

**JOÃO DALLAMUTA
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)**

CONCEITOS E FERRAMENTAS NA ENGENHARIA DE TRANSPORTES



Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Conceitos e Ferramentas na Engenharia de Transportes

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) | |
|---|---|
| C744 | Conceitos e ferramentas na engenharia de transportes [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-352-1 DOI 10.22533/at.ed.521192405 1. Engenharia de transportes – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Kanashiro, Otavio. CDD 629.04 |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 | |

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores, alunos de graduação e pós-graduação cujas linhas de pesquisa procura modelar e propor soluções para problemas práticos de transporte, sobretudo no cenário brasileiro

Os desafios da engenharia de transporte envolvem aspectos técnicos inerentes ao ofício de engenheiro, mas sobretudo humanos, uma vez que envolve diretamente questões ligadas a segurança. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o Brasil ocupa o quinto lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia, China, Estados Unidos e Rússia. Considerando que dentre estas nações, apenas a Rússia apresenta população inferior a brasileira temos um trânsito violento tanto em indicadores absolutos quanto proporcionais.

Outros aspectos importantes no cenário de engenharia aplicada a problemas de trânsito é a eficiência. Temos uma matriz de transporte basicamente rodoviária e um ambiente regulatório e político complexo para mudar este cenário, via de regra nossos pesquisadores modelam e otimizam em cima de condições de contorno que não são nem de longe as melhores, como no dito popular, tiram leite de pedra. Ganhos de eficiência mesmo que pequenos, no Brasil são importantes, haja vista o cenário custoso (em valores monetários, tempo e riscos) que temos no Brasil.

E por fim, destacamos a importância da sustentabilidade. Há pouco mais de 40 anos atrás demos uma resposta a um problema, que na época era econômico e não de sustentabilidade, com o Proálcool. Atualmente novos desafios de sustentabilidade irão gerar impacto na engenharia de transporte. O biodiesel, veículos híbridos, elétricos e novas exigências legais de construção de vias tanto urbanas quanto intermunicipais, devem provocar mudanças nos paradigmas atuais.

Esta obra reunimos aspectos de modelagem, otimização e estudos de problemas práticos. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura.

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS | |
| José Leomar Fernandes Júnior Simone Becker Lopes | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924051 | |
| CAPÍTULO 2 | 15 |
| MODELOS DE CONTROLE SEMAFÓRICO PARA OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE TRÁFEGO EM VIAS URBANAS | |
| Ana Caroline Meireles Soares João Viana da Fonseca Neto Patrícia Helena Moraes Rêgo | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924052 | |
| CAPÍTULO 3 | 26 |
| MODELAGEM DE UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA PARA COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS | |
| Adelaida Pallavicini Fonseca Milton Jonás Monteiro José Antonio Rodríguez Melquiades | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924053 | |
| CAPÍTULO 4 | 44 |
| SIMILARIDADES E DISSIMILITUDES DAS CARACTERÍSTICAS DOS CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO EM CIDADES GLOBAIS | |
| Maria Ivana Vanderlei Leonardo Herszon Meira Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima Neto | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924054 | |
| CAPÍTULO 5 | 60 |
| SHOPPING CENTER COMO ATRATIVO DE CONDOMÍNIOS VERTICAIS E AS INFLUÊNCIAS NO TRÁFEGO VIÁRIO | |
| Maximillian Nascimento da Costa Jussara Socorro Cury Maciel | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924055 | |
| CAPÍTULO 6 | 72 |
| TRANSPORTES, ACESSIBILIDADE URBANA E AS CALÇADAS NA CIDADE DE SÃO PAULO | |
| Lucas de Souza Ramalhaes Feitosa Roberto Righi | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924056 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 7 | 88 |
| REGULAÇÃO DO USO DO ESPAÇO PÚBLICO EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: UMA ANÁLISE TEÓRICA ENTRE AS POLÍTICAS PÚBLICAS, A LEGISLAÇÃO E A PRÁTICA | |
| Dannúbia Ribeiro Pires | |
| Leonardo Herszon Meira | |
| Maria Victória Leal de Almeida Nascimento | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924057 | |
| CAPÍTULO 8 | 104 |
| A RELAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO ESCOLAR E MELHORIAS DECORRENTES DE PROGRAMAS DE TRANSPORTE ESCOLAR RURAL: UM ESTUDO EM SANTA MARIA DO CAMBUCÁ – PE | |
| Maria Victória Leal de Almeida Nascimento | |
| Mauricio Oliveira de Andrade | |
| Dannúbia Ribeiro Pires | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924058 | |
| CAPÍTULO 9 | 119 |
| AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE DOSADAS PELA METODOLOGIA <i>SUPERPAVE</i> | |
| Matheus Covelo Machado | |
| Heraldo Nunes Pitanga | |
| Taciano Oliveira da Silva | |
| Adriano de Freitas Teixeira | |
| Valéria Martins da Costa Pena | |
| Giovani Levi Sant'Anna | |
| DOI 10.22533/at.ed.5211924059 | |
| CAPÍTULO 10 | 135 |
| CARACTERÍSTICAS DE VULNERABILIDADE EM IDOSOS E OBESOS NAS TRAVESSIAS DE PEDESTRE | |
| Frederico Souza Gualberto | |
| Janaína Amorim Dias | |
| Heloísa Maria Barbosa | |
| Marcelo Franco Porto | |
| Marconi Gomes da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.52119240510 | |
| CAPÍTULO 11 | 151 |
| DESASTRES NATURAIS: SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DE ABRIGOS PARA FLAGELADOS | |
| Manuela Marques Lalane Nappi | |
| João Carlos Souza | |
| DOI 10.22533/at.ed.52119240511 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES..... | 167 |

USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

José Leomar Fernandes Júnior

Universidade de São Paulo – Escola de
Engenharia de São Carlos
São Carlos – SP

Simone Becker Lopes

Universidade Federal de Santa Catarina – Centro
de Engenharia da Mobilidade
Joinville - SC

RESUMO: Neste trabalho, aplica-se a modelagem dinâmica, com uso do programa Vensim, a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SPGU), em estudo de caso realizado com dados de cidade brasileira de médio porte. O método desenvolvido aprimora o processo de tomada de decisão por parte dos profissionais responsáveis pela manutenção e reabilitação dos pavimentos, permitindo, também, a compatibilização com o planejamento de intervenções em outras infraestruturas urbanas (água, esgoto, energia elétrica, gás, telefonia etc.), o que pode resultar em significativos benefícios para a sociedade. Todas as vias foram avaliadas e foi feito um diagnóstico da extensão e do nível de severidade de cada tipo de defeito encontrado. Os dados foram inseridos em um banco de dados vinculado a um SIG (Sistema de Informações Geográficas), facilitando o acesso às informações e a visualização dos problemas.

O Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos Dinâmico (SGPUD) constitui um exemplo de processo sinérgico, com transferência de tecnologia para a sociedade, que une o poder público (prefeituras), a universidade e a iniciativa privada, representada pelas empresas prestadoras de serviços na área de infraestrutura urbana.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas de gerência; pavimentos urbanos; modelagem dinâmica; SIG.

ABSTRACT: In this work, the dynamic modeling, using the Vensim program, is applied to an Urban Pavement Management System (UPMS), in a case study conducted with data from a medium-sized Brazilian city. The developed method improves the process of decision making by the professionals responsible for the maintenance and rehabilitation of pavements, allowing also the compatibility with the planning of interventions in other urban infrastructures (water, sewage, electricity, gas, telephony etc.), which can result in significant benefits to the society. All links were evaluated and a diagnosis was made for each distress type, assessing the extent and level of severity. The data were inserted in a database linked to a GIS (Geographical Information System), facilitating the access to the information and the visualization of the problems. The Dynamic Urban Pavement

Management System (DUPMS) is an example of a synergistic process, with technology transfer to society, linking public power (prefectures), university and private enterprise, represented by companies providing services in the area of urban infrastructure.

KEYWORDS: management system; urban pavements; dynamic modeling; GIS.

1 | INTRODUÇÃO

É inquestionável a importância da utilização de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para se ter um melhor desempenho e a devida alocação de recursos nas atividades de manutenção e reabilitação (ZANCHETTA, 2017). Igualmente inquestionável é que também os SGP devem ser continuamente aprimorados, incorporando novas e melhores ferramentas.

No âmbito das cidades brasileiras de médio e grande porte, nas quais os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) poderiam contribuir para a otimização das atividades de manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos, ainda tem prevalecido a tomada de decisão de forma aleatória, com base apenas na experiência de alguns profissionais e em decisões políticas, o que tem levado a uma situação de desperdício dos já escassos recursos financeiros, equipamentos e mão de obra.

A falha gerencial envolve a falta de um diagnóstico da condição dos pavimentos, a partir do qual poderiam ser sugeridas estratégias de intervenções, do “nada a fazer” até a “reconstrução”, passando pelas “manutenções corretiva e preventiva” e pelo “reforço estrutural”, restringindo-se, atualmente, aos reparos de segmentos com necessidades extremas, selecionados com base em reclamação da população, alertas da mídia ou vontade política.

Este trabalho procura contribuir para o desenvolvimento de sistemas de gerência de pavimentos urbanos para cidades de médio e grande porte, com uso de modelagem dinâmica de sistemas, que consiste em estabelecer interações em que a mudança em uma variável afeta outras variáveis, que por sua vez voltam a afetar a variável inicial. O resultado final contempla a definição das estratégias de intervenção para cada segmento, a previsão do custo total das intervenções, a priorização dos segmentos e o ano indicado para a realização das atividades, de acordo com o orçamento anual disponível.

Uma contribuição complementar deste trabalho se dá através do uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o qual é possível gerar mapas temáticos, em que as informações fornecidas pelo modelo de simulação dinâmica são apresentadas de forma visual, o que pode facilitar a análise por parte da equipe responsável pela tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos.

2 | SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS DINÂMICO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), segundo Haas et al. (1994), consiste na coordenação das atividades de planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos, com o objetivo de utilizar informações confiáveis para obter o máximo retorno com os recursos disponíveis.

Quando se trabalha em nível de rede, como é o caso deste estudo, utilizam-se informações abrangendo toda a malha viária, procurando-se tomar decisões relacionadas ao planejamento e programação das intervenções. São definidos os segmentos da malha viária e são coletados dados referentes a cada trecho, como idade, estrutura do pavimento, histórico das intervenções, condição do pavimento, classificação funcional e volume de tráfego (LOPES et al., 2008), com base nos quais é feita a tomada de decisão (Figura 1).

2.1 Modelagem Dinâmica

Um sistema de modelagem dinâmica é aquele no qual se permite ter um entendimento de como todos os elementos interagem entre si, de modo que a mudança em uma variável afeta outras variáveis do sistema, até que estas últimas voltem a afetar a variável inicial.

