

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PATRÍCIA SCHIPITOSKI MONTEIRO

**DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS APLICÁVEIS À MODELAGEM DA
INFORMAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO ARMADO COM ENFOQUE
NO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES**

CURITIBA

2017

PATRÍCIA SCHIPITOSKI MONTEIRO

DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS APLICÁVEIS À MODELAGEM DA
INFORMAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO ARMADO COM ENFOQUE NO
GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana de Paula Lacerda Santos

CURITIBA

2017

M775d

Monteiro, Patrícia Schipitoski

Definição de parâmetros aplicáveis à modelagem da informação de pontes de concreto armado com enfoque no gerenciamento de manutenções / Patrícia Schipitoski Monteiro. – Curitiba, 2017.

114 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2017.

Orientador: Adriana de Paula Lacerda Santos.

1. Pontes de concreto armado. 2. Viadutos de concreto armado.
3. Gerenciamento da manutenção. I. Universidade Federal do Paraná.
II. Santos, Adriana de Paula Lacerda. III. Título.

CDD: 624.2

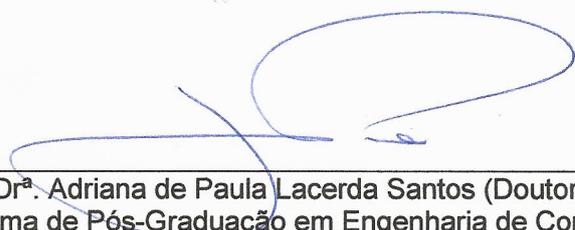
TERMO DE APROVAÇÃO

PATRÍCIA SCHIPITOSKI MONTEIRO

DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS APLICÁVEIS À MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO ARMADO COM ENFOQUE NO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:



Prof.ª Dr.ª Adriana de Paula Lacerda Santos (Doutorado UFSC)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR

Examinadores:



Prof. Dr. Sergio Scheer (Doutorado PUC – Rio de Janeiro)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR



Prof. Dr. Cezar Augusto Romano (Doutorado UFSC)
Departamento de Engenharia Civil da UTFPR

Curitiba, 29 de março de 2017

Para Gabriel,
que eu continue aprendendo todos os dias com você.

“As pessoas grandes adoram os números. Quando a gente lhes fala de um novo amigo, elas jamais se informam do essencial. Não perguntam nunca: “Qual é o som da sua voz? Quais os brinquedos que prefere? Será que coleciona borboletas?”. Mas perguntam: “Qual é sua idade? Quantos irmãos ele tem? Quanto pesa? Quanto ganha seu pai?”. Somente então é que elas julgam conhecê-lo. Se dizemos às pessoas grandes: “Vi uma bela casa de tijolos cor-de-rosa, gerânios na janela, pombas no telhado...” elas não conseguem, de modo nenhum, fazer uma idéia da casa. É preciso dizer-lhes: “Vi uma casa de seiscentos contos”. Então elas exclamam: “Que beleza!””

Antoine de Saint-Exupéry em O Pequeno Príncipe

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à energia divina que me conduz. Por ter saúde e força de vontade para, todos os dias, acordar e batalhar pelos meus sonhos; por ser capaz de levantar depois de cada queda e seguir em frente.

De todo meu coração, agradeço à minha *petite famille*, Tiago e Gabriel (e Mi Cha, por que não?), por compreenderem meus momentos de ausência. Se fosse possível, saibam que eu dedicaria cada um dos meus segundos a vocês. Obrigada por entenderem que abrir espaço para que eu persiga meus objetivos é também uma maneira de nos tornarmos mais fortes.

Obrigada à minha *grande famille* – pais, irmãos, cunhados e sogros – por todo apoio, incondicional e irrestrito. Não houve uma única vez em que pedi ajuda e não fui prontamente socorrida. De caronas e suporte técnico ao cuidado com meu bem maior, vocês sempre estiveram a postos e tornaram viáveis estes dois anos que passaram. Cristina, prometo não mais deixá-la sem comida durante um churrasco para me ajudar com o modelo (risos).

Obrigada à minha orientadora, querida professora Adriana, por acreditar em meu potencial, pelos ensinamentos técnicos, pelo direcionamento na execução deste trabalho, pela paciência nessa condução, e principalmente por todos os conselhos, que me guiarão em situações muito mais amplas do que este curso. Vou carregar as conversas que tivemos por toda minha vida.

Agradeço cada palavra de apoio dos amigos – em especial dos meus *compadres* – Tatiana e Peterson, e ao carinho do pequeno Matheus. Sentimos muito a falta de vocês, distantes fisicamente, mas sempre perto do coração. Agradeço as discussões entre amigos do mestrado, em especial, Taína, Cláudio, Tiago, Fernanda, Ingrid e Ana Paula: a ajuda, as trocas de experiências muito ricas e a possibilidade de desabafar sobre as dificuldades do processo. Sou grata também pelos amigos professores que a Universidade Positivo me trouxe, cada um também com suas próprias vivências, recomendações e aconselhamentos. Em especial, aos professores Elaine, Juliano, Alessandra, Pablo e Mirian.

Por fim, aos professores doutores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, principalmente aos quais tive o privilégio de ter mais contato, José Marques, Sérgio Tavares, Daniane Vicentini, pelos ensinamentos e prontidão no atendimento – e aqui agradeço à Ziza também. Um destaque ao professor Sérgio Scheer, sempre disposto, interessado e próximo aos alunos, reconhecido em sua área de atuação; sua dedicação e didática são exemplos que seguirei sempre, como professora ou como projetista desse maravilhoso mundo da engenharia civil.

RESUMO

Embora as pontes brasileiras tenham papel de reconhecida importância em sua infraestrutura rodoviária, a cultura de gestão de obras de arte especiais ainda se encontra em desenvolvimento no Brasil. A modelagem da informação da construção, desenvolvida com base na parametrização de elementos surge como uma ferramenta da tecnologia da informação para concentrar, automatizar e padronizar o fluxo de informações, entre estágios e pessoas envolvidas no processo. Neste contexto, buscou-se através deste trabalho, definir os parâmetros que devem ser utilizados na modelagem de uma ponte ou viaduto de concreto armado. Um modelo virtual de construção de um viaduto foi desenvolvido, simplificado conforme as recomendações da bibliografia corrente relativas ao seu uso em gerenciamento de manutenções de obras de arte especiais. Grupos foram entrevistados sobre os parâmetros incluídos no modelo, e os resultados obtidos foram combinados às recomendações de normas nacionais e internacionais. Em segunda etapa, tanto o modelo desenvolvido quanto os parâmetros foram submetidos à apreciação de profissionais: ressalvas foram apresentadas acerca do modelo desenvolvido, ao passo que os parâmetros definidos foram bem avaliados. Por fim, a lista compilada de parâmetros foi classificada no sistema de padronização conhecido como *OmniClass*.

Palavras-chave: Modelagem da informação de Obra de Arte Especial, pontes de concreto armado, viadutos de concreto armado, gerenciamento da manutenção.

ABSTRACT

Although the Brazilian bridges play a significant role in the road infrastructure, the culture of bridges management is still under development in Brazil. The building information modeling development based on element parametrization, as it emerges as an information technology tool to concentrate, automate and standardize the flow of information between stages and professionals involved in the process. In this context, this work aims to define the parameters that must be used in the modeling of a reinforced concrete bridge model. A virtual construction model of a viaduct was developed, simplified according to the recommendations of the current bibliography regarding its use in maintenance management for engineering structure. Through interviews with groups of professionals about the parameters included in the model, results obtained were combined to the recommendations of national and international standards. In the second stage, both the developed model and the parameters were submitted to the appreciation of professionals: caveats were made towards the model, while the defined parameters were well evaluated. Finally, the compiled list of parameters was classified into the standardization system known as OmniClass.

Key-words: Bridge Information Modeling, BrIM, reinforced concrete bridges, facility management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Estratégico do DNIT	16
Figura 2 – Evolução de diferentes estratégias de conservação de pontes	17
Figura 3 – Etapas do desenvolvimento da pesquisa	29
Figura 4 – Fontes de dados.....	35
Figura 5 – Esquematização da Revisão Bibliográfica	37
Figura 6 – Subdivisão Genérica de uma Estrutura de Ponte	38
Figura 7 – Aspectos envolvidos na Gestão de Pontes	39
Figura 8 – Lei de Sitter	43
Figura 9 – Nível de implementação de BIM em projetos de Infraestrutura no tempo	48
Figura 10 – Visão: integração entre fases do desenvolvimento da infraestrutura	49
Figura 11 – Estrutura para uso de BrIM no gerenciamento de pontes	59
Figura 12 – Inspeção e Manutenção em plataforma móvel.....	60
Figura 13– Viaduto sobre a BR-476	65
Figura 14– Croquis do Viaduto.....	66
Figura 15 – Posição das manifestações.....	66
Figura 16– Exemplo de elemento com manifestação inspecionado.....	67
Figura 17– Parâmetros do projeto.....	68
Figura 18 – Projeto BrIM	69
Figura 19– Representação da manifestação patológica no modelo BRIM.....	69
Figura 20 – Exemplo de tabela para gestão de manutenção	70
Figura 21 – Destaque, através de ajustes do filtro, dos elementos construtivos e da manifestação patológica.....	82
Figura 22 – Tela principal do SGO	87
Figura 23 – Ciclo de utilização associada entre o modelo virtual e o SGO	88

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Deslizamento e queda de ponte sobre a represa Capivari- Cachoeira em 25/01/05	15
Imagem 2 – Manifestações patológicas detectadas pela inspeção realizada pelo EMEA	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais intervenções realizadas pelas concessionárias – Brasil 2009-2014	18
Gráfico 2- Escolaridade dos entrevistados	25
Gráfico 3 – Antes da capacitação – conhecimento BIM	25
Gráfico 4 – acesso a ferramentas BIM	26
Gráfico 5- Escolaridade dos entrevistados	27
Gráfico 6 – Publicações sobre BrIM e gerenciamento	56
Gráfico 7 – Impacto da visualização das manifestações patológicas na gestão de pontes.....	74
Gráfico 8 – Impacto da distribuição de dados relativos a um projeto no controle e gestão de pontes (sendo 1, muito pouco e 5, excessivamente).....	74
Gráfico 9 – Adequação dos parâmetros adotados na elaboração do modelo (sendo 1, muito pouco e 5, muito adequado)	75
Gráfico 10 – Avaliação de especialistas da área de manutenção de pontes ...	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros utilizados em projetos de infraestrutura de transporte	19
Quadro 2 – Caracterização da pesquisa	22
Quadro 3- Perfil de atuação dos entrevistados	25
Quadro 4- Perfil de atuação dos entrevistados	27
Quadro 5 – String de busca.....	33
Quadro 6 – Relações entre a aplicação de BIM e o escopo e nível de detalhe do modelo.....	34
Quadro 7 – Artigos com acesso disponível, resultantes da busca BrIM e management	57
Quadro 8 - Descrição das tabelas OmniClass.....	63
Quadro 9 – Parâmetros mais mencionados relativamente à importância em um sistema de gestão de pontes.....	73
Quadro 10- Parâmetros mais mencionados relativamente à importância em um sistema de gestão de pontes.....	75
Quadro 11- Parâmetros recomendados para verificação e posterior inclusão em sistema de gestão de pontes.....	77
Quadro 12 – Parâmetros compilados e ajustados após avaliação.....	80
Quadro 13 - Classificação dos parâmetros no Sistema OmniClass	83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3. JUSTIFICATIVA	14
1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	19
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2. MÉTODO DE PESQUISA	22
2.1. SELEÇÃO DOS CASOS	23
2.1.1. OBRA DE ARTE ESPECIAL	23
2.1.2. ENTREVISTAS	24
2.1.2.1. EMEA – Escritório Modelo de Engenharia Civil	24
2.1.2.2. Workshop Gestão de Obras de Arte Especiais.....	27
2.1.2.3. Etapas posteriores	28
2.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	28
2.2.1. Etapa de planejamento	30
2.2.2. Etapa de implantação.....	30
2.2.3. Etapa de contribuição.....	31
2.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	32
2.4. DEFINIÇÃO INICIAL DOS PARÂMETROS DE MODELAGEM.....	33
2.5. ENTREVISTAS DE VALIDAÇÃO	35
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	37
3.1. PONTES E GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.....	37
3.1.1. Manutenção rodoviária.....	40
3.2. RECOMENDAÇÕES DE MANUAIS E NORMAS.....	43
3.2.1. NORMA DNIT 010/2004 – PRO.....	43
3.2.2. Manual de Avaliação de Condições de Pontes da AASHTO	44

3.2.3. Relatório-guia do Comitê Euro-Internacional do Concreto “Avaliação, Manutenção e Reparos”	45
3.3. BUILDING INFORMATION MODELING	46
3.3.1. Bridge information modeling.....	47
3.3.2. Industry Foundation Classes (IFC).....	50
3.3.3. IFC4 e melhorias	50
3.4. BRIDGE INFORMATION MODELING E O GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES	56
3.4.1. COBie – Construction-Operations Building Information Exchange	61
4. MODELO DESENVOLVIDO E INVESTIGAÇÃO DE PARÂMETROS	65
4.1. MODELO DESENVOLVIDO.....	67
4.2. INVESTIGAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO	71
4.2.1. EMEA	71
4.2.2. Workshop Gestão de Obras de Arte Especiais	73
4.3. COMPILAÇÃO DE PARÂMETROS.....	76
5. RESULTADOS: COMPILAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS	78
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
7. REFERÊNCIAS	93

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária brasileira é – devido às dimensões continentais características do país – um bem diversificado em termos de características técnicas e graus de conservação. Estima-se que no Brasil existem pontes em 66,9% dos trechos de rodovia sob gestão concedida e em 48,4% dos trechos sob gestão pública (CNT, 2014a). Estas obras encontram-se sujeitas a condições muito distintas, e políticas de gestão ainda em fase de sistematização e atualização de banco de dados, através de inspeções e vistorias.

Desastres envolvendo este tipo de estruturas foram recorrentes nos últimos anos, eventos que levaram a perdas materiais e de vidas humanas (SOUZA, 1998). No trecho pesquisado pela CNT (2014b), foram observadas 13 pontes caídas, o que representa 4,5% dos pontos críticos encontrados e que são prejuízos de ordem logística: o modo rodoviário tem uma participação predominante na matriz de transporte regional brasileiro de carga, com uma participação de aproximadamente 61,1% em milhões de TKUs (tonelada-quilômetro útil); ao serem considerados os deslocamentos de passageiros, expressivos 96% (CNT, 2014b). A interdição dessas passagens pode representar um problema temporário de abastecimento e mobilidade, até que seja estabelecida uma rota de contorno ou implantação de nova estrutura.

Proporcionalmente, quanto mais detalhados os dados obtidos de um sistema de gestão de pontes, melhores são as informações resultantes dele (MENDES, 2011). Para Shirolé, Chen e Puckett (2008), a modelagem paramétrica aplicada a projetos de infraestrutura apresenta-se com a possibilidade de integração entre as partes e etapas envolvidas durante o ciclo de vida de uma ponte ou viaduto, e a eficiência deste sistema pode levar a um aumento da segurança rodoviária e minimização de desastres relacionados ao colapso destas estruturas.

A falta de conservação da infraestrutura rodoviária no país possui relação direta com o alto número de acidentes e seus gastos derivados. Um processo organizacional que permita o acesso rápido aos projetos atualizados,

informação acerca de vistorias, condições e demandas de manutenção, concentrados em um ambiente (no caso, virtual), é o primeiro passo para garantir que investimentos preventivos sejam aplicados coerentemente na recuperação das pontes brasileiras.

Os conceitos provenientes do *Building Information Modeling* (*BIM* ou Modelagem da Informação da Construção) são adequados a sistemas de gestão de pontes ou a procedimentos ligados à gestão de manutenção de pontes. Mais precisamente, sua versão aplicável a pontes e viadutos, denominada *Bridge Information Modeling* (*BrIM*) (MARZOUK; HISHAM, 2014) permite o desenvolvimento de modelos virtuais parametrizados da construção. Através de características como interoperabilidade, integração e colaboratividade, durante todo o ciclo de vida da obra, é possível agilizar e tornar mais transparente o processo de gestão da manutenção, possivelmente, minimizando a ocorrência ou gravidade de catástrofes envolvendo estas estruturas.

Iniciativas nacionais de fomento à indústria indicam o *BIM* – através de seus conceitos e ferramentas – como uma das medidas de desenvolvimento. Sua aplicação pode impactar positivamente em aspectos como eficiência e sustentabilidade de projetos e construção civil, melhorias nos índices de previsibilidade e taxas de retorno de investimentos, aumento das exportações e crescimento econômico (KASSEM; AMORIM, 2015).

Obras de arte especial (pelo grande porte e alto valor de investimento) apresentam os melhores resultados na aplicação de *BIM*: para Bryde, Broquetas, Volm (2013), esse percentual de ganho pode ser de até 9,8%; para Lu et al. (2014), de até 8,61% e para Barlish, Sullivan (2012), de até 5%. No âmbito da gestão de instalações, o conceito oferece vantagens como melhoria da desempenho, redução dos custos de investimento, redução do tempo de construção; precisão nas estimativas de custos; garantia da viabilidade das estimativas; otimização do gerenciamento de manutenções, e, abordagem IPD (*Integrated Project Delivery*) (EASTMAN et al., 2014).

Neste contexto, buscou-se responder o seguinte problema: quais parâmetros devem ser incluídos em um modelo virtual de construção de ponte

ou viaduto de concreto armado visando seu uso em etapa de operação, ou seja, em seu gerenciamento de manutenções?

