Modelos de deterioração e sua importância para a gestão de pontes rodoviárias

Caroline Buratto de Lima e Oliveira[1], Marcelo Greco[2], Sebastião Salvador Real Pereira[3]

[1]Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes / Dep. de Manutenção e Restauração Rodoviária / caroline.lima@dnit.gov.br
[2] Universidade Federal de Minas Gerais /Departamento de Estruturas/ mgreco@dees.ufmg.br
[3]Universidade Federal de Minas Gerais /Departamento de Estruturas/ ssrp@dees.ufmg.br

Resumo

A previsão das condições futuras dos componentes de infraestrutura tornou-se o principal diferencial na gestão moderna de pontes em todo o mundo. O conhecimento da provável condição da ponte ou da sua segurança a qualquer tempo é basilar para a obtenção do melhor gerenciamento estratégias, através da priorização das intervenções de manutenção, reforço e reabilitação. O bom desempenho gerencial é essencial especialmente face à limitação de recursos financeiros ou sob o viés do seu melhor aproveitamento. Através dos sistemas informatizados de gestão de Pontes ou "*Bridge Management Systems*" as taxas de deterioração são introduzidas através de algoritmos que podem variar de acordo com o tipo de estrutura, sua localização, material constituinte ou mesmo quanto ao ambiente no qual está inserida, fornecendo subsídios importantes para a tomada de decisão. As inspeções periódicas comumente realizadas nos parques de pontes possuem a limitação de indicar apenas a condição atual, no entanto, para se obter a estratégia de gerenciamento ótima, a condição ou desempenho futuro da ponte deve ser previsto com base no conhecido status atual. Para o estudo das taxas de deterioração de pontes rodoviárias brasileiras, o Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes em conjunto com a Universidade Federal de Minas Gerais realizam pesquisa com os dados nacionais existentes, utilizando diversos processos estocásticos. Os processos podem ser classificados em determinísticos, tais como a regressão baseada em mínimos quadrados, ou em probabilísticos, tais como as cadeias de Markov. Outras metodologias utilizam processos de inteligência artificial (algoritmos naturais ou redes neurais). Após a pesquisa, o objetivo do artigo é de descrever as técnicas existentes, avaliando suas limitações, especificidades e potencialidades. Exemplos práticos para a utilização desses modelos serão apresentados para demonstrar o uso e a importância do conhecimento dessa metodologia nas decisões gerenciais rotineiras.

Palavras-chave
Gerenciamento de Pontes; Modelos de Deterioração; Cadeias de Markov

Introdução

As pontes são obras de infraestrutura possuem grande importância nas redes rodoviárias e ferroviárias. A gestão dessas obras é necessária para garantir sua segurança e funcionalidade através de intervenções de reparo, restauração, reabilitação e de substituição parcial ou integral. O planejamento das ações corretivas em pontes possui grande importância no setor de transportes devido aos altos custos e riscos associados a essas estruturas (MARKOW et al, 2009). Para pequenos parques de obras, as decisões

são geralmente realizadas com base na expertise de engenheiros do setor, com graus razoáveis de dificuldade (AUSTROADS, 2013). No entanto, para grandes parques de obras, o gestor possivelmente encontrará dificuldades quanto à priorização e definição das atividades a serem realizadas sob determinado orçamento disponível. Nesse último caso, a sistematização dos dados realizada pelos sistemas de gestão de obras de arte oferecem metodologias mais sofisticadas para o apoio às decisões dos responsáveis técnicos.

Um Sistema de Gestão de Obras de Arte ou "*Bridge Management Systems*" (BMS) são softwares que procuram reproduzir e automatizar os procedimentos utilizados pelos gestores de pontes. A Figura 01 mostra os principais elementos constituintes e suas principais inter-relações no processo de gerenciamento de pontes, interligado ao uso do BMS.