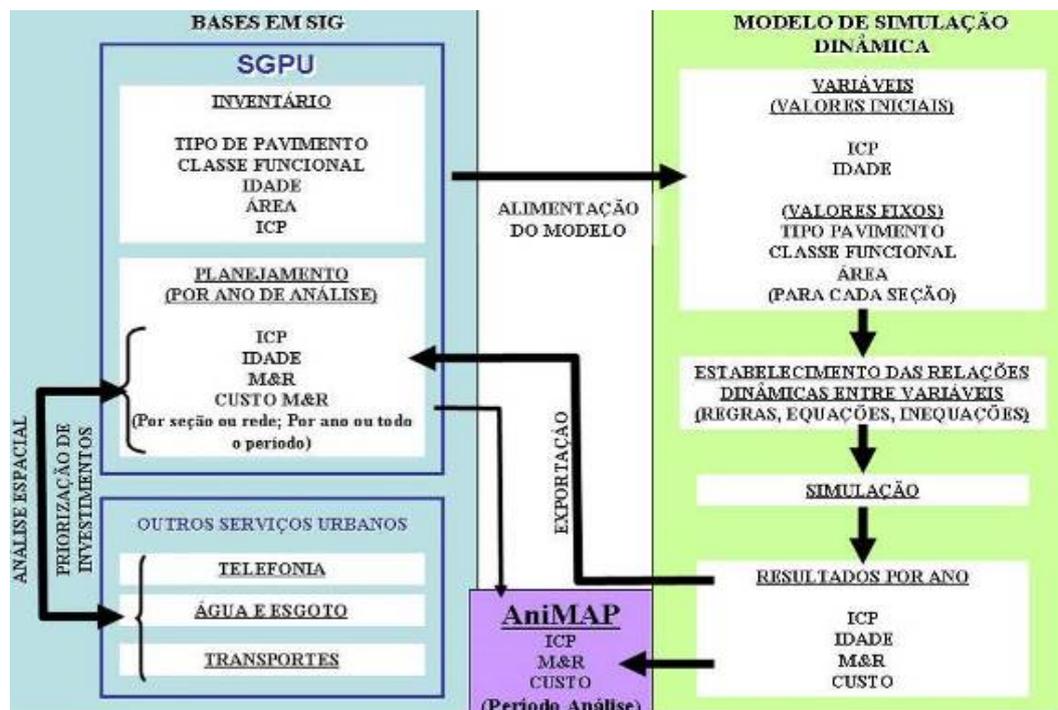


Figura 1: Fluxograma do método de análise proposto

Para a aplicação da Dinâmica de Sistemas foi utilizado o software Vensim, que possui versões acadêmicas distribuídas gratuitamente. É possível representar facilmente um modelo mental através da modelagem visual, escrevendo as variáveis na tela do programa e definindo suas relações com setas, sendo possível, também, definir o modelo formal através das equações matemáticas, que regem o comportamento de

cada variável. Através da simulação e análise dos resultados, expressos na forma de gráficos e tabelas, pode-se aprimorar o modelo e melhorar o processo. Com esta ferramenta os dados são trabalhados de modo a se obter informações que respondam as perguntas: Onde realizar atividades de M&R? Quais atividades realizar? Qual será o custo dessas atividades? Quando realizar tais atividades?

2.2 Sistema de Informações Geográficas

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) consiste em um conjunto de ferramentas capaz de adquirir, armazenar, transformar e emitir informações espaciais e não-espaciais. (SILVA et al., 2008). Assim, é inquestionável que os sistemas de transportes sejam uma das áreas nas quais o SIG pode desempenhar um importante papel.

Após utilizar o programa Vensim para se obter as informações desejadas sobre quais, onde e quando realizar atividades de M&R, um SIG pode ser utilizado para transformar as informações em imagens, através de mapas temáticos, que permitem mostrar os cenários atuais e fazer previsões de cenários futuros.

3 | MONTAGEM DO MODELO DE SGPUD

3.1 Diagrama de Relações Causais

A primeira etapa para a construção de um modelo dinâmico é a criação de diagramas causais, ou seja, diagramas que permitam visualizar, através de setas, qual a interação entre as variáveis consideradas. É possível observar quais fatores influenciam cada variável e quais são influenciados por elas.

No caso do modelo utilizado para este estudo, as variáveis se relacionam da seguinte forma:

- O ICP, a idade, o VDM e a classe funcional determinam o Índice de Prioridade (IP) de cada trecho;
- O IP determina a ordem em que os trechos devem receber as atividades de manutenção;
- A atividade de M&R de cada trecho é determinada em função do ICP, da idade e do VDM;
- A partir da ordem definida, o custo unitário de cada atividade de M&R e o orçamento anual disponível determinam quais trechos devem receber manutenção a cada ano.

Conforme um trecho recebe uma atividade de manutenção, seu ICP é modificado, retornando ao começo do ciclo. A Figura 2 apresenta um modelo simples de Diagrama de Relações Causais, que serviu de ponto de partida para os modelos desenvolvidos neste estudo, em que foram considerados os seguintes fatores: Índice de Condição do

Pavimento (ICP); idade do pavimento; Volume Diário Médio (VDM) e classe funcional da via (arterial, coletora, local).