1.1. OBJETIVO GERAL

Definir lista de parâmetros a serem incluídos em um modelo virtual de construção de pontes ou viadutos de concreto armado visando o gerenciamento de manutenções.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver modelo virtual de construção de uma obra de arte especial, em caráter simplificado e com enfoque em gerenciamento de manutenções;
- b) Investigar a percepção de profissionais da área de gestão de pontes a respeito dos parâmetros listados nesta pesquisa;
- c) Investigar a percepção de profissionais da área de modelagem parametrizada de construções (*BIM*) sobre o modelo simplificado desenvolvido;
- d) Classificar os parâmetros definidos entre as classes previstas pelo *Constructions Operations Building Information Exchange* (sistema OmniClass)

1.3. JUSTIFICATIVA

Estruturas comprometidas, falhas estruturais e acidentes envolvendo colapsos de pontes não são incomuns no Brasil (Imagem 1). Congestionamentos e interrupções de tráfego, mesmo que parciais, resultantes destes eventos são parte da rotina dos motoristas que circulam pelas rodovias do país. Embora

situações críticas possam ser consequências de casualidades, a adequada gestão também objetiva indicar que o estado limite das estruturas está próximo e realizar intervenções a um prazo adequado para evitar que ele seja atingido.

Durante a pesquisa CNT (2014b), nos trechos pesquisados, foram observadas 13 pontes caídas.

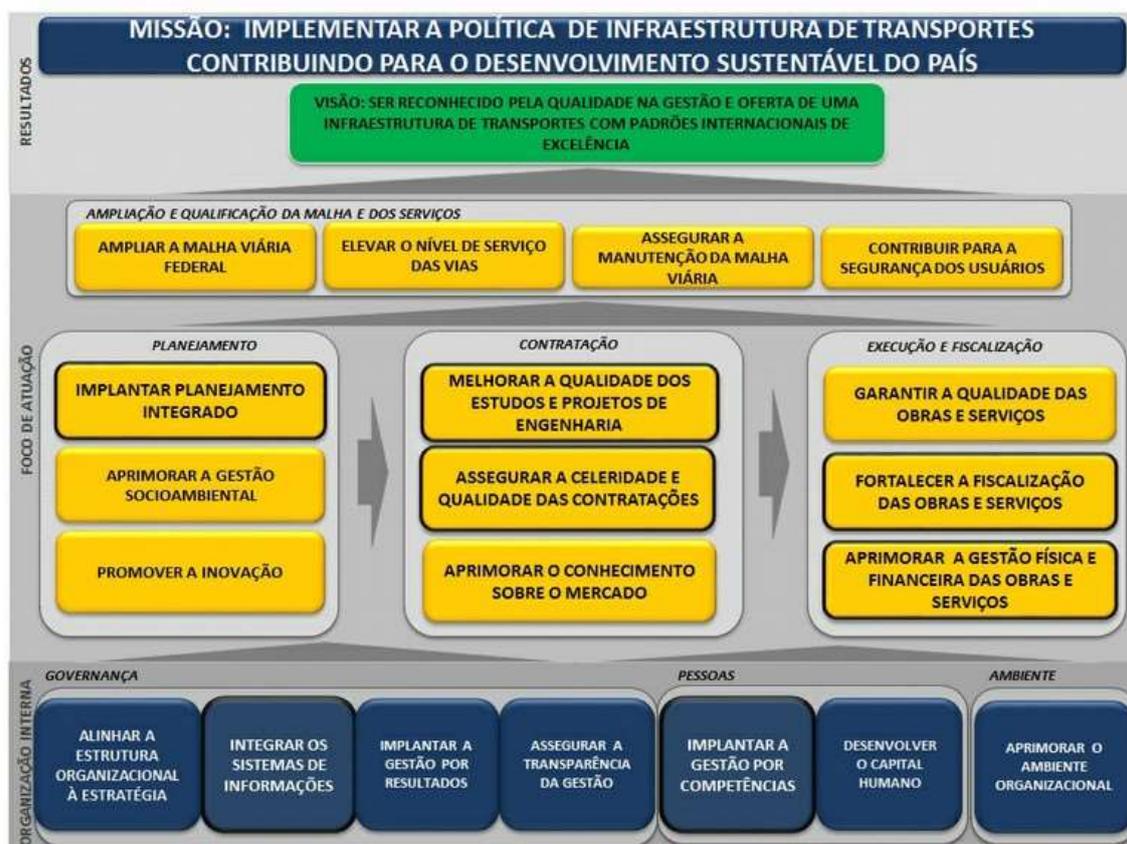
Imagem 1 - Deslizamento e queda de ponte sobre a represa Capivari-Cachoeira em 25/01/05



Fonte: (CAPIVARI-CACHOEIRA, 2005)

Pontes fazem parte da infraestrutura de transportes do Brasil, e ferramentas que auxiliem o gerenciamento dos recursos destinados a elas devem ser consideradas. Padronizar a gestão pública, por meio de procedimentos objetivos que tornem seu processo integrado, célere e que melhorem sua qualidade, agrega transparência ao processo decisório. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) elenca vários destes aspectos em seu mapa estratégico (Figura 1).

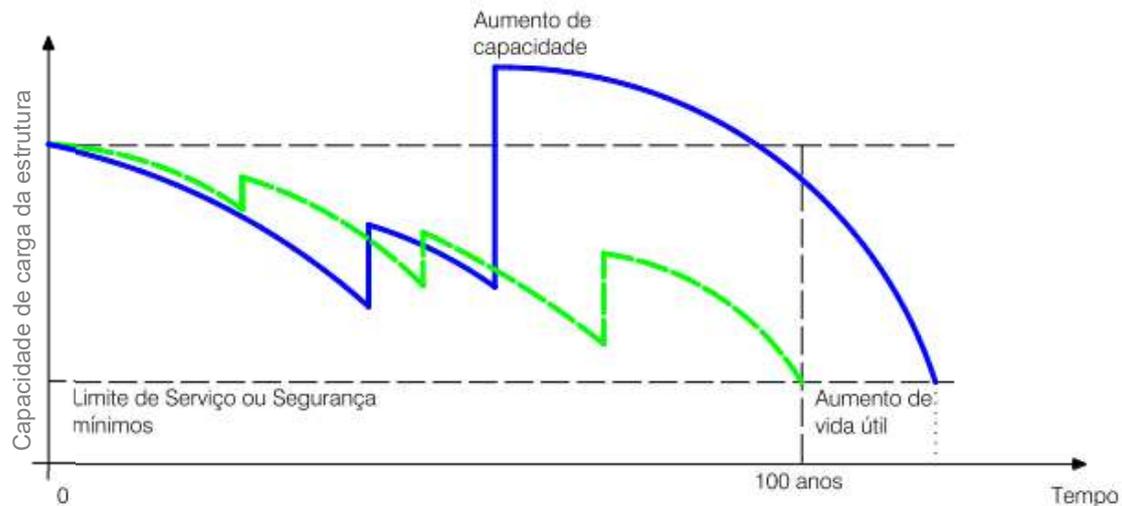
Figura 1 – Mapa Estratégico do DNIT



Fonte: (DNIT, 2015)

O próprio desenvolvimento da infraestrutura de transportes, que garante a sustentabilidade de utilização de pontes e viadutos durante o período de sua vida útil, também é função de uma estratégia de conservação (POÇAS, 2009). Intervenções realizadas segundo um modelo formal de gestão, que auxilie no planejamento das ações necessárias de conservação, reduz o volume de aporte financeiro e pode aumentar a vida útil destas estruturas (Figura 2).

Figura 2 – Evolução de diferentes estratégias de conservação de pontes



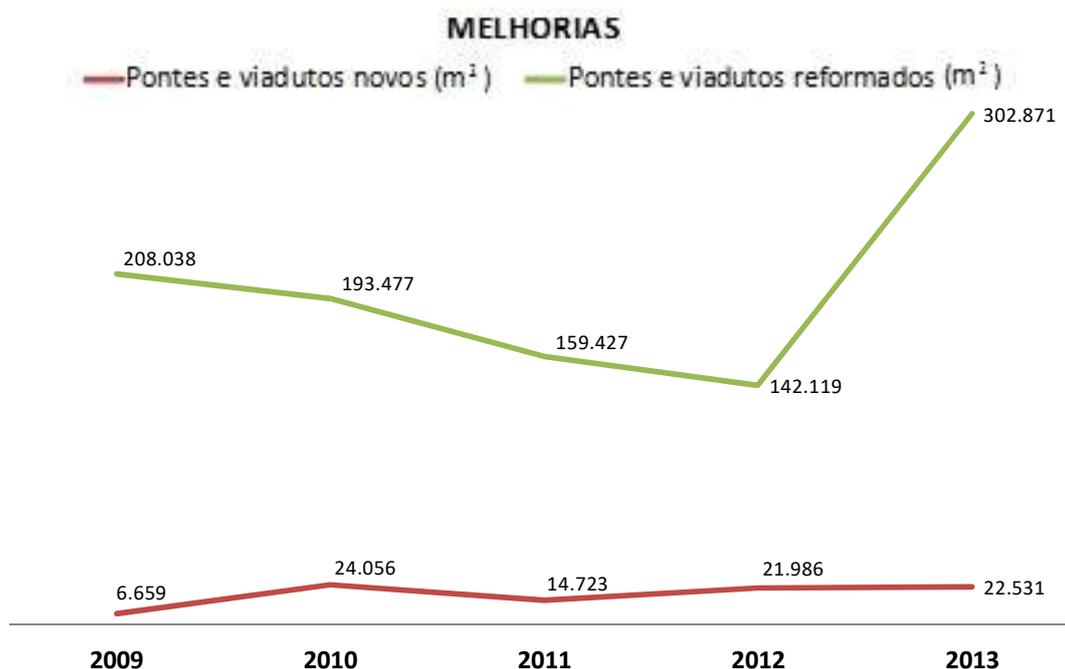
Fonte: POÇAS, 2009

O planejamento da alocação de recursos acontece em etapa anterior ao desenvolvimento de projeto, e o aporte financeiro é um dos aspectos nesta definição. Para Siqueira (2015), o custo de um serviço de manutenção de obra de arte especial deveria ser da ordem de 2% do valor atualizado da sua construção, em um contexto de otimização de recursos. No Brasil é usual que o custo destes serviços atinja valores entre 30% e 40% do custo de sua construção.

Com o envelhecimento das pontes construídas, o volume de intervenções (e conseqüentemente, de investimentos) em melhorias aumenta nas pontes, especialmente quando comparado a novas estruturas, como é possível observar no Gráfico 1.

Para tanto, garantir dados atualizados sobre as pontes e viadutos, com especificações técnicas detalhadas, registros de vistorias e estado detectado, intervenções e prazos de execução e qualquer informação relevante à manutenção, concentrados em ambiente único, de fácil acesso aos envolvidos, é fundamental para a tomada de decisão. Além disso, a extração manual de dados de diferentes documentos é uma tarefa que despande tempo, além de estar associada a muitos erros (MARZOUK, 2012).

Gráfico 1 - Principais intervenções realizadas pelas concessionárias – Brasil 2009-2014



Fonte: Adaptado de CNT (2014)

Tanto o *Building Information Modeling (BIM)* quanto o *Bridge Information Modeling – (BrIM, versão BIM aplicável a pontes e viadutos)* têm como características fundamentais questões relacionadas à interoperabilidade, integração de envolvidos e utilização da documentação durante todo o ciclo de vida do projeto (BUILDINGSMART, 2015). Este conceito, que pode ser definido tanto como produto quanto como processo ou requisito gerencial, busca solucionar ineficiências da abordagem tradicional, como desperdícios de tempo e dinheiro, e a desconexão dos envolvidos durante as etapas do projeto, garantindo redução de erros, incompatibilidades e retrabalho.

Característica do *BIM*, a modelagem paramétrica permite a inclusão de elementos diversos à documentação da obra. Pode, por exemplo, agregar dados qualitativos de caráter sócio-ambiental, o que pode contribuir com análises do tipo ACB (Análise Custo-Benefício), que levam em conta este tipo de indicador em seu desenvolvimento e são comumente utilizadas em obras de infraestrutura de transporte (Quadro 1) (CNT, 2015)

Outro aspecto que merece destaque na utilização das ferramentas *BIM* é a visualização da obra modelada, e seu detalhamento; o *Brim* pode vir a permitir, portanto, que as agências tomem melhores decisões e elaborem planos e projetos de manutenção mais acurados. (MARZOUK, 2012).

Quadro 1 - Parâmetros utilizados em projetos de infraestrutura de transporte

Parâmetros	
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Projetos arquitetônicos e de engenharia, • Desapropriação • Construção, adequação e recuperação da infraestrutura • Manutenção • Projetos de Avaliação de Impacto Ambiental
Externalidades negativas	<ul style="list-style-type: none"> • Desvios de rotas, • Controle de tráfego em zonas de obra • Impactos ambientais diversos
Benefícios	<ul style="list-style-type: none"> • Economia de tempo de deslocamento • Redução de acidentes • Redução do custo operacional dos veículos • Receitas de prestação do serviço de transporte
Externalidades positivas	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigação de Ruídos • Redução das emissões de gases poluentes • Redução de atrasos e maior eficiência

Fonte: Adaptado de CNT (2015)

1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

No Brasil, é reconhecida a necessidade de formalização e efetiva aplicação de métodos de sistema de gestão de obras de arte especiais. O PPGECC (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil) vem atuando dentro do contexto desta demanda social e tecnocientífica, através da área de concentração Ambiente Construído e Gestão, na linha de pesquisa Gestão da Construção Civil: Moreira (2002) realizou estudo de caso de

metodologia de avaliação de estruturas de pontes; Morán (2002) investigou índices geométricos de pontes de concreto armado; Müller (2004) estabeleceu critérios de planejamento e execução de recuperações em pontes e viadutos no Paraná. No âmbito dos conceitos de *BIM*, Witicovski (2011) realizou análise comparativa de fluxo de informações; Antunes (2014) utilizou a metodologia IDM (*Information Delivery Manual*) para fazer mapeamento de processos e determinar requisitos de informação em obras de saneamento; Sakamori (2015) investigou sobre o processo de orçamentação na construção civil utilizando modelagem *BIM*. Maia (2016) analisou o fluxo de informações em estudo de caso de coberturas com enfoque no processo de manutenção predial. Malewschik (2016) realizou pesquisa para reduzir a quantidade de partes da construção, utilizando, além do *BIM*, conceitos do *DFMA* (*Design for Manufacturing and Assembly*), para projetos de manufatura e montagem. Por fim, Durante (2016) estabeleceu proposta de diretrizes para o desenvolvimento do projeto do sistema de produção apoiado pelos processos *BIM*.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho divide-se em seis capítulos, que abordam os seguintes elementos:

- O primeiro capítulo introduz uma visão geral sobre o assunto, estabelecendo a problematização a partir do cenário atual das pontes no Brasil e como o conceito de *BIM* vem modificando paradigmas da indústria de construção. Apresentando os aspectos a serem discutidos na dissertação, é definido um objetivo geral para esta pesquisa, bem como objetivos específicos.
- O segundo capítulo define o procedimento metodológico a ser adotado nesta pesquisa; procura-se também neste item, justificar a importância desta temática e definir as delimitações estabelecidas;

- O terceiro capítulo, intitulado Fundamentação teórica, visa o embasamento e detalhamentos de tópicos de interesse a esta pesquisa, apresentando definições e conceituações formais sobre pontes e viadutos e os sistemas de gestão atualmente empregados, o *Building Information Modeling* e o mais recente *Bridge Information Modeling*, e sua aplicação na etapa de gestão de manutenção; no desenvolvimento deste capítulo estão presentes elementos resultantes da revisão sistemática da literatura executada sobre o *Bridge Information Modeling* e sua aplicação a nível de gestão de manutenção, incluindo resultados quantitativos da pesquisa e indicadores bibliométricos.
- O capítulo quatro apresenta o projeto modelado, bem como as pesquisas realizadas sobre os parâmetros;
- O capítulo cinco exhibe os resultados desta investigação, com a inclusão dos parâmetros e recomendações realizadas por profissionais com experiência na área consultados. A lista compilada foi submetida a avaliação e posteriormente classificada dentro de sistema padrão conforme recomendação do COBie (Construction-Operation Building Information Exchange), e,
- Considerações finais foram elencadas no capítulo seis, bem como as percepções sobre possíveis temas para trabalhos futuros.

2. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada no formato de estudo de caso, segundo características definidas por Yin (2001): foi classificada como uma investigação exploratória sobre os parâmetros a serem utilizados em um modelo virtual de construção de ponte de concreto armado com enfoque no gerenciamento de manutenções, e, embora não houvesse controle sobre eventos comportamentais, há a contextualização no cenário profissional-gerencial em que a ponte avaliada se insere. Caracteriza-se como pesquisa em função do objeto (lista de parâmetros), de natureza aplicada e abordagem qualitativa (Quadro 2) (SOUZA et al., 2013). Conforme Gil (2002) recomenda, incluíram-se elementos presentes na maioria de pesquisas deste tipo: levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas com experiência prática relativa à temática e análise do estudo de caso.

Quadro 2 – Caracterização da pesquisa

Caracterização da pesquisa			
Quanto ao objeto	Objeto		Objetivo
Quanto à sua natureza	Básica	Aplicada	
Quanto à sua abordagem	Qualitativa		Quantitativa
Quanto ao seu propósito	Exploratória	Descritiva	Explicativa
Quanto ao seu procedimento	Bibliográfica	Documental	Estudo de caso
	Experimental	Levantamento	Ex-post-facto

Fonte: Adaptado de Souza et al (2013)

As unidade de análise foram as entrevistas realizadas acerca do modelo virtual de construção desenvolvido a partir do projeto básico de um viaduto de concreto armado fornecido pelo DNIT combinado aos dados de inspeção realizada recentemente pelo EMEA – Escritório Modelo de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná – em função do projeto “Desenvolvimento de metodologia objetiva das condições funcionais e estruturais de obras de arte especiais” realizado em parceria com o DNIT (EMEA, 2015). Este modelo foi apresentado a diferentes grupos de profissionais, os quais foram inquiridos sobre

a validade do modelo desenvolvido sob a perspectivas do gerenciamento de manutenções (quanto aos parâmetros definidos) e da modelagem virtual (quanto ao modelo). As respostas foram avaliadas, e os parâmetros foram ajustados de forma a atender às críticas e demandas realizadas. Para Robson (2002), pesquisas complementares como estas também podem ser consideradas estudos de casos, enfatizando o caráter flexível típico desta estratégia de pesquisa.