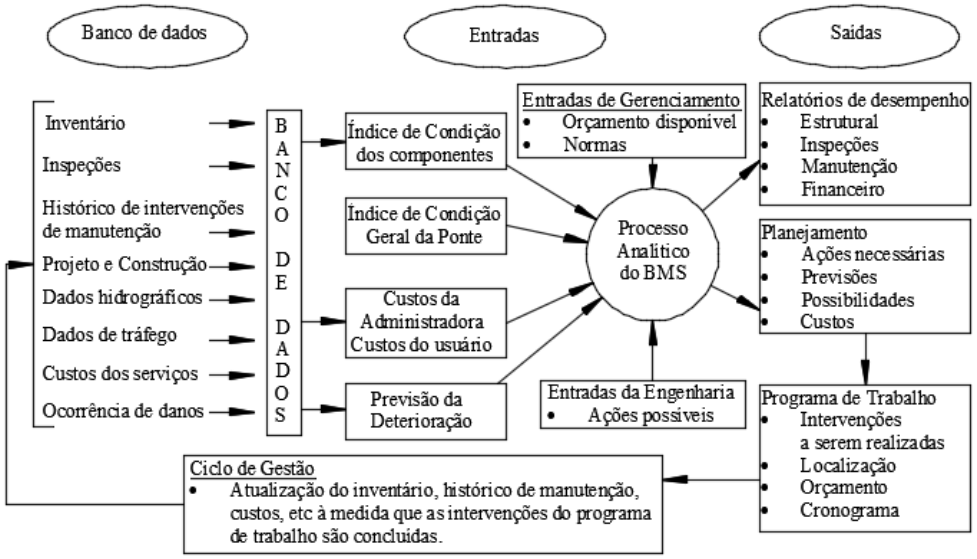


Figura 1 – Rede de gerenciamento de pontes, seus elementos e inter-relações.
Fonte: Adaptado de Austroads, 2013.

Os BMS possuem três módulos básicos: o banco de dados, as inspeções periódicas e as ferramentas de suporte à decisão e gestão (MORCOUS, 2002). O banco de dados deve conter os registros da inventariança das obras, com as informações disponíveis da construção e do projeto (materiais, sistema construtivo, capacidade de carga, dimensões). O módulo de inspeções é constituído pelos apontamentos das vistorias periódicas realizadas nas obras ou possíveis mudanças de registros do inventário tais como: alteração volume de tráfego, modificações relativas às obras, entre outros. Os dois primeiros módulos são constituídos fundamentalmente pela entrada de dados, tendo como principal benefício a organização das informações através da sua inserção de acordo com formato padronizado e em campos específicos. Ao serem organizados e uniformizados, os dados podem ser trabalhados mais facilmente pelo usuário, possibilitando sua maior exploração a partir da utilização de simulações computacionais. Este procedimento pode gerar informações importantes e promover maior conhecimento das características do parque de obras.

Para o último módulo de análises gerenciais e de suporte à gestão, os BMS se baseiam em ferramentas de análise de custo de vida ou *Life-Cycle Costs Analysis* (LCCA). No LCCA são considerados, além dos custos iniciais dos empreendimentos (projetos, construção e execução), os custos de longo prazo distribuídos nas ações de operação, manutenção, reparos, reabilitação e de substituição. Para a análise gerencial, o módulo gerencial é dividido nos módulos de custo, deterioração e otimização. Os modelos de deterioração e as ferramentas analíticas e numéricas de otimização possibilitam avaliar o desempenho das pontes e mensurar riscos, prever e planejar as intervenções, determinar prioridades, calcular os custos envolvidos nas obras e planejar orçamentos otimizando a destinação dos recursos.

O Módulo de Deterioração de um BMS

Após o registro das obras e de seu estado de conservação para a utilização do módulo de otimização do BMS é necessário relacionar os custos envolvidos. Os custos podem ser classificados como diretos, quando se referirem aos serviços de obras de manutenção, recuperação e restauração específicas dessas estruturas, ou como indiretos, quando estiverem relacionados aos impactos socioeconômicos advindos dessas intervenções (ALMEIDA, 2013). O processo analítico de cada BMS poderá ainda apresentar maior ou menor acurácia dos resultados dependendo dos algoritmos utilizados. No entanto, o módulo de deterioração tem importância ainda mais decisiva no subsídio das decisões gerenciais, tendo grande impacto sobre os resultados, dependente fortemente da sua acurácia de sua predição (BU,2014).

