

II - PLANO DE TRABALHO DO TERMO DE EXECUÇÃO DESCENTRALIZADA Nº 00703/2020

1. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADORA

a) Unidade Descentralizadora e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizador(a): **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)**

Nome da autoridade competente: **Luiz Guilherme Rodrigues de Mello**

Número do CPF: **765. [REDACTED] 72**

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: **Diretoria de Planejamento e Pesquisa - DPP**

Identificação do Ato que confere poderes para assinatura: **Regimento Interno, aprovado pela Resolução nº. 39, de 17 de novembro de 2020, publicada no Diário Oficial da União em 19 de novembro de 2020, e a Portaria nº. 3.661, de 29 de junho de 2022.**

b) UG SIAFI

Número e Nome da Unidade Gestora - UG que descentralizará o crédito: **393003 - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)**

Número e Nome da Unidade Gestora - UG Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: **393005 - Diretoria de Planejamento e Pesquisa**

2. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADA

a) Unidade Descentralizada e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizada: **UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

Nome da autoridade competente: **DEMETRIUS DAVID DA SILVA**

Número do CPF: **542. [REDACTED] 49**

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pela execução do objeto do TED: **DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

b) UG SIAFI

Número e Nome da Unidade Gestora - UG que receberá o crédito:

154051/15268 – Universidade Federal de Viçosa

Número e Nome da Unidade Gestora - UG Responsável pela execução do objeto do TED:

154051/15268 – Universidade Federal de Viçosa

3. OBJETO:

O presente plano de trabalho contém uma proposta de projeto de pesquisa com vistas a, num período de 60 meses, atender a uma demanda do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) referente ao decreto presidencial Nº. 10.306 de 02 de abril de 2020, relativa à implantação gradativa da tecnologia BIM na gerência de projetos de infraestrutura contratados e administrados pelo Departamento. Também estão incluídos neste documento propostas de implementação de programa computacional para automatização da avaliação da capacidade de carga de pontes rodoviárias, a elaboração de um catálogo digital de projetos de pontes utilizando o BIM para as tipologias de pontes usuais e a proposição de uma metodologia para avaliar a capacidade de carga das pontes já construídas, considerando a deterioração da estrutura, utilizando a tecnologia BIM. Por fim, propõe-se o desenvolvimento e consolidação de metodologias e protocolos para manutenção, reparo, reforço e reabilitação, baseados em modelos parametrizados, como parte integrante e contribuição no desenvolvimento e consolidação do Sistema de Gestão de Pontes integrado com tecnologia BIM.

Devido à magnitude dos trabalhos propostos, optou-se por oferecer soluções organizadas em quatro módulos (M1, M2, M3 e M4) distintos que, ao longo do seu desenvolvimento em 4 fases, crescem em maturidade e em integração mútua (Figura 1).

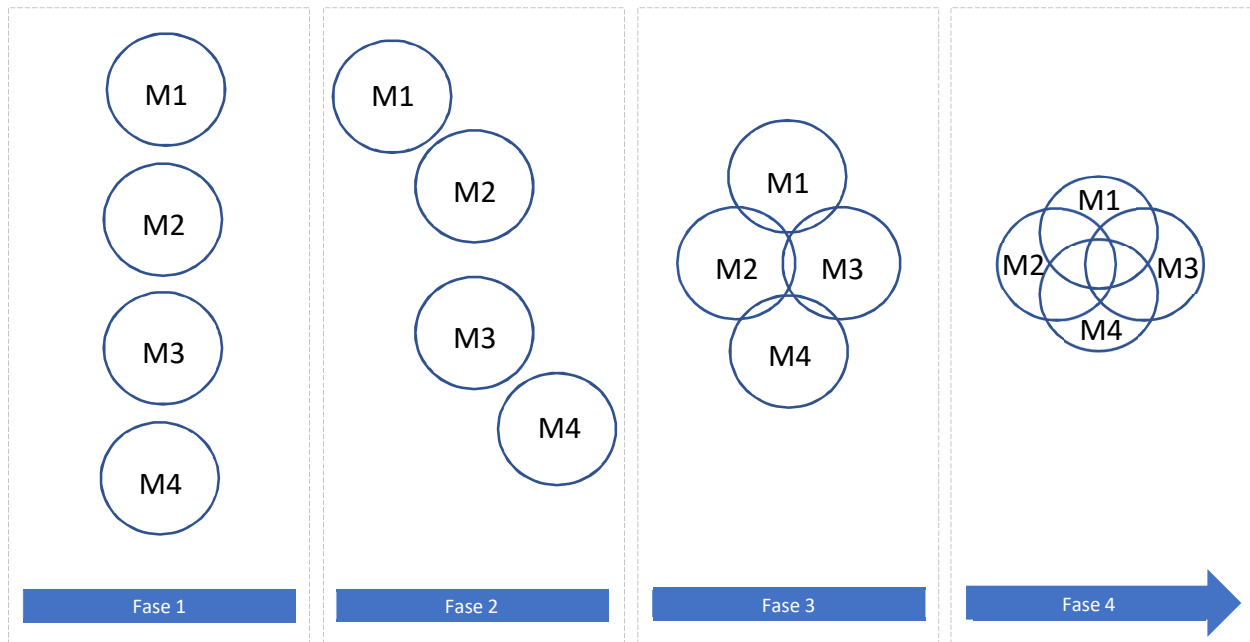


Figura 1 - Quatro módulos em constante integração em quatro fases. Fonte: autores

Cada um dos módulos terá sua metodologia própria de desenvolvimento, considerando pesquisas no estado da arte para melhor aplicar as técnicas de modelagem e programação de computadores. Ao longo das fases, serão entregues relatórios, algoritmos e outros documentos que permitirão avaliações contínuas até a fase final, na qual pretende-se atingir os objetivos propostos.

Os objetos desta proposta, portanto, são:

- Módulo 1. Desenvolvimento de Diretrizes para a implantação e consolidação da tecnologia BIM no âmbito do DNIT, visando a contratação de Projetos de Infraestrutura em conformidade com o decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020.
- Módulo 2. Implementação de programa computacional para automatização da avaliação da capacidade de carga de pontes rodoviárias.
- Módulo 3. Elaboração de um catálogo digital de projetos de pontes utilizando o BIM para as tipologias de pontes usuais e proposição de uma metodologia para avaliar a capacidade de carga das pontes já construídas, considerando a deterioração da estrutura, utilizando a tecnologia BIM.
- Módulo 4. Definição e implementação de modelos parametrizados de manutenção, recuperação, reforço e reabilitação de pontes em concreto armado, e proposição e consolidação de metodologias e informações como contribuições em um Sistema de Gestão de Pontes integrado com tecnologia BIM.

3.1. OBJETO RESUMIDO

Apoio à implementação da metodologia BIM e desenvolvimento de metodologias e ferramentas para gestão de estruturas de Obras de Arte Especiais – OAEs.

4. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E METAS A SEREM DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO TED:

Este item apresenta uma descrição mais ampla (Revisão bibliográfica), atividades e metas a serem desenvolvidas e atingidas em cada módulo, com prazos estabelecidos.

4.1. Módulo 1

Revisão bibliográfica e justificativa

BIM vem sendo considerado um dos mais promissores desenvolvimentos na área de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) e de infraestrutura, e vem se tornando realidade na indústria da construção brasileira. Com ela, os diversos profissionais envolvidos com construções terão um vasto banco de dados constituído por todas as informações (gráficas e não gráficas) necessárias a todo o ciclo de vida de uma edificação ou obra de arte. Por ciclo de vida, entende-se o período que vai da concepção até a eventual demolição. Trata-se, portanto, de um modelo virtual capaz de descrever todos os aspectos (componentes físicos, processos, custos, conexões, funções, comportamentos, etc.) de uma construção. Esse modelo, se bem desenvolvido, implicará na melhoria do processo construtivo, corrigindo deficiências, reduzindo conflitos entre projetos e também os altos índices de desperdícios e inconsistências existentes.

Mais recentemente, a busca pela melhoria da qualidade e da produtividade em todos os setores produtivos mundiais têm também atingido o setor de AEC. Esse setor se apresenta em reestruturação competitiva em vários países, acarretando mudanças no perfil de suas empresas e também mudanças significativas nas relações entre os vários agentes de produção, desde os clientes e por toda a sua cadeia produtiva. De acordo com Silva e Souza (2003), o desenvolvimento de um empreendimento civil é composto por uma série de processos compartilhados entre empresas e profissionais que definem o produto chamado construção. Eles desenvolvem os projetos correspondentes aos vários sistemas, planejam e executam sua construção. Por ser um processo multidisciplinar com baixo nível de intercomunicação, existe a necessidade de haver uma coordenação durante todas as fases do processo que culmina com a utilização do edifício ou obra de arte, o que minimiza os conflitos entre os projetos, simplificando e otimizando a execução da obra.

As características básicas dos processos correntes para a elaboração de projetos e construção são:

Fragmentação No setor de AEC um grande número de disciplinas é envolvido na elaboração de projetos e na construção de um único produto. Uma vez que as áreas de conhecimentos no desenvolvimento de cada sistema são distintas, há que se ter um alto nível de integração entre equipes para que haja consistência nos diversos sistemas que compõe a construção (Figura 2).

Projetos elaborados num ambiente fragmentado têm trazido inúmeras inconsistências, durante a fase de construção, responsáveis por desperdícios e baixa qualidade final do produto. De acordo com Eastman et al. (2014), tentativas de solução do problema da fragmentação incluem estruturas organizacionais alternativas, como:

- o contrato para projeto e construção (*design-build*);
- o uso de tecnologias de tempo real, como sites de empreendimentos para compartilhar plantas e documentos;
- e a implementação de ferramentas de modelagem 3D.



Figura 2. Diagrama conceitual representando uma equipe de empreendimentos AEC.
Fonte: Eastman et al. (2014)

Dependência da forma de comunicação baseadas em papel

Normalmente, documentos de diversas naturezas são trocados entre os agentes responsáveis pela construção na forma de papel impresso ou na forma digital. Esse último vem sendo cada vez mais utilizado (por exemplo, arquivos PDF, DWG, DOC, XLS, etc.), devido às grandes facilidades trazidas pela informática e pela internet. Entretanto, um dos problemas mais comuns decorrentes dessa forma de comunicação é o tempo e esforços necessários para a geração de informações críticas, como estimativas de custo, análise de uso de energia, dentre outros. Essas análises são geralmente realizadas após a conclusão dos projetos, quando é tarde demais para realizar alterações significativas de projeto.

Estima-se que o volume de desperdício nas construções comuns é da ordem de 30% do seu custo total. Segundo Bernstein (2003), boa parte desse desperdício é atribuída à falha na descrição e na comunicação do projeto através de desenhos incompletos e inconsistentes. Uma outra estimativa indica que de 50 a 85% de todos os problemas da construção são causados pela ausência, erros ou inconsistência das informações contidas nos desenhos construtivos (IAI NORTH AMÉRICA, 2002). A propagação de erros através de desenhos (principalmente no contexto multidisciplinar do setor de AEC) é notória.

Princípios básicos

Há muitas definições para o acrônimo BIM (Building Information Model(ing) – Modelo(agem) da Informação de Construção). Algumas delas precisam ser examinadas com critério, por possíveis inconsistências e ambiguidades. Trata-se, possivelmente, de um dos termos mais excessivamente comentados e incompreendidos da indústria da construção na atualidade. Segundo Cohen (2008), parte dos problemas que causam tamanha incompreensão está no fato de que BIM é um conceito ainda em desenvolvimento. Segundo Andrade et al. (2009), os conceitos-base que definem o BIM são: (a) parametrização, (b) interoperabilidade e (c) colaboração. Antes que o acrônimo seja adequadamente definido, cada um dos três argumentos supracitados deverá ser discutido:

a) Parametrização da informação

Os objetos que compõem os modelos virtuais de uma construção, segundo Cohen (2004), são combinados para dar forma ao conjunto da construção. Cada um pode ser definido através de um grande número de informações, sendo mais ricos em dados que os modelos bidimensionais,

normalmente utilizados. Os modelos virtuais são normalmente classificados conforme a composição de sua base de dados:

Modelos geométricos Compreendem formas geométricas 2D e/ou 3D (linhas, arcos, círculos, cones, esferas e paralelepípedos, etc.). Porém, não hospedam quaisquer outros tipos de informação como materiais, propriedades mecânicas, custos, processo de construção, etc.

Modelos paramétricos Permitem associar dados não geométricos a um objeto, incluindo o controle de relacionamento entre elementos geométricos. O efeito da alteração de uma variável é propagado e visto entre os demais objetos relacionados. Variáveis desse tipo são tratadas com equações matemáticas. Eles permitem que qualquer elemento do modelo seja alterado em concordância com restrições que possam afetar os outros que com ele se relaciona. Plantas, seções e elevações geradas como vistas do modelo “central” e atualizadas automaticamente a cada mudança realizada em 3D (Figura 3).

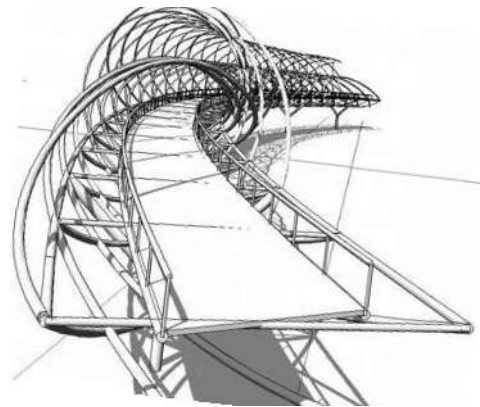


Figura 3. Aspecto da modelagem paramétrica do Helix Bridge (Singapura).
Fonte: Reinier Tinapay (2015)

Na modelagem paramétrica, as dimensões e as proporções de um objeto 3D podem ser definidas e fixadas por meio de parâmetros. Por exemplo, os valores da coordenada que definem vetores podem ser expressos não como constantes numéricas, mas como funções de uma ou mais variáveis (COHEN, 2008). Dessa forma, um sistema de equações pode ser associado à estrutura do objeto. Uma vez alterados os parâmetros, um comportamento típico é esperado.