2.1. SELEÇÃO DOS CASOS

As subseções a seguir explicitam decisões tomadas durante a execução dessa pesquisa, como definição da obra a ser modelada bem como o detalhamento dos grupos participantes no processo de execução das entrevistas deste projeto

2.1.1. OBRA DE ARTE ESPECIAL

O projeto desenvolvido nesta pesquisa foi definido em função da disponibilidade da documentação fornecida pelo DNIT e por sua inclusão no contexto de gestão de pontes, ou seja, por demandar controle no aspecto serviços de manutenção e recuperação de pontes e viadutos rodoviários em estrutura de concreto.

Além disso, o caso enquadrava-se nas limitações estabelecidas:

- Ponte ou viaduto desenvolvido em concreto armado;
- Projetos disponíveis e inspeção recente, com relatórios de vistorias;
- Passível de modelagem em *software Revit 2014 – student version*, em estrutura simplificada, aplicando recomendações bibliográficas;

2.1.2. ENTREVISTAS

O segundo nível de seleção de casos visava definir grupos de consulta, aos quais questionários foram aplicados para obtenção de distintas perspectivas de análises, assim, foram escolhidos:

2.1.2.1. EMEA – Escritório Modelo de Engenharia Civil

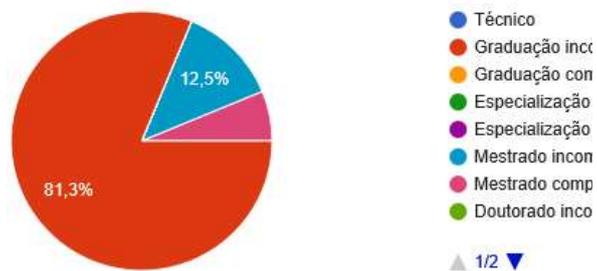
O EMEA – Escritório Modelo de Engenharia Civil – é um projeto de extensão, inserido no âmbito do Departamento de Construção Civil e do Programa de pós-Graduação em Construção Civil do Setor de Tecnologia da UFPR - Universidade Federal do Paraná (EMEA, 2016a). Vem desenvolvendo vistorias em pontes, e seus parâmetros classificatórios foram aplicados no contexto do registro das manifestações patológicas percebidas; por essa razão, uma retroanálise da utilização destes dados foi buscada.

Para registro das impressões dos 17 profissionais do EMEA foi aplicado questionário (Apêndice 01) desenvolvido com base na pesquisa realizada por Debs e Ferreira (2014). O formulário foi dividido em três seções e tinha a função de avaliar os seguintes aspectos:

- Perfil do entrevistado;
- Conhecimento do entrevistado acerca do conceito BIM;
- Aspectos relacionados aos projetos de manutenção de pontes e sobre os parâmetros adotados na modelagem.

O perfil dos entrevistados foi avaliado com base no grau de escolaridade e nas atividades desenvolvidas dentro do EMEA (Gráfico 2 e Quadro 3). Dos 17 profissionais entrevistados, mais de 80% era representada por graduandos em Engenharia Civil atuando na área de inspeção em pontes. 22% dos entrevistados trabalhavam exclusivamente com atividades relativas ao desenvolvimento de projetos e os demais, além de atuarem no desenvolvimento de projetos, também realizavam outras atividades correlatas, tais como orçamentação, planejamento, entre outras.

Gráfico 2- Escolaridade dos entrevistados



Fonte: Autor

Quadro 3- Perfil de atuação dos entrevistados

Setores	
Projetos	22%
Orçamentos	10%
Planejamento	7%
Técnico	12%
Inspeções	37%
Outros	12%
	100%

Fonte: Autor

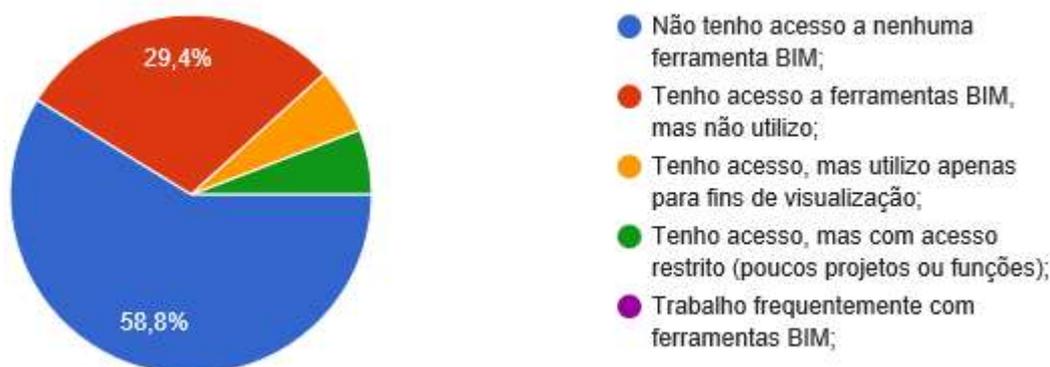
Todos os colaboradores entrevistados possuíam conhecimento em relação aos conceitos BIM, porém mais de 70% relatou não possuir experiência no desenvolvimento do modelo. 58% não possuíam acesso às ferramentas BIM. O conhecimento BIM dos entrevistados é apresentado nos Gráfico 3 e Gráfico 4. Embora os entrevistados desta etapa não possuam larga experiência da aplicação prática do BIM, o conhecimento teórico, combinado à prática relativa aos projetos de manutenções de pontes valida a perspectiva desta equipe ao avaliar a apresentação dos projetos e parâmetros do modelo.

Gráfico 3 – Antes da capacitação – conhecimento BIM



Fonte: Autor

Gráfico 4 – acesso a ferramentas BIM



Fonte: Autor

Os entrevistados relataram o seguinte nível de conhecimento e/ou as seguintes atividades desenvolvidas com o BIM:

- Conhecimento de conceitos e exemplos de programas que podem ser usados no BIM;
- Modelagem e gerenciamento de estruturas;
- Compatibilização e integração entre diferentes parâmetros de uma estrutura, um exemplo em uma edificação, entrar com parâmetros de telhados, espessuras de paredes, esquadrias, entre outros para modelagem;
- Integração de diferentes projetos, hidráulico, elétrico. Possibilita comunicação direta entre as diferentes áreas de projetos;
- Uso no acompanhamento da construção de edifícios e integração entre os sistemas estrutural, elétrico, sanitário e outros;
- Aplicação em edificações, BIM 5D;
- O conceito de interoperabilidade e construção do projeto pelos projetistas possibilitando o diálogo;
- Elaboração de cronogramas e vínculo com o modelo.

Os softwares utilizados pelos entrevistados que têm acesso ao *BIM* foram: *Revit*, *NavisWorks*, *MS Excel* e *MS Project*.

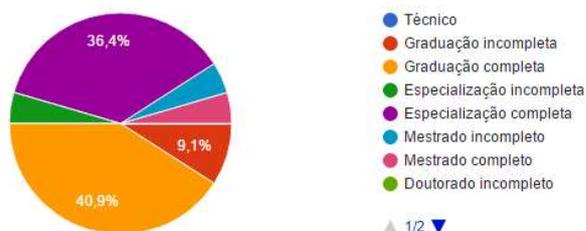
2.1.2.2. *Workshop* Gestão de Obras de Arte Especiais

Ocorrido em 24 de junho de 2016, o *Workshop* Gestão de Obras de Arte Especiais reuniu profissionais com experiência no ramo, em diferentes especialidades, projetistas, representantes de concessionárias de serviços, fornecedoras de equipamentos, representantes de instituições governamentais, aos quais foi solicitado que respondessem questionário, com enfoque nos parâmetros de relevância na gestão da manutenção de pontes.

Formado por um grupo de profissionais da área que não possuam necessariamente atuação direta no desenvolvimento de modelos; são empresários, autônomos, representantes de concessionárias e instituições públicas (como o DNIT e o DER). Por essa razão, o questionário foi ajustado à esta realidade, diminuindo o enfoque no modelo virtual de construção, e aumentando o enfoque na parcela gerencial do modelo: uma vez mais, o objetivo destas entrevistas eram definir quais aspectos são mais relevantes sob a perspectiva do gerenciamento de manutenções de pontes e viadutos.

Foram, ao total, 23 respondentes, com graus de escolaridade e áreas de atuação diversificadas dentro do ramo de projetos de pontes, como é possível observar no Gráfico 5 e no Quadro 4. O tempo de experiência profissional varia de 0 a 16 anos, e a média é de 4 anos, aproximadamente.

Gráfico 5- Escolaridade dos entrevistados



Fonte: Autor

Quadro 4- Perfil de atuação dos entrevistados

Setores	
Projetos	13,60%
Orçamentos	27,30%
Planejamento	13,60%
Projetos de Manutenção	18,20%
Inspeções	45,50%
Outros	40,90%

Fonte: Autor

Quase 70% dos entrevistados utilizam software CAD apenas para coleta de informação, e 95,7% não utilizam BIM.

2.1.2.3. Etapas posteriores

Além, disso, normas nacionais e internacionais relacionadas à avaliação de obras de arte especiais foram compiladas para definição dos itens elencados por cada uma delas e posterior inclusão no modelo.

Por fim, profissionais de reconhecida experiência – nas áreas de gerenciamento de manutenções ou modelagem virtual de construções (*BIM*) – foram solicitados a avaliar os itens eleitos e o modelo parametrizado para validação da utilização da ferramenta com foco em gestão da manutenção, tanto no âmbito da gestão da manutenção quanto da modelagem parametrizada.

Da perspectiva do modelo virtual, 3 profissionais com experiência em modelagem BIM (Building Information Modeling) também foram solicitados a julgar o modelo desenvolvido, lembrados das limitações e simplificações indicadas por Stone (2012) na modelagem de obras de infraestrutura (bibliotecas incompletas; integração de parâmetros matemáticos do projeto incompleta; a importância da identificação das necessidades que o modelo pode vir a suprir; aspectos complicadores de um projeto de pontes - encontro rodovia-ponte, tipos de estrutura da ponte - e a consequente recomendação de modelagem detalhada restrita apenas a pontos potencialmente críticos das pontes e viadutos).

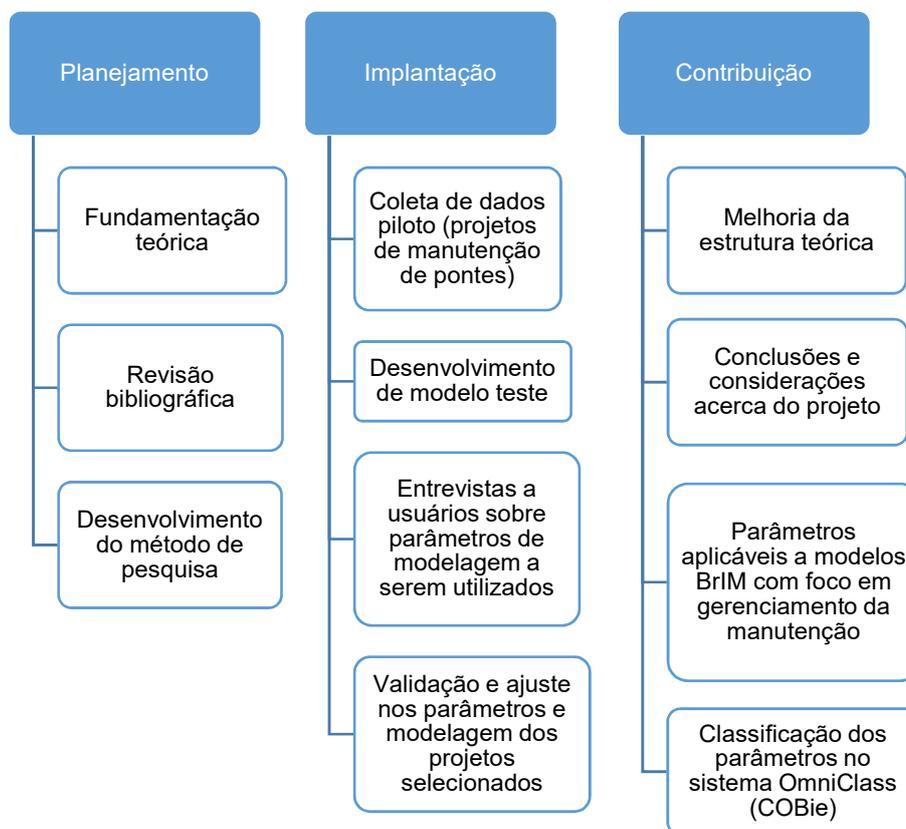
Estas entrevistas configuram um estudo de casos múltiplos, com a finalidade de estabelecer os parâmetros mais relevantes ou nível de detalhamento de elementos, conforme observações recebidas nesta investigação.

2.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O delineamento do trabalho está dividido em três etapas (Figura 3):

- a etapa de planejamento contemplou a preparação dos elementos de pesquisa, desde a realização da fundamentação teórica que embasa os aspectos técnico-científicos deste trabalho, bem como a delimitação dos aspectos que carecem de desenvolvimento através dele;
- a etapa de implantação incluiu o desenvolvimento de um modelo inicial – aqui denominado como projeto-piloto, e cujos parâmetros foram apresentados a usuários para avaliação;
- na última etapa – contribuição – pretendeu-se organizar de maneira documental uma lista de parâmetros aplicáveis a um modelo virtual de obra de arte especial, além de classificá-los dentro de sistema padronizado, denominado OmniClass, utilizado para classificar produtos e serviços para construção (utilizado pelo COBie – Construction Operation Building Information Exchange)

Figura 3 – Etapas do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor

2.2.1. Etapa de planejamento

Esta fase contemplou os elementos de preparação e estabelecimento de método de pesquisa a fim de atingir o objetivo do trabalho. Foi dividida em três etapas:

- Fundamentação teórica: foi realizada a busca sobre conceitos referentes a aspectos desta pesquisa na literatura consolidada; definição de elementos estruturais das pontes, processos gerenciais, especificamente na manutenção;
- Revisão bibliográfica: a investigação foi feita por meio da técnica da revisão sistemática da literatura buscando o estado da arte nos conceitos de *BrlM (Bridge Information Modeling)*, além de sua aplicação no gerenciamento de manutenções; de artigos encontrados nesta etapa, foram selecionadas características para o desenvolvimento do modelo bem como a estrutura teórica da pesquisa;
- Desenvolvimento do método de pesquisa: foi realizada a adequação das características escolhidas durante a etapa da revisão bibliográfica para o contexto de informação e desenvolvimento do cenário brasileiro; neste momento, ocorreu a definição inicial dos parâmetros de modelagem.

2.2.2. Etapa de implantação

As seguintes ações foram realizadas nesta etapa:

- Coleta de dados piloto (projeto de manutenção de pontes): foi realizada uma busca pelo material utilizado como base no estudo de caso; entre os dados encontravam-se o relatório de projeto básico, o projeto estrutural, relatórios de inspeção e vistorias;
- Desenvolvimento de projeto-piloto: foi feita a modelagem, em *software Revit 2014 – student version*, da ponte, utilizando estrutura simplificada recomendada pela literatura, e incluindo os

indicadores presentes nos relatórios de inspeção executada pelo EMEA;

- Indicação de usuários sobre parâmetros de modelagem escolhidos: ocorreu a avaliação, sob diferentes perspectivas, do modelo desenvolvido, em termos de aplicabilidade, adequabilidade e viabilidade técnica;
- Ajuste nos parâmetros selecionados: com as respostas apresentadas pelos usuários na etapa anterior foi verificada a necessidade de ajuste na estrutura do modelo desenvolvido;
- Investigação sobre os parâmetros definidos e ordenação dos mesmos bem como sobre o modelo virtual resultante, segundo questionário aplicado a profissionais em segunda rodada de entrevistas.

2.2.3. Etapa de contribuição

Nesta etapa foram realizadas as seguintes ações:

- Melhoria da estrutura teórica: o desenvolvimento do modelo foi embasado em artigos científicos, e espera-se que esta pesquisa complemente o assunto, através da implicação dos parâmetros escolhidos, apresentando nova perspectiva ao cenário de desenvolvimento neste âmbito;
- Conclusões e considerações acerca do projeto: avaliação de 3 profissionais com experiência em modelagem virtual e de 6 profissionais da área de gerenciamento de pontes e sugestões de novas possibilidades de estudo sequenciais a este trabalho;
- Parâmetros aplicáveis a modelos *BrIM* com foco em gerenciamento da manutenção: foi realizada a consolidação da listagem de parâmetros de desenvolvimento do modelo *BrIM*, devidamente classificados em sistema de organização padrão.
- Classificação dos parâmetros dentro do sistema de padronização previsto pelo *COBie (Constructions Operations Building Information Exchange)*, denominado *OmniClass*.

2.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Esta técnica de diligência foi utilizada para análise minuciosa do assunto *BRIM* na etapa da revisão bibliográfica. O enfoque da análise seguiu pelas esferas quantitativas e qualitativas

No domínio quantitativo, a abordagem da medição bibliométrica visa descrever aspectos do estudo e realizar análise sobre a produção científica da área em levantamento (ARAUJO, 2006). Esta análise quantitativa permite a identificação de padrões, ao definir, por exemplo, os principais autores, as instituições que mais publicam sobre o assunto, o tipo mais comum de publicações e sua evolução cronológica.

Na esfera qualitativa, as produções científicas com similaridades a este trabalho encontrados foram utilizados para embasar as decisões realizadas durante sua execução, tais como parâmetros, nível de detalhamento e escolha de *software*, entre outros.