O modelo de deterioração implementado no módulo de deterioração do BMS é construído através de ferramentas estatísticas baseadas em dados das inspeções periódicas das pontes. Devido às características de cada país tais como clima, posição geográfica, agentes deteriorativos, técnicas e materiais construtivos bem como a específica utilização das vias com determinados tipo da frota, velocidades e cargas, existe uma particularidade dos processos e das taxas de deterioração dessas obras em cada região (YIANNI et al, 2016). Este panorama apresenta a principal dificuldade encontrada pelos gestores em todo o mundo para a utilização dos modelos de deterioração: é fundamental existir um banco de dados local com o histórico da alteração da condição dessas obras ao longo do tempo. Além do banco de dados, para a elaboração dos modelos de deterioração devem existir registros de obras inspecionadas em quantidade suficiente para uma determinação acurada das taxas de deterioração dessas estruturas.

A ausência de registros de condição dessas obras no setor rodoviário pode encontrar causa na ênfase histórica dada às pesquisas na área de pavimentação, com refinamento das técnicas, incorporação de novos materiais e pesquisas voltadas para a deterioração dessas estruturas e otimização de sua conservação. A manutenção das obras de arte especiais (OAEs), especialmente pontes e viadutos em rodovias, são um tema relativamente recente em diversas pesquisas científicas, não só no Brasil como em todo o mundo (ALMEIDA, 2013).

País com significativos avanços nessa área de pesquisa, os Estados Unidos da América apenas enfatizaram seus trabalhos após acidente ocorrido na ponte Silver Bridge em 1967. Outros países também enfrentaram catástrofes devidas à falta de manutenção dessas obras, destacando-se os acidentes com a ponte Seongsu Bridge em 1994 (27 anos

depois) na Coréia do Sul e o colapso da ponte Entre Rios em Portugal em 2001, causando grande comoção nacional.

Face ao interesse relativamente recente, os administradores possuem poucos registros de inspeção de pontes. Somado a isso, usualmente as pontes observam expressivas alterações em intervalos curtos de inspeções resultando em poucas alterações das condições no tempo no intervalo necessárias para a elaboração de um modelo preditivo da taxa de deterioração das pontes do seu parque de obras (BU, 2014). Como consequência, apesar dos recursos gerenciais existentes nos BMS, a utilização do software pode limitar-se ao uso do banco de dados de entrada e acessado pelos gestores para a consulta aos registros das obras e dos dados das inspeções periódicas realizadas. Esse uso restrito é inclusive indicado como típico em relatório da Organização das Agências de Transporte Rodoviário e de Trânsito da Australásia (AUSTROADS, 2015).

Metodologias utilizadas para a determinação de taxas de deterioração de pontes

Para a qualificação do estado de uma ponte utiliza-se o IC, ou "*Condition Index*" ou "*Condition Rating*". O IC pode ser determinado após uma avaliação da condição da estrutura através da realização de inspeção e seu valor será determinado segundo uma escala numérica de acordo com orientações normativas. No Brasil, o Índice de Condição é denominado "Nota Técnica" pelas normas DNIT 010/2004-PRO e ABNT 9452/2013 podendo variar de 1 a 5, sendo 5 a nota atribuída para estruturas no melhor estado e 1 a nota atribuída para estruturas no pior estado. Este valor numérico usualmente está diretamente relacionado à segurança da obra e por isso torna-se o principal dado utilizado para as decisões gerenciais sobre as ações necessárias de intervenção.

