	R\$ 59,88	R\$ 95,96

Não fazer nada, custo de não fazer nada) e da prioridade de recuperação (IP), sendo que o valor do IP foi definido, segundo critérios adotados pelos autores, conforme mostra a equação 1:

$$IP = 3 \times VSA + 2 \times VDM + 1 \times Classe$$

(1)

A tabela 4 mostra, na primeira coluna, a ordem de prioridade para a execução das seções de pavimento consideradas, segundo suas ordens de prioridade originalmente definidas (IP); nas colunas seguintes mostra os

resultados da alocação dos recursos financeiros para a condição da disponibilidade de 100%, 55%, 45% e 35% dos recursos financeiros, respectivamente, indicando para cada seção de pavimento a solução de intervenção possível de ser realizada, a verba total disponível, o total de recursos financeiros gastos e o saldo restante, sendo que a ordem para a alocação dos recursos financeiros disponíveis segue a de prioridade para a execução das seções.

A tabela 4 apresenta, na coluna 1, os vários segmentos rodoviários

considerados no experimento conforme o ordenamento de prioridade de atendimento, resultante do índice de prioridade apresentado na equação 1.

Os resultados obtidos e apresentados nas demais colunas da tabela 4, mostram que o programa está obedecendo aos critérios para a priorização das ações de M&R no caso da disponibilidade plena de recursos financeiros e para a seleção da solução de intervenção para cada seção de pavimento no caso da disponibilidade de verba restrita.

Segundo a tabela 4, coluna 3, com a disponibilidade de 55%

(R\$ 53.241,79) dos recursos financeiros, foi possível executar as 06 (seis) primeiras seções de pavimento que requeriam reconstrução, com a solução definitiva; e mais 04 (quatro) seções que requeriam reforço estrutural - a primeira, a segunda, a terceira e a sexta seções na ordem de prioridade das seções de pavimento que requerem reforço estrutural, sendo a segunda seção com a solução definitiva e as outras com a solução paliativa. Não foi possível executar nenhuma das seções de pavimento que requeriam manutenção. Foram gastos no total R\$ 53.057,97, sobrando R\$ 183,82.

Segundo a tabela 4, coluna 4, com a disponibilidade de 45% (R\$ 43.561,47) dos recursos financeiros, foi possível executar as 06 (seis) primeiras seções de pavimento que requeriam reconstrução, com a solução definitiva; mais 01 (uma) seção que requeria reforço estrutural, a terceira seção na ordem de prioridade das seções de pavimento que requerem reforço estrutural, com a solução paliativa; e mais 01 (uma) seção que requeria manutenção, a quarta seção na ordem de prioridade das seções de pavimento que requerem manutenção. Foram gastos no total R\$ 43.501,59, sobrando R\$ 59,88.

Segundo a tabela 4, coluna 5, com a disponibilidade de 35% (R\$ 33.881,14) dos recursos financeiros, foi possível executar as 05 (cinco) primeiras seções de pavimento que requeriam reconstrução, sendo as três primeiras seções com a solução

definitiva e a quarta e a quinta seções com a solução paliativa; e mais 01 (uma) seção que requeria manutenção, a quarta seção na ordem de prioridade das seções de pavimento que requerem manutenção. Não foi possível executar nenhuma das seções de pavimento que requeriam reforço estrutural. Foram gastos no total R\$ 33.785,18, sobrando R\$ 95,96.

Para a condição da disponibilidade de 55%, não foi possível executar nenhuma das seções de pavimento que requeriam manutenção, pois depois de alocar os recursos financeiros disponíveis nas seções de pavimento que requeriam reconstrução e reforço estrutural, segundo suas ordens de prioridade, mesmo com soluções paliativas, sobrou apenas R\$ 183,82, que não cobria o custo da intervenção em nenhuma das seções.

Da mesma forma, não foi possível executar nenhuma das seções de pavimento que requeriam reforço estrutural, mesmo com a solução paliativa, para a condição da disponibilidade de 35%, pois depois de alocar os recursos financeiros disponíveis nas seções de pavimento que requeriam reconstrução, mesmo com a solução paliativa, sobrou R\$ 431,78, que cobria apenas o custo da intervenção na seção de pavimento número 4 que requeria manutenção.

Estima-se que a experimentação real da estratégia em uma malha rodoviária poderia ter um custo baixo.

O programa computacional desenvolvido não traz nenhum tipo

de restrição quanto ao número de seções de pavimento que podem ser consideradas para análise. A sua utilização está, no entanto, condicionada à existência de informações técnicas adequadas sobre cada seção de pavimento a ser analisada. É importante enfatizar que a qualidade dos resultados produzidos pelo programa depende totalmente da qualidade dos dados de entrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PEREIRA, A. M.; GONTIJO, P. R. A. Diretriz Metodológica para Avaliação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis e Semi-Rígidos. Anais do 10º Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Asfalto. Rio de Janeiro: IBP, 1990.
- (2) YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. Principles of Pavement Design. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- (3) PEDRAZZI, T. B. Proposição de uma Estratégia para Alocação de Recursos Financeiros em Atividades de Manutenção e Restauração de Pavimentos Flexíveis. Dissertação de Mestrado, FEC: UNICAMP, 2004.
- (4) HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. Modern Pavement Management. Florida: Krieger Publishing Company, 1994.
- (5) DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP. Tabela de Preços Unitários. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br>

A autora Thayse Balarotti Pedrazzi é Professora da Universidade Presbiteriana Mackenzie

O autor Cassio Eduardo Lima de Paiva é Professor da UNICAMP