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura inicial sobre a modelagem virtual de obras de arte especial, através do termo *BRIM*, ou *Bridge Information Modeling*. Essa busca investigava como o assunto vem sendo pesquisado. Assim, este termo, juntamente com suas variações foram buscados, nos portais Periódicos CAPES, Web of Science, Science Direct e Google Scholar, filtrados entre os últimos 10 anos (entre 2005 e 2015) e outros elementos aplicáveis como área, tipo de documento, assunto, título, disponibilidade, idioma. Das publicações resultantes, foi realizada análise sobre prisma de investigação, classificando entre as metodologias utilizadas, aplicações e características da pesquisa.

Foi realizada uma segunda revisão sistemática da literatura sobre a temática anterior, com aprofundamento da perspectiva do uso do modelo no gerenciamento – representado na pesquisa através do termo *management* – com o objetivo de buscar informações sobre a aplicação da gestão de manutenção no contexto do *Bridge Information Modeling*, *BRIM*. No intervalo de tempo

ocorrido entre a execução entre as duas revisões sistemáticas da literatura, o portal Web of Science passou a apresentar-se indisponível, e assim foi substituído pelo portal *Scopus*, complementado pelos demais já utilizados na primeira etapa.

A combinação de palavras-chaves utilizadas foi planejada para refletir os elementos centrais investigados neste trabalho, mas sem restringir excessivamente a temática, considerando o restrito volume de publicações da mesma. Definiu-se assim, como *string* de busca, a combinação descrita no Quadro 5, que delimita às palavras-chave “*Bridge Information Modeling*” e sua sigla “*BrIM*” mais o termo “*management*”, incluído com o intuito de reduzir às publicações com enfoque neste elemento do conceito *BIM* e deste trabalho.

Além disso, quando possível, utilizou-se o filtro de área de pesquisa, excluindo publicações das áreas das ciências de saúde, da vida e sociais.

Quadro 5 – *String de busca*

TITLE-ABS-KEY ("bridge information modeling" OR "brim" AND "management") AND SUBJAREA (mult OR ceng OR CHEM OR comp OR eart OR ener OR engi OR envi OR mate OR math OR phys)

Fonte: Autor

Para seleção das publicações de interesse, foram avaliados títulos e resumos, resultando nos documentos incluídos na revisão bibliográfica apresentada no próximo capítulo.

2.4. DEFINIÇÃO INICIAL DOS PARÂMETROS DE MODELAGEM

Para execução do desenvolvimento do modelo, elementos básicos das pontes e viadutos foram definidos segundo a revisão bibliográfica, bem como as manifestações patológicas, representadas conformes registros das vistorias realizadas pelo EMEA, respeitando as relações entre a aplicação que se busca

a este modelo virtual e seu escopo, e o nível de detalhamento necessário. Eastman et al. (2014) concebe esta correlação conforme Quadro 6. Considere o gerenciamento da manutenção como parte integrante da gestão de ativos, estabelecendo, por conseguinte, o escopo conceitual incluindo “espaços” e no escopo genérico, os elementos “arquitetônicos”, “estruturais” e “complementares”. Entre os tipos de propriedades relevantes, destacam-se as “propriedades geométricas” e os “custos”, como é possível observar no Quadro 6.

Quadro 6 – Relações entre a aplicação de BIM e o escopo e nível de detalhe do modelo

Área de aplicação do BIM	Escopo do BIM								Tipos de propriedade dos componentes						
	Conceitual			Genérico				Construção		Propriedades geométricas	Propriedades dos materiais	Funcionais	Custo	Método construtivo	Manufatura
	Massas	Espaços	Locação	Arquitetônico	Estrutural	Complementares	Utilitários	Componentes gerais	Componentes específicos						
Configuração				■				■	■						
Comissionamento				■		■		■	■						
Gerenciamento de instalações		■									■				
Gestão de ativos		■		■		■				■		■			
Simulação de operações				■		■				■		■			
Monitoramento de desempenho				■		■				■		■			
As-built				■		■		■	■					■	■
Configuração (reforma)				■		■		■	■					■	■

Fonte: Adaptado de Eastman et al. (2014)

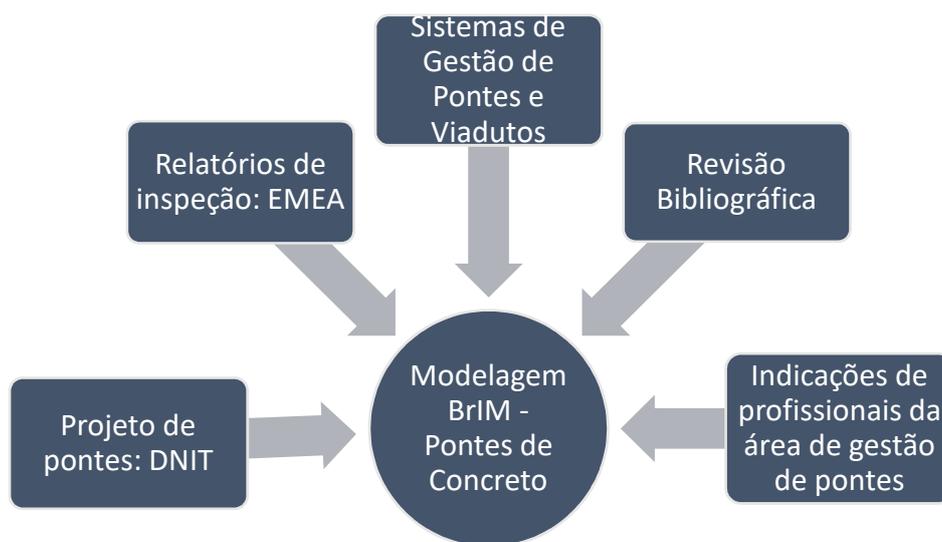
Assim, para finalizar esta etapa, algumas atividades foram realizadas:

- Coleta de projetos básicos e relatórios de vistorias;
- Definição dos componentes e diretrizes de definição de escopo;
- Identificação dos elementos para uso do modelo;

- Estabelecimento do escopo de uso do modelo para a etapa de gerenciamento de manutenções;
- Determinação do uso (tipos de serviços a serem prontamente atendidos através da ferramenta, como visualização 3D, revisão automatizada do projeto, entre outros);
- Escolha do aplicativo (*software*) a ser utilizado.

As fontes de dados incluíram os projetos existentes e atuais sistemas de gestão de pontes e viadutos, os relatórios de inspeção, manuais e normas nacionais e internacionais (revisão bibliográfica) e as respostas dos profissionais entrevistados sobre o gerenciamento de manutenções de pontes e viadutos, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Fontes de dados



Fonte: Autor

2.5. ENTREVISTAS DE VALIDAÇÃO

Os parâmetros compilados destas fontes de dados (Figura 4) foram organizados e posteriormente apresentados a profissionais com experiência nas duas áreas correlacionadas à temática deste trabalho: gestão de pontes e viadutos e modelagem virtual de construções. O primeiro grupo respondeu o

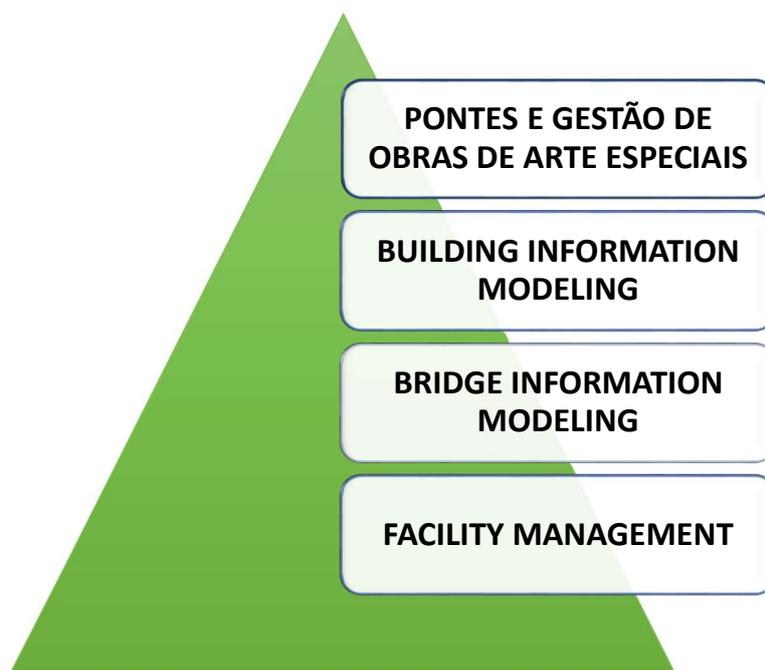
questionário apresentado no Apêndice 04, a respeito dos parâmetros definidos, enquanto o segundo grupo avaliou o modelo desenvolvido, a partir do questionário apresentado no Apêndice 05.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A proposta deste capítulo é investigar, segundo diferentes perspectivas, os temas correlacionados a este trabalho, verificando o conhecimento já consolidado, identificando variáveis do problema e observar como o assunto vem sendo abordado.

O conteúdo foi planejado para envolver assuntos chaves relacionados ao projeto de pesquisa e à medida que o assunto se delinea aos contornos desta pesquisa, busca-se um nível de profundidade com maior detalhamento, conforme ilustra o formato piramidal do esquema da Figura 5.

Figura 5 – Esquemática da Revisão Bibliográfica



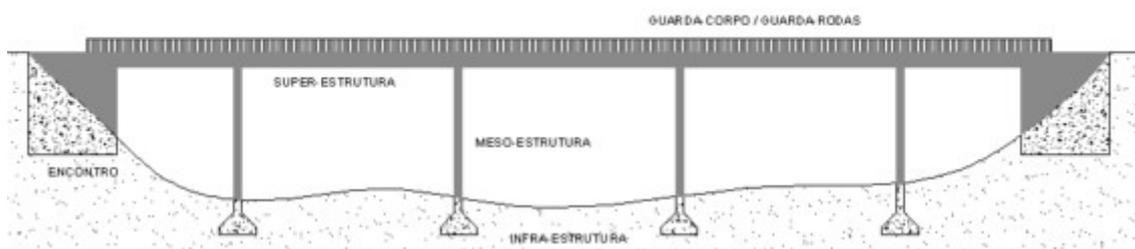
Fonte: Autor

3.1. PONTES E GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Pontes e viadutos representam importantes ativos da infraestrutura de transportes: são estruturas destinadas a transpor obstáculos naturais do leito

normal de uma via, permitindo sua continuidade. Constituídas, em grande maioria, por três partes – superestrutura (componente fim, constituído por lajes e vigas principais e secundárias); mesoestrutura (formada por pilares que recebem os esforços da superestrutura) e infraestrutura (fundação; transmite ao solo os esforços provenientes da mesoestrutura) (PFEIL, 1990) e que interagem entre si (AMORIM; BARBOZA, 2010) (Figura 6).

Figura 6 – Subdivisão Genérica de uma Estrutura de Ponte



Fonte: (AMORIM; BARBOZA, 2010)

O colapso, ou mesmo o fechamento parcial destas estruturas podem causar perdas públicas e privadas. Para maximizar o retorno dos grandes investimentos realizados nessa área e para garantir o funcionamento operacional durante todo o ciclo de vida, há necessidade de desenvolvimento de estratégias efetivas de manutenção e reparos (ELBEHAIRY; HEGAZY; SOUDKI, 2009).

Sistemas de gestão de pontes e viadutos são instruções, organizadas, para gerenciamento e realização de atividades que permitem o desenvolvimento de modelos para determinação e previsão de condições futuras relacionadas a seus elementos. Do ponto de vista da engenharia (um dos braços da gestão de pontes, conforme Figura 7), seu marco inicial é o estabelecimento de um banco de dados – a partir de informações disponíveis, inspeções, ensaios, avaliações. Com base nesse, modelos são desenvolvidos para simular o comportamento e condições da estrutura, e auxiliar no processo decisório, ao permitir a comparação de serviços demandados por cada obra e seus respectivos custos (MENDES, 2011).

Figura 7 – Aspectos envolvidos na Gestão de Pontes



Fonte: Adaptado de Mendes (2011)

A importância parte da preocupação com pontes e viadutos reside no fato de que seu colapso, ou mesmo fechamento parcial tem impacto direto na mobilidade e abastecimento da região.

A manutenção de uma estrutura é definida pelo conjunto de atividades ou rotinas a serem realizadas a fim de garantir o desempenho de suas funções (ou que suas propriedades se mantenham acima dos limites mínimos especificados) no período de sua vida útil (ou buscando seu prolongamento). Desde a fase de concepção do projeto, devem ser previstos programas e estratégia de inspeção e controle, objetivando a durabilidade da estrutura, segundo a qual, classificam-se dois grupos (SOUZA, 1998):

- Casos em que a estrutura terá um só responsável durante a sua vida útil, o que geralmente acontece em estruturas de grande porte, tais como pontes e viadutos;
- Casos de estruturas para construções de vários proprietários (responsáveis) durante sua vida útil (horizontes mais curtos).

Considera-se, que os órgãos diretivos competentes – em especial no primeiro grupo – definam a política de manutenção, capacitação e instrumentação necessárias, em busca da garantia do zelo pelo patrimônio edificado, a prevenção de degradações, reduzindo custos sociais decorrentes do ponto em que a degradação atinge seu limite e resulta em colapso da estrutura (SOUZA, 1998).

O acervo econômico representado pelas obras de arte especiais no Brasil torna-as essenciais para integridade das vias e continuidade do tráfego. Este fato justifica o estabelecimento de sistemática de inspeção, com finalidade de conservação e redução do risco de avarias. Três tipos de inspeções podem ser consideradas (PFEIL, 1983):

- Inspeções cadastrais (levantados principais documentos e informes construtivos);
- Inspeções rotineiras (finalidade de observar o comportamento das obras em serviço), e,
- Inspeções especiais (a serem realizadas quando da observação de ocorrências danosas)

O primeiro projeto de atualização da NBR 9452 define a periodicidade a inspeção especial em cinco anos, podendo ser postergada até oito, e ainda inclui na listagem acima a inspeção extraordinária, geradas por demandas extraordinárias (ABNT/CEE, 2014).

Integrados à concepção do projeto e construção ou não, o conceito de manutenção deve ser observado como matéria própria, e incorporar a combinação de ações de caráter técnico e administrativo para garantir ou reestabelecer as condições necessárias para desempenho das funções para as quais foi concebida a estrutura (SOUZA, 1998).

3.1.1. Manutenção rodoviária

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) conceitua, em termos de manutenção rodoviária, o melhoramento, a restauração e a conservação:

- o melhoramento acrescenta características novas ou modifica características existentes; podem ser de complementação que acrescentam condições técnicas não existentes após sua construção ou modificações, que alteram características, levando a um nível superior de utilização;
- a restauração destina-se a restabelecer o funcionamento da rodovia, e,
- a conservação é definida como o conjunto de operações a serem executadas para manter as características técnicas e operacionais e assim é classificado até que estas operações tornem-se antieconômicas; podem ser corretivas rotineiras, quando o objetivo é sanar um defeito; preventiva periódica, se o objetivo é evitar o aparecimento ou agravamento de um defeito ou podem ser emergenciais, caso os defeitos surjam de modo repentino, ocasionando restrições ao tráfego ou apresentem sérios riscos ao usuário;

A deterioração de uma estrutura é originada de causas diversas: desde o envelhecimento natural, acidentes, a utilização de materiais fora de especificação, até a soma de vários destes fatores (SOUZA, 1998).

Em estruturas de concreto armado ou protendido, as principais falhas encontradas são (PFEIL, 1983):

- Deterioração do concreto (embora não frequente, pode ser resultante de ataque de águas sulfatadas, agregados reativos, eflorescência resultante de percolação de água);
- Corrosão das armaduras (processo similar ao que ocorre em estruturas metálicas, quando da exposição das armaduras em função de falhas no concreto, espessura pequena de cobrimento ou fissuras; acelerada em zonas marítimas);
- Fissuras (função de retração do concreto, efeitos de temperatura, ação de cargas em serviço; diminuem a rigidez das vigas e expõem as armaduras às intempéries)

- Deformações excessivas (devidas a falhas de execução ou à fluência do concreto comprimido);
- Defeitos causados pelo fogo (provoca fissurações no concreto, separação de escamas na superfície do material, pode afetar armaduras)
- Falhas de concretagem (segregação, falta de espaço para penetração entre as armaduras, fuga da nata de cimento, deficiência na vibração);
- Falhas provocadas por colisão.

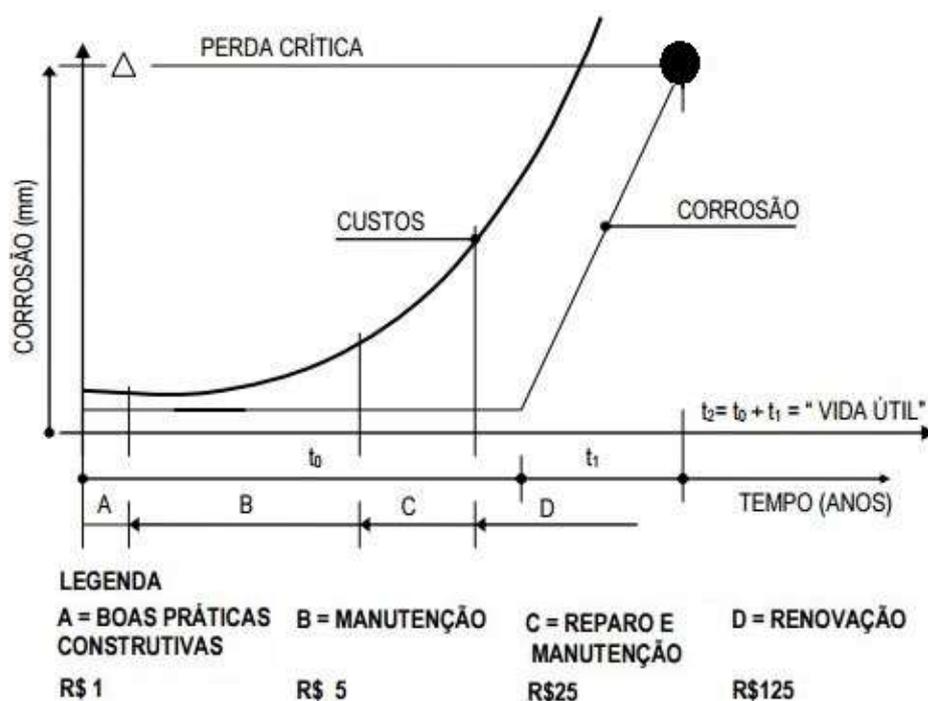
Métodos a serem utilizados na recuperação ou reforço podem ser classificados em serviços de pequena monta (partes danificadas de pavimentos, selagem de juntas de dilatação, modificação da declividade de pisos, reconstituição de pingadeiras e pinturas protetoras, pequenos trabalhos de reconstituição de cobrimento de armaduras, casos mais simples de nivelamento de aterros) ou serviços de grande monta, divididos em três grupos:

- Renovação integral do pavimento;
- Revisão da impermeabilização;
- Execução de reparos estruturais.