Os métodos mais utilizados para a estimativa de taxas de deterioração em pontes podem ser classificados como modelos determinísticos, estocásticos e de inteligência artificial (SETUNGE, 2011). A diferença na classificação entre os modelos estocásticos e determinísticos é baseada na característica do retorno das análises estocásticas. No primeiro caso o valor de retorno será um valor preditivo fixo para seu estado de condição ou IC. No segundo caso, o retorno possui o formato de probabilidade do estado de condição da ponte, ou seja, qual a probabilidade de a estrutura estar em determinado IC. Outra diferença na abordagem é que nos modelos probabilísticos os IC's são considerados variáveis aleatórias de entrada para a análise estatística.

Em relação ao banco de dados necessário para o desenvolvimento de um modelo de deterioração, é preciso no mínimo de três a quatro ciclos de registros de vistorias com correspondente IC atribuído, de acordo com o Manual for Bridge Evaluation - 2 (AASHTO, 2013).

Modelos de deterioração determinísticos

Os modelos de deterioração determinísticos são obtidos através de modelos estatísticos e de regressão que procuram descrever tendências a partir de dados históricos de deterioração das estruturas. As funções resultantes desses modelos consideram que a obra se inicia com o valor de 100% e termina sua vida-útil com o valor zero. O principal método estocástico utilizado nos modelos determinísticos é a regressão polinomial de terceira ordem:

$$IC_i = \beta_0 + \beta_1 t_j + \beta_2 t_j^2 + \beta_3 t_j^3 \quad (1)$$

sendo IC a nota da ponte i = 1,...,34, e t o tempo j = 1, ..., 7.

A regressão polinomial considera o histórico de cada ponte individualizada partindo deste conhecimento para a projeção do comportamento do conjunto. Esta possibilidade de tratativa resulta em uma descrição mais acurada do processo deteriorativos individual. Outra vantagem do método é a possibilidade da verificação de possíveis correlações entre as taxas de deterioração obtidas com os fatores internos ou externos das estruturas. Por exemplo, a variação da taxa poderá ser verificada em função de diferentes tipos de sistemas estruturais, materiais, idade das obras, características do tráfego, agressividade ambiental e outros agentes possíveis de influência.
Para a utilização de regressão como forma inferencial algumas suposições devem ser observadas como independência entre as observações, normalidade e variância constante. Como os dados têm uma estrutura longitudinal, um modelo inferencial deve levar em conta a estrutura de dependência existente em uma mesma ponte.

Modelos de deterioração probabilísticos utilizando Processos de Markov

Nos processos de deterioração das estruturas existem diversos agentes que dificilmente poderão ter suas taxas de influência individualmente estudadas. Nesse sentido, o fenômeno da deterioração das pontes possui viés probabilístico, sendo esta a principal justificativa para a maior utilização dos modelos probabilísticos nas pesquisas dessa área da ciência. Os principais modelos estocásticos dividem-se em Modelos de Markov, Modelos Semi-Markov, Modelos de Sobrevivência Weibull, Modelos Híbridos Markov-Weibull, Modelos de Deterioração por Processo Gamma (ASTROADS, 2015). Dentre os modelos probabilísticos e entre os processos de decisão, os processos de Markov se destacam na identificação de projetos estruturais ótimos e suas políticas de manutenção associadas. Esta abordagem possui vasta utilização, pois é capaz de identificar a tendência segundo uma abordagem probabilística além de resultar em um modelo matemático computacionalmente atraente (TAO et al, 1994).
Os processos de Markov podem ser classificados em discretos ou contínuos, de acordo com o tempo. O tempo no processo é considerado uma variável e pode ter sua natureza discreta, sendo X(t), t=0, 1, 2,... ou contínua, sendo X(t), t>0. As variáveis de entrada também poderão ser contínuas ou discretas. Apesar do processo de deterioração possuir caráter contínuo, a consideração dos ICs como discretos é largamente utilizada para mensuração da condição da estrutura, reduzindo a complexidade da monitoração contínua desse processo (MADANAT et al., 1995).
O processo de Markov para o estudo das taxas de deterioração de pontes é, portanto, discreto no tempo e discreto nas variáveis (IC). Essas condições específicas são contempladas através da utilização das cadeias de Markov, caso particular do Processo de Markov. Os modelos baseados no estado são modelos de deterioração que utilizam o processo de Markov em cadeia, estudam a probabilidade de uma determinada ponte manter seu IC ou mudá-lo em um intervalo de tempo fixo Δt. As cadeias de Markov também são adequadas e amplamente utilizadas para desenvolver modelos estatísticos de deterioração de vários tipos de materiais de infraestrutura, tais como pavimentos, pontes, edifícios entre outros.