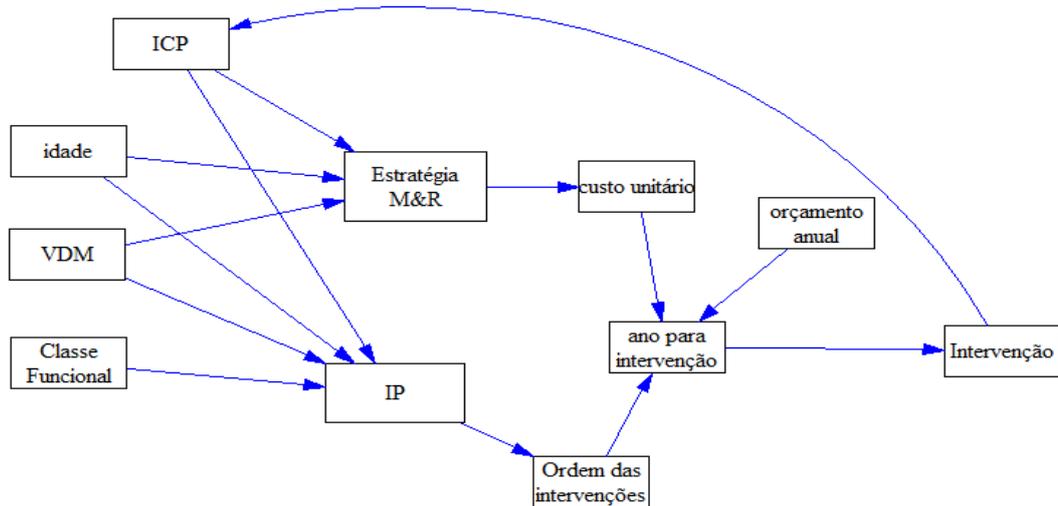


Figura 2: Diagrama de Relações Causais inicial de um SGPU

O conceito de ICP (Índice de Condição do Pavimento) foi desenvolvido na década de setenta pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) com o intuito de quantificar a condição de pavimentos de estradas militares, ruas e áreas de estacionamento. Pode ser avaliado subjetivamente ou calculado a partir de resultados de uma avaliação de defeitos no campo, na qual se registram os tipos de defeitos encontrados e sua severidade e extensão. A partir destas informações são deduzidos pontos de um total de 100, em que 100 é o limite superior da condição muito boa e 0 é o limite inferior da condição muito ruim.

A idade do pavimento é o tempo transcorrido desde a sua construção, exceto nos casos em que já houve alguma atividade de reabilitação na via, como reforço ou reconstrução. Nestes casos, no momento em que a atividade é realizada, pode-se considerar que a idade do pavimento volta a “zero”, já que as atividades de reabilitação têm como característica uma mudança na estrutura do pavimento, deixando-o com características semelhantes às características de um pavimento novo.

O tráfego pode ser quantificado pelo volume diário médio (VDM), que é o volume médio de tráfego referente a 24 horas, num certo local. Quanto à classificação funcional, o Código Brasileiro de Trânsito estabelece que as vias urbanas podem ser divididas em quatro classes funcionais: vias de trânsito rápido, via arterial, via coletora e via local. Via de trânsito rápido é aquela caracterizada por acessos especiais, com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível. Via arterial é aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade. Via coletora é aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de

entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade. E via local, por fim, é aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

Cada uma das variáveis tem um comportamento que varia com o tempo e podem ser descritas de maneiras distintas. Esta mudança temporal de comportamento é de grande importância para a modelagem dinâmica, já que a situação encontrada hoje não é a mesma que será encontrada após alguns anos, interferindo assim nos resultados finais. A unidade de tempo utilizada será um ano.

A idade do pavimento evolui proporcionalmente ao tempo, sendo que sua contagem recomeça quando é realizada alguma atividade de reabilitação na via. Por sua vez, a classe funcional de uma via tende a não mudar quando se olha um período de tempo como o desta análise (oito anos), a não ser que haja algum projeto especial com este objetivo, que pode ser desde uma mudança no tráfego de um conjunto de ruas, que pode levar uma via local a funcionar como via coletora, ou medidas de moderação do tráfego (“traffic-calming”), que pode retirar o fluxo intenso de uma rua e fazer com que ela deixe de ser coletora e passe a ser local, ou até mesmo fazer com que uma via local vire uma via de pedestres.

O ICP tende a diminuir com o tempo, em função das solicitações do tráfego, das intempéries e do próprio envelhecimento. Zerbini (1999) desenvolveu, com base nos dados da cidade de Araraquara, equações que descrevem o comportamento do ICP com o tempo, para cada tipo de classe funcional e histórico de manutenção das vias. As equações são apresentadas na Tabela 1, em que:

- ICP = Índice de Condição do Pavimento após t anos;
- t = anos decorridos da avaliação.

| | Com Manutenção | Sem Manutenção |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|
| Vias Arteriais | $ICP = 97,95 \cdot 0,9920^t$ | $ICP = 96,81 \cdot 0,9910^t$ |
| Vias Coletoras | $ICP = 98,53 \cdot 0,9940^t$ | $ICP = 97,87 \cdot 0,9930^t$ |
| Vias Locais | $ICP = 98,89 \cdot 0,9940^t$ | $ICP = 97,87 \cdot 0,9930^t$ |

Tabela 1: Equações dos modelos de desempenho desenvolvidos por Zerbini (1999)

Com o objetivo de adaptar as equações disponíveis para uma situação na qual se tenha as informações atuais dos pavimentos, porém não se conhece a sua idade, é proposto o uso do ICP_i (ICP inicial), que é a condição do pavimento no momento inicial da análise. Dessa forma, a degradação do pavimento começa a ser contada do momento em que a avaliação é feita e acontece de forma constante, conforme apresentado na Tabela 2, em que:

- ICP_i = Índice de Condição do Pavimento após t anos;

- ICP_i = Índice de Condição do Pavimento no momento da avaliação;
- t = anos decorridos da avaliação.

| | Com Manutenção | Sem Manutenção |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Vias Expressas e Arteriais | $ICP_t = ICP_i \cdot 0,9920^t$ | $ICP_t = ICP_i \cdot 0,9910^t$ |
| Vias Coletoras e Locais | $ICP_t = ICP_i \cdot 0,9940^t$ | $ICP_t = ICP_i \cdot 0,9930^t$ |

Tabela 2: Equações propostas para medida de desempenho do pavimento em situações onde não há registro da idade do pavimento

O VDM, com o passar dos anos, evolui de acordo com a Equação 1:

$$VDM_n = VDM_0(1 + i)^n \quad (1)$$

Sendo:

- VDM_n = VDM no ano n ;
- VDM_0 = VDM no ano zero;
- n = anos;
- i = taxa de crescimento do VDM, adotada igual a 5% neste trabalho.