Modelos processuais Adicionam a habilidade para, por exemplo, impedir que elementos incompatíveis estejam colocados juntos a si. Por exemplo, esses modelos restringem abertura de portas, impedindo-as de abrir na direção errada.

Modelos generativos Permitem a criação de geometrias que cumprem as exigências definidas, como: “gere a disposição otimizada de assentos para um determinado auditório com capacidade para 200 pessoas”, ou “crie uma escada entre dois pavimentos” (Figura 4).



Figura 4. Aspecto do modelo generativo da Changsha Bridge (NEXT Architects). China.
Fonte: ARCH20 (2020)

b) Interoperabilidade

O significativo progresso no desenvolvimento de softwares para elaboração de projetos e planejamento de obras é fato reconhecido. Hoje, a maioria dos processos relativos a projetos e construção são auxiliados por computador. Entretanto, dados ainda são frequentemente intercambiados através de documentos digitais estanques, os quais requerem interpretações ou intervenções humanas extras.

Um levantamento realizado por Hannus et al. (2003) mostra que 90% dos dados intercambiados entre projetistas eram realizados na forma de papel (impresso). Entretanto, com a popularização e os avanços na capacidade de transmissão da internet, esse índice caiu substancialmente. Mesmo que a quase totalidade das informações sejam intercambiadas eletronicamente, não há correlação segura entre dados e nível semântico satisfatório das informações contidas nos arquivos intercambiados.

Segundo Thorne (2000), interoperabilidade é “a habilidade de comunicar dados de produto por toda as atividades de produção”. Se essa troca de dados se dá de maneira completa, em alto nível semântico, sem perdas, há também uma melhora significativa no tempo de resposta durante a fase de projeto, a possível redução de custos e cria novas oportunidades do desenvolvimento estratégico. Laiserin (2002) define interoperabilidade como “um ambiente no qual programas computacionais podem compartilhar ou intercambiar dados automaticamente, sem reinterpretação ou intervenção humana, independentemente do tipo de software em uso ou onde os dados estão hospedados”. Essa última definição parece se enquadrar melhor aos propósitos deste texto.

Um relatório publicado pela NIST (GALLAHER, 2004) mostrou que os problemas relacionados à interoperabilidade são a causa da perda de US\$ 1 bilhão/ano na indústria norte americana. Demonstrase que interoperabilidade é uma questão crítica. A falta dela pode causar erros e aumentar significativamente os custos da construção. Tradicionalmente, há três métodos para alcançar interoperabilidade no uso de diversos softwares:

- desenvolvendo um tradutor de dados ponto a ponto;
- definindo um programa comum entre as diversas equipes de projeto. Esses programas são normalmente produzidos por uma mesma companhia;
- estabelecendo um padrão neutro de intercâmbio, como o DXF (no caso dos CAD) e IFC (no caso dos BIM).

Anumba et al. (2002) enumeram alguns benefícios que podem ser alcançados quando se atinge um patamar elevado de interoperabilidade:

- Minimização de necessidade de entradas extras de informações;
- Redução potencial de acumulação de erros;
- Incremento de funcionalidade global do modelo;
- Melhoria e eficiência na coordenação do projeto;

- Aumento na integridade dos dados intercambiados;
- Disponibilidade de dados gerados num estágio do processo de construção para resumo em outro estágio;
- Aumento na eficiência em termos de tempo e custos;
- Melhoria da comunicação entre os membros da equipe envolvida no empreendimento;
- Melhoria da qualidade final do produto.

Só se alcança interoperabilidade plena se todos os dados necessários ao processamento do software receptor forem fornecidos, e de forma padronizada, pelo software transmissor. Jacoski (2005) argumenta que no processo corrente de elaboração de projetos civis, muitos dados ainda deixam de ser compartilhados por equipes de projeto por falta de uma padronização da sua forma de apresentação, impedindo que o projeto utilizado por um dos membros de uma equipe venha a ser usado em um programa específico de outra equipe. No processo de comunicação, tão necessário à resolução de situações de interferência entre as etapas de projeto, não há, ainda, uma formalização na forma do procedimento.

Cohen (2008) conclui que a interoperabilidade é prioritária e crítica no sucesso dos programas BIM, uma vez que nenhuma aplicação existente no mercado é capaz de processar todas as tarefas requeridas para a elaboração dos projetos necessários à construção de um edifício.

c) Colaboração

Segundo Melhado (2010), a colaboração no processo de projeto pode ser entendida como um conjunto de ações criativas ou produtivas realizadas em um grupo solidário de pessoas comprometidas com esse processo.

Tradicionalmente, a integração dos projetos (arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, custos, etc.) ocorre após a concepção arquitetônica, quando várias decisões de projeto já foram tomadas, limitando os outros projetistas a apenas sugerir algumas melhorias no desempenho. Para evitar isso, Kowaltovisk (2011) recomenda que os profissionais trabalhem o projeto integrado já nas etapas iniciais de concepção. O projeto integrado, segundo o mesmo autor, pressupõe um processo inteiramente multidisciplinar de tarefas de projeto, em que, desde o início, equipes de projetistas perseguem continuamente uma série de metas, que são otimizadas ao longo de todo o processo. Essa forma de trabalho mostra a importância de se incluir profissionais de diferentes domínios (arquitetos, engenheiros estruturais, elétricos, hidráulicos, de custos, etc.) já nas fases iniciais de projeto.

O BIM pode contribuir para a eficiência de uma prática integrada de projeto e é também um importante instrumento de tomada de decisão.

O que é BIM?

Andrade e Ruchell (2011) propõem a seguinte definição para BIM: trata-se de um “Processo de elaboração de projeto (ou atividade humana, ou conjunto de sistemas, ou metodologia) fundamentado em um gerenciamento das informações do edifício, por meio de um modelo digital, visando à colaboração, coordenação, integração, simulação e otimização do projeto, além da construção e operação do edifício durante o seu ciclo de vida”. O autor sugere que BIM tenha suas bases na gerência das informações digitais de um edifício, e seu objetivo é a colaboração, coordenação, simulação e otimização do projeto, e todos os demais aspectos de sua vida útil. Nessa concepção, BIM é um processo de desenvolvimento de projeto, fundamentado em um banco de dados digital para fins específicos de intercâmbio de informações durante o ciclo de vida do edifício.

Embora extremamente simplista, M.A. Mortenson Company (EASTMAN et al., 2014) define BIM da seguinte forma: É uma “Simulação inteligente da arquitetura”, e aponta para a potencialidade que BIM confere aos softwares, de torná-los “inteligentes”, em virtude dos muitos dados disponíveis para

processamento. Naturalmente, BIM não está restrito à arquitetura, nem mesmo a uma fase do ciclo de vida das construções. Da mesma forma, há que se discutir o que exatamente significa um software “inteligente”.

O aspecto da vida útil do edifício é melhor posto na definição de Puckett (2011): “Building Information Modelling é o processo da criação de um modelo computacional de um edifício o qual pode ser usado para projeto, análise, construção, gerência, reforma e finalmente a demolição daquele edifício”. Esse autor propõe que BIM seja um processo de criação (e manutenção) de um modelo digital que deverá ser utilizado por qualquer agente de interesse por todo o ciclo de vida do edifício, incluindo sua demolição.

BIM é, também, um modelo de organização de informação que permite representar de forma consistente e coordenada, toda a informação que descreve a um edifício. Os softwares BIM compatível representam uma evolução quando comparado aos sistemas CAD convencionais, quer pela drástica diminuição do risco de ocorrência de erros de projeto, quer pelos elevados níveis de produtividade alcançados e pela qualidade da informação gerada. As soluções que trabalham sobre esse conceito utilizam um modelo único, centralizado, que contém toda a informação necessária para descrever um empreendimento. Desse modelo, arquitetos e engenheiros obtém facilmente *feedback* contínuo ao longo da vida útil do edifício. Tratando-se de um modelo paramétrico, torna-se mais fácil a criação e análise de vários cenários alternativos, permitindo otimizar as soluções encontradas. “Modelo único” não significa necessariamente “arquivo único”. Significa que toda a informação gerada pelas equipes de projeto se mantém consistente e devidamente coordenada ao longo de toda a cadeia de valor do empreendimento.

Nesse aspecto, NIBS (2007) realça a definição de BIM como “representação virtual das características físicas e funcionais de uma edificação, por todo o seu ciclo de vida, servindo como um repositório compartilhado de informações para colaboração”. De acordo com Coleman e Jun (2005), e já implícito nas definições precedentes, BIM lida com informações muito mais semânticas que apenas gráficos. Mas também com informações que permitem a geração automática de desenhos e relatórios (p.ex. quantitativos, custos, cronogramas e listas de materiais), dados para análises diversas (p.ex. estrutural), detecção de interferências, simulação de cronogramas, etc. Assim, todas as informações são armazenadas em um banco de dados relacional desenvolvido para auxiliar as equipes de desenvolvimento do edifício (projeto, construção, manutenção) a tomarem decisões. Essas informações serão também compartilhadas através de todo o ciclo de vida da edificação, diminuindo consideravelmente redundância de dados, inserções manuais, perda de dados, comunicações equivocadas e erros de interpretação entre softwares.

As definições supracitadas são incompletas. Outras não citadas são antagônicas e até conflituosas. Inconsistências na definição do termo podem implicar na frustração de resultados de pesquisa e até mesmo no investimento equivocado. Portanto, com base nos diversos argumentos estudados, propõe-se uma definição.

BIM, portanto, é:

Building Information Model É uma concepção de base de dados estruturada (segundo o conceito de orientação a objetos), através do qual cada elemento físico e/ou abstrato que constitui uma edificação (o que inclui cada um dos seus sistemas, e por todo o seu ciclo de vida útil) é descrito com detalhes suficientes para promover a plena compreensão dele por qualquer agente envolvido com sua existência, na forma de um modelo único e interoperável.

Building Information Modeling É o processo através do qual a base de dados que constitui o modelo único de representação de uma edificação é populada, garantindo extensão e precisão das

informações, bem como a perfeita conexão entre todos os componentes nela hospedados.

BIM em obras públicas no Brasil

A tecnologia já se encontra em uso há mais de 20 anos, porém é recente a conscientização dos projetistas a respeito dos benefícios de sua aplicação, como construção, design e operação de edifícios mais eficientes e eficazes (COATES et al., 2010). Em vários países, programas do governo que incentivam à utilização da tecnologia BIM foram implementados.

Em 2003, a Administração de Serviços Gerais dos Estados Unidos criou o programa nacional denominado *3D-4D-BIM Program*, decretando em 2006 a obrigatoriedade da utilização do BIM para projetos de novos edifícios públicos (GSA, 2019). O Reino Unido, com o intuito de reduzir custos de projetos de construção do governo e reduzir a emissão de carbono, vêm adotando várias medidas na construção civil, entre elas o incentivo ao uso de BIM em projetos governamentais (BSI, 2013). No início de 2016, foi formado o Grupo de Trabalho "*EU BIM Task Group*" por 14 países da Comunidade Europeia, visando fomentar a utilização de BIM na administração pública na Europa (EU BIM TASK GROUP, 2018).

É perceptível o aumento do uso do BIM em vários países, principalmente naqueles desenvolvidos, o que faz com que a indústria nacional necessite acompanhar essa evolução mundial, a fim de modernizar o processo da construção civil brasileira (SOUZA et al., 2009).

O governo brasileiro iniciou medidas que visam o fomento do uso do BIM em obras públicas. O plano Brasil Maior estabeleceu a implantação da tecnologia BIM no sistema de obras do Exército, além de difundir e complementar a normatização brasileira também para o BIM (MATTOS, 2013). Em 2018, o Governo Federal lançou a Estratégia Nacional da Disseminação BIM por meio do decreto Nº 9.377 (BRASIL, 2017), que em 2020 foi atualizado para o decreto Nº. 10.306 (BRASIL, 2020). Também em 2019, tornou-se obrigatório o uso do BIM para projetos do Minha Casa Minha Vida até o ano de 2022 (VALENTE, 2019).

Referências

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. BIM: Conceitos, Cenários das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. São Carlos: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. 2009.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, Regina Coeli. Building Information Modeling (BIM). O Processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia. Org. Doris C. C. K. Kowaltowski. 2011. 421 - 442p.

ANUNBA, C. J.; UGWU, O. O.; NEWNHAM, L. THORPE, A. Collaborative design of structures using intelligent agents. *Automation in Construction* 11. 2002, p. 89-103.

ARCH20. 10 Extraordinary Neofuturistic Bridge Designs!, c2020. Disponível em: <<https://www.arch2o.com/neofuturistic-bridge-designs/>>. Acesso em: 20 de ago. de 2020.

BERNSTEIN, H.M. (2003) Measuring Productivity: An Industry Challenge. *Civil Engineering*, pp. 46-53.

BRASIL. Decreto n. 10.306, de 02 de abril de 2020. Institui a Estratégia de Disseminação do Building Information Modelling. *Diário Oficial da União, Brasília, Edição 65, Seção 1, p. 5, abr. 2020. Atos do Poder Executivo. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10306.htm>. Acesso em: 20 ago. 2020.*

BRASIL. Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia de Disseminação do Building Information Modelling. *Diário Oficial da União, Brasília, Edição 95, Seção 1, p. 3, mai. 2018. Atos do Poder Executivo. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm. Acesso em: 20 ago. 2020.*

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, The. PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. 2013.

Disponível em: <<http://shop.bsigroup.com/upload/Shop/Download/PAS/PAS1192-2-A13.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

COATES, P., ARAYICI, Y., KOSKELA, L. J., KAGIOGLOU, M., USHER, C., & O'REILLY, K. The limitations of BIM in the architectural process. In: International Conference on Sustainable Urbanization, I, Hong Kong, 2010, Proceeding. Hong Kong: ICSU, 2010. N.p.

COLEMAN, G.S. and JUN, J.W., 2005. Interoperability and Construction process: a white paper for building owners and project decision-makers. American Institute of Structural Steel Construction, Inc

EASTMAN, C. et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.

EUROPEAN UNION. EU BIM Task Group, c2018. Página Inicial. Disponível em: <www.eubim.eu>. Acesso em 20 de ago. 2020.