Nas cadeias de Markov, a probabilidade de um elemento transitar do estado i num tempo inicial para um estado j num tempo Δt é dada por:

$$P_{(\Delta t)ij} = P_r\left(X_{\Delta t} = j \mid X_{\Delta t} = i\right) \quad (2)$$

e analogamente, a probabilidade de um elemento permanecer no estado i num tempo Δt é dada por:

$$P_{(\Delta t)ii} = P_r\left(X_{\Delta t} = i \mid X_{\Delta t} = i\right) \quad (3)$$

Cada elemento p_{ij} representa a probabilidade do IC da ponte passar de i para j durante um determinado intervalo de tempo (Δt). A estrutura da Matriz de Transição de Probabilidades (MTP) é descrita pela matriz da equação:

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

As equações (3) e (4) são determinadas a partir de um conjunto de dados históricos das condições dessas estruturas (IC) ao longo do tempo. Para a utilização das cadeias de Markov, os dados devem seguir um intervalo regular ou equidistante, discreto e inteiro, podendo ser, por exemplo, igual a um ou dois anos (ALMEIDA, 2013). Para cada intervalo, uma ponte deve permanecer no mesmo IC ou passar para outro IC, sem informações adicionais neste intervalo. As transições de IC devem ser sempre de um passo, pois caso haja alteração do IC de 5 para 3 no final do intervalo, tal informação demonstraria que em determinado instante no intervalo houve a mudança para o IC 4, afetando o cálculo da probabilidade. Um exemplo de MTP e do gráfico com as funções do modelo de deterioração utilizando as cadeias de Markov é apresentado na Figura 2.

	1	2	3	4	5
1	0,72	0,26	0	0,02	0
2	0	0,8	0,18	0,02	0
3	0	0	0,98	0,02	0
4	0	0	0	0,89	0,11
5	0	0	0	0	1

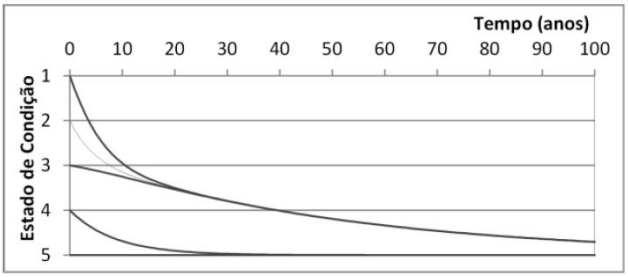


Figura 2- Matriz de Markov e curvas de deterioração de pontes de concreto segundo Orcesi-Cremona (2009). Fonte: Almeida (2013).

O IC das pontes consideradas no estudo de Orcesi-Cremona (2009) obedeceu à norma francesa, na qual o IC 5 se refere ao pior estado de condição e 1 ao melhor. As probabilidades da MTP são calculadas de acordo com a mudança dos níveis de IC e seus resultados são facilmente analisados a partir da sua disposição na matriz. Para a MTP da Figura 2, se a estrutura foi avaliada no IC4, existe a probabilidade 89% dela permanecer no IC4 e de 11% de passar para o IC5. Outro exemplo é que se a ponte foi avaliada do IC 1, a probabilidade que ela passe para o IC2 é de 26% e de 72% que ela permaneça no IC1. No estudo de Orcesi foi considerado possível a mudança de mais de dois níveis para o mesmo ciclo, por exemplo do IC1 para o IC4. Outros pesquisadores desconsideram essas variáveis do cálculo pois sugerem que houve a mudança do IC2