3.2 Índice de Prioridade

Para se definir quais vias têm prioridade no recebimento das atividades de manutenção ou reabilitação, é utilizado um Índice de Prioridade (IP), determinado em função do ICP, da idade, do VDM e da classe funcional da via (Equação 2). Os cinco níveis dos fatores considerados no cálculo do IP são apresentados na Tabela 3.

$$IP = 0,7[(niv_ICP - 1) \cdot 5 + niv_IDADE] + 0,3[(niv_VDM - 1) \cdot 3 + niv_CF] \quad (2)$$

em que:

- IP = índice de prioridade;
- niv_ICP = nível no qual se enquadra o ICP da via;
- niv_IDADE = nível no qual se enquadra a idade da via;
- niv_VDM = nível no qual se enquadra o VDM da via;
- niv_CF = nível no qual se enquadra a classe funcional da via.

| | | | | | |
|-------------------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| ICP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Muito Ruim | Ruim | Regular | Bom | Muito Bom |
| (0 – 100) | 0 – 30 | 30 – 50 | 50 – 70 | 70 – 90 | 90 – 100 |
| IDADE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Muito Velho | Velho | Regular | Novo | Muito Novo |
| (anos) | > 20 | 20 – 15 | 15 – 10 | 10 – 5 | < 5 |
| VDM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Muito Alto | Alto | Regular | Baixo | Muito Baixo |
| (UVP/1000) | > 30 | 30 – 15 | 15 – 5 | 5 – 1 | < 1 |

Tabela 3: Definição dos níveis dos fatores ICP, Idade e VDM

3.3 Escolha da Estratégia de M&R

De acordo com as informações disponíveis sobre cada pavimento, é possível fazer a escolha da atividade de M&R que deve ser realizada no trecho, de modo que atenda às suas necessidades. A técnica de apoio à decisão utilizada neste trabalho foi a Árvore de Decisão (Fernandes Jr. et al., 2006), sendo a estratégia de M&R escolhida em função do ICP, da Idade e do VDM do segmento analisado. Os fatores de entrada são considerados em níveis, como apresentado na Tabela 3, e as Estratégias disponíveis são as apresentadas na Tabela 4.

3.4 Fator de Decisão: Custo

Pesquisa realizada por Lima (2007), com respostas de diversos municípios brasileiros de médio porte, constatou que um dos fatores mais levados em consideração na hora da decisão sobre qual trecho deve sofrer intervenção é o custo, pois o orçamento anual disponível é um fator limitante. Assim, neste trabalho, após a hierarquização de todos os trechos, de acordo com o IP, e da determinação, para cada um deles, da melhor estratégia de manutenção ou reabilitação, calcula-se o custo total da intervenção recomendada para cada trecho a partir do custo unitário e da área que necessita de manutenção. Com o custo acumulado, na ordem decrescente de prioridade, e conhecendo-se o orçamento anual disponível, determinam-se quais atividades podem ser desenvolvidas naquele ano e quais devem ser feitas nos anos seguintes. Além disso, essa análise também pode servir solicitações de dotação orçamentária complementar, a fontes estatais e privadas, inclusive estrangeiras.

| Estratégia | Descrição | Custo unitário (R\$/m²) |
|-------------------|-----------------------|---|
| 0 | Não fazer nada | - |
| 1 | Manutenção Corretiva | 2,00 |
| 2 | Manutenção Preventiva | 5,00 |
| 3 | Reforço Convencional | 18,00 |
| 4 | Reforço com Fresagem | 25,00 |

Tabela 4: Atividades de M&R consideradas e seus respectivos custos unitários

4 | TESTE DO SGPUD

Com o objetivo de testar o uso da ferramenta de modelagem dinâmica a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos, foi utilizada, inicialmente, uma base de dados fictícia, com 10 trechos viários homogêneos, ou seja, com características estruturais e funcionais semelhantes dentro do segmento. As características de cada segmento encontram-se na Tabela 5, que fornece informações relativas à área da seção (largura da via multiplicada pelo comprimento do trecho), à classe funcional (via de trânsito rápido: 1; arterial: 2; coletora: 3; ou local: 4), ao ICP (0 a 100), idade (tempo, em anos, decorrido desde a construção do trecho ou da última atividade de reabilitação) e ao VDM.

O modelo gerado é apresentado na Figura 3, que mostra a tela do programa Vensim, indicando todos os parâmetros envolvidos na análise e as relações entre eles, indicadas por setas.