GALLAHER, M.P. O'CONNOR, A.C. DETTBARN, J.L., Jr., and GILDAY L.T. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. NIST 04-867. (Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology). 2004.

HANNUS, M. *et al* (2003). *Construction ICT roadmap*. Roadcon project. WP 5 D5 – Construction ICT roadmap. Report [online]. August 2003: Roadcon.

IAI NORTH AMERICA CHAPTER (2002). *Interoperability for Engineers. Achieving interoperability among the software applications for the building community*. Bulletin.

JACOSKI, C. A. Considerações sobre o impacto de tecnologias de informação e comunicação no ensino e no processo de projeto. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 2005. São Paulo. Anais... São Paulo, 2005. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Claudio_Jacoski/publication/260480401_Consideracoes_sobre_o_impacto_de_tecnologias_de_informacao_e_comunicacao_no_ensino_e_no_processo_de_projeto/links/0deec53166736837e3000000.pdf> . Acesso em: 13 mai. 2018.

LAISERIN, J. (2003). *AEC interoperability and the BLIS project*. Cadalyst [online], June 2002, 8-15.

MATTOS, C. Análise do Plano Maior Brasil. Câmara do Deputados, Brasília, mai. 2013. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema10/2013_7665_versao%20para%20publicacao.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, EXTERIOR E SERVIÇOS. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling, 2017. Disponível em:

<http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/Livreto_Estratgia_BIM_BR-6.pdf> Acesso em: 20 ago. 2020.

REINIER TINAPAY. 10 Modeling Helix Bridge in Dynamo, c2015. Disponível em: <<http://www.reiniertinapay.com/archives/3360>>. Acesso em: 20 de ago. de 2020.

SILVA, M.A.C.; SOUZA, R. de. Gestão do processo de projeto de edificação. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003. 181 p.

THORNE, P. (2000). *Product data interoperability*. [online]. White paper. Cambridge: Cambashi Ltd. October 2000.

U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. 3D-4D Building Information Modeling, 2019. Disponível em: <<https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling>> Acesso em 20 ago. 2020.

VALENTE, G. Governo quer antecipar nova tecnologia para baratear Minha Casa, Minha Vida. O Globo, Brasília, 15 de jan. 2019. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/governo-quer-antecipar-nova-tecnologia-para-baratear-minha-casa-minha-vida-23374811>>. Acesso em: 7 de nov. 2019.

Metas

- A. Desenvolvimento de modelos paramétricos de elementos constituintes das OAE, incluindo o SICRO como sistema de classificação.
- B. Organização de práticas para aplicação de BIM no cotidiano do DNIT.

4.2. Módulo 2

Revisão bibliográfica e justificativa

A Resolução nº 1, de 6 de janeiro de 2020 (BRASIL, 2020) regulamenta o uso de rodovias Federais por veículos e combinações de veículos e equipamentos. O Art. 9º especifica sobre a transposição das OAE e a necessidade do Estudo de Viabilidade Estrutural (EVE). No âmbito deste módulo do plano de trabalho, destaca-se a alínea IV do parágrafo 2º:

“IV - verificação estrutural: cálculos da capacidade portante das OAE a serem transpostas pelo conjunto transportador e a comparação, com os devidos fatores de segurança, dos esforços produzidos pelo trem tipo especial com os esforços produzidos pelo trem tipo de cálculo” (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, alguns softwares comerciais de análise estrutural permitem o cálculo dos esforços e deslocamentos para a verificação estrutural de pontes, mas disponibilizam um procedimento genérico, que não incluem as especificidades da normalização brasileira, principalmente com relação à travessia de OAE por conjuntos transportadores, como: trânsito fixo no meio da pista de rolamento, em marcha muito lenta, sem impacto de frenagem ou aceleração, trens tipo especiais e outras condições, diversas daquelas utilizadas para o projeto de uma nova OAE.

Esses casos de trânsito de cargas especiais em OAE geralmente são resolvidos por processos de cálculo que envolvem interferência manual, o que ocasiona um alto consumo de tempo para resolução dessas verificações. Além disso, poucos softwares comerciais (geralmente muito onerosos) realizam a análise integrada da laje de tabuleiro com as vigas e pilares, sendo que a análise separada dos elementos (geralmente utilizada em processos de cálculo que envolvem interferência manual) frequentemente conduz a esforços superdimensionados.

O desafio para pesquisa relevante nessa linha de investigação, além do desenvolvimento do arcabouço teórico e metodológico com vistas ao aprimoramento do processo de análise estrutural de pontes, consiste na elaboração de um sistema computacional de análise numérica que permita, a partir de dados paramétricos de uma ponte, modelar, simular e comparar as envoltórias de esforços obtidos (momentos, cortantes e normais) por um trem tipo especial e um trem tipo de cálculo.

A literatura essencial para o desenvolvimento deste módulo do projeto de pesquisa será apresentada a seguir. Essa revisão sintetiza os referenciais utilizados para alcançar os objetivos da pesquisa: levantamento normativo com relação aos carregamentos aplicados em problemas de pontes, indicação de um ambiente de desenvolvimento integrado para implementação computacional do programa de análise estrutural, métodos numéricos empregados (linhas e superfícies de influência).

Referencial normativo

Uma ponte é uma construção que se destina a transpor um obstáculo visando a continuidade de uma via (rodoviária, ferroviária, aquática, de pedestres e outras). Quando o obstáculo não tem água, a ponte passa a denominar-se viaduto. Em função das inúmeras possibilidades de carregamento dessas

estruturas, para fins de dimensionamento os carregamentos que devem ser considerados na verificação estrutural são prescritos por meio das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

As pontes rodoviárias, objeto do Módulo 2 deste projeto, devem ser calculadas considerando as seguintes ações (ABNT NBR 8681, 2004):

- permanentes: peso próprio da estrutura, da pavimentação, empuxos de terra e água, deformações devido à fluência, retração e recalque de apoios;
- variáveis: trem tipo (ABNT NBR 7188, 2013), choque lateral de veículos, efeitos de frenagem e aceleração, variações de temperatura, ação do vento, pressão da água em movimento, cargas de construção;
- excepcionais: explosões, incêndios, enchentes e sismos.

No caso do trânsito de cargas especiais, o Anexo A da ABNT NBR 7188 (2013) estabelece uma configuração para um trem tipo especial de 512 tf, utilizando um veículo com 32 eixos e 8 rodas por eixo, além de diversas recomendações para a transposição da obra de arte especial e para a combinação de carregamentos a ser utilizada. No entanto, a norma deixa claro que tal verificação deve ser feita para as obras a serem implementadas “a critério do órgão com jurisdição sobre a rodovia”, *ipsis litteris*.

No caso de obras já existentes, em que tal verificação não foi realizada, a transposição de cargas especiais deve atender à Resolução nº 1, de 6 de janeiro de 2020 (BRASIL, 2020). Segundo essa resolução, um engenheiro civil deve atestar responsabilidade técnica por meio de cálculos da capacidade portante das OAE a serem transpostas pelo conjunto transportador, fazendo a comparação entre os esforços produzidos pelo trem tipo especial (não necessariamente o do Anexo A da ABNT NBR 7188 (2013) e os esforços produzidos pelo trem tipo de cálculo (de projeto), usando os devidos fatores de segurança para cada uma das combinações de esforços.

Com relação ao cálculo das ações permanentes e das demais ações variáveis (choque lateral, variação de temperatura, frenagem e aceleração e outras), as referências Leonhardt (1988), Pfeil (1990a), Pfeil (1990b) e a norma de projeto de pontes (ABNT NBR 7187, 2003) são indicadas como bibliografia. Essa última referência se encontra em processo de revisão visando a compatibilidade com a norma de dimensionamento de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118, 2014), sendo que o texto oficial deve ser publicado em breve.

Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)

Neste módulo do plano de trabalho, propõe-se implementar o sistema de análise estrutural (programa *stand-alone*) em Delphi, um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) da Embarcadero (2020) que utiliza a linguagem de programação Object Pascal.

O coordenador deste módulo possui larga experiência em programação utilizando o referido IDE, o que irá agilizar o processo de implementação e de ensino da linguagem aos colaboradores que irão atuar neste módulo. Já tendo participado do desenvolvimento de 13 softwares com registro no INPI e 2 com registro na Espanha, destaca-se que todos foram concebidos e implementados em Delphi, inclusive os dois sistemas computacionais para análises via Método dos Elementos Finitos desenvolvidos em seu treinamento de Mestrado (RIBEIRO, 2004) e Doutorado (RIBEIRO, 2009).

O Delphi foi primeiramente concebido (versão 1) pela empresa Borland em 1995. Outras versões foram sucedendo até a versão 7. Em 2006, a Borland separou o grupo de ferramentas de desenvolvimento criando uma nova empresa, CodeGear. O Delphi ficou então sob os cuidados da CodeGear até 2008, momento em que essa empresa foi comprada pela Embarcadero. Em 2010 a nova proprietária do Delphi lançou a sua primeira versão reestilizada (Delphi, 2010) e diversas outras sucederam até a versão mais recentemente comercializada, Delphi 10.4 Sidney.

Novas funcionalidades foram acrescentadas ao Delphi desde à sua primeira versão, como suporte a processamento paralelo, componentes para acesso à internet e bancos de dados entre diversos outros. No entanto, os componentes que estavam presentes na versão 1 (em 1995) ainda têm o mesmo nome e as mesmas funcionalidades, o que permite um sistema computacional desenvolvido em Delphi ser facilmente atualizado para as novas versões do IDE da Embarcadero (2020).

A linguagem Object Pascal segue o paradigma da Programação Orientada a Objetos (OOP), que tem sido aprimorada desde a primeira versão do sistema operacional Windows. No entanto, ainda hoje existem os engenheiros programadores que utilizam a clássica linguagem Fortran, uma típica linguagem procedural, assim como o Pascal. Essas linguagens perderam campo com os desenvolvimentos dos hardwares (expansão da memória RAM e discos rígidos dos computadores, bem como da capacidade de processamento) e dos softwares para ambiente Windows. Por exemplo, atualmente é inconcebível um programa que utilize aceleração de processamento por meio de computação paralela sem usar o paradigma OOP.

Linhas e superfícies de influência

Para realizar a verificação estrutural é necessário obter os esforços (momento fletor, cortante e normal) máximos e mínimos a que cada parte da estrutura está sujeita. Particularmente no caso de pontes, que são estruturas sujeitas a cargas móveis de grande intensidade (se comparadas ao peso próprio da estrutura), é necessário conhecer a envoltória de esforços para cada seção da estrutura. A envoltória compreende aos valores máximos e mínimos dos esforços considerando que a carga móvel pode estar localizada em qualquer posição sobre a estrutura.

No caso de uma viga, para verificação de uma dada seção transversal, a determinação da envoltória de esforços é obtida posicionando-se a carga móvel de tal forma sobre a estrutura de modo a induzir os esforços máximos ou mínimos nessa seção. Isso pode ser obtido por meio da linha de influência relativa à seção da viga sob análise.

Há diversas referências com relação ao cálculo de linhas de influência, sendo as principais Sussekind (1981) e Sussekind (1980), além de outros trabalhos como: Souza e Antunes (2012) e Pappalardo Jr. (2011).

No caso da laje do tabuleiro, a determinação da envoltória utiliza não uma linha de influência (1D), mas sim uma superfície de influência (2D) aplicável a cada seção de interesse da laje. Obviamente, o cálculo das superfícies de influência é muito mais complexo e envolve, majoritariamente, implementações computacionais via Método dos Elementos Finitos, como apresentado por Albuquerque (2014) e Orakdögen e Girgin (2005). Outras referências podem auxiliar na implementação dos elementos de casca, como: Becerra (2020), Solheiro (2017), Weaver (1983), Navarra (1995) e Alves Filho (2002).

Integração da solução *stand-alone* com o BIM

Com a solução *stand-alone* desenvolvida, implementada e validada, os trabalhos referentes a este módulo serão redirecionados para a integração do sistema computacional de análise desenvolvido com o BIM. As técnicas de Programação Orientada a Objetos permitem que os dados que constituem os modelos de um software BIM sejam acessados por programação externa. Essa integração, portanto, se dará através de códigos de programação complementar para o acesso à base de dados do software BIM, visando obter informações paramétricas de um modelo de ponte e alterá-los conforme resultados de análise.

Será necessário o aprofundamento da modelagem paramétrica desenvolvida no Módulo 1, através do qual, os parâmetros definidos para os objetos que constituem elementos de OAEs representem de forma consistente e ampla suas características. O software proposto por este módulo, em suas fases finais, terá acesso e agirá como editor das propriedades daqueles elementos, de acordo com os resultados da análise estrutural.

Referências

- ALBUQUERQUE, A. Á. A. “Implementação de Elementos Finitos de Barra e Placa para a Análise de Esforços em Tabuleiros de Pontes por Meio de Superfícies de Influência.” Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas (Escola de Engenharia de São Carlos - USP), 2014.
- ALVES FILHO, A. Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE. 7ª. São Paulo: Érica, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “ABNT NBR 6118:2014.” Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, 2014.
- _____. “ABNT NBR 7187:2003.” Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido - Procedimento, 2003.
- _____. “ABNT NBR 7188:2013.” Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, 2013.
- _____. “ABNT NBR 8681:2004.” Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, 2004.
- BECERRA, H. C. “Formulação Numérica-Computacional para Análise Linear Estática e Dinâmica de Cascas de Espessura Variável.” Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Escola de Minas da UFOP), 2020.
- BRASIL. “Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.” Resolução nº 1. Brasília, DF: Ministério da Infraestrutura. 6 de Jan de 2020. <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-1-de-6-de-janeiro-de-2020-237206893>.
- EMBARCADERO. Delphi Embarcadero. 2020. <https://www.embarcadero.com/br/products/delphi> (acesso em 11 de Ago de 2020).
- LEONHARDT, F. Construções de Concreto. Vol. 6. São Paulo: Livraria Interciência Ltda, 1988.
- NAVARRA, E. O. I. Calculo de Estructuras por el Metodo de Elementos Finitos. 2ª. Barcelona: Artes Gráficas Torres S.A., 1995.
- ORAKDÖGEN, E., e GIRGIN. K. “Direct determination of influence lines and surfaces by F.E.M.” Structural Engineering and Mechanics, 2005: 279-292.
- PAPPALARDO JR., A. Cargas Móveis. São Paulo: Faculdade de Engenharia São Paulo (FESP), 2011.
- PFEIL, W. Pontes de Concreto Armado. Vol. 1. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1990a.
- _____. Pontes de Concreto Armado. Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1990b.
- RIBEIRO, J. C. L. “Desenvolvimento e Aplicação de um Sistema Computacional para Simulação via Método dos Elementos Finitos do Comportamento de Estruturas de Aço e Mistas em Situação de Incêndio.” Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas (EE-UFMG), 2009.
- _____. “Simulação via método dos elementos finitos da distribuição tridimensional de temperatura em estruturas em situação de incêndio.” Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas (EE-UFMG), 2004.
- SOLHEIRO, A. R. F. “Análise de Estruturas de Casca pelo Método dos Elementos Finitos.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (Técnico Lisboa), 2017.
- SOUZA, J. C. A., e H. M. C. C. Antunes. Cargas Móveis em Estruturas Lineares. 3ª. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2012.
- SUSSEKIND, J. C. Curso de Análise Estrutural. 4ª. Vol. 2. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1980.
- _____. Curso de Análise Estrutural. 6ª. Vol. 1. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1981.
- WEAVER, W. Finite Elements for Structural Analysis. Prentice Hall College, 1983.