Os primeiros tipos de serviço podem partir de simples polimentos ou enrugamento da superfície, realizados pelo pessoal próprio de manutenção rotineira, ao passo que estes últimos, devem ser executados por pessoal técnico qualificado. Entretanto, independentemente do tipo de serviço a ser executado, procedimentos de preparação devem ser adotados, como garantir a limpeza da superfície receptora, cuidados e estreita observação de detalhes técnicos (SOUZA, 1998).

Quanto mais cedo realizados serviços de recuperação de problemas patológicos, maior a durabilidade, efetividade, facilidade de execução e menores seus custos. Segundo a lei de Sitter (Figura 8), o aporte financeiro para recuperação cresce em uma progressão geométrica; a vida útil de uma estrutura pode ser dividida em quatro fases: fase A: projeto e construção; fase B: início dos danos; fase C: início da propagação do dano; fase D: estado avançado de propagação.

Figura 8 – Lei de Sitter



Fonte: Adaptado de Souza (1998)

Vistoria e manutenção devem ser realizadas de maneira a evitar a propagação dos danos nas estruturas, garantindo um acréscimo na vida útil técnica através de investimentos menores (HELENE, 1992).

3.2. RECOMENDAÇÕES DE MANUAIS E NORMAS

O gerenciamento de manutenções de uma obra de arte especial deve ser embasado em dados de inspeção, levantados em campo. Uma das fontes de sistematização deste processo são as normas, que indicam elementos que devem ser avaliados. Algumas destas referências estão apresentadas a seguir.

3.2.1. NORMA DNIT 010/2004 – PRO

Mesmo a inspeção de pontes e viatudos localizados em malhas rodoviárias estaduais ou municipais não segue, de modo geral, procedimentos

distintos do recomendado pelo DNIT através da norma DNIT 010/2014 – PRO, obrigatórios para estruturas localizadas em rodovias federais (VITÓRIO; BARROS, 2013). O procedimento recomenda a inspeção dos seguintes itens, sem, necessariamente, limitar-se a eles (BRASIL/DNIT, 2004):

- Geometria e condições viárias: verificação de alinhamento, presença de superelevação/superlargura em caso de pontes ou viadutos em curvas, verificação de gabaritos horizontais e verticais e presença de proteção nos pilares;
- Acessos: pavimentação, placas de transição e condição de juntas entre acesso e ponte e viadutos, drenagem e continuidade de barreiras;
- Cursos d'água: na presença dos mesmos, avaliar manifestação ou indício de erosão, assoreamento ou retenção de materiais;
- Encontros e fundações: evidências de erosão, desalinhamentos ou desaprumos; investigação de anomalias no concreto e corrosão de armaduras;
- Apoios intermediários: investigação de anomalias no concreto e corrosão de armaduras, trincas e quebras de cantos nos topos dos pilares;
- Aparelhos de apoio: posicionamento e alinhamento;
- Superestrutura: anomalias no concreto (presença de fissuras, trincas, deslocamentos, desagregações, infiltrações e eflorescências), armaduras expostas ou corroídas, avaliação da eficiência da drenagem, condições da pista de rolamento, juntas de dilatação, barreiras e guarda-corpos e sinalização

3.2.2. Manual de Avaliação de Condições de Pontes da AASHTO

Inicialmente adotado pela AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials, este documento combina o manual de avaliação de condições e revisões dos fatores de carga aprovados por subcomitês reunidos em 2007 e 2008. Seu objetivo é padronizar procedimentos e políticas de determinação de condições físicas, necessidade de manutenção, e capacidade de cargas das pontes americanas. A seção 2 deste documento

indica os componentes que devem ser mantidos em um registro completo (AASHTO, 2011):

Para histórico da estrutura, recomenda-se a inclusão de projetos básicos, *as-built*, especificações, materiais e ensaios realizados, histórico de manutenção, reparos e revestimentos, registro de acidentes, informes, cargas permitidas, dados de vazão (enchentes) e tráfego, histórico e requerimentos de inspeção, inventário de estrutura e fichas de avaliação, inspeções e registros de inspeções e classificação.

Especificamente para inspeção que vai parametrizar a manutenção, são avaliados os seguintes elementos:

- Pilares
- Paredes de contenção;
- Torções
- Estabilidade
- Condições dos guarda-corpos
- Superestrutura
- Pavimento
- Juntas de dilatação
- Drenagem
- Iluminação
- Condições do encontro
- Condições das encostas
- Tipo de tráfego
- Condições da sinalização
- Cursos d'água

3.2.3. Relatório-guia do Comitê Euro-Internacional do Concreto “Avaliação, Manutenção e Reparos”

O documento apresenta estratégias de testes e avaliação de estruturas de concreto, apresentando principais aspectos dos testes e suas interpretações.

Foi elaborado pela Comissão 5 (Operação e Uso) do CEB (Comité Euro-International du Béton).

Entre elementos listados para inclusão no relatório de inspeção, encontram-se:

- Descrição da estrutura;
- Tipos de materiais utilizados;
- Condições ambientais;
- Documentação;
- Condições de acesso
- Condições das juntas de dilatação
- Existencia de armaduras expostas ou áreas com concreto poroso;
- Resposta dinâmica da estrutura
- Opções de intervenções

3.3. *BUILDING INFORMATION MODELING*

A sigla *BIM* vem do termo inglês *Building Information Modeling* (EASTMAN et al., 2014). Apesar de computadores lidarem apenas com dados e não informação (SETZER, 1999), os modelos *BIM* são construções virtuais, tridimensionais, parametrizados, por exemplo, com dados de materiais, revestimentos, propriedades térmicas, atribuídos, o que permite a obtenção de informação precisa e integrada.

A utilização de modelos virtuais de construção, reflete também aspectos sobre o estágio do ciclo de vida de adoção, ou seja, em quais etapas do ciclo de vida o conceito *BIM* está sendo aplicado. As aplicações não se restringem ao período da obra, mas também a quais elementos estão sendo parametrizados. Desta perspectiva, surgem alguns níveis clássicos, definidos por acrônimos, tais como (HOLZER, 2012):

- O nível 3D é um dos requisitos para considerar uma modelagem como *BIM*. Seus elementos devem estar interligados, e alterações

em um dos elementos construtivos deve ter impacto na obra como um todo;

- O nível 4D parametriza os elementos em termos de tempo, ou seja, através dele é possível extrair informação sobre o prazo e sequência de atividades aplicável à obra;
- O nível 5D possibilita análises de orçamentos;
- O nível 6D, vinculado ao conceito de sustentabilidade da construção, permite, por exemplo, análises de otimização energética;
- O nível 7D, abrange aspectos *as-built*, aplicável em gestão de facilidades (ou *facility management*), e inclui elementos de planejamento da manutenção da estrutura, onde enquadra-se esta pesquisa.

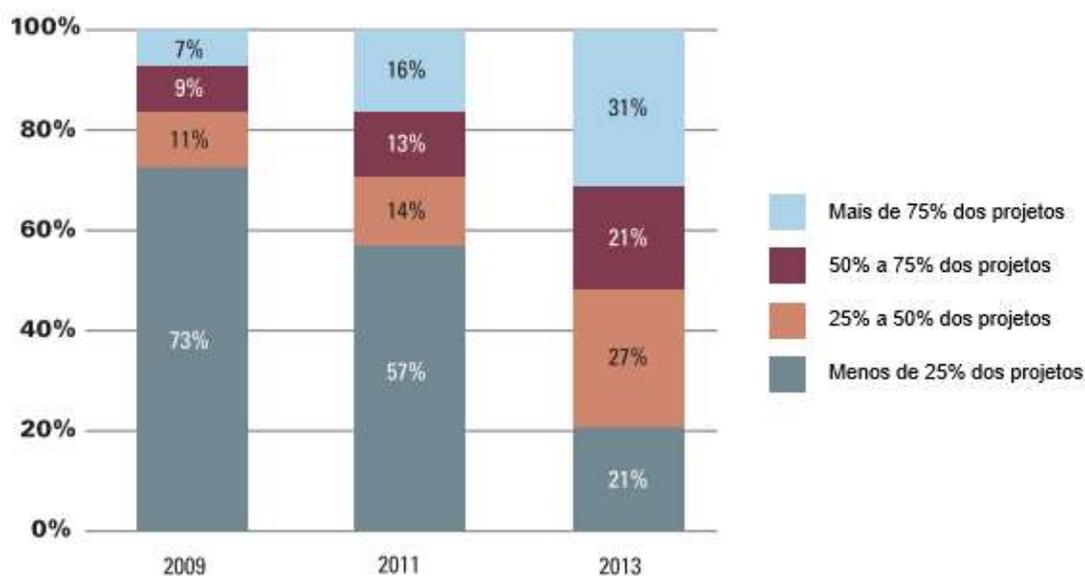
3.3.1. *Bridge information modeling*

Através de revisão sistemática da literatura, detectou-se que 34 publicações, entre artigos, teses, anais de congressos e editoriais, escolhidas conforme método descrito em item anterior, fazem referência a este assunto (Apêndice 03). Os resultados apontam para um crescimento da área, e destaque para os Estados Unidos como principal desenvolvedor; 56% das publicações apresentavam aplicações práticas através de estudos de caso da aplicação do conceito de *BIM* em pontes e viadutos ou outras obras de infraestrutura, sendo, na maior parte deles, mencionados os parâmetros geométricos das estruturas. Outro aspecto bastante perceptível é o equilíbrio das discussões sobre as fases de implantação da tecnologia, projeto, construção e manutenção, com destaque a esta última, com vários estudos de caso apresentando a modelagem paramétrica como ferramenta que se integra a sistemas de manutenção e gestão das pontes (MONTEIRO et al., 2016).

Conforme a aplicação de *BIM* (*Building Information Modeling*) se consolida no mercado de AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) e sua implementação mostra-se economicamente viável – principalmente em obras de grande porte, onde o aumento da produtividade e

redução de custos são mais significativos –, novas demandas de utilização se apresentam, voltadas a projetos com características bastante distintas: estradas, pontes e viadutos, túneis entre outras obras de infraestrutura pública. Da modelagem aplicada às obras de infraestrutura civil, esperam-se taxas mais rápidas de adoção de tecnologia do que aconteceu quando o *BIM* foi primeiramente introduzido no mercado, para projetos de edificação. Nos Estados Unidos, quase metade das empresas já relatavam a utilização do *BIM* em projetos de infraestrutura há 3 anos. Dentre estes, 67% relatam retornos de investimentos positivos: este percentual é mais alto inclusive que o dado relacionado a edificações, pesquisado em 2009 e que resultou em 63% relativos à mesma observação. Em pesquisa realizada pela *McGraw-Hill Construction*, 79% dos usuários de *BIM* esperavam estar usando a ferramenta em mais de 25% de seus projetos de infraestrutura em 2013 – um acréscimo de 36% de empresas que reportavam este nível de utilização em 2011. O número de empresas aplicando o conceito *BIM* em maior volume (mais de três quartos dos seus projetos de infraestrutura) aumenta ainda mais, subindo dos 7% em 2009 para quase um terço em 2013. Este rápido crescimento demonstra o valor que a modelagem paramétrica agrega aos projetos (Figura 9) (JONES; BERNSTEIN, 2012).

Figura 9 – Nível de implementação de BIM em projetos de Infraestrutura no tempo



Fonte: Adaptado de Jones, Bernstein (2012)

Neste contexto, a *buildingSMART* – organização internacional que objetiva a melhoria da troca de informações entre softwares – atua no desenvolvimento da especificação neutra conhecida como IFC (*Industry Foundation Classes*), um modelo de dados que definem classes, que representam elementos ou processos relevantes durante o processo de construção, operação ou manutenção. Encontra-se atualmente em estabelecimento o IFC5, formato que busca a integração das etapas de projeto essenciais às obras de infraestrutura (Figura 10).

Figura 10 – Visão: integração entre fases do desenvolvimento da infraestrutura



Fonte: Adaptado de BuildingSMART (2015a)

Aplicar a tecnologia *BIM* em pontes ou viadutos é designado como *BrIM* – *Bridge Information Modeling* (MARZOUK; HISHAM, 2014). Os modelos 3D para construção de pontes melhoram a qualidade dos projetos em termos de precisão, construtibilidade e colaboração. No entanto há uma série de obstáculos para aplicação dessa técnica nos projetos atuais. (SHIM; YUN; SONG, 2011).

Qualquer modelo *BrIM* consiste em componentes inteligentes que apresentam propriedades específicas. Esses modelos são propostos a fim de facilitar processos de inspeção e extração de informações ao longo de ciclo de vida da estrutura. Dessa forma é possível criar uma base de dados precisa que pode ser organizada de forma cronológica com intuito de auxiliar o monitoramento.

O *Brim* pode ser integrado com sistemas de gerenciamento de pontes auxiliando em inspeções, levantamento de dados e avaliação das condições da estrutura. Os recursos de visualizações proporcionados pelo *Brim* levam a decisões mais confiáveis relacionada a manutenção e reabilitação de pontes e viadutos (MARZOUK; HISHAM, 2014).

3.3.2. Industry Foundation Classes (IFC)

Dada a importância que a integração da informação tem no desenvolvimento da indústria AECO, diversas empresas desenvolveram abordagem específica, mas que acabava por ser limitada por questões de cobertura, no número de usuários ou na capacidade de aplicações. Assim surge a *Industry Alliance for Interoperability*, um consórcio de empresas, com a missão de habilitar a interoperabilidade entre processos de diferentes domínios da indústria da construção (FROESE et al., 1999).

O IFC representa uma esquematização de modelo de dados, com orientação ao objeto, operacional em distintos sistemas durante o ciclo de vida de uma obra. Os módulos foram atualizados conforme novos objetos e ajustes eram realizados. O primeiro IFC efetivamente implementado é a versão 1.5 (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997).

3.3.3. IFC4 e melhorias

O IFC ainda não apresenta completa funcionalidade para integrar dados de modelos de projetos de infraestrutura, tais como estradas, túneis ou pontes e viadutos. Importantes aspectos, tais como traçados horizontais e verticais ainda estão ausentes. Além disso, também não é possível representar inclinação transversal, superelevação e cruzamentos de seção com a ajuda do IFC. Em consequência disso, a *buildingSMART*, organização mantenedora desta padronização, iniciou um projeto que objetivava, na próxima versão do IFC (IFC 4.x ou IFC5), incluir elementos que pudessem servir como base para construção de obras de infraestrutura, beneficiando este ramo com dados neutros e padronizados em formato similar ao já existente e aplicado em versões

anteriores, relativos à edificações estruturais (AMANN; SINGER; BORRMANN, 2013).

Dentre os então próximos desenvolvimentos apresentados pela buildingSMART, encontra-se a aplicação das definições IFC para obras de infraestrutura civil, começando com o traçado geométrico de vias, e expandindo para outras áreas, tais como estradas, ferrovias, pontes e túneis: um esquema de dados neutros, compreensíveis e capazes de comportar aspectos semânticos e geométricos necessários para o contexto de planejamento, construção e manutenção de serviços de infraestrutura linear. Apresentam-se divididos em:

- *IFC Alignment* (Traçado de eixos viários): por ser um recurso comum a este tipo de construção, o primeiro projeto de extensão para infraestrutura é o *IFC Alignment* (traçado de eixos viários). Ele será base para os próximos projetos, como o *IFC Bridge* (pontes e viadutos) e o *IFC Roads* (rodovias), e fornecerá ao modelo, dados 3D e 2D de eixos para localização espacial e ativos de infraestrutura. O projeto de padronização para traçados de eixos viários ainda se encontra aberto para avaliações e revisões, sendo ainda, portanto, apenas um módulo candidato. Ainda assim, já possui alguns protótipos de softwares livres, com ferramentas ou apenas visualizadores, e interfaces comerciais já desenvolvidas (LIEBICH et al., 2015).
- *IFC Roads*: Lee e Kim (2011) apresentam técnicas para desenvolver um modelo para estruturas rodoviárias, incluindo estradas, pontes e túneis; identificam componentes físicos e espaciais e adicionados ao IFC, para suprir as deficiências decorrentes do estágio prematuro de desenvolvimento, que as limita a pacotes de softwares específicos. Tanto a captura quanto a manipulação dos modelos realizados pelos autores utilizavam apenas os recursos existentes do IFC e revelaram que um conjunto de dados estruturado poderia apresentar um componente hierárquico integrado de objetos 3D em um modelo complexo viário 3D incluindo estradas, pontes e túneis.