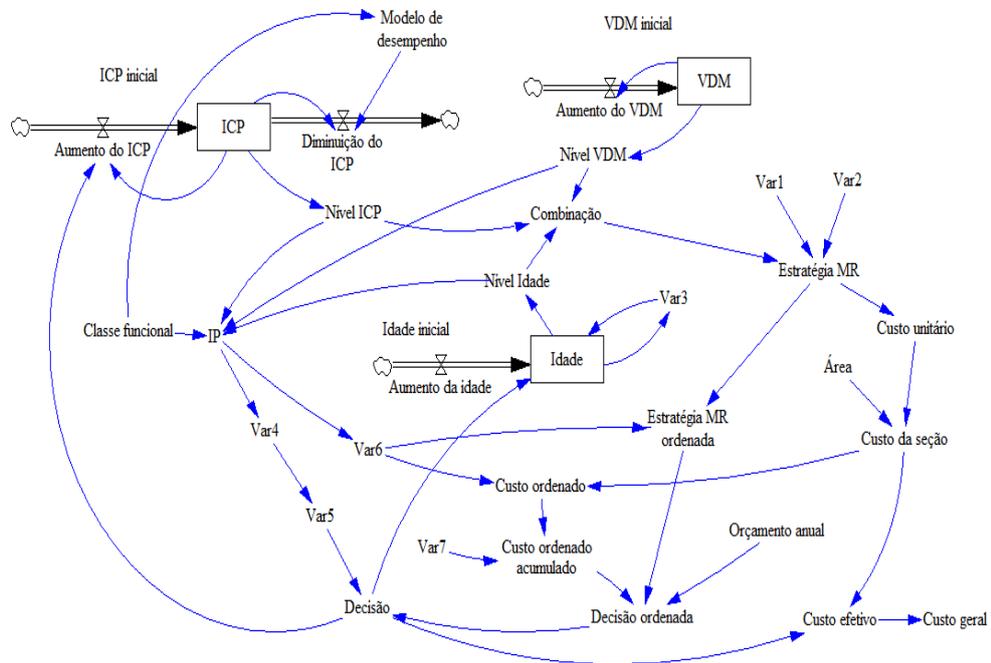


Figura 3: SGPUD modelado através do programa Vensim

| Segmento | Área (m²) | Classe Funcional | ICP (0-100) | Idade (anos) | VDM (UVPs/1000) |
|----------|-----------|------------------|-------------|--------------|-----------------|
| 1 | 1500 | 3 | 80 | 13 | 10 |

| | | | | | |
|-----------|------|---|----|----|----|
| 2 | 1500 | 3 | 60 | 15 | 15 |
| 3 | 1000 | 4 | 70 | 10 | 7 |
| 4 | 1000 | 4 | 35 | 7 | 5 |
| 5 | 1000 | 4 | 50 | 5 | 1 |
| 6 | 1500 | 2 | 30 | 20 | 30 |
| 7 | 1500 | 2 | 60 | 10 | 30 |
| 8 | 1000 | 3 | 70 | 7 | 10 |
| 9 | 1000 | 4 | 65 | 7 | 5 |
| 10 | 1000 | 4 | 45 | 2 | 4 |

Tabela 5: Dados de entrada do modelo

Com o uso do programa Vensim e com os dados dos dez segmentos apresentados na Tabela 5 foi feita uma simulação com período de análise de 8 anos, considerando-se o orçamento anual disponível para cada ano igual a R\$ 75.000,00. Foi considerado que, para cada tipo de intervenção, a condição do pavimento é melhorada de acordo com o indicado na Tabela 6.

| Após a Atividade de M&R: | O ICP do trecho será: | E sua idade será: |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Não fazer nada | o mesmo | a mesma |
| Manutenção Corretiva | 80 | a mesma |
| Manutenção Preventiva | 85 | a mesma |
| Reforço Convencional | 90 | 0 (zero) |
| Reforço com Fresagem | 95 | 0 (zero) |
| Reconstrução | 100 | 0 (zero) |

Tabela 6: Valores de ICP e idade após intervenção

A Figura 4 indica a evolução do ICP ao longo do tempo, em que cada linha representa um trecho analisado e os picos observados significam que uma intervenção foi realizada naquele trecho, resultando em uma melhora no ICP.

Para os trechos onde foram realizadas atividades de reabilitação, a contagem da idade é reiniciada, passando novamente a zero, conforme indicado na Figura 5. Nos trechos onde foram realizadas atividades de manutenção, a idade continua a ser contada, de acordo com o tempo decorrido.

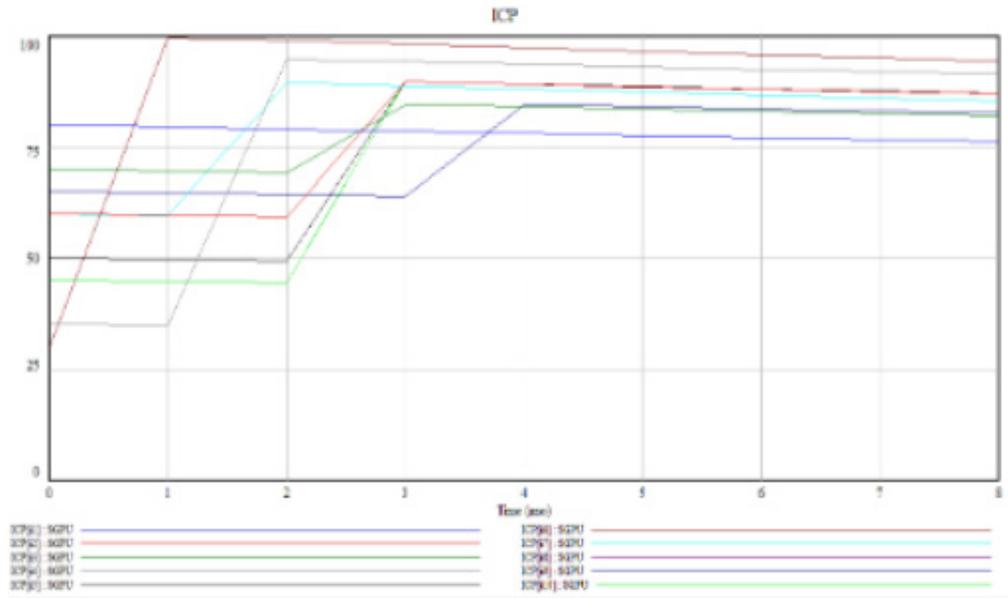


Figura 4: Evolução do ICP com o tempo, considerando-se as intervenções realizadas