Meta

- A. Desenvolvimento de um programa computacional para automatização da avaliação da capacidade de carga de pontes rodoviárias.

4.3. Módulo 3

Revisão bibliográfica e justificativa

Na infraestrutura das malhas rodoviária Federal e Estadual, pontes e viadutos são referenciados como Obras de Arte Especiais (OAE) e representam parte considerável dos custos de implantação e manutenção das rodovias. No Brasil, as pontes da malha rodoviária foram, na grande maioria, construídas na década de 60 (Silva et al., 2014). Um levantamento publicado por Mendes (2009), a respeito dos dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), demonstra que das 5.600 pontes cadastradas pelo Órgão nas rodovias Federais, o cenário de 2009 estava da seguinte forma:

- 70% das pontes possui idade superior a 30 anos;
- 63% das pontes têm extensão inferior a 50,0 m;
- 79% das pontes possuem largura total inferior a 12,0m, considerada estreita pelo padrão atual;
- 94% das pontes possuem sistema estrutural em viga de concreto armado ou protendido;
- 90% das pontes foram projetadas com trem tipo de 240,0 kN ou de 360,0 kN;
- 50% das pontes possuem apenas um vão com dois balanços;
- 93% das pontes possuem vão máximo inferior a 40,0 m.

Com o passar do tempo, a magnitude das cargas que precisam transpor as pontes aumentou substancialmente. Os caminhões, carretas e Combinações de Veículos de Cargas (CVC) estão cada vez maiores. As pontes mais antigas foram dimensionadas para atender ao carregamento da Classe 36 (360 kN de peso do veículo-tipo) conforme a ABNT NB-6 (1960). A normatização atual considera pontes da Classe 45 (450 kN), valor adotado a partir da ABNT NBR 7188:1984.

Mendes (2009) comenta que dados divulgados pelo Tribunal de Contas da União (TCU) demonstram que cerca de 75% das pontes existentes nas rodovias brasileiras precisam passar pelo processo de intervenção, a saber: recuperação, reforço ou alargamento de suas estruturas, a fim de atender às condições de uso satisfatórias para a região. Além dos problemas estruturais, essas pontes apresentam gabarito inadequado às condições atuais de tráfego, transformando-se em pontos críticos, responsáveis por estrangulamento do fluxo e pela ocorrência de acidentes. Essa necessidade de aumento no número de faixas levou à modificação do coeficiente de impacto proveniente de cargas móveis, conforme ABNT NBR 7188 (2014), que passou a considerar não só o vão da ponte, mas também o número de faixas e o tipo de superestrutura.

Além disso, as pontes mais antigas foram projetadas considerando o Método das Tensões Admissíveis (até o período de vigência da ABNT NB-1 (1960), ou seja, foram considerados materiais, resistências dos materiais e coeficientes de segurança que não mais correspondem aos parâmetros normativos atuais).

Isso leva à recorrente necessidade dos gestores de obras de infraestrutura de realizar estudos para identificar qual a real capacidade de carga das pontes já construídas frente à normatização atual vigente, seja para realizar reparos, reforçar para aumentar a sua capacidade de carga, ou até mesmo liberar a passagem de cargas especiais, com CVC pouco usuais. Portanto, faz-se necessária a proposição de uma metodologia para determinar essa capacidade atual de cargas das pontes. Mas não apenas uma metodologia analítica, que implique na realização da análise e dimensionamento novamente. Faz-se necessário, portanto, desenvolver uma metodologia mais dinâmica e prática, que esteja associada a

ferramentas computacionais modernas, e que interaja com as plataformas BIM existentes no mercado de softwares.

O DNIT vem trabalhando com um catálogo de projetos para a construção de novas pontes voltado apenas tipologias usuais. Sendo assim, identificou-se a necessidade de um novo catálogo de projetos que se enquadre melhor às necessidades de tráfego atuais e que seja adequado à normatização vigente. Entretanto, não é interessante e nem pratico a produção de um catálogo com dados fixados de projetos, como um catálogo impresso. Com o avanço da mecânica computacional e com o surgimento do BIM, é possível o desenvolvimento de catálogos digitais, que permitam a modificação de parâmetros da estrutura, conforme as necessidades de implantação de cada ponte.

Evolução normatização brasileira para projeto de pontes

De acordo com o Manual do DNER (1996), a partir de partir de 1950 houve um grande surto de realizações rodoviárias no Brasil, contemplando obras de grande vulto e importância. Grande parte das OAE datam desse período. Com o decorrer do tempo, até os dias atuais, diversas normas brasileiras foram editadas e/ou revisadas, cargas móveis rodoviárias foram majoradas e novos critérios de cálculo e detalhamento foram desenvolvidos. O Manual de projetos de pontes do DNER, teve sua primeira versão elaborada na década de 1980 (DNER 698, 1980). Em seguida, tem-se sua última (e corrente) versão DNER 698 (1996). O Manual de Inspeções de Pontes data de 2004 (DNIT 709, 2004). Logo, suas recomendações não contemplam a nova normatização que trata de cargas móveis em estruturas rodoviárias ABNT NBR 7188 (2013) ou até mesmo normas de dimensionamento como a ABNT NBR 6118 (2014).

Conforme descrito em Luchi (2006), na década de 1940 a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou sua primeira norma, ABNT NB-1 (1940), relativa a projetos de estruturas com cálculo e execução de concreto armado. Em seguida, outras normas foram surgindo para se tornarem complementos entre elas, tal como a ABNT NB-6 (1943) - Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias. Essa foi a primeira norma brasileira que avaliou as considerações das cargas móveis na estrutura de uma ponte, classificando-as conforme o grau de importância, de acordo com a carga máxima a ser permitida pelo tráfego: Classe I, II e III.

O trem-tipo é objeto de fundamental importância, compreendendo um conjunto de cargas móveis (caminhões, veículos leves e multidão). Os veículos de pequeno porte são representados pela carga de multidão, das quais são denominados por uma carga uniformemente distribuída em vigas principais, que podem ser acompanhadas por caminhão e/ou compressor. A norma alemã DIN 1072 (1972) influenciou a organização da ABNT NB-6 (1943). Conforme Souza e Silveira (2013), as cargas de multidão constituídas por carregamento uniformemente distribuído são variadas de acordo com a classe da ponte, sendo elas de 3 a 4,5 kN/m² para cálculo dos arcos ou vigas principais. Em 1960 a ABNT NB-6 (1960) passou por uma atualização, cuja principal alteração foi a substituição do peso dos veículos do projeto (compressor e caminhão) os tornando um único veículo com peso total de 120 kN, 240 kN e 360 kN para rodovias de classe I, II e III, respectivamente. As pontes também passaram a ser determinadas pelas de Classes 12, 24 e 36, respectivamente.

Desde a ABNT NB-6 (1960) mantêm-se a utilização do trem-tipo com dimensões de 3,0 metros de largura por 6,0 metros de comprimento, composto por três eixos com espaçamento entre si. Mesmo com as alterações indicadas na ABNT NB-6 (1960), permanece a organização das características do veículo tipo, embasado na norma alemã DIN 1072 (1972), tal qual o uso da faixa de projeto e carga distribuída interrompida pelo veículo. Os valores da carga distribuída, também nomeada de multidão, foram modificados de acordo com a função da classe, variando de 3 a 5 kN/m², apresentando dois tipos de carga uniformemente distribuídas com intensidade p e p' , conforme Figura 5.

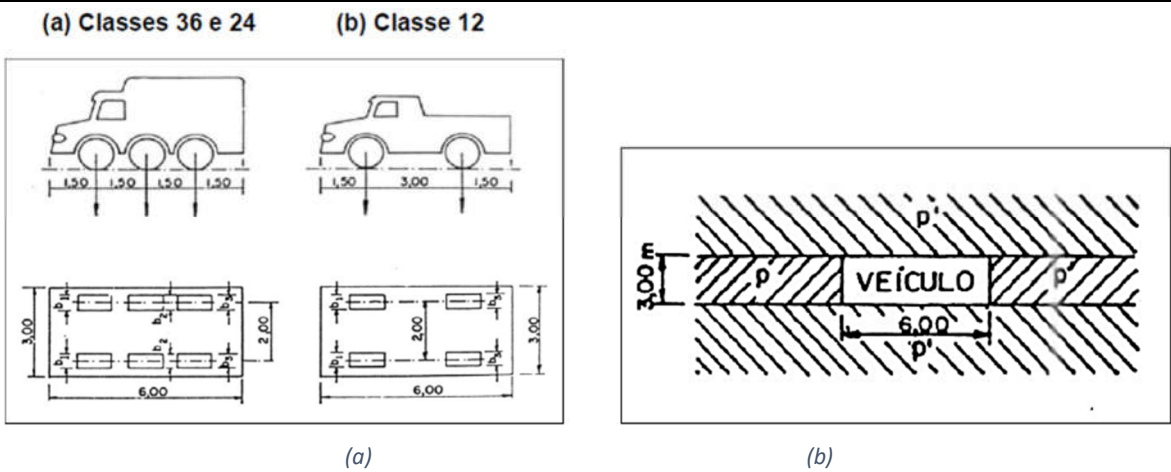


Figura 5. (a) Dimensões em metros do veículo tipo das Classes 36 e 24 e 12. (b) Carga de multidão em planta.
Fonte: NB-6 (1960)

Em 1984, a ABNT NB-6 (1960) foi substituída pela norma ABNT NBR 7188 (1984), alterando os trens-tipo 240 kN e 360 kN por 300 kN e 450 kN, não havendo alteração para trem tipo 120 kN. Foram também definidas novas Classes 12, 30 e 45 conforme o peso em toneladas do veículo-tipo. Esta norma define a ação conjunta exercida pelo (veículo-tipo) e pela carga de multidão. Os veículos-tipo devem ser colocados nas posições mais desfavoráveis, na direção do tráfego. A nova consideração da carga distribuída de multidão passou a ser considerada uniforme em toda a pista de rolamento, menos na área ocupada pelo veículo, que manteve as dimensões, conforme indicado na Figura 6 e Tabela 1.

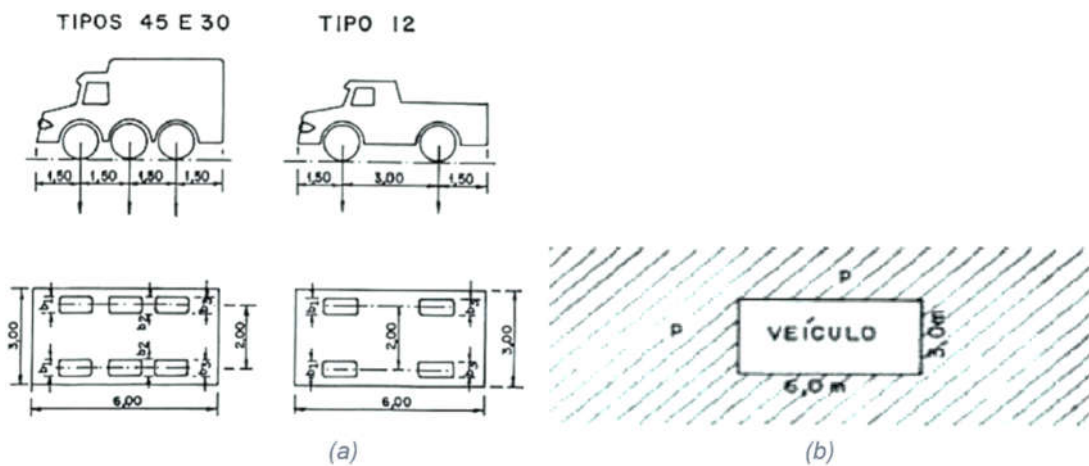


Figura 6. (a) Dimensões dos veículos tipo em metros da Classes 45, 30 e 12. (b) Carga de multidão em planta.
Fonte: ABNT NBR 7188:1984

Tabela 1. Cargas móveis para pontes rodoviárias.

Classe da Ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída		Distribuição da carga
	Tipo	Peso Total	p	p'	
		(kN)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	
45	45	450	5	3	Carga p em toda a pista - Carga p' nos passeios
30	30	300	5	3	
12	12	120	4	3	

Fonte: ABNT NBR 7188 (1984)

A ABNT NBR 7188 (2013) trouxe como principal alteração a exclusão das classes 120 e 300 kN, acrescentando a carga móvel rodoviária padrão TB-450, para veículos-tipo de 450 kN com cargas concentradas (P) de 75 kN em 3 eixos com espaçamento de 1,5 metros e carga multidão (p) de 5 kN/m².

A classe TB-240, de peso 240 kN com cargas concentradas (P) de 40 kN e carga multidão (p) de 4 kN/m² também são consideradas em 3 eixos com seis rodas, conforme Figura 7.