Além disso, no Brasil, esta padronização vem sendo confirmada pela Comissão Especial de Estudo de Modelagem de Informação da Construção ABNT/CEE-134 (ABNT/CEE, 2009), através de sistemas e normativas já utilizados em outros países da América do Norte e Europa, e que serão apresentados em itens subsequentes. O IFC ainda não apresenta completa funcionalidade para integrar dados de modelos de projetos de infraestrutura, tais como estradas, túneis ou pontes e viadutos. Importantes aspectos, tais como traçados horizontais e verticais ainda estão ausentes. Além disso, também não é possível representar inclinação transversal, superelevação e cruzamentos de seção com a ajuda do IFC. Em consequência disso, a *buildingSMART*, organização mantenedora desta padronização, iniciou um projeto que objetivava, na próxima versão do IFC (IFC 4.x ou IFC5), incluir elementos que pudessem servir como base para construção de obras de infraestrutura, beneficiando este ramo com dados neutros e padronizados em formato similar ao já existente e aplicado em versões anteriores, relativos à edificações estruturais (AMANN; SINGER; BORRMANN, 2013).

Dentre os então próximos desenvolvimentos apresentados pela *buildingSMART*, encontra-se a aplicação das definições IFC para obras de infraestrutura civil, começando com o traçado geométrico de vias, e expandindo para outras áreas, tais como estradas, ferrovias, pontes e túneis: um esquema de dados neutros, compreensíveis e capazes de comportar aspectos semânticos e geométricos necessários para o contexto de planejamento, construção e manutenção de serviços de infraestrutura linear. Apresentam-se divididos em:

Através da *OpenINFRA Initiative*, comitê de direcionamento que atua em parceria com o *buildingSMART*, os princípios para atingir a integração entre as fases construtivas vêm sendo desenvolvidos, apropriando-se de formatos e requisitos clássicos do *BIM*, adaptando-o para necessidades específicas e padronizações que levem em conta a diversidade característica de obras de infraestrutura. Encontra-se acordado que os principais aspectos a serem desenvolvidos são: ajustes do modelo de informações à construção de infraestruturas; ajustes no formato de intercâmbio de informações do projeto; os princípios da gestão da informação; as modalidades de organização do processo

de informação e interação entre as partes envolvidas na construção (TIBAUT et al., 2015).

Adicionalmente, alguns requisitos comuns ao *BIM* continuam tendo importância, permitindo a descrição do projeto de infraestrutura em termos de composição, forma e especificações (BUILDINGSMART, 2015):

- Função da construção;
- Objetos de cumprimento de sua função;
- A conexão entre os objetos;
- Requisitos alocados às funções, espaços e objetos;
- Desempenho obtido através da aplicação dos objetos;
- Documentação relevante à descrição da construção;
- Biblioteca de objetos contendo classificação e especificação técnica dos tipos de objetos, e,
- Verificação dos requisitos.

Além disso, o núcleo do modelo deve ser estruturado através de objetos decompostos, a descrição da construção deve admitir documentos de vários tipos e formatos, tais como desenhos, cálculos, modelos 3D, e assim por diante; sua estrutura deve ser relativamente simples: através da biblioteca de objetos podem ser adicionadas definições dos tipos de objetos, o que garante flexibilidade; não é possível desenvolver um modelo abrangente para todos os fins e todos os tipos de produtos: o formato para infraestrutura deve, portanto, conter um modelo de núcleo expansível com *plug-ins* para atender necessidades específicas de aplicativos, projetos ou organizações; disposições devem ser incluídas para controle de mudanças e de versões (BUILDINGSMART, 2015).

A criação de protótipos virtuais permite avaliar conflitos de nível operacional, como a mobilização de equipes, equipamentos e recursos, simula métodos de construção, possibilitando definir planos otimizados de construção. Avaliações em nível de projeto e operacional habilitam a compreensão do efeito do fluxo de materiais e a percepção da dinâmica dos recursos (LI et al., 2012).

A aplicação de modelagem paramétrica é particularmente benéfica a projetos de pontes e viadutos: o modelo geométrico flexível resultante habilita o

projetista a considerar, com mais facilidade, as restrições externas características deste tipo de projeto. Ela permite reduzir o esforço requerido de retrabalho quando alterações são realizadas, simultaneamente provendo um alto grau de reutilização do modelo em outros projetos similares, resultando em significativo aumento de eficiência no processo de desenho de pontes (Jl et al., 2013a).

Quando comparados projetos de construção de edifícios e obras de infraestrutura (pontes, viadutos e rodovias), este último envolve menores quantidades de atividades e equipes. Isto, entretanto, não significa que o grau de complexidade é inferior. Existem dificuldades relativas à integração projeto-terreno, grande quantidade de serviços temporários (plataformas temporárias, etc.) e imprecisão na determinação de recursos, custo e duração (LI et al., 2012).

Chen e Shirolé (2006) introduziram o conceito de parametrização em pontes comparando os processos de desenho em sistemas 2D e 3D CAD (*Computer Aided Design*). Apresentavam então, aspectos que dificultavam a implantação:

- As ferramentas disponíveis então omitiam detalhes de fabricação, gerenciamento e procedimentos construtivos;
- As especificações e ferramentas de parametrização da indústria de concreto pré-moldado não tinha nenhuma orientação à construção de pontes ou viadutos;
- Questões relacionadas à inspeção e avaliação, que pudessem ser aplicadas ao ciclo de vida da estrutura não eram consideradas;
- 3D utilizado apenas para visualização, sem aplicação nos processos construtivos
- Ausência de padrões de interoperabilidade, sem permitir a possibilidade de aplicação ou permitir o uso de todas as funcionalidades representadas por um modelo de informação.

Stone (2012) considera o *Brim* o futuro da indústria da construção de infraestrutura. Há, entretanto, limitações, e ele chama atenção para questões relevantes na sua aplicação:

- Suas bibliotecas ainda se encontram incompletas, e por isso demandam tempo para gerenciamento e atualização;
- Realizar um pré-treinamento, informal, permite familiarização, identificação da ferramenta que melhor se adapta ao projetista e às necessidades do cliente, além de dar chance ao desenvolvimento dos softwares disponíveis, evitando um treinamento formal em versão obsoleta.
- Embora a integração de parâmetros matemáticos do projeto não seja completa, treinar os profissionais a trabalhar considerando a abordagem *Brim* é uma excelente maneira de promover o aumento da qualidade dos projetos;
- É importante identificar as necessidades que o modelo pode vir a suprir: os aspectos complicadores de um projeto de pontes (encontro rodovia-ponte, tipos de estrutura da ponte) – e que a definem como uma obra de arte especial – pode tornar o modelo inviável em termos de custo; pode-se considerar, por exemplo, o detalhamento restrito a pontos potencialmente críticos da ponte ou viaduto;
- Se realmente houver a necessidade da criação completa de um modelo complexo, vale esperar um estágio mais maduro do projeto, reduzindo a necessidade de reestruturações em todo o modelo;
- Conhecer bem a ferramenta e o processo de desenho de um projeto de ponte ou viaduto podem evitar metas inalcançáveis de modelagem paramétrica em termos de prazo e promessas irreais em termos de economia de custos construtivos.

Chen et al. (2006) desenvolvem trabalho no qual desenvolvem e implementam modelagem 3D em substituição aos projetos 2D. Até então, a prática de transferência de informações durante as etapas de projeto, fabricação e construção e processos operacionais era fragmentado nos Estados Unidos. Em função das repetições, essa transcrição de dados era usualmente sujeita a erros e aprovações, etapas com alto consumo de tempo. A necessidade de

padronização levou ao desenvolvimento da padronização, sem a qual, a transferência eletrônica de dados fica inviabilizada.

3.4. BRIDGE INFORMATION MODELING E O GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES

Aplicando a técnica da revisão sistemática da literatura, conforme etapas descritas no capítulo anterior, foram resultantes 23 publicações, dentre as quais 10 apresentavam o acesso livre ao texto completo. É possível verificar um crescimento no volume de publicações entre os anos 2011 e 2012 e entre os anos 2015 e 2016 (Gráfico 6). Através desta amostra, é possível elencar os autores que mais destacam-se são Shirolé, A.M., Chen, S.S., Jeong, S., Laflamme, S., Law, K. H e Turkan, Y. As instituições que mais pesquisam o assunto continuam sendo as americanas.

Gráfico 6 – Publicações sobre BrIM e gerenciamento



Fonte: Autor

Os artigos resultantes estão listados no Quadro 7, e a seguir, são apresentadas particularidades de cada estudo.

Quadro 7 – Artigos com acesso disponível, resultantes da busca BrIM e management

A data management infrastructure for bridge monitoring	Jeong, S. et. al. (2015)
Bridge Information Modeling for the Life Cycle	Shirole, A.M. et. al. (2008)
Bridge information modeling in sustainable bridge management	Marzouk, M.M., Hisham, M. (2012)
BrIM implementation for documentation of bridge condition for inspection	Al-Shalabi, F. A., Turkan, Y., Laflamme, S. (2015)
BrIM Implementation for Documentation of Bridge Element Condition for Inspection	Laflamme, S. (2013)
BrIM: Bridge Information Modeling nueva tecnologia para el análisis, diseño y mantenimiento de puentes	Alexander Mabrich, P. E. (2014)
Developing an 'as-is' Bridge Information Model (BrIM) for a Heritage Listed Viaduct	Minehane, M. et. al. (2014)
Digital Documentation of Element Condition for Bridge Evaluation	Turkan, Y., Laflamme, S., Al-Shalabi, F. (2015)
Framework for Integrating Bridge Inspection Data with Bridge Information Model	Moghaddam, D. G. (2014)
State of the art report on the flow of information in a bridge life cycle	Luo, X. Q., Wang, Z. Q., Wu, J. (2011)

Fonte: Autor

Para Chatfield-Taylor (2009), a modelagem de informações de uma ponte pode beneficiar todo seu ciclo de vida, da seleção de projeto até a reabilitação, resultando no desenvolvimento de novas melhores práticas. Shirolé, Chen, Puckett (2008) alegam que o gerenciamento de pontes envolve, em grande medida, o aspecto da gestão de dados da ponte. Se por um lado, na etapa de desenho, o gerenciamento de dados do projeto é complicado, principalmente em função de *softwares* que apresentam aplicações isoladas entre si, muitas vezes com variados formatos de arquivos, por outro lado, ao longo dos anos eles foram trabalhados sem a devida consideração da interoperabilidade funcional que poderia permitir os usos destes dados para fins múltiplos através de todo o ciclo de vida da ponte. Eles apresentam aplicações que vão além das etapas de projeto e construção, como análises de permissão para circulação de veículos especiais, inspeções, demonstrando a possibilidade de uso durante o ciclo de vida.

Mesmo no contexto de edificações, a tecnologia *BIM* tem sido estudada e aplicada nas fases de projeto, planejamento e execução, mas a gestão da manutenção predial ainda é uma tecnologia considerada emergente e necessita ser mais estudada. (KASSEM et al., 2015). A melhoria da gestão de manutenção pode ser atingida através do uso da tecnologia *BIM* que é capaz de integrar em

um modelo informações relevantes, que podem ser muito úteis ao gerente de manutenção ao longo da gestão de uma edificação. A modelagem traz para a equipe de manutenção facilidade em rastrear o histórico completo dos elementos construtivos da edificação facilitando e melhorando a eficiência na busca de documentações e especificações (MOTAWA; ALMARSHAD, 2013). McGuire (2014b) adiciona ainda que as ferramentas gráficas disponíveis, em termos de nível de detalhamento e capacidade de criação de imagens muito próximas da realidade pode beneficiar gestores.

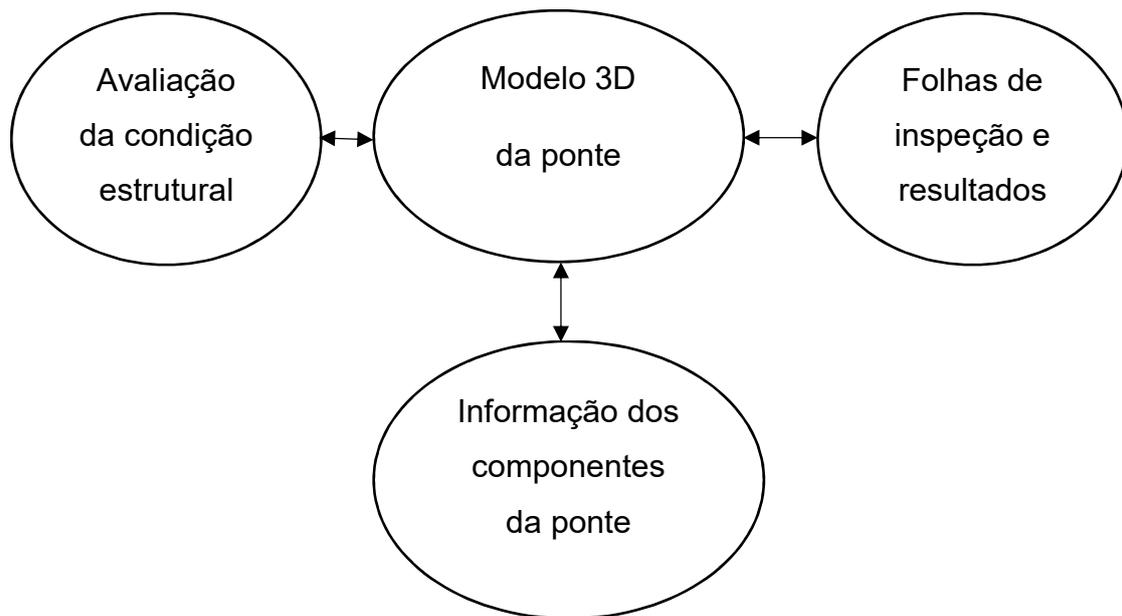
Kang e Choi (2015) desenvolveram um sistema de gestão de facilidades, utilizando modelos em IFC4, com o objetivo de melhorar a eficiência no gerenciamento da manutenção e através de uma abordagem qualitativa e quantitativa chegaram à conclusão de que utilizar a tecnologia *BIM* para este fim é um investimento que se torna rentável durante o ciclo de vida da edificação.

Atualmente a fragmentação das informações através de diversos projetos em papéis dificultam a qualidade e durabilidade da informação de uma instalação. Dessa maneira ocorre a diminuição do valor dos ativos informacionais ao longo do ciclo de vida da construção, gerando um maior esforço para produzir as informações de um projeto, ou seja, uma ineficiência devido ao retrabalho (EASTMAN et al., 2011).

O principal conceito aplicado à manutenção *BIM* é a implementação de um banco de dados capaz de manter um histórico das intervenções e problemas ao longo da vida útil. Este deve ser organizado de tal maneira a permitir o gestor de manutenção apontar uma proposta para correção do problema com base em nas soluções anteriores aplicadas. A facilidade de acesso a informação através desta tecnologia tem como objetivo diminuir problemas como soluções equivocadas para manutenção. O usuário é capaz de relatar os pontos positivos e negativos das intervenções realizadas ao longo do tempo, fornecendo os gestores informações relevantes (MOTAWA; ALMARSHAD, 2013).

Marzouk (2012) propõe uma estrutura de trabalho voltada ao gerenciamento de pontes (Figura 11), incluindo parâmetros diversos ao modelo tridimensional de geometria.

Figura 11 – Estrutura para uso de BrIM no gerenciamento de pontes



Fonte: Adaptado de Marzouk (2012)

Moghaddam (2014) também estabelece estrutura para inclusão de resultados de inspeção no modelo, e acrescenta que, como a inspeção é realizada numa data específica, informação inserida como parâmetro no modelo, ele pode ser considerado um componente 4D, já que permite a visualização da evolução dos defeitos no tempo. Além disso, dados de georreferenciamento da estrutura são incluídos para facilitar aspectos de processo em rede do gerenciamento das pontes ou viadutos.

Laflamme (2013) destaca a importância da automatização do processo de gerenciamento de dados para o proveito de todos os benefícios de uma inspeção de pontes. Ao comparar a abordagem tradicional de *checklists* em papel à combinação de representações 3D da infraestrutura, permitindo a integração dos dados de inspeção, tais como presença de danos e seus tipos, grau de severidade, localização e decisões prévias de manutenção, conclui que este método pode vir a apresentar melhoras significativas à avaliação e gerenciamento de operações de pontes e viadutos, impactando diretamente na resiliência das estruturas ao sujeitá-las a uma manutenção e processos de reparação mais eficientes.

A modo tradicional de realizar inspeções foi simulado durante a fase da criação do modelo tridimensional do *Brim* por Turkan, Laflamme, Al-Shalabi (2015). Os elementos do modelo são divididos em grupos maiores, como o deck, a superestrutura e a infraestrutura. A justificativa não é apenas priorizar componentes maiores e focar em elementos estruturais críticos, mas também prover uma fácil transição para inspetores do método tradicional ao *Brim* como ferramenta de inspeção.

Mabrich (2014) destaca ainda a possibilidade de associação do *Brim* e o uso de dispositivos móveis agilizando a troca de informações entre escritório e campo, tratando a ponte como um ente dinâmico, que requer a atenção de múltiplas disciplinas da engenharia trabalhando coordenadamente durante seu ciclo de vida. Turkan, Laflamme, Al-Shalabi (2015) destacam, entretanto, que há restrição de compatibilidade entre aplicativos de dispositivos móveis, como na Figura 12, e de computador, o que os fez optar pelo *Revit*, que não é entretanto, específico para modelagem de pontes, o que tornou o processo mais lento. Também é alegado, neste estudo, que a experiência prévia em modelagem de pontes também tem impacto sobre o volume de horas trabalhadas.

Figura 12 – Inspeção e Manutenção em plataforma móvel



Fonte: (MABRICH, 2014)

O BrIM também vem sendo investigado como ferramenta combinada a outros elementos próprios à manutenção. Jeong et al. (2015) propõem uma estrutura de modelo associada a uma rede de sensores, permitindo eficiente acesso e armazenamento de dados.

Marzouk (2012) inclui técnicas de análise estrutural avançada para os cálculos de condições estruturais das pontes e viadutos. Minehane et al. (2015) desenvolve modelo BrIM de viaduto – *as-built* – a partir de medições utilizando escaneamento a laser.