para o IC3 e do IC3 para o IC4 em um tempo inferior ao intervalo discreto, alterando a premissa do tempo discreto com intervalos contínuos das Cadeias de Markov.
De posse da MTP de um parque de obras, é possível estimar o IC futuro de uma estrutura após determinados períodos de tempo (t). Segundo MADANAT (1995), a MTP permite obter uma previsão média do estado de condição (ICmédio) para cada grupo de pontes de acordo com a expressão:

$$E(ICmédio) = IC(t).MTP \quad (5)$$

em que I*C* é o vetor com os valores possíveis dos estados de condição.
Além da possibilidade da análise individual das pontes, o gestor poderá encontrar subsídios importantes nas projeções de estado futuro fornecidas pela MTP do seu parque de obras. A partir da Equação (5) é possível estimar a quantidade de pontes em determinado IC ao longo dos anos, conforme modelo da Tabela 1.

Tabela 1 – Número de Pontes por IC

	1	2	3	4	5
Ano 01	0	0	21	157	8
Ano 02	1	3	32	133	17
Previsão Ano 03	2	2	38	142	2

O gestor poderá definir a política de gestão com base em índices de desempenho, com quantidades máximas admissíveis de pontes em determinado estado ou mesmo o pior estado aceito para aquele grupo de pontes. Nos seus estudos com pontes no Canadá, MORCOUS (2006) comparou os dados previstos na MTP de Markov com os dados reais dos estados das pontes. Os resultados indicaram 95% de precisão da estimativa, validando o método como recurso gerencial. De posse das projeções de estado das obras e dos custos relativos às intervenções de engenharia, o gestor poderá elaborar o planejamento financeiro com significativa precisão e planejar os investimentos de acordo com o orçamento disponível. Mais importante ainda, o Gestor poderá estabelecer uma política com base no desempenho, determinando mínimos de IC admissíveis ou mínimas porcentagens de pontes para intervenção, contribuindo para a melhoria do sistema administrado.

Modelos de deterioração de Inteligência Artificial

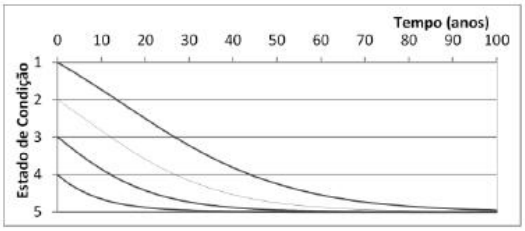
Os modelos de deterioração utilizando inteligência artificial procuram encontrar relações entre o IC e as variáveis internas e externas às pontes. Como variáveis internas às pontes entendem-se aquelas decorrentes da estrutura e suas características, tais como: tamanho dos vãos, idade da ponte, sistema construtivo, entre outras. As variáveis externas às pontes seriam aquelas representadas pelos agentes externos que podem afetar na sua deterioração, tais como: o volume de tráfego, o tipo de tráfego, o clima da região e sua respectiva agressividade. (MORCOUS e LOUNIS, 2005).
Os principais modelos de inteligência artificial são aqueles utilizados por redes neurais ou *Artificial Neural Network* - ANN associadas ao Modelo de Predição do IC passado ou *Backward Predicition Model* - BPM e o denominado "Modelos baseados em históricos" ou *Case-based Reasoning Models* – CBR.

Destacam-se os modelos desenvolvidos por MORCOUS (2005) através do CBR, separando as curvas de deterioração de acordo com os tipos de agressividade ambiental. Com os dados disponíveis de 9.678 pontes da Província do Quebec no Canadá. MORCOUS (2005) desenvolveu modelos baseados no IC de 1 a 5, sendo 1 para a melhor condição e 5 para a pior. A deterioração das pontes foi estudada pelos diversos tipos de agressividade ambiental, classificados como "muito ligeira", "ligeira", "moderada" e "severa". A Figura 3 mostra a diferença da taxa de deterioração para pontes inseridas em ambientes com agressividade moderada e severa.