A própria norma que trata do projeto de pontes ABNT NBR 7187 (2003) está desatualizada em relação à ABNT NBR 7188 (2013) e passa atualmente por um processo de revisão. Enquanto essa prevê cargas e coeficientes de impacto que levam em conta o número de faixas de rolamento, o vão da ponte e o tipo de sistema estrutural, a ABNT NBR 7187 (2003) considera apenas no vão teórico para o cômputo do coeficiente de impacto para cargas móveis.

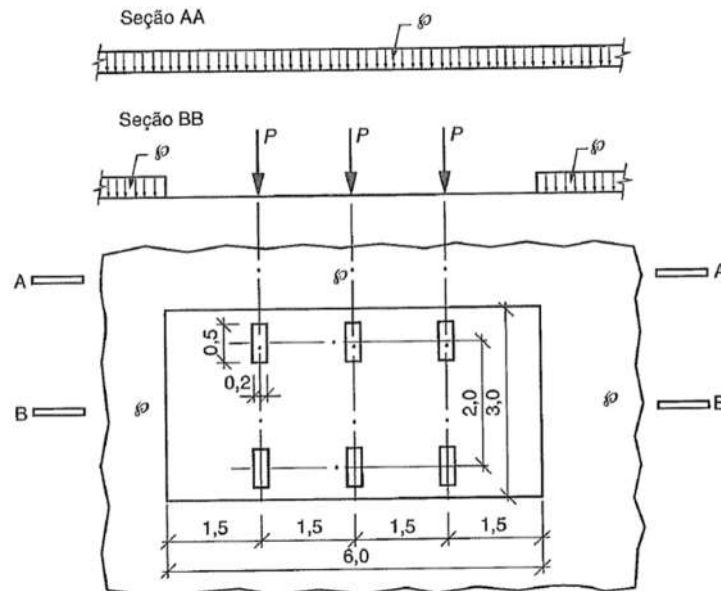


Figura 7. Dimensões dos veículos tipo em metros da Classes 45, 30 e 12 e carga de multidão, em planta. Fonte: ABNT NBR 7188:2013

Conforme descrito em Porto e Fernandes (2015), a primeira norma brasileira a regulamentar projeto, execução e dimensionamento de estruturas em concreto armado foi a ABNT NB-1 (1940). Essa norma previa o dimensionamento em serviço baseado no Método das Tensões Admissíveis e considerava o dimensionamento no Estádio III para aço e concreto. Com a constante evolução dos materiais e das técnicas referentes ao concreto armado, essa norma foi revisada e ampliada com uma certa periodicidade, como demonstra a linha do tempo da Figura 8.

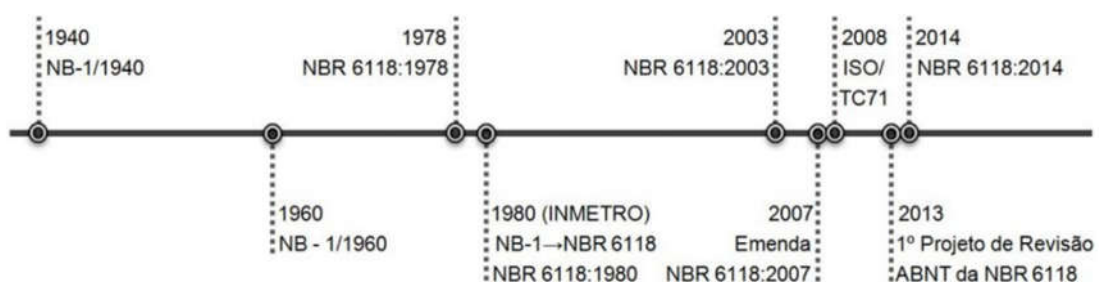


Figura 8. Linha do tempo da evolução da norma NB-1. Fonte: Porto e Fernandes (2015)

A versão seguinte foi a ABNT NB-1 (1960) que também considerava o estágio III para todas as solicitações, passou a tomar como referência as normas europeias do Comitê Euro-Internacional do Béton (CEB) e com isso trouxe o conceito de resistência característica para o concreto (f_{ck}), mas ainda manteve o dimensionamento no método das tensões admissíveis.

Em 1978 a ABNT NB-1 (1960) passou a ser chamada de ABNT NBR 6118 (1980), que passou a adotar o Método Semi-Probabilístico para a determinação das ações e a consideração dos Estado Limites: Últimos (para considerar a situação e ruína) e de Utilização (para considerar o desempenho em serviço

da estrutura). Passou-se a considerar os estádios I, II e III para o dimensionamento de barras fletidas. Houve, também, grande avanço com a introdução de um tratamento em separado de coeficientes minoradores para resistências e majoradores para combinações de ações. Outro notável avanço dessa versão foi a consideração dos efeitos locais de segunda ordem.

A ABNT NBR 6118:2003, após expressivo trabalho da comissão de norma, foi totalmente remodelada, dando prioridade aos requisitos de projeto e dimensionamento, apenas sinalizando as normas anteriores no que se refere à execução e produção do concreto. Unificou-se concreto simples, armado e protendido, inclui-se as classes de agressividade ambiental, observações referentes a efeitos globais de segunda ordem, bem como requisitos referentes à durabilidade, qualidade e análise estrutural. A versão atual dessa norma (ABNT NBR 6118:2014) incorporou critérios para projeto de estruturas com concreto de alto desempenho, com resistência à compressão de até 90 MPa. Além disso, passou a contemplar de modo mais direto o Método das Bielas e Tirantes, critérios mais específicos no que se refere à análise estrutural por meio de modelagem computacional, consideração da plastificação e redistribuição de esforços.

Relação entre deterioração e capacidade portante das pontes

As duas referências normativas nacionais DNIT 709 (2004) e a ABNT NBR 9452 (2019) trazem apenas os requisitos e procedimentos padrão para realização da correta inspeção do estado deterioração da estrutura. O DNIT 709 (2004) traz uma avaliação qualitativa da estrutura, classificando o seu estado de conservação em: Obra sem problema, Obra sem problemas importantes, Obra parcialmente problemática, Obra problemática ou Obra crítica. ABNT NBR 9452 (2019) também classifica os estados da estrutura em cinco condições: Excelente, Boa, Regular, Ruim ou Crítica. Para ambas as normas, as duas últimas situações indicam que deve ser feita recuperação imediata da estrutura. Para as demais, não existe necessidade de intervenção imediata. Giovanetti (2014) afirma essa classificação do DNIT 709 (2004) é muito subjetiva e que abre brecha para que dois inspetores possam fazer inspeção em uma mesma ponte, em uma mesma época, e classificar a ponte em situações de conservação diferentes.

Para nenhuma das situações esse manual estabelece uma relação entre o nível de deterioração e a perda capacidade de carga da ponte, deixando implícito que pontes com certo nível de deterioração e que não passarão por intervenção imediata, possuem a totalidade da capacidade de carga mantida. No entanto, quando se deseja transpor uma dessas pontes com CVC especial, que levará a estrutura a um elevado nível de solicitação, faz necessário associar o nível de segurança da estrutura e capacidade de carga ao atual estado de conservação da estrutura, para assim, liberar a transposição dessa carga.

O Instituto ZAG da Eslovênia (Slovenia National Report, 2015) propõe a avaliação da condição de uma ponte/ou dos seus componentes por meio de um procedimento mais quantitativo para avaliação da segurança da estrutura. Esse método avalia cada elemento estrutural em relação a sua importância para a segurança total da estrutura por meio de uma série de coeficientes para identificação do dano. Isso diminui a dependência de fatores humanos que possibilitem avaliações distintas. As recomendações do Instituto esloveno também possibilitam a estimativa da redução da capacidade de carga dos elementos estruturais por meio da determinação de um fator de redução Φ calculado a partir de dados obtidos na inspeção. Esse coeficiente considera a relação entre valores reais e valores de projeto para o elemento considerado, o nível de deterioração da estrutura e outros coeficientes estatísticos relacionados à variabilidade considerada para os dados e o tipo de serviço a ser definido para a ponte. Com esse coeficiente é possível determinar a real capacidade de carga da ponte.

Shinohara et al. (2019) indica que a partir do fator de redução Φ e de um Fator de Amplificação Dinâmica (DAF) da estrutura obtido por meio do software B-WIM e de monitoramento de cargas na ponte por meio do sistema SiWIM, é possível avaliar a segurança da estrutura representado por um fator RF. Com isso, uma estrutura pode ser considerada segura quando o fator RF é maior do que 1,0. O sistema SiWIM é utilizado para medir cargas que transpõem a estrutura a partir de deformações da

mesma. Os dados são gerenciados pelo software B-WIM que também permite acompanhar o histórico da ponte e avaliar sua segurança ao longo do tempo.

Assim como o sistema esloveno para monitoramento de pontes, o Brasil carece de uma metodologia mais quantitativa para avaliação da segurança das pontes, que considere a perda de capacidade de carga, adaptada aos parâmetros de projeto nacionais e que esteja associada a um sistema computacional de modo a facilitar o monitoramento da estrutura. Com a maior demanda de projetos em BIM, entende-se que essa metodologia também deva ser compatível com os códigos BIM. Com isso, uma ponte modelada usando a tecnologia BIM, além dos dados de projeto, irá incorporar dados de tempo, envelhecimento dos materiais, danificação de partes da estrutura, de modo que, como resultado, seja capaz de registrar a variação da capacidade de carga da estrutura ao longo do tempo.

Catálogo de objetos paramétricos para utilização em BIM

A característica fundamental a partir da qual objetos paramétricos podem ser produzidos de forma independente e conectados ao modelo de uma construção, permite que o catálogo, proposto neste módulo, seja produzido em conformidade com a tecnologia BIM. Nele, objetos paramétricos serão implementados, possuindo não apenas as definições geométricas de elementos, mas também, os parâmetros que se fizerem necessários para a plena descrição de um componente estrutural.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1. Cálculo e execução de Obras de concreto armado. Rio de Janeiro. 1940.

_____. NB-1. Cálculo e execução de Obras de concreto armado. Rio de Janeiro. 1960.

_____. NB-6. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro. 1943.

_____. NB-6. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro. 1960.

_____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. NBR 6118. Projeto e execução de obras de concreto armado Rio de Janeiro. 2014.

_____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. NBR 6118. Projeto e execução de obras de concreto armado Rio de Janeiro. 2003.

_____. NBR 6118. Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro. 1980.

_____. NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro. 2003.

_____. NBR 9452. Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 7188 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre– Procedimento. Rio de Janeiro. 1984.

_____. NBR 7188. Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. IPR. Publ., 698. Rio de Janeiro. 1980.

_____. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. IPR. Publ., 698. Rio de Janeiro. 1996.

_____. Manual de inspeção de pontes. IPR. Publ., 709. Rio de Janeiro. 2004.

DIN 1072. Strassen and Wegbrücken. Lastannahmen, 1972.

GIOVANNETTI, A. C. V. P. Avaliação da Condição de Conservação de uma Ponte - Estudo de Caso. f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

LUCHI, L. A. R. Reavaliação do trem-tipo à luz das cargas reais nas rodovias brasileiras. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Estruturas e Fundações. 2006.

MENDES, P. D. T. C. Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicada à rede de rodovias brasileiras. (Tese de Doutorado). ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. 2009.

PORTO, T. B.; Fernandes, D. S. G. Curso básico de concreto armado conforme NBR 6118/2014. São Paulo. Oficina de Textos, 2015.

SHINOHARA, K. J.; PADARATZ, I. J.; VALENTE, A. M.; TANI, V. Z.; DE MORI, F. Bridge weigh-in-motion (B-WIM) as the main tool for issuing special traffic authorizations (AETs) in Brazil. In.: 8thConferenceonWeigh-in-Motion-Book of proceedings. France, 2019.

SILVA, P. F; BRITO M. A. N.; SANTOS, I. C.; SILVA, R. S. Y. C.; Emídio Sobrinho, B. Efeitos da Mudança da NBR 7188:2013 nos Projetos de Pontes. Estudo de Caso: Projeto de Recuperação da Ponte sobre o Rio Correias na BR 101/SC. In.: Anais do VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro. 2014.

SLOVENIA – NATIONAL REPORT. Strategic Direction Session ST4. Infrastructure Management Of Bridges In Slovenia. In.: XXVth World Road Congress. Seoul, 2015.

Metas

- A. Elaboração de um catálogo digital de projetos de pontes utilizando o BIM para as tipologias de pontes usuais.
- B. Proposição de uma metodologia para avaliar a capacidade de carga das pontes já construídas, considerando a deterioração da estrutura, utilizando a tecnologia BIM.

4.4. Módulo 4

Revisão bibliográfica e justificativa

Pontes são conhecidas no meio rodoviário como Obras de Arte Especiais (OAE), e são definidas como estruturas que sustentam uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, construídas sobre uma obstrução, com vão livre maior que seis metros (DNIT, 2004a). Estas OAEs são de vital importância para a movimentação de pessoas e cargas em todo o país e representam investimentos elevados em concepção e construção. Porém, os impactos econômicos relacionados a manutenção e reparo dessas estruturas são muito significativos e abrangentes, destacando-se, assim, a importância das inspeções para detecção precoce de patologias e defeitos nestas estruturas (GIOVANNETTI, 2014). Neste sentido, a “lei dos cinco” (DE SITTER, 1984) (Figura 9) prevê que os custos relacionados com as etapas de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva, nesta ordem, crescem segundo uma progressão geométrica de razão cinco (HELENE, 2003). Dessa forma, levando em consideração o cenário atual de fortes restrições orçamentárias, se torna premente um trabalho de planejamento e gestão integrado e efetivo em todo o processo de concepção e utilização de uma OAE, por meio de sistemas confiáveis, de modo a se otimizar os recursos finitos e limitados (GIOVANNETTI, 2014; OLIVEIRA, 2019).



Figura 9. "Lei dos cinco" de De Sitter (DE SITTER, 1984), adaptado por Seyhan (2018).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é o principal órgão executor do Ministério dos Transportes, que foi implantado em fevereiro de 2002 para desempenhar as funções relativas à construção, manutenção e operação da infraestrutura dos segmentos do Sistema Federal de Viação sob administração direta da União nos modais rodoviário, ferroviário e aquaviário. Seus objetivos são operar e administrar infraestruturas de transporte; gerir projetos; e supervisionar e fiscalizar as atividades de entidades delegatárias de obras e serviços de infraestrutura. Assim, dentre as suas competências está a manutenção e recuperação das vias e terminais (BRASIL, 2001, 2003; DNIT, 2004b).