3.4.1. COBie – *Construction-Operations Building Information Exchange*

Diversos tipos de dados podem ser incluídos em um modelo virtual, através de seus parâmetros, sejam de âmbitos qualitativos ou quantitativos. O *COBie* propõe uma nova maneira para os projetistas e empreiteiros apresentarem a informação sobre operações, manutenção e avaliação da informação da manutenção. Existem três estágios de decisões para garantir a informação através do *COBie*: o primeiro é especificar as classificações existentes no Sistema de Manutenções utilizado; o segundo, utilizar o sistema de classificação padrão do *COBie*, o *OmniClass*; por fim, o usuário pode definir propriedades específicas; ou seja, o *COBie* é uma especificação baseada em desempenho (EAST, 2016).

Todo modelo *BIM* deve apresentar, de uma forma completa e de fácil utilização, o maior número possível de informações sobre a construção, atendendo o que se conhece como *COBie – Construction Operations Building Information Exchange*. (OPENBIM, 2011). O objetivo do *COBie* é identificar e trocar informações referentes aos processos de gestão de manutenções, desde a fase de planejamento do projeto e ao longo de todo seu ciclo de vida; a ideia principal é que as informações chaves são apresentadas em um mesmo formato e compartilhadas com a equipe de construção durante os estágios pré-definidos do projeto (HAMIL, 2011).

Em grandes instituições, a informação digital ainda não é considerada completamente confiável, em especial pela falta de neutralidade, conforme

indicam Anderson et al. (2012). Como o volume de dados digitais é crescente, a cultura organizacional e as práticas referentes à gestão de dados precisa ser desenvolvida, incluindo os modelos virtuais e padronizações como o *COBie*.

O *OmniClass Construction Classification System* (*OmniClass* ou *OCCS*) é um sistema de classificação voltado à indústria da construção, aplicável na organização de bibliotecas, informações de projeto, e estrutura de classificação para bancos de dados eletrônicos ou pode ser visto como uma estratégia de classificação de todo o ambiente de construção. Incorpora outros sistemas que estavam previamente em uso. Além disso, segue a estruturação definida pela *International Organization for Standardization* (ISO, ou Organização Internacional para Padronização) (CSI, 2006).

No sistema *OmniClass*, cada faceta de informação de construção é representada por uma das 15 tabelas, que podem ser utilizadas isoladamente ou combinadas em objetos mais complexos (Quadro 8).

Quadro 8 - Descrição das tabelas OmniClass

continua

TABELA	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
OmniClass Tabela 11 – Entidades de construção por função	Unidades significativas e definíveis de um ambiente construído, contendo elementos e espaços inter-relacionados caracterizados por uma função	Residência, estação de tratamento de esgoto, centro de convenções.
OmniClass Tabela 12 – Entidades de construção por forma	Unidades significativas e definíveis de um ambiente construído, contendo elementos e espaços inter-relacionados caracterizados por uma forma	Ponte suspensa, plataforma.
OmniClass Tabela 13 – Espaços por função	Unidades básicas de um ambiente construídos delineados por fronteiras físicas ou abstratas e caracterizadas por função	Cozinha, escritório, <i>shaft</i> mecânico.
OmniClass Tabela 14 – Espaços por forma	Unidades básicas de um ambiente construídos delineados por fronteiras físicas ou abstratas e caracterizadas por forma	Cômodo, jardim, quarteirão de uma cidade.
OmniClass Tabela 21 – Elementos	Entidade que só ou combinada cumpre uma função predominante na construção	Pisos estruturais, treliça de cobertura
OmniClass Tabela 22 – Resultados de trabalho	Resultado de uma fase ou etapa de um processo	Impermeabilização, Iluminação

TABELA	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
OmniClass Tabela 23 – Produtos	Componentes ou combinação de componentes para incorporação permanente nas entidades construídas	Tijolo, esquadria, muros de contenção
OmniClass Tabela 31 – Fases	Pode ser definido como estágio (categorização de principais segmentos de um projeto) ou como fase (porção do trabalho em sequência de atividades de uma parte de um dos estágios); hierarquicamente, o estágio está acima da fase	Estágios: conceitual, execução Fase: ocupação
OmniClass Tabela 32 – Serviços	Atividades, processos e procedimentos relacionados à construção, projeto, manutenção, renovação e todas as funções relacionadas ao ciclo de vida da construção	Estimativas, inspeções
OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	Áreas de prática ou especialidades dos envolvidos para desenvolvimento dos processos e procedimentos ao longo do ciclo de vida	Interiores, Elétrico, Financeiro
OmniClass Tabela 34 – Papéis organizacionais	Posições funcionais ocupadas pelos envolvidos ou grupos	Chefe executivo, supervisor, operador de equipamento
OmniClass Tabela 35 – Ferramentas	Recursos utilizados para desenvolver o projeto e construção, e que não será parte definitiva da construção	Cerca temporária, caminhões
OmniClass Tabela 36 – Informações	Dados referenciados e utilizados durante o processo de criação e operação do ambiente construído	Especificações, catálogos
OmniClass Tabela 41 – Materiais	Substâncias utilizadas na construção ou manufatura de produtos ou itens utilizados na construção	Areia, alumínio
OmniClass Tabela 49 – Propriedades	Características das entidades da construção	Cor, resistência, área

Fonte: Adaptado de CSI (2006)

O sistema Omniclass é a base do desenvolvimento da norma que regulamenta, no Brasil, a nomenclatura de produtos e serviços de construção. Através dele, é possível buscar a interoperabilidade e padronização de documentos (ABNT-CEE, 2017).

4. MODELO DESENVOLVIDO E INVESTIGAÇÃO DE PARÂMETROS

A obra de arte especial escolhida para desenvolvimento do modelo de informações foi definida com base na disponibilidade de documentação utilizada para o desenvolvimento do modelo BrIM, fornecida pela parceria EMEA e DNIT.

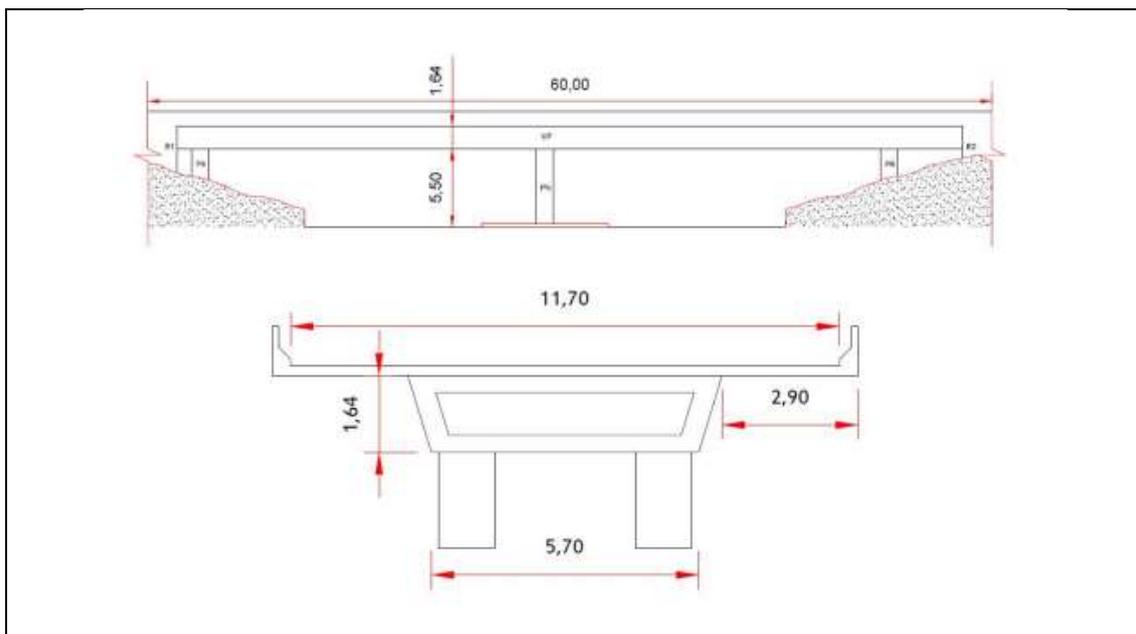
O viaduto modelado está localizado no quilômetro 600,7 da rodovia BR-476, com coordenadas $-25^{\circ} 32,418'$ $-49^{\circ} 18,666'$ (Figura 13). O viaduto possui 60 m de comprimento e 12,5 m de largura (Figura 14).

Figura 13– Viaduto sobre a BR-476



Fonte: EMEA (2015)

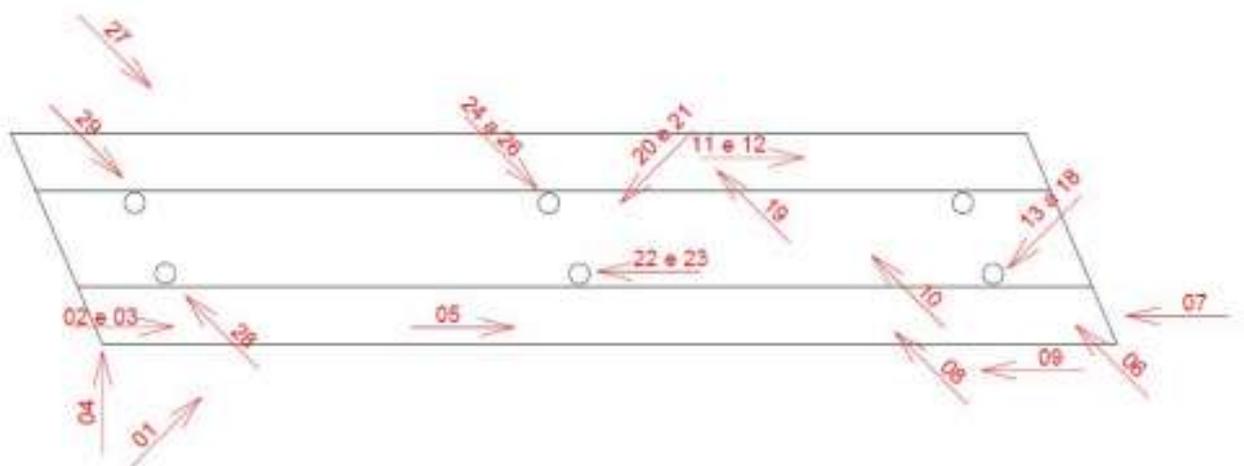
Figura 14– Croquis do Viaduto



Fonte: EMEA (2015)

Este viaduto foi inspecionado pelo EMEA no dia 13/06/2015 e seus dados fornecidos à esta pesquisa. A Figura 15 ilustra os locais onde foram encontradas manifestações patológicas durante a inspeção.

Figura 15 – Posição das manifestações



Fonte: EMEA (2015)

Durante a inspeção, realizada pela equipe do EMEA, cada manifestação patológica encontrada era identificada, classificada e fotografada (Figura 16).

Figura 16– Exemplo de elemento com manifestação inspecionado

Elemento: Pilar em Colunas de Concreto Armado
 Manifestação: Corrosão da armadura com deslocamento de concreto
 Nº do elemento: 6
 Dimensão: Média
 Reparo: Não urgente
 Tamanho: 1,2 m²
 Observação:



Figura 17 - Corrosão da armadura com deslocamento de concreto
 Referência no BD: 16.jpg

Fonte: EMEA (2015)

4.1. MODELO DESENVOLVIDO

Baseado nos dados do relatório de inspeção e nos desenhos do CAD foi desenvolvido no *software Revit 2014 – student version* a modelagem do viaduto com suas manifestações patológicas.

Para este modelo, a ponte de concreto armado foi delimitada de acordo com as seguintes características:

- Infraestrutura;
- Mesoestrutura;
- Superestrutura;
- Manifestações patológicas.

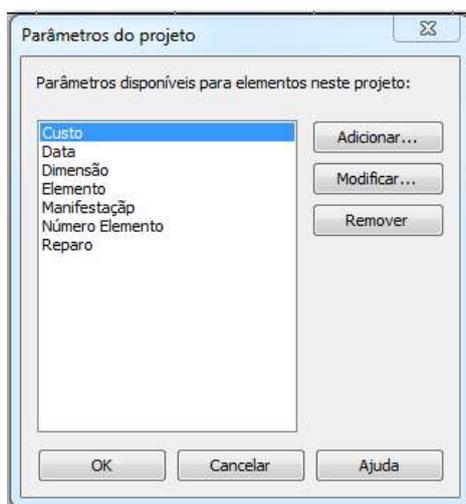
A partir do estudo teórico realizado sobre o sistema verificaram-se algumas características que devem ser levadas em consideração pelo projeto: material da estrutura, dimensões, níveis, acabamentos, juntas e as

manifestações patológicas. Tais características também serviram de subsídio para a elaboração dos questionários de validação do modelo, detalhados no próximo item.

Primeiramente foram criados os níveis e os eixos do projeto referência. Em seguida, foram criadas as famílias de pilares, vigas, sapatas e tabuleiro. As cotas de nível do modelo foram elaboradas com o auxílio do *software Autocad 2015* e importadas para o *Revit*. A Figura 18 apresenta uma ilustração do modelo *BrIM* desenvolvido. Posteriormente, a partir da conclusão do modelo tridimensional que representa a ponte, com seus diversos elementos estruturais, foram desenvolvidos os parâmetros de descrição e avaliação das manifestações patológicas verificadas durante as inspeções do viaduto.

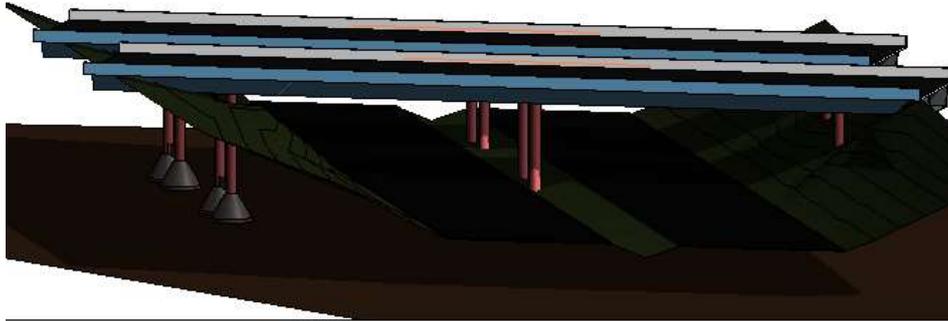
Concluídos os parâmetros geométricos, iniciou-se a criação das manifestações patológicas, inserindo novas famílias e adicionando os parâmetros pertinentes como, data da inspeção, dimensões, localização da manifestação patológica, reparo possível e custo estimado de reparo (Figura 17). Estes auxiliarão nas futuras análises do modelo.

Figura 17– Parâmetros do projeto



Fonte: Autor

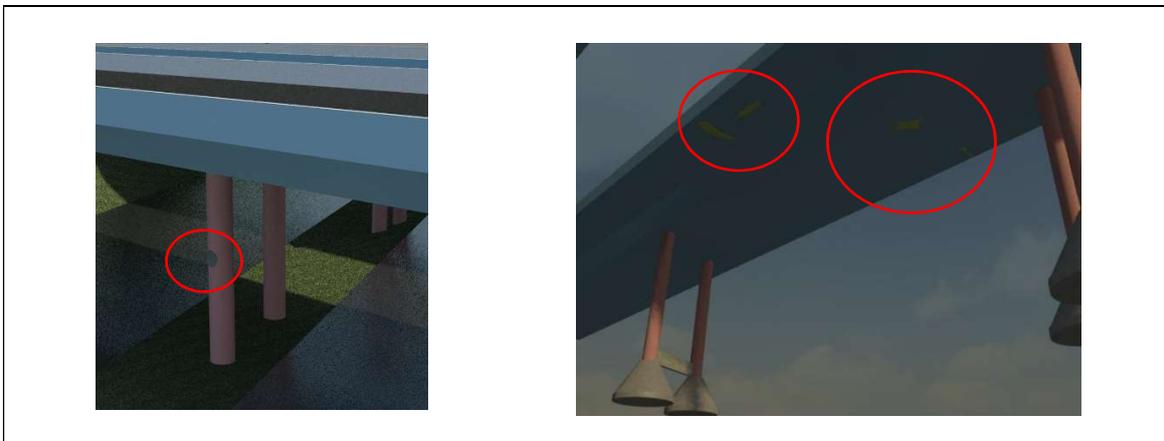
Figura 18 – Projeto BrIM



Fonte: Autor

A Figura 19 demonstra a representação de algumas manifestações patológicas verificadas na inspeção realizada pelo EMEA, conforme é possível visualizar na Imagem 1Imagem 2, classificada como armadura exposta por deficiência de cobrimento.

Figura 19– Representação da manifestação patológica no modelo BRIM



Fonte: Autor

Imagem 2 – Manifestações patológicas detectadas pela inspeção realizada pelo EMEA



Fonte: EMEA (2015)

Para que a fase de gestão da manutenção ocorra é fundamental o uso de *softwares* com interface com o *BRIM* para possibilitar que as ações possam ser planejadas e controladas. Cada elemento do modelo criado e a situação das manifestações patológica encontradas, assim como a área, situação de reparo, data da verificação e um custo de reparo estimado pelo usuário deve ser inserido no sistema. A Figura 20 ilustra como os dados relativos ao processo de inspeção e ao processo de recuperação das patologias podem ser organizadas dentro do software, concentrando a informação essencial à gestão da manutenção.

Figura 20 – Exemplo de tabela para gestão de manutenção

<Tabela de manutenção>						
A	B	C	E	F	G	H
Elemento	Manifestação	Localização	Área	Comp.	Data da Insp. 01	Custo estim. reparo
Tabuleiro	Recapeamento Irregular	Tabuleiro eixo 2	-	12 m	13/06/2015	a ser determinado
Viga caixa de concreto	Machas de umidade	parte inferior da viga caixão	72 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado
Viga caixa de concreto	Machas de umidade	parte inferior da viga caixão	32 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado
Laje de concreto armado	Fissura horizontal	parte inferior da viga caixão	-	3,1 m	13/06/2015	a ser determinado
Pilar	corrosão com deslocamento	Pilar 2 - concreto armado	1,2 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado

Fonte: Autor

Conforme Kassem et al. (2015), a informação armazenada de forma manual e com poucos procedimentos formais pode ser facilmente perdida ao longo do tempo. Através da utilização de um modelo *BRIM*, busca-se organização e acessibilidade ao banco de dados, trazendo como benefícios diretos o aumento

da velocidade na tomada de decisão e facilidade na obtenção de dados e informação. Esses ganhos diminuem a dificuldade de gerenciar a manutenção de uma construção.