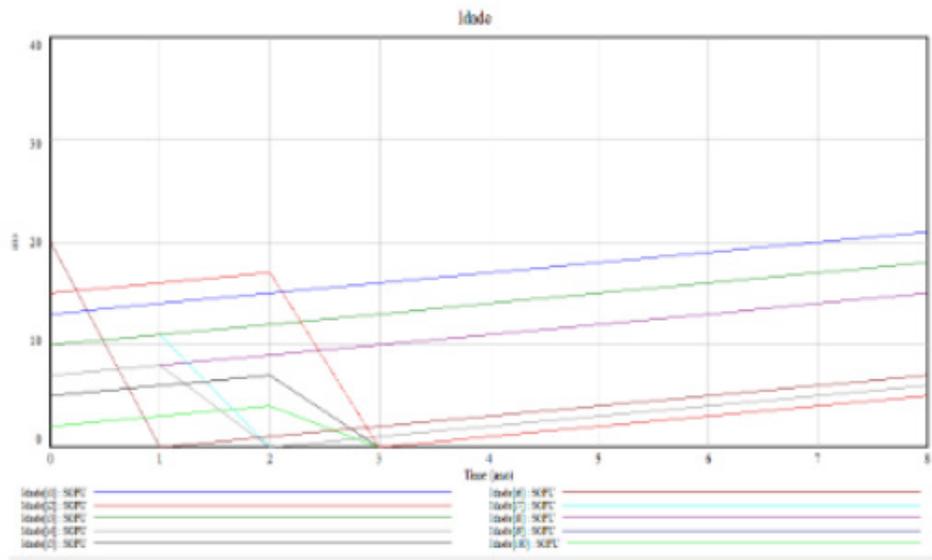


Figura 5: Evolução da idade do pavimento, considerando-se as intervenções realizadas

Conforme as atividades são realizadas, vão sendo contabilizados os custos de cada uma delas, conforme apresentado na Figura 6. Pode-se observar que, a partir do ano 4, não houve necessidade de manutenção das vias, tendo o custo ficado nulo.

O Modelo de SGPUD desenvolvido neste trabalho foi testado com os dados de uma cidade de médio porte (aproximadamente 400.000 habitantes). A análise em nível de rede apresenta a relação das estratégias de manutenção e reabilitação mais indicada para cada uma das seções da rede viária pavimentada (Figura 7).

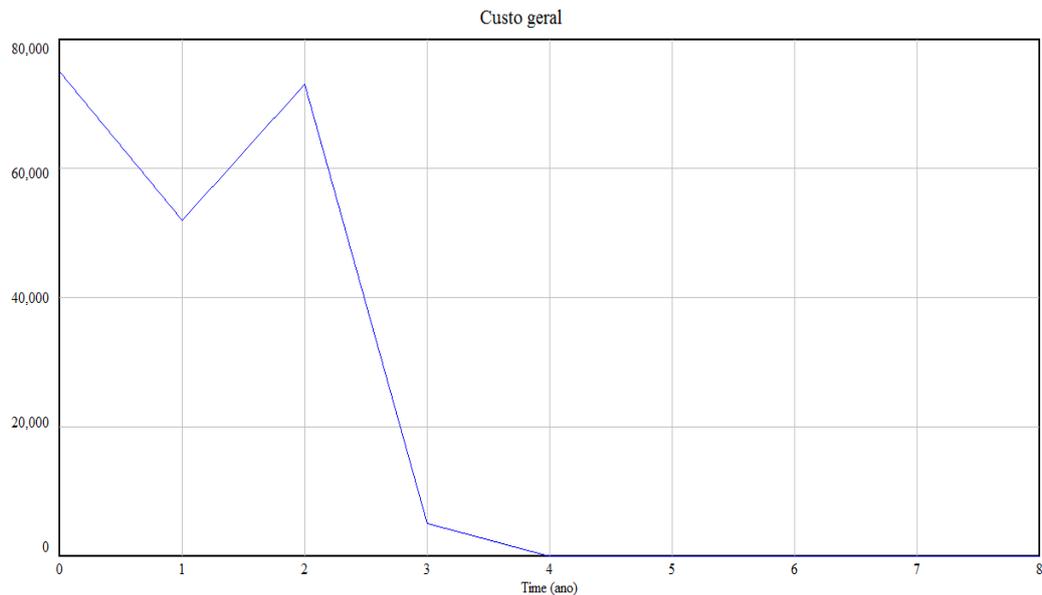


Figura 6: Custo anual, resultado da soma dos custos das atividades realizadas a cada ano

Em síntese, com base em dados de inventário (volume de tráfego e idade) e, principalmente, na avaliação da condição dos pavimentos (ICP), fez-se a seleção da estratégia de manutenção e reabilitação, cujo custo unitário multiplicado pela área da seção fornece o custo da intervenção, sendo o acumulado dos custos de intervenção em cada segmento, na ordem decrescente de prioridade, confrontados com os recursos financeiros e materiais necessários, para definição do ano recomendado para cada intervenção.