A malha rodoviária do Brasil compreende 1.720.700 km de rodovias, sendo 210.619 km de rodovias pavimentadas (CNT, 2019). Pesquisa recente da Confederação Nacional do Transporte (2019) ainda aponta que 35% das rodovias do país são classificadas como regulares, e que 24% se encontram em condições ruins ou péssimas. De maneira semelhante, a necessidade de intervenções em OAEs é grande, o que é agravado pelo grande número de pontes que se encontram envelhecidas, uma vez que um número significativo delas datam da década de 1970 (MENDES, 2009; OLIVEIRA, 2019). Em levantamento de 2016 pelo Sistema de Gestão de Pontes do DNIT (SGO), de 6.000 pontes sob jurisdição do DNIT, 1.780 delas foram classificadas como em "estado de observação" (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A evolução dos Sistemas de Gestão de Pontes, consolidando metodologias, abrangência, e capacidade de direcionar as tomadas de decisão baseadas em otimização de recursos, é uma tendência e necessidade premente. Essas ferramentas, ainda, tendem a evoluir para plataformas computacionais e integradas com bancos de dados e várias outras tecnologias de imagem e informação (MOORE; NAELINI, 2015). Dessa forma, neste quarto módulo pretende-se trabalhar os conceitos mais recentes de Sistema de Gestão de Pontes, integrando as ferramentas e metodologias já existentes e utilizadas pelo DNIT na consolidação de sistemas e metodologias integradas, por meio de consolidação de bancos de dados e de ferramentas de gestão, voltadas a ações de manutenção, recuperação, reforço e reabilitação de pontes de concreto armado. A abordagem baseada em modelos paramétricos dos reparos e reforços ainda será fonte de dados para orçamentação e outras informações de auxílio a tomadas de decisão, como contribuições ao sistema existente e base para futuras implementações. Visitas à campo, coleta de amostras, acompanhamento de execuções de reparos e avaliações experimentais específicas ainda serão propostas como fonte de dados e suporte tecnológico. Ao final, bancos de dados, modelos e algoritmos serão incorporados à plataforma BIM integrada, objeto do projeto como um todo.

Manifestações patológicas em pontes de concreto armado

Problemas relacionados a uma das cinco grandes etapas de uma obra (planejamento, projeto, materiais, execução e utilização) podem levar ao surgimento de patologias nas OAE de concreto armado (GIOVANNETTI, 2014). Dentre as manifestações patológicas mais comuns em pontes no Brasil estão fissuras, carbonatação, desagregação, disgregação, perda de aderência, corrosão das armaduras, corrosão do concreto, movimentações estruturais e calcinação (VITÓRIO, 2002).

A inspeção é a principal ferramenta do programa de gestão. Por meio dos dados obtidos nos procedimentos de inspeção são feitas as análises e planejamentos. Os tipos de inspeção incluem a inspeção cadastral, inspeção rotineira, inspeção especial, inspeção extraordinária e inspeção intermediária, cada tipo com sua periodicidade e abrangência definidas (DNIT, 2004a). O nível de aprofundamento e complexidade do relatório de inspeção também varia com o tipo, exigindo, inclusive, profissionais com grau de experiência diferenciados. O relatório de inspeção especial, por exemplo, deve fornecer os detalhes dos defeitos observados, mas também uma avaliação da condição da estrutura e recomendações para novas inspeções e trabalhos de reparos. Informações como extensão e gravidades dos defeitos observados também devem ser descritos com detalhes para permitir que o engenheiro estime os custos dos trabalhos de reparo (DNIT, 2004a; GIOVANNETTI, 2014).

Dada a extensão da malha viária e quantidade de OAEs, é um desafio manter a periodicidade recomendada das inspeções, considerando a limitação de recursos e pessoal para tanto, principalmente inspeções que exigem maior nível de detalhamento e inspetores mais experientes. Essa limitação pode e deve ser mitigada por meio de ferramentas de apoio que auxiliem no registro e gerenciamento desses dados, bem como nas avaliações, detalhamentos e elaboração de relatórios (inclusive de forma remota).

A avaliação do estado das OAEs é ferramenta usada para a obtenção de informações sobre a condição geral da estrutura ou de seus componentes, a intensidade, extensão dos defeitos e natureza das causas, e o efeito dos defeitos e áreas de deterioração. Dentre os objetivos da avaliação tem-se a identificação dos processos de deterioração; fornecimento de indicação de condição estrutural; identificação dos trabalhos necessários incluindo custo provável e tempo; classificação da estrutura com relação a necessidade de novos trabalhos; indicação da condição de um grupo de estruturas; otimização das despesas com novas obras (GIOVANNETTI, 2014). Apesar da grande responsabilidade da informação gerada, a avaliação é subjetiva e baseia-se na emissão de notas de 1 (Precária) a 5 (Boa) para os elementos estruturais.

Metodologias de Gestão de pontes

A manutenção de pontes é comumente dividida em três principais atividades: inspecionar, avaliar e manter (HURT, M. A.; SCHROCK, 2016). Gerir esse processo com o objetivo de se obter o máximo retorno das atividades de Manutenção, Restauração e Reforço (MR&R) é um tipo complexo de otimização, e resultado de um bom programa de gestão de pontes (*bridge management*). Esse processo é baseado em um programa de inspeção e geração de informações, para posterior análise e programação de ações de engenharia visando aumentar a vida útil dessas estruturas (OLIVEIRA, 2019). Classifica-se o tipo de gestão de acordo com o tipo de análise realizada, são elas: análise a nível de elemento, análise a nível de projeto e análise a nível de rede (Figura 10). A análise a nível do elemento é baseada em modelos de deterioração e proposições ao gestor dentre listas de serviços de intervenções para solução do problema detectado na inspeção. A nível de projeto, essa análise se soma a planejamento de ações de MR&R para manutenção da ponte em períodos futuros. Por fim, a análise a nível de rede se baseia em informações de diversas pontes para balizar decisões de intervenções otimizados para as diversas pontes do universo analisado (OLIVEIRA, 2019; THOMPSON *et al.*, 2006).

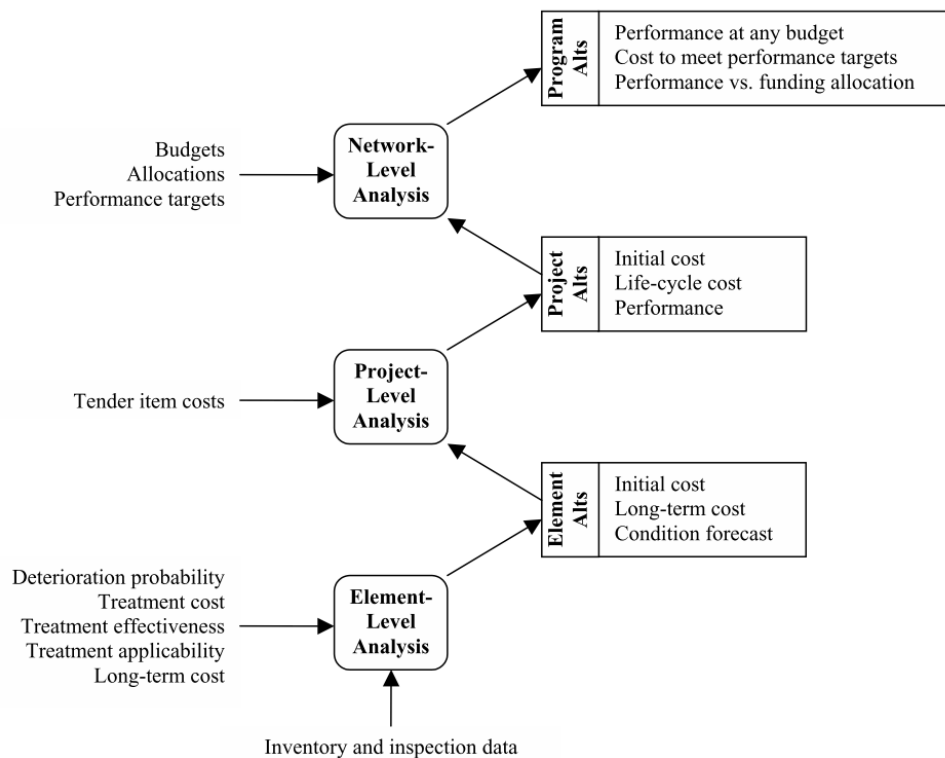


Figura 10. Inputs e outputs dos tipos de análise (THOMPSON et al., 2006).

Dois grupos de metodologias são empregados na gestão de pontes: as que consideram necessidades específicas de pontes individuais, e as que combinam e comparam demandas específicas com demandas de um conjunto. A abordagem do topo para a base é menos onerosa e consiste na definição dos objetivos principais para um conjunto de obras, seleção das obras para realização das intervenções e definição das ações a serem executadas em cada uma das pontes. Dessa forma o processo é mais rápido, pois envolve menor detalhamento já que o foco está no conjunto priorizado (OLIVEIRA, 2019). É importante destacar que essa abordagem pode levar a negligência de manutenções menores e pontuais que poderiam aumentar a vida útil de determinadas OAEs por não serem prioritárias, dessa forma a abordagem da base para o topo ainda é considerada a ideal apesar do menor potencial de otimização (FLAIG; LARK, 2000).

Concepção e evolução dos Sistemas de gestão de Pontes

O gerenciamento dos dados que envolvem a gestão de pontes é uma tarefa tão complexa quanto maior a malha rodoviária e diversidade das condições das OAEs. A organização dessas informações em bancos de dados e o uso de ferramentas computacionais, os chamados Sistemas de Gerenciamento de Pontes (*Bridge Management Systems – BMS*), torna possível a centralização das informações e tem revolucionado as práticas de inspeção e gerenciamento (HURT, M. A.; SCHROCK, 2016).

Um BMS é basicamente um conjunto de informações (bancos de dados) e módulos computacionais (algoritmos) que ajudam no processo de tomada de decisões envolvendo inspeção, manutenção, reparo e reabilitação de pontes. Esses sistemas assistidos por computador podem possuir módulos como: inventário, inspeção, condição, relatório, matriz de risco, e custo por ciclo de vida. Adicionalmente, devem possuir sistema baseado na *web*, e suportar sistemas eletromecânicos de inspeção, adaptabilidade operacional, integração com múltiplos sistemas, inspeção em tempo real e por meio de dispositivos móveis. Futuras implementações ainda preveem modelagem da informação da construção (*Building Information Modeling – BIM*) e geração desses modelos por meio de *laser 3D scanning* e fotogrametria. Imagens de ultra-alta resolução, realidade virtual e internet das coisas estão ainda entre os avanços desses sistemas em futuro próximo (MOORE; NAELINI, 2015).

No Brasil, desde 1994 o DNIT conta com um software de cadastro de obras e inspeções: o Sistema de Gerenciamento de Obras Especiais – SGO. Essa versão já contava com a funcionalidade de registro de dados de inspeções cadastrais e rotineiras, além das tabelas de atividades de manutenção/reparo e custos. Na terceira versão do SGO foi incorporada a mensuração de danos por elemento, além dos elementos padrão tornaram-se variáveis, recebendo tratamento analítico individualizado. Com isso as análises se tornaram mais detalhadas e realistas. A abordagem também tornou as informações de inspeção mais uniformes, detalhadas e menos subjetivas (OLIVEIRA, 2019).

Referências

BRASIL. Lei no 10.233, de 5 de junho de 2001. DOU Diário Oficial da União, p. 1, 2001.

_____. Decreto no 4.749, de 17 de Junho de 2003. DOU Diário Oficial da União, 2003.

CNT. Anuário CNT do Transporte: Estatísticas consolidadas 2019. Brasília: 2019.

DE SITTER, W. R. Costs of service life optimization “The Law of Fives”. In: 1984, CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures (Copenhagen, Denmark, May 18-20, 1983). Comité Euro-International du Béton, 1984. p. 131–134.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. Rio de Janeiro: 2004 a.

_____. Resolução N° 6, de 10 de março de 2004. Rio de Janeiro: 2004.

FLAIG, K. D.; LARK, R. J. The development of UK bridge management systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport, v. 141, n. 2, p. 99–106, 2000.

GIOVANNETTI, A. C. V. P. Avaliação do estado de conservação de pontes - Estudo de caso. 2014. - UFSC, Florianópolis, 2014.

HELENE, P. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

HURT, M. A.; SCHROCK, S. D. Highway bridge maintenance planning and scheduling. Butterworth-Heinemann, 2016.

MENDES, P. de T. C. Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras. p. 235, 2009.

MOORE, D.; NAELINI, S. Digital Evolution of Bridge Management Systems in the Gulf Region, v. 2015, n. 2, p. 2030, 2015.

OLIVEIRA, C. B. de L. e et al. Eficácia da gestão de pontes rodoviárias à luz das práticas de inspeção brasileiras. Transportes, v. 27, n. 4, p. 172–186, 2019.

OLIVEIRA, C. B. L. Determinação e Análise de Taxas de Deterioração de Pontes Rodoviárias do Brasil. 2019. - Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

SEYHAN, E. A little goes a long way: Why diligent maintenance makes a difference. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://blog.master-builders-solutions.basf.com/en/law-of-fives>.

THOMPSON, P. D. et al. Implementation of Ontario Bridge Management System. In: 2006, Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management - Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost. p. 731–732.

VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. CREA-PE, 2002.

Metas

- A. Parametrização de danos e intervenções em pontes em concreto armado e pavimentos sobre pontes, incluindo técnicas de reparo e reabilitação, suas características tecnológicas, materiais aplicáveis e controle tecnológico, e especificação de serviços.
- B. Metodologias de orçamentação, planejamento e controle de obras de reparo e reabilitação baseadas em modelos paramétricos.
- C. Metodologias de previsão de degradação e análise de vulnerabilidade.
- D. Desenvolvimento de banco de dados e ferramentas computacionais de apoio à inspeção e gerenciamento de dados.

5. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO PARA CELEBRAÇÃO DO TED:

Dar condições para que o DNIT cumpra o decreto presidencial Nº. 10.306 de 02 de abril de 2020 no que diz respeito à implantação da cultura BIM naquele departamento, já a partir da Fase 1. Espera-se um alto grau de utilização da tecnologia, inclusive com a produção de modelos paramétricos eficientes, trabalho de forma colaborativa, gerência adequada dos entregáveis por parte de terceiros, e com a produção do *BIM Mandate* DNIT.

Impactos

- Maior controle das informações de projeto (dados técnicos, pranchas de desenho, documentos paralelos, etc);
- Maior precisão na elaboração de projetos, minorando possibilidades de inconsistências e incompatibilidades;
- Redução de tempo e erros nas tomadas de decisão referentes a manutenções e reabilitações de infraestruturas.
- Redução dos custos com manutenção e reabilitação a médio e longo prazo.
- Maior precisão nos processos de planejamento e orçamentação.
- Redução de tempo e erros nas tomadas de decisão referentes a manutenções e reabilitações de pontes em concreto armado escopo deste projeto.
- Aumento da vida útil da infraestrutura rodoviária no Brasil.
- Criar condições para gerenciamento remoto da infraestrutura rodoviária por meio de ampliação e disponibilidade de informação e modelos.
- Redução de tempo e riscos relacionados a manutenção e reabilitação de estruturas de pontes rodoviárias no Brasil.
- Artigos em congresso científico
- Dissertações de mestrado
- Teses de doutorado
- Artigo científicos em periódicos
- Atualizações e revisões de manuais técnicos e metodologias
- Atualização e melhorias no Sistema de Gestão de Pontes
- Rotinas de projeto e referencial teórico de pontes para serem utilizados na Disciplina CIV358 – Pontes, do curso de Graduação em Engenharia Civil da UFV. Trata-se de um conteúdo teórico ainda carente de publicações.
- Desenvolvimento de *know-how* de projetos de pontes em BIM para serem inseridos na CIV358 – Pontes, do curso de Graduação em Engenharia Civil da UFV;
- Laboratório de informática para realização de pesquisas e projetos do Curso de Graduação em Engenharia Civil e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFV.

6. SUBDESCENTRALIZAÇÃO

A Unidade Descentralizadora autoriza a subdescentralização para outro órgão ou entidade da administração pública federal?

- () Sim
(X) Não

7. FORMAS POSSÍVEIS DE EXECUÇÃO DOS CRÉDITOS ORÇAMENTÁRIOS:

A forma de execução dos créditos orçamentários descentralizados poderá ser:

- () Direta, por meio da utilização capacidade organizacional da Unidade Descentralizada.
() Contratação de particulares, observadas as normas para contratos da administração pública.
(X) Descentralizada, por meio da celebração de convênios, acordos, ajustes ou outros instrumentos congêneres, com entes federativos, entidades privadas sem fins lucrativos, organismos internacionais ou fundações de apoio regidas pela Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994.

8. CUSTOS INDIRETOS (ART. 8, §2º)

A Unidade Descentralizadora autoriza a realização de despesas com custos operacionais necessários à consecução do objeto do TED?

- (X) Sim
() Não

O pagamento será destinado aos seguintes custos indiretos, até o limite de 20% do valor global pactuado:

1. Despesas administrativas e operacionais à Fundação FACEV (Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994), equivalente a 5% do valor orçado de todo o projeto, de acordo com a Resolução nº 04/2000 do Conselho Universitário da UFV, que trata das Normas para a Celebração de Convênios e Contratos de Cooperação Técnica e Prestação de Serviços:

Art. 7º - Sobre os custos envolvidos, incluindo os previstos no artigo 6º, incidirão as seguintes taxas:

§ 2º - A taxa de administração paga à fundação de apoio referente a gestão do projeto será calculada em função do custo efetivamente incorrido na gestão do projeto.

9. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

O cronograma físico de execução, bem como os produtos a serem entregues, encontram-se detalhados a seguir, para cada um dos módulos, conforme as metas especificadas no item 4.

A equipe proponente deste Plano de Trabalho é apresentada no ANEXO 1. Essa equipe irá coordenar os 4 módulos do projeto de pesquisa. O orçamento detalhado é apresentado no ANEXO 2.

9.1. Módulo 1

Produtos e cronograma de entregas

Item	Meta(s)	Produto(s)	Formato da entrega	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$	Data prevista de entrega (mês/ano)
M1.A1	Meta A: Desenvolvimento de modelos paramétricos de elementos constituintes das OAE, incluindo o SICRO como sistema de classificação	Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Participação no Webinar BIM DNIT: Inovação tecnológica no PROARTE. Palestra: IFC na infraestrutura rodoviária.	Participação remota	1	750.00	750.00	abr-21
M1.A2a		Relatório de Pesquisa: Fundamentos da modelagem paramétrica.	Arquivo PDF	1	40,045.95	40,045.95	jan-22
M1.A2b		Relatório de Pesquisa: Modelagem paramétrica de elementos estruturais.	Arquivo PDF	1	40,045.95	40,045.95	ago-22
M1.A3		Capacitação do corpo técnico do DNIT: Modelagem paramétrica e suas aplicações em Revit.	Treino presencial	1	11,593.26	11,593.26	ago-22
M1.A4		Relatório de Pesquisa: Implementação de modelo paramétrico para orçamentação de Canteiro de obras de infraestrutura baseado no Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes – Volume 07.	Arquivos PDF, RFA e TXT Encontro remoto	1	44,657.59	44,657.59	jun-23
M1.A5		Relatório de Pesquisa: Utilização de técnicas de Realidade Virtual e Aumentada para a inspeção de pontes modeladas em BIM.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	44,657.59	44,657.59	dez-23
M1.A6		Relatório de Pesquisa: Implementação de modelo paramétrico para representação de boletins de sondagens NSPT.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	44,657.59	44,657.59	out-23
M1.A7		Relatório de Pesquisa: Metodologia para a modelagem 5D de elementos de pontes baseada no SICRO.	Arquivos PDF, RVT e TXT Encontro remoto	1	44,657.59	44,657.59	dez-23
M1.A7c		Relatório de Pesquisa: Arquivo para utilização em Revit: keynotes.txt	Arquivo TXT	1	15,000.00	15,000.00	jan-22
M1.A8		Capacitação do corpo técnico do DNIT: Interoperabilidade através de IFC.	Treino presencial	1	12,690.65	12,690.65	jul-24
M1.A9		Relatório de Pesquisa: Uma avaliação do Industry Foundation Classes (IFC 4.3) aplicado a modelos de pontes de concreto armado no Brasil.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	161,188.32	161,188.32	mar-25
M1.B1	Meta B: Organização de práticas para aplicação de BIM no cotidiano do DNIT.	Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Revisão com contribuições do Termo de Referência para contratação de Projetos em BIM.	Arquivo PDF	1	40,045.95	40,045.95	mai-21
M1.B2		Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Resumo dos aspectos gerais do Plano de Implantação BIM.	Arquivo PDF	1	40,045.95	40,045.95	dez-21
M1.B3a		Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Avaliação: Sistemas de Classificação.	Arquivo PDF	1	40,045.94	40,045.94	dez-21
M1.B3b		Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Seminário: Propostas para a NBR 15.965.	Arquivo PDF	1	750.00	750.00	jan-22
M1.B4		Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): LOD: Gerenciamento de escopo em projetos BIM.	Arquivo PDF	1	40,045.95	40,045.95	jul-22
M1.B5		Recomendações ao DNIT (Implementação BIM): Critérios e diretrizes para a definição de Ambiente Comum de Dados (CDE).	Arquivo PDF Encontro remoto	1	40,795.94	40,795.94	fev-23
M1.B6		Capacitação do corpo técnico do DNIT: BIM e a modelagem colaborativa.	Treino presencial	1	44,657.58	44,657.58	jun-24
M1.B7		Relatório de Pesquisa: Diretrizes para a aplicação de sistemas de classificação em modelos BIM no contexto do PROARTE.	Arquivo PDF	1	12,690.65	12,690.65	dez-23
M1.B8		Relatório de Pesquisa: Metodologia para definição e controle dos níveis de desenvolvimento de modelos BIM, com base nos requisitos de informação.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	79,636.34	79,636.34	mai-24
M1.B9		Relatório de Pesquisa: Critérios e diretrizes para a integração de modelos BIM multidisciplinares em processos colaborativos de infraestrutura.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	79,636.34	79,636.34	nov-24
M1.B10		Relatório de Pesquisa: Um estudo dos formatos abertos para intercâmbio de informação de modelos BIM.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	44,657.59	44,657.59	dez-23
M1.B11	Relatório de Pesquisa: Diretrizes para estruturação do Plano de Execução BIM.	Arquivo PDF Encontro remoto	1	44,657.60	44,657.60	fev-25	
Total Módulo/Subprojeto				23	967,610.32		

9.2. Módulo 2

Produtos e cronograma de entregas

Item	Meta(s)	Produto(s)	Formato da entrega	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$	Data prevista de entrega (mês/ano)
M2.A1	Meta A: Desenvolvimento de um programa computacional para automação da avaliação da capacidade de carga de pontes rodoviárias.	Relatório de Pesquisa: Diretrizes para modelagem de dados para um programa de análise estrutural compatível com BIM.	Arquivo PDF	1	121,858.41	121,858.41	ago-23
M2.A2		Software: Versão de Testes 1.0.	Arquivo ZIP	1	82,213.01	82,213.01	set-23
M2.A3		Relatório de Pesquisa: Metodologia para análise estrutural de pontes de concreto em vigas de eixo reto via MEF.	Arquivo PDF	1	155,035.01	155,035.01	ago-25
M2.A4		Software: Versão de Testes 2.0.	Arquivo ZIP	1	112,301.35	112,301.35	ago-25
M2.A5		Software: Programa computacional para análise estrutural de pontes de concreto em vigas de eixo reto.	Arquivo ZIP	1	41,462.37	41,462.37	nov-25
M2.A6		Capacitação do corpo técnico do DNIT: Uso do programa computacional para análise estrutural de pontes de concreto em vigas de eixo reto.	Treinamento remoto online (2h)	1	17,636.79	17,636.79	nov-25
M2.A7		Relatório de Pesquisa: Diretrizes para intercâmbio de informações IFC de pontes entre software BIM e de análise estrutural.	Arquivo PDF	1	276,294.54	276,294.54	abr-25
Total Módulo/Subprojeto				7	806,801.48		

9.3. Módulo 3

Produtos e cronograma de entregas

Item	Meta(s)	Produto(s)	Formato da entrega	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$	Data prevista de entrega (mês/ano)
M3.A1	Meta A: Elaboração de um catálogo digital de projetos de pontes utilizando o BIM para as tipologias de pontes usuais.	Relatório de Pesquisa: Estudo para definição das tipologias e características das pontes a serem consideradas no catálogo.	Arquivo PDF	1	8,989.91	8,989.91	dez-21
M3.A2		Relatório de Pesquisa: Projeto piloto versão 1.0: Superestrutura.	Arquivo PDF e RVT (Autodesk Revit)	1	40,454.55	40,454.55	mai-22
M3.A3		Relatório de Pesquisa: Projeto piloto versão 2.0: Superestrutura, Mesoestrutura, Detalhamentos.	Arquivo PDF e RVT (Autodesk Revit)	1	44,949.51	44,949.51	set-23
M3.A4		Relatório de Pesquisa: Catálogo Piloto versão 1.0: Análise estrutural e Modelagem em BIM de todas as pontes.	Arquivo PDF e RVT (Autodesk Revit)	1	49,444.46	49,444.46	jun-24
M3.A5		Relatório de Pesquisa: Catálogo Versão Final: Detalhamento em BIM de todas as pontes.	Arquivo PDF e RVT (Autodesk Revit)	1	494,444.55	494,444.55	jun-25
M3.A6		Relatório de Pesquisa: Recomendações para otimização da superestrutura de pontes em concreto protendido e pontes mistas de aço e concreto.	Arquivo PDF	1	89,899.01	89,899.01	set-23
M3.B1	Meta B: Proposição de uma metodologia para avaliar a capacidade de carga das pontes já construídas, considerando a deterioração da estrutura, utilizando a tecnologia BIM.	Relatório de Pesquisa: Estudo comparativo da mudança dos critérios de projeto com a evolução da normatização vigente.	Arquivo PDF	1	22,474.75	22,474.75	dez-21
M3.B2		Relatório de Pesquisa: Metodologia versão 1.0: Avaliação da capacidade de carga de pontes existentes considerando reconstituição do projeto.	Arquivo PDF	1	89,899.01	89,899.01	jan-23
M3.B3		Relatório de Pesquisa: Metodologia versão 2.0: Análise a nível de elementos da ponte e estimativa de fck.	Arquivo PDF	1	53,939.40	53,939.40	set-23
M3.B4		Relatório de Pesquisa: Metodologia versão 3.0: Níveis de análise e Análise probabilística.	Arquivo PDF	1	44,949.51	44,949.51	jun-24
M3.B5		Relatório de Pesquisa: Metodologia versão 4.0: Proposição de coeficientes de degradação.	Arquivo PDF	1	449,495.04	449,495.04	nov-25
Total Módulo/Subprojeto				11	1,388,939.70		