4.2. INVESTIGAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO

Entrevistas com grupos de profissionais da área de gerenciamento de manutenções foram realizadas em busca dos parâmetros essenciais do ponto de vista do profissional atuante no mercado de gestão de obras de arte especiais, e os itens a seguir indicam os resultados encontrados

4.2.1. EMEA

O primeiro grupo entrevistado foi a equipe do EMEA, responsável por elaboração dos projetos de manutenção das pontes, através do projeto “Desenvolvimento de metodologia objetiva das condições funcionais e estruturais de obras de arte especiais”, realizado em parceria com o DNIT (EMEA, 2016b).

Aspectos conceituais do *BIM* e sua aplicação em pontes, o detalhamento dos parâmetros aplicados no modelo do viaduto sobre a BR 476, dados sobre os recursos necessários para aplicação em novos projetos, tempo de execução e outros dados acerca deste estudo de caso foram apresentados. Além disso, apresentou-se aos entrevistados uma relação de características identificadas como potenciais a serem abordadas pela ferramenta:

- Implantação do viaduto;
- Localização dos elementos estruturais;
- Dimensões;
- Declividade dos taludes;
- Reparos ou recuperações realizadas anteriores as inspeções;
- Manifestações patológicas existentes verificadas nas inspeções (data, área, gravidade, localização);

- Manutenção planejada com data e custo estimados;

Quando perguntado em que situações a tecnologia *BrIM* mostra-se viável, 29,4% dos entrevistados responderam que é viável somente em obras novas, 64,7% disseram que serve como ferramenta de apoio a sistemas de gestão de pontes, 35,3% afirmaram ser mais importante para pontes sujeitas a intervenções significativas (Reforço ou reabilitação) e 17,6 afirmaram que sempre é viável.

Em relação à modelagem desenvolvida, 88,2% dos entrevistados afirmaram que a implantação da modelagem *BrIM* pode ser eficiente na Gestão da Manutenção de pontes. 76,5% disseram que a manipulação dos dados diretamente no modelo *BrIM* traria mais organização aos sistemas de gestão de pontes e que a concentração dos dados dentro do modelo *BrIM* traria mais agilidade aos sistemas de gestão de pontes. 76,4% afirmaram que a acessibilidade dos dados dentro do modelo *BrIM* seria fundamental em um sistema de gestão de pontes. 94,10% citaram que a visualização do projeto e o acesso aos dados (incluindo as manifestações patológicas) com a utilização do modelo *BrIM* seria aperfeiçoada. 88,20% afirmaram que preferiam manipular os dados a respeito das manifestações patológicas detectadas em inspeções no modelo *BrIM* ao invés de uma planilha eletrônica comum, como é feito atualmente. 100% dos entrevistados disseram ser viável a aquisição de uma ferramenta BIM, considerando um custo da ordem de 40% maior que de uma ferramenta CAD.

Também foi perguntado aos entrevistados quais fundamentos do BIM foram efetivamente atingidos com o modelo desenvolvido. 70,6% afirmaram que foi realizada a inclusão de diversos parâmetros no modelo. 41,2% disseram que a modelagem foi orientada a objetos, pois os dados foram associados a cada elemento da ponte. 58,8% afirmaram seria possível usar o BIM em todo o ciclo de vida da ponte assim como seria possível obter a colaboratividade entre os diversos profissionais. 52,90% disseram que com o modelo apresentado é possível ter a interoperabilidade e 70,6% afirmaram que é possível ter uma biblioteca de componentes para uso no desenvolvimento de outros projetos.

Quanto aos parâmetros inseridos no modelo (custo, data, dimensão, elemento estrutural, manifestação patológica e reparo) 76,5% dos entrevistados afirmaram que os parâmetros adotados na elaboração do modelo apresentado eram suficientes para suprir as necessidades de um sistema de gestão de pontes. Eles sugeriram a incorporação dos seguintes parâmetros ao modelo desenvolvido: registro de colapsos ou incidentes, condições do ambiente, perdas de seção, evolução das manifestações patológicas, previsão da vida útil dos elementos e aplicação do modelo performance criado pela EMEA. No Quadro 9 estão relacionados os parâmetros mais recomendados.

Quadro 9 – Parâmetros mais mencionados relativamente à importância em um sistema de gestão de pontes

Ordem	Parâmetro
1°	Manifestação Patológica
2°	Localização
3°	Elemento estrutural
4°	Data das inspeções
5°	Dimensões
6°	Custo do reparo
7°	Condições do ambiente
8°	Registro de colapsos
9°	Avaliação e desempenho do elemento
10°	Perdas de seção
11°	Reparo

Fonte: Autor

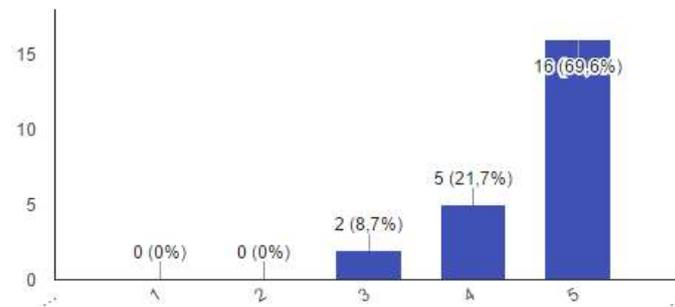
4.2.2. *Workshop* Gestão de Obras de Arte Especiais

O *Workshop* Gestão de Obras de Arte Especiais, ocorrido em 24 de junho de 2016 reuniu o segundo grupo a ser entrevistado

Foram estabelecidas questões para avaliação de elementos de impacto na gestão: distribuição dos dados, formas de visualização, forma de registro de manifestações patológicas e disponibilidade de acesso (apresentadas no Apêndice 02). O maior nível de concordância se estabeleceu na questão que perguntava se a forma de registro e visualização das manifestações patológicas

detectadas em inspeção tem impacto no controle de gestão, com quase 70% dos respondentes (Gráfico 7)

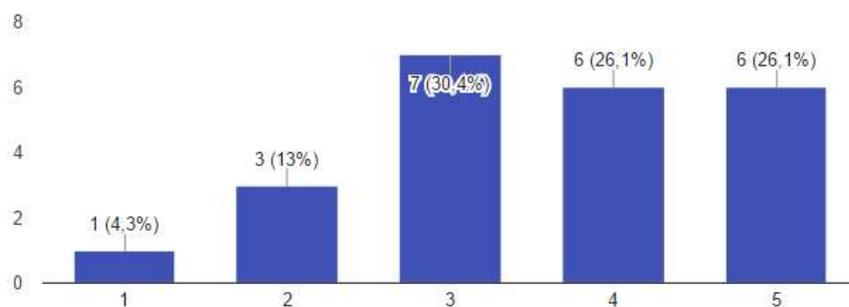
Gráfico 7 – Impacto da visualização das manifestações patológicas na gestão de pontes.



Fonte: Autor

69,6% dos respondentes acredita que a modelagem BIM mostra-se viável: indicam, que a distribuição de dados relativos a um projeto dificulta o controle e a gestão de pontes (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Impacto da distribuição de dados relativos a um projeto no controle e gestão de pontes (sendo 1, muito pouco e 5, excessivamente)

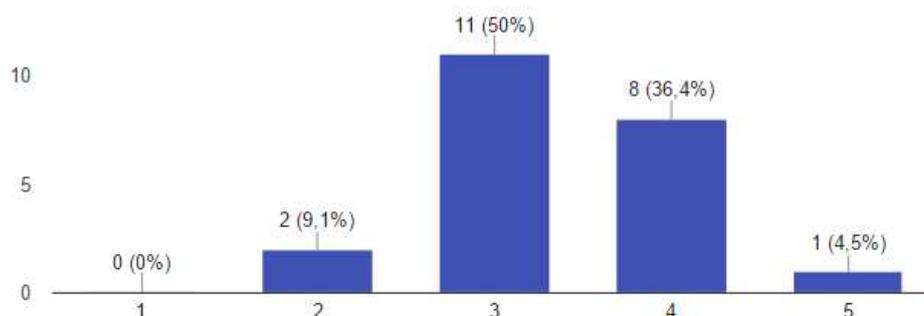


Fonte: Autor

Complementando esta indicação, a maioria dos respondentes, 77% observam que o acesso a dados em um modelo virtual, referente a manifestações patológicas, poderiam facilitar ou facilitar muito o controle e gestão de pontes.

Quanto aos parâmetros adotados na elaboração do modelo, a maioria mostrou-se neutra, (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Adequação dos parâmetros adotados na elaboração do modelo (sendo 1, muito pouco e 5, muito adequado)



Fonte: Autor

Uma série de parâmetros que são elencados entre os mais importantes foi indicada pelos participantes (Quadro 10)

Quadro 10- Parâmetros mais mencionados relativamente à importância em um sistema de gestão de pontes

Ordem	Parâmetro
1°	Manifestação Patológica
2°	Taludes, aterros e erosão
3°	Condições do ambiente
4°	Volume de tráfego classificado
5°	Elemento estrutural
6°	Infraestrutura
7°	Custo do reparo
8°	Apoio
9°	Condições de drenagem
10°	Registro de Danos
11°	Vida Útil
12°	Cronograma de reparos
13°	Avaliação de juntas

Fonte: Autor

Alguns elementos são presentes em ambas as pesquisas, tanto com o EMEA quanto no Workshop: a importância da descrição das manifestações patológicas, a avaliação das condições ambientais e do entorno (que levam a condições de erosão, por exemplo), elementos que viabilizem um registro temporal de inspeções e previsões de reparo – ou seja, um cronograma – bem como dados referentes a custos, que possibilitem um orçamento; registro de condições críticas, sejam danos ou avarias, por perdas de seção ou abalroamentos, além, é claro, de elementos próprios da geometria e estrutura da ponte.

4.3. COMPILAÇÃO DE PARÂMETROS

Em resumo, os itens mencionados pelas indicações avaliadas, considerando as entrevistas realizadas com o EMEA e entre os profissionais participaram do Workshop Gestão de Obras de Arte Especiais, bem como de manuais e normas internacionais, encontram-se sintetizadas no Quadro 11 a seguir.

É válido destacar as repetições de elementos entre as referências distintas, com menção à avaliação de desempenho das juntas de dilatação, que é mencionado em todas as referências. O Comitê Euro-Internacional do Concreto é, dentre as fontes pesquisadas, a que inclui mais elementos dentre os parâmetros de inspeção e avaliação das condições, sendo a mais completa no contexto de gerenciamento de manutenções.

A distribuição dos parâmetros apresentados no Quadro 11 segue organização de associação a cada macroelemento estrutural e foi distribuída de modo a permitir identificar quais fontes indicaram a quais parâmetros, ordenando-os em conjuntos.

Esta listagem foi, uma vez mais, avaliada novamente por profissionais de área de gerenciamento de pontes e viadutos e com experiência em BIM, e os resultados estão apresentados no próximo capítulo.

Quadro 11- Parâmetros recomendados para verificação e posterior inclusão em sistema de gestão de pontes

REFERÊNCIA				
EMEA	Profissionais (Workshop)	DNIT	AASHTO	CEB
CADASTRAL				
Localização		Condição de acessos		Condição de acessos
Condições ambientais	Condições ambientais			Condições ambientais
	Tipo de tráfego		Tipo de tráfego	
		Vazão do curso d'água	Vazão do curso d'água	
				Documentação Projetos
Data das inspeções				
Registros de colapsos	Registros de colapsos Vida útil prevista			
GEOMETRIA E ELEMENTOS ESTRUTURAIS				
Encontro: Paredes de contenção				
			Dimensões	Dimensões
			Tipos de materiais utilizados	Tipos de materiais utilizados
	Talude			
	Indicação de processos erosivos		Indicação de processos erosivos	
	Condições de drenagem		Condições de drenagem	
Avaliação e desempenho				Avaliação e desempenho
Infraestrutura: Fundações				
			Dimensões	Dimensões
			Tipos de materiais utilizados	Tipos de materiais utilizados
	Indicação de processos erosivos		Indicação de processos erosivos	
	Condições de drenagem		Condições de drenagem	
Avaliação e desempenho				Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Pilares				
Dimensões		Dimensões	Dimensões	Dimensões
			Tipos de materiais utilizados	Tipos de materiais utilizados
			Torções	
Avaliação e desempenho				Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Aparelhos de apoio				
Dimensões		Dimensões	Dimensões	Dimensões
			Tipos de materiais utilizados	Tipos de materiais utilizados
Avaliação e desempenho				Avaliação e desempenho
Superestrutura				
Dimensões		Dimensões	Dimensões	Dimensões
			Tipos de materiais utilizados no pavimento	Tipos de materiais utilizados no pavimento
Avaliação e desempenho do pavimento				Avaliação e desempenho do pavimento
	Condições de drenagem		Condições de drenagem	
Dimensões das juntas de dilatação		Dimensões das juntas de dilatação		Dimensões das juntas de dilatação
				Tipos de materiais utilizados das juntas de dilatação
Avaliação e desempenho das juntas de dilatação				
			Condições dos guarda-corpos	
			Condições da iluminação	
			Condições da sinalização	
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS				
Dimensões				Existência de armaduras expostas ou áreas com concreto poroso
Perda de Seção				Opções de reparo
Reparo				
Custo do reparo	Custo do reparo			
	Cronograma de reparos			

Fonte: Autor

5. RESULTADOS: COMPILAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS

Uma vez definidos os parâmetros mais relevantes – através da seleção entre as referências destacadas no capítulo anterior – eles foram reorganizados segundo os elementos representados no modelo virtual da ponte, subdivididos entre parâmetros cadastrais (que incluem aspectos de localização e documentação), geométricos e estruturais e manifestações patológicas (que parametrizam o encontro da ponte/rodovia, infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura) assim como a feição relativa às manifestações patológicas.

O resultado obtido foi avaliado por 6 especialistas da área de gestão de pontes, inquiridos se concordavam com a escolha dos parâmetros (isoladamente), com a maneira como foram organizados, da combinação parâmetros/esquemática, ou se não concordavam com o resultado obtido. As respostas estão sintetizadas no Gráfico 10:

- 66,7% dos respondentes consideraram que a estrutura e parâmetros definidos atendem satisfatoriamente ao propósito de gestão de manutenção de pontes;
- 16,7% indicam que apenas a lista de parâmetros está adequada às demandas de gestão de manutenção de pontes;
- 16,7% não se encontram de acordo com as definições ou organização dos parâmetros escolhidos a um modelo virtual com enfoque em gerenciamento de manutenções.

Além destas impressões, alguns dos participantes colaboraram ainda com sugestões de ajuste, tais como:

- Indicação de existência de proteção de margem ou de área de preservação permanente (APP);
- Histórico de intervenções, incluindo reparações, manutenções e remodelações (reforço e alargamento);
- Indicação de existência de laje de aproximação;
- Nível de agressividade ou classificação para ranqueamento e orientação de intervenções;

- Inclusão de recomendações da NBR 9452/2016;
- Indicação de solicitações de passagens de cargas de dimensões especiais (autorizações especiais de trânsito – AET).

Gráfico 10 – Avaliação de especialistas da área de manutenção de pontes



Fonte: Autor

Com base nas sugestões apresentadas pelos entrevistados, foram incorporadas aos parâmetros resultantes das combinações das fontes apresentadas anteriormente, novos parâmetros, incluídos na mesma organização (identificados através da cor vermelha no Quadro 12).

Entre os novos parâmetros encontram-se características de proteção ambiental, tais como a definição de áreas de proteção ambiental, elementos de documentação, tais como projetos executivos iniciais e de intervenções, e documentação própria de descrição de tráfego, como as autorizações especiais de trânsito. A avaliação e desempenho foi incluída a outros elementos estruturais das obras de arte especiais.

Quadro 12 – Parâmetros compilados e ajustados após avaliação

GRUPO	PARÂMETRO
Localização	Condição de acessos Condições ambientais Tipo de tráfego Proteção de margem/APP Vazão do curso d'água
Documentação	Projeto executivo inicial Projetos de intervenções Data das inspeções Autorizações especiais de trânsito (AET) Registros de colapsos Vida útil prevista
Encontro: Paredes de conteção	Dimensões Tipos de materiais utilizados Talude Indicação de processos erosivos Condições de drenagem Avaliação e desempenho
Infraestrutura: Fundações	Dimensões Tipos de materiais utilizados Indicação de processos erosivos Condições de drenagem Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Pilares	Dimensões Tipos de materiais utilizados Torções Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Aparelhos de apoio	Dimensões Tipos de materiais utilizados Avaliação e desempenho
Superestrutura	Dimensões Tipos de materiais utilizados no pavimento Avaliação e desempenho do pavimento Condições de drenagem Dimensões das juntas de dilatação Tipos de materiais utilizados das juntas de dilatação Avaliação e desempenho das juntas de dilatação Existência de laje de aproximação Condições dos guarda-corpos Condições da iluminação Condições da sinalização
Manifestações patológicas	Dimensões Existência de armaduras expostas ou áreas com concreto poroso Nível de agressividade Perda de Seção Opções de reparo Reparo Custo do reparo Cronograma de reparos

Fonte: Autor

Foram apresentadas imagens selecionadas do modelo e também disponibilizado o modelo para avaliação direta dos profissionais com experiência em modelagem *BIM*. Esses deveriam classificar, entre cinco níveis, que variavam de completamente inadequado (1) a completamente adequado (5), os itens: representação dos elementos geométricos, representação das manifestações patológicas, utilização deste modelo em gerenciamento de manutenções.