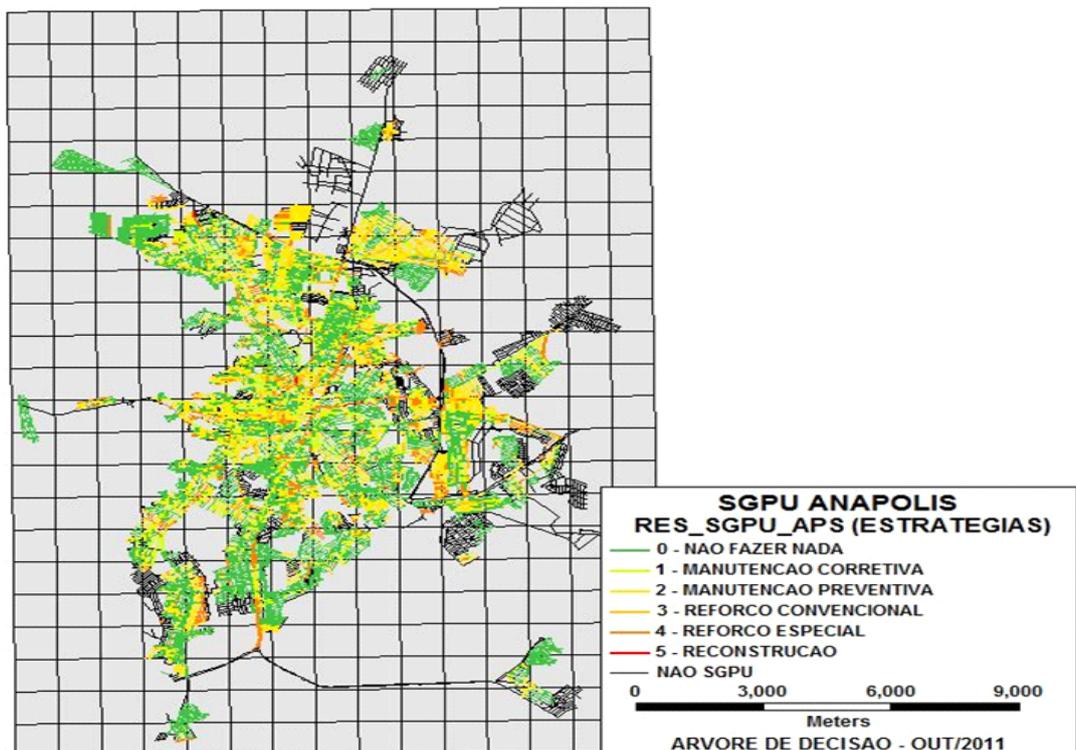


Figura 7: Recomendação de Atividades de Manutenção e Reabilitação para cada segmento

5 | CONCLUSÕES

Neste estudo foi aplicada a modelagem dinâmica de sistemas a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SPGU), com uso do programa Vensim, tendo sido desenvolvido um método para formalização do processo de tomada de decisão por parte dos profissionais responsáveis pelas intervenções nos pavimentos, que permite, também, a compatibilização das estratégias de manutenção e reabilitação dos pavimentos com o planejamento de intervenções em outras infraestruturas urbanas (água, esgoto, energia elétrica, gás, telefonia etc.), com potencial para reduzir significativamente o custo total para a sociedade.

O método também foi aplicado a uma base de dados real, de uma cidade brasileira de médio porte, sendo os resultados apresentados de maneira visual, através de mapas temáticos, com o uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Todas as vias municipais foram avaliadas e foi feito um diagnóstico de cada tipo de defeito existente em cada logradouro, avaliando-se a extensão, o nível de severidade e a causa provável dos defeitos, propondo-se, ao final, medidas mitigadoras para cada seção levantada.

Os dados foram inseridos em um banco de dados vinculado a um SIG, que cadastrou a condição do pavimento em todos os logradouros municipais, facilitando o acesso às informações e a visualização dos problemas. O Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos Dinâmico (SGPUD) implantado tem informações que, devidamente analisadas, permitem à Prefeitura Municipal racionalizar a aplicação dos recursos.

Trata-se de um exemplo de processo sinérgico, com transferência de tecnologia para a sociedade, que une o poder público (prefeituras), a universidade e a iniciativa privada, representada pelas empresas prestadoras de serviços na área de infraestrutura urbana.

Os benefícios já alcançados pelo município em que o estudo de caso foi desenvolvido incluem:

- formação e aperfeiçoamento técnico dos gestores públicos e dos tomadores de decisão;
- incentivo à interdisciplinaridade, pois diversos técnicos de formações distintas trabalham e opinam nos serviços a serem executados (Engenheiros Civis, Arquitetos, Economistas, Administradores);
- incorporação da prática de manutenção preventiva das infraestruturas críticas do município, não se utilizando somente as opções remendos (tapa-buracos emergenciais) e recapeamentos sem projeto;
- a aplicação racional dos recursos, avaliada ao longo de três anos, reduziu os custos com a pavimentação asfáltica e, principalmente, melhorou a qualidade dos pavimentos, confirmando as evidências obtidas na simulação inicial, que considerou apenas 10 segmentos hipotéticos ;
- melhoria do processo licitatório para contratação de empresas especializa-

das em atividades de manutenção (corretiva e preventiva), reabilitação e reforço de pavimentos flexíveis;

- trata-se de processo economicamente viável, pois o custo da implantação do SGPU foi inferior a 1% do custo das atividades de manutenção e reabilitação previstas;
- possibilidade de envio de propostas e solicitações de verba ao Governo Federal e órgãos financiadores, como por exemplo, Ministério das Cidades, Banco Mundial, agências estrangeiras (JICA, GTZ etc.), pois as informações e análises têm sólida base técnica.

REFERÊNCIAS

Fernandes Jr., J. L.; Oda, S.; Zerbini, L. F. (2006) **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Gráfica EESC-USP. São Carlos.

Haas, R.; Hudson, R. W.; Zaniewsk, J. (1994) **Modern Pavement Management**. Editora Krieger Publishing Company, Malabar - Florida.

Lima, J. P. (2007) **Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos**. Tese de Doutorado – EESC – USP, São Carlos.

Lopes, S. B.; Pfaffenbichler, P.; Emberger, G.; Riedl, L.; Fernandes Jr., J. L. (2008) **Gerência de Pavimentos Urbanos com Uso de Modelagem Dinâmica de Sistemas Diretamente Conectada com um SIG**. Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro.

Silva, A. N. R.; Ramos, R. A. R.; Souza, L. C. L.; Rodrigues, D. S.; Mendes, J. F. G. (2008) **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos, SP, gráfica EdUFSCar.

Zanchetta, F. (2017) **Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Zerbini, L. F. (1999) **Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Dissertação de Mestrado – EESC - USP, São Carlos.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-352-1