9.4. Módulo 4

Produtos e cronograma de entregas

Item	Meta(s)	Produto(s)	Formato da entrega	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$	Data prevista de entrega (mês/ano)
M4.A1	Meta A: Parametrização de danos e intervenções em pontes de concreto armado	Relatório de Pesquisa: Modelagem do dano e processo de tomada de decisão para intervenção como ferramenta em um sistema de gestão de pontes.	Arquivo PDF	1	31,192.96	31,192.96	jun-23
M4.A2		Relatório de Pesquisa: Recomendações e contribuições às rotinas de escolha, controle de qualidade e aceitação de reparos.	Arquivo PDF	1	168,667.97	168,667.97	dez-24
M4.A3		Relatório de Pesquisa: Metodologia de modelagem de danos e intervenções em obras de arte especiais.	Arquivo PDF	1	365,132.75	365,132.75	mar-25
M4.B1	Meta B: Quantificação, orçamentação, planejamento e controle de obras de reparo e reabilitação baseadas em modelos paramétricos.	Relatório de Pesquisa: BIM na quantificação, orçamentação, planejamento e controle de obras de manutenção de pontes.	Arquivo PDF	1	31,192.96	31,192.96	jun-23
M4.B2		Relatório de Pesquisa: Metodologia de especificação, quantificação e orçamentação da manutenção em SGO integrado a modelos BIM.	Arquivo PDF	1	269,069.42	269,069.42	mar-25
M4.C1	Meta C: Previsão de degradação e análise de vulnerabilidade.	Relatório de Pesquisa: Considerações sobre inspeção e coleta de dados em SGO integrado com BIM e baseado em modelos paramétricos de danos e reparos.	Arquivo PDF	1	131,011.80	131,011.80	dez-24
M4.C2		Relatório de Pesquisa: Metodologias de previsão de degradação e análise de vulnerabilidade para SGO integrado a modelos BIM.	Arquivo PDF	1	231,053.88	231,053.88	mar-25
M4.D1	Meta D: Banco de dados e ferramental computacional de apoio à inspeção e gestão.	Software: Versão de testes do banco de dados e dos aplicativos mobile e desktop web de apoio à inspeção e gerenciamento de dados (implementação computacional das metodologias da pesquisa).	Arquivo ZIP	1	214,029.19	214,029.19	dez-23
M4.D2		Software: Banco de dados e aplicativos mobile e desktopWeb de apoio à inspeção e gestão (implementação computacional das metodologias da pesquisa)	Arquivo ZIP	1	91,454.07	91,454.07	nov-25
Total Módulo/Subprojeto				9		1,532,805.00	

Total de produtos e valores

Módulo	Quantidade	Valor total R\$
1	23	967,610.32
2	7	806,801.48
3	11	1,388,939.70
4	9	1,532,805.00
Total	50	4,696,156.50

10. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

Item	Data	Valor R\$
1	Na assinatura do TED (11/11/2020)	2,269,643.25
2	12 meses após a assinatura do TED (11/11/2021)	756,547.75
3	24 meses após a assinatura do TED (11/11/2022)	756,547.75
4	33 meses após a assinatura do TED	78,435.00
5	36 meses após a assinatura do TED (11/11/2023)	834,982.75
Total		4,696,156.50

11. PLANO DE APLICAÇÃO CONSOLIDADO - PAD

CÓDIGO DA NATUREZA DA DESPESA	CUSTO INDIRETO	VALOR PREVISTO
33.90.39	SIM	R\$ 4.696.156,50

O orçamento detalhado para o cumprimento deste Plano de Trabalho encontra-se no ANEXO 2.

12. PROPOSIÇÃO

Viçosa - MG, ___/___/2023

Demetrius David da Silva
Reitor
Universidade Federal de Viçosa

13. APROVAÇÃO

Brasília - DF, ___/___/2023

Luiz Heleno Albuquerque Filho
Coordenador-Geral do Instituto de Pesquisas em Transportes - CGIPT/IPR

ANEXO 1 - EQUIPE PROPONENTE

Nome	CPF/SIAPE	Função	Cargo/Currículo
José Carlos Lopes Ribeiro	042. [REDACTED] 06 1753776	Coordenador Geral Coordenador M2	Professor Associado (DEC/UFV, 2010-). Engenheiro Civil (UFV, 2000), MSc Engenharia de Estruturas (UFMG, 2004) e DSc (UFMG, 2009). Prestou consultorias em projetos de estruturas de edifícios de concreto e pontes para a Racional Sistemas Construtivos, Belo Horizonte (2003). Coordenou o desenvolvimento de sistemas computacionais com aplicação em engenharia para a Ferro Gusa Carajás (2005), MITA Ltda (2006) e Suzano (2008). Trabalhou na Embraer-Liebherr Equipamentos do Brasil S.A., São José dos Campos (2007 a 2010), como engenheiro de desenvolvimento de produto/estruturas na área de trens de pouso e equipamentos hidráulicos. É professor da Universidade Federal de Viçosa desde 2010. Tem experiência nas áreas de Mecânica das Estruturas, Método dos Elementos Finitos, Estruturas Mistas e Comportamento dos materiais em situação de incêndio. Teses de doutorado: orientou 1, coorientou 2 e atualmente orienta 4. Dissertações de mestrado: orientou 7, coorientou 15 e atualmente orienta 5. Orientou 7 trabalhos de conclusão de curso e 8 de iniciação científica. Possui registro no INPI de 15 softwares. Na Oficina Española de Patentes y Marcas (Espanha), possui registro de 2 softwares que foram desenvolvidos para a Compañía Española de Laminación (CELSA). Publicou 1 livro, 43 artigos em revistas científicas e 57 artigos em congressos e 4 capítulos de livros. Recebeu a Medalha de Ouro Presidente Bernardes da Universidade Federal de Viçosa (2001) e o prêmio "2006 Best Engineering Journal Article" do AISC Engineering Journal. Coordenou 1 projeto de pesquisa conjunto entre os Departamentos de Engenharia Civil e Mecânica da UFV, financiado pela FAPEMIG (2013). Atualmente é Professor Associado III e membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFV).
Kléos M Lenz César JR	796 [REDACTED] 44 6030615	Coordenador M1	Professor Associado (DEC/UFV, 1992-). Engenheiro Civil (UFV, 1988), MSc Engenharia Civil (UFF, 1996), Dissertação: "A informática na integração técnica da construção. Uma aplicação no projeto de instalações elétricas". PhD Engenharia Civil (University of Leeds, 2007) Tese: "An assessment of the IFC for Reinforced Concrete interoperability". Engenheiro Civil da Prefeitura do Campus da UFV (1990-1992). Implantou indústria de construção pré-fabricada de concreto em Angola (1992). Professor do curso de Engenharia Civil da UFV: 1992-. Sócio da empresa Mondrian Ltda (1993-1998) de projetos e construção pré-fabricada de concreto. +100 artigos publicados CAdesign (1993-2003). Autor do livro Autolisp: uma linguagem de programação para o AutoCAD (Marketpress, 2001). Participou do comitê científico do TIC 2011. Participou da equipe de tradução para o Português do livro BIM Handbook (Eastman, et al, 2014). Finalista do concurso Excelência BIM Academia (Sinduscon/SP, 2017). Finalista do concurso Excelência BIM Academia (Congresso Nacional/DF, 2018). Participou de diversas palestras para disseminação do BIM.
Diôgo Silva de Oliveira	087 [REDACTED] 31 2314893	Coordenador M3	Professor Adjunto. DEC/UFV (2016-) Engenheiro Civil (UFV, 2011). MSc Engenharia de Estruturas (EESC/USP, 2013) e DSc Engenharia de Estruturas EESC/USP, 2017). Dissertação: "Análise do comportamento estrutural de blocos de concreto armado sobre cinco e seis estacas". Tese: "reforço de pilares de concreto armado de seção transversal retangular mobilizando efeitos de confinamento". Formação voltada para projeto de estruturas de concreto armado. Coorientou Dissertação de Mestrado na UERJ, e atualmente coorienta dois projetos de Mestrado na UFV. Participou da criação do software SIPALex – Sistema Integrado para Projeto de Alvenaria Estrutural, patente obtida em 2011. Possui seis artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, e oito trabalhos publicados em congressos nacionais. Atualmente é Coordenador do Laboratório de Resistência dos Materiais – REM/UFV.

Nome	CPF/SIAPE	Função	Cargo/Currículo
José Maria Franco de Carvalho	036 [REDACTED] 73 1796585	Coordenador M4	Professor Adjunto (DEC/UFV, 2010-). Engenheiro Civil (UFV, 2004), MSc Engenharia Civil (UFOP, 2007), DSc (UFOP, 2019), com período sanduíche no Instituto Federal Alemão de Pesquisa e Testes em Materiais – BAM, Berlim. Trabalhou na SOLESA Soluções Estruturais S.A., Cariacica, ES (2007 a 2010), como engenheiro de desenvolvimento de produto/estruturas na área de galpões leves. É professor da Universidade Federal de Viçosa desde 2010. Tem experiência nas áreas de Estruturas Metálicas e Mistas, Programação e Análise Numérica, Matrizes Cimentícias e Geopoliméricas, Concretos Ecoeficientes, Reaproveitamento de Rejeitos Industriais e de Mineração em Matrizes Cimentícias, Reologia de Misturas Cimentícias, Desempenho Tecnológico de Materiais Cimentícios. Orienta 4 projetos de Mestrado e 7 projetos de Doutorado. Possui registro de 1 softwares. Publicou 5 capítulos de livro e 51 artigos em revistas científicas. Atualmente é Professor Adjunto IV, pesquisador PQ-2 CNPq, coordenador do Laboratório de Materiais Compósitos (LCO/DEC/UFV), líder do Grupo de Pesquisa em Construção Sustentável e Inovadora - SICon-CNPq (UFV) e membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFV).

ANEXO 2 - ORÇAMENTO DETALHADO

1. Equipamentos e materiais permanentes

Item	Descrição	Qtde Plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Laptop com capacidade de processamento para computação gráfica	7	12,000.00	84,000.00
2	Computador PC com capacidade de processamento para computação gráfica	16	14,000.00	224,000.00
3	Nobreaks (proteção dos PCs, do servidor de arquivos e do switch de rede)	20	1,100.00	22,000.00
4	Monitor 4K 28"	20	3,000.00	60,000.00
5	Plotter A1	1	6,500.00	6,500.00
6	Impressora A4 Multifuncional	1	3,500.00	3,500.00
7	Smart TV 65"	2	6,000.00	12,000.00
8	Aparelhos de ar condicionado (incluindo serviços de instalação)	1	23,000.00	23,000.00
9	Óculos para realidade virtual/aumentada para celular	5	250.00	1,250.00
10	Óculos para realidade virtual/aumentada para PC	3	2,000.00	6,000.00
11	Tablets 10"	3	4,500.00	13,500.00
12	Licenças de software (Linguagem de programação, análise estrutural, etc)	1	101,970.00	101,970.00
13	Mobiliário e instalações para os laboratórios	1	22,450.00	22,450.00
14	Material bibliográfico e normas técnicas	1	7,500.00	7,500.00
15	Esclerômetro	1	19,110.00	19,110.00
16	Pacômetro (profometer + software + acessórios)	1	129,378.00	129,378.00
17	Máquina universal de ensaios	1	320,000.00	320,000.00
18	Ultrasom	1	66,672.00	66,672.00
19	Drone Profissional câmera 4K Zoom 50x	3	7,500.00	22,500.00
20	Equipamentos diversos para vistoria de pontes no campo	1	8,000.00	8,000.00
21	Notebooks de apoio colaboradores / TCCs / inspeção em campo	1	35,000.00	35,000.00
22	Equipamentos diversos para ativar o link de internet no LABIM 1 e LCO	1	30,000.00	30,000.00

Total previsto = **1,218,330.00**

2. Materiais de consumo

Item	Descrição	Unidade	Qtde plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Materiais de escritório e informática, eventos locais, seminários	un	1	36,500.00	36,500.00
2	Materiais de construção para adequação de laboratório	un	1	40,000.00	40,000.00

Total previsto = **76,500.00**

3. Diárias

Item	Descrição	Cidade	Qtde plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Visitas técnicas, treinamentos, coleta de dados, etc	a definir	144	300.00	43,200.00
2	Congressos nacionais	a definir	40	450.00	18,000.00
3	Congressos internacionais	a definir	25	1,500.00	37,500.00
4	Técnico para auxílio na coleta de dados	a definir	25	400.00	10,000.00

Total previsto = **108,700.00**

4. Passagens e despesas com locomoção

Item	Descrição	Cidade	Qtde plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Visitas técnicas, treinamentos, coleta de dados, etc	A definir (nacional)	40	1,500.00	60,000.00
2	Congressos nacionais	A definir (nacional)	8	1,500.00	12,000.00
3	Congressos internacionais	A definir (internacional)	8	4,500.00	36,000.00

Total previsto = **108,000.00**

5. Bolsas de pesquisa

Item	Beneficiário	Modalidade	Período (meses)	Qtde plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Coordenadores	Bolsa Pesquisador Sênior	50	4	5,500.00	1,100,000.00
2	Pesquisador doutor	Bolsa Pesquisador DSc	36	3	4,500.00	486,000.00
3	Pesquisador mestre	Bolsa Pesquisador MSc	36	1	3,000.00	108,000.00
4	Doutorando PPGEC/UFV	Bolsa de Doutorado	48	6	2,500.00	720,000.00
		<i>Reajuste CAPES Fev23: R\$3100,00</i>		159	600.00	95,400.00
5	Mestrando PPGEC/UFV	Bolsa de Mestrado	24	4	1,500.00	144,000.00
		<i>Reajuste CAPES Fev23: R\$2100,00</i>		68	600.00	40,800.00
6	Graduando Eng Civil/UFV	Bolsa de IC	12	7	400.00	33,600.00
		<i>Reajuste CAPES Fev23: R\$700,00</i>		44	300.00	13,200.00
7	Apoio Administrativo	Bolsa de Apoio Administrativo	29	1	1,500.00	43,500.00

Total previsto = **2,784,500.00****6. Serviços de terceiros**

Item	Descrição	Qtde Plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Consultoria Direito Administrativo (editais, manuais)	12	1,000.00	12,000.00
2	Consultoria engenheiros especialistas	12	1,000.00	12,000.00
3	Desenvolvimento de sistema, atualização de bancos de dados, hospedagem, etc.	1	100,000.00	100,000.00
4	Despesas bancárias CC 94743-1	1	5,000.00	5,000.00
5	Serviços de terceiros para vistoria em pontes	1	10,000.00	10,000.00
6	Taxas de publicação e inscrição em eventos técnico-científicos	1	22,500.00	22,500.00
7	Aluguel de veículos para visitas técnicas (incluindo cartão combustível)	60	250.00	15,000.00

Total previsto = **176,500.00****7. Despesas operacionais e administrativas**

Item	Descrição	Qtde Plan	Unitário Planejado R\$	Total Planejado R\$
1	Despesas administrativas e operacionais (FACEV)	1	223626.50	223626.50

Total previsto = **223,626.50****Total geral****4,696,156.50**