BU et al. (2013) conduziram pesquisas na tentativa de aumentar a acurácia dos modelos para pequenos bancos de dados de IC. O método BPM consiste em criar um banco de dados históricos a partir dos dados existentes, criados de acordo com relações encontradas por algoritmos de redes neurais, formando assim um banco de dados com maior número de variáveis e com maior confiabilidade. A Figura 4 mostra a metodologia utilizada. Os dados históricos gerados são então submetidos ao mesmo algoritmo e é verificada a dispersão do próprio modelo. Os modelos de inteligência artificial utilizam técnicas de computação na tentativa de encontrar padrões similares entre os dados, relacionando o IC com variáveis denominadas "externas" às pontes, mas que sabidamente são associadas aos agentes da sua deterioração. Os métodos utilizados neste modelo procuram diminuir as incertezas decorrentes de bancos de dados de IC com histórico insuficiente para uma confiabilidade aceitável do modelo de deterioração.

Agressividade ambiental moderada

	1	2	3	4	5
1	0,93	0,07	0	0	0
2	0	0,92	0,08	0	0
3	0	0	0,91	0,09	0
4	0	0	0	0,9	0,1
5	0	0	0	0	1



Agressividade ambiental severa

	1	2	3	4	5
1	0,87	0,13	0	0	0
2	0	0,86	0,14	0	0
3	0	0	0,85	0,15	0
4	0	0	0	0,83	0,17
5	0	0	0	0	1

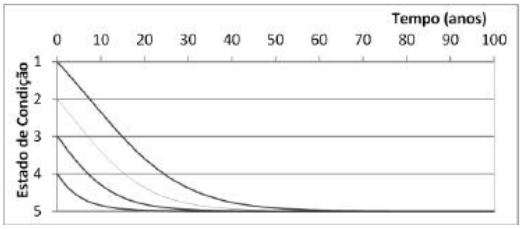


Figura 3- Modelos de deterioração de acordo com agressividade ambiental segundo Morcous (2005). Fonte: Almeida (2013).

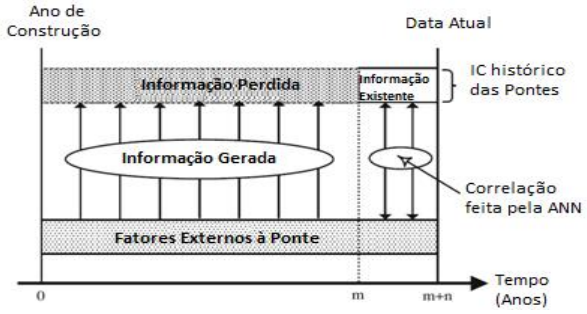


Figura 4 - Mecanismo do BPM. Fonte: Adaptado de: Bu et al. (2014)

Considerações Finais

As barreiras percebidas e reais para alcançar a implementação efetiva de modelos de deterioração precisam ser identificadas e ponderadas em relação ao valor que pode ser adicionado à tomada de decisões de gerenciamento de ativos. Uma das principais barreiras na introdução de qualquer um desses sistemas é a disponibilidade de dados.

Para aproveitar os benefícios potenciais dos modelos de deterioração seria necessário um esforço significativo na captura de dados de condições das pontes, de forma consistente, para melhorar a sua disponibilidade e uniformidade. A existência de variáveis explicativas e de registros padronizados podem garantir um conjunto valioso e significativo de dados, importante para o desenvolvimento de modelos de deterioração nacionalmente consistentes.

As barreiras apresentadas exigem maior exploração. A partir da consciência da importância dos modelos de deterioração é possível verificar o papel fundamental das inspeções rotineiras para a gestão de parques de obras. A inspeção de pontes poderá se desenvolver para além da simples constatação da condição das obras no presente, fornecendo subsídios para a melhor compreensão do comportamento dessas obras no tempo. Da mesma forma os métodos de inspeção poderiam prever a coleta de dados relevantes para o conhecimento do gestor contendo informações sobre possíveis agentes decisivos nas taxas de deterioração.

Frequentemente dados relativamente fáceis de serem registrados podem impactar fortemente em decisões gerenciais, implicando em economia e melhor gestão dos recursos em diversas situações. Por outro lado, recursos podem ser desperdiçados caso não haja a preocupação de se levantar determinadas informações em campo. Em longo prazo, o desenvolvimento e a inclusão de variáveis explicativas na gestão de pontes poderiam trazer grandes benefícios para a indústria. O desenvolvimento de modelos mecanicistas utilizados em conjunto com modelos de deterioração poderia proporcionar resultados acurados na previsão do estado de condição. Ademais, o desenvolvimento desses modelos proporcionaria benefícios na compreensão dos mecanismos de deterioração dos componentes da ponte.

Destaque-se a dificuldade na implementação de modelos de deterioração decorrente da falta de integração desses conjuntos de dados com as ferramentas de gerenciamento de recursos de ponte existentes, como ocorre com as vistorias que são registradas à parte dos SGO’s, dificultando as análises de dados.

O julgamento de engenharia, em conjunto com dados e informações de qualidade, fornece a base para o gerenciamento de ativos baseado em risco. A aplicação real do julgamento de engenharia em várias etapas do ciclo de gerenciamento de ativos varia bastante no Brasil: existem metodologias de gestão específicas para o Estado e para cada uma das Concessionárias de exploração Rodoviária. A ausência da discussão dessas técnicas entre os gestores e também dos conhecimentos adquiridos na prática impede o avanço significativo de conhecimento no setor, limitando os resultados possíveis.

Agradecimentos

Os autores reconhecem e agradecem os importantes apoios do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes no amparo à pesquisa, CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais**.**

Referências

ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida. Tese de doutoramento. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia (FEUP), Porto, Portugal, p. 5.4, 2013.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFCIALS - AASHTO. *The Manual for Bridge Evaluation*. Washington, USA, p. 3-3, 3-6., 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9542: Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto. Rio de Janeiro, 2016.

AUSTRALASIAN ROAD TRANSPORT AND TRAFFIC AGENCIES - ASTROADS. Improved Bridge Deterioration Models, Predictive Tools and Costs. Research Report, Sydney, Austrália, 2015.

BU, G.; LEE, J., GUAN, H.; BLUMENSTEIN, M.; LOO, Y. Development of an Integrated Method for Probabilistic Bridge-Deterioration Modeling. Journal of Performance of Constructed Facilities, v. 28 (02), p.330 - 340, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES - DNIT Norma DNIT 010/2004 – PRO - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, Rio de Janeiro, 2004.

MADANAT, S., MISHALANI,R.G., IBRAHIM, W. H. W. Estimation of Infrastructure Transition Probabilities From Condition Data. Journal of Infrastructure Systems.vol.1, p. 120 - 125,1995.

MARKOW, M.J., HYMAN, W. A. Bridge Management Systems for Transportation Agency Decision. National Cooperative Highway Research Program, Washington, D. C., 2009.

MOURCOUS, G.; RIVARD, H.; HANNA, A. Modeling Bridge Deterioration using cas-based reasoning. Infrastructure Systems, v8(3), p. 86-95, 2002a .

MORCOUS, G.; LOUNIS, Z. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms. Automation in Construction, v. 14 (1), p. 129-142, 2005.

ORCESI , A.D., CREMONA, C. F. Optimal Maintenance Strategies for Bridge Networks Using the Supply and Demand Approach. *Structure and Infrastructure Engineering* v.7(10), p.765-781, 2009.

SETUNGE, S.; HASAN, M.S. Concrete Bridge Deterioration Prediciton using Markov Chain Approach. RMIT University, Melbourne, Austrália, 2011.

TAO, Z.; COROTIS, R. B.; ELLIS, J.H. Reliability-based bridge design and life cycle management with Markov decision processes. Structural Safety, vol. 16, p. 11 – 132.

YIANNI, P.C.; NEVES, L. C.; RAMA, D.; ANDREWS, J.D.; DEAN, R. Incorporating local environmental factors into railway bridge asset management. Engineering Structures. vol. 128, p. 362-373, 2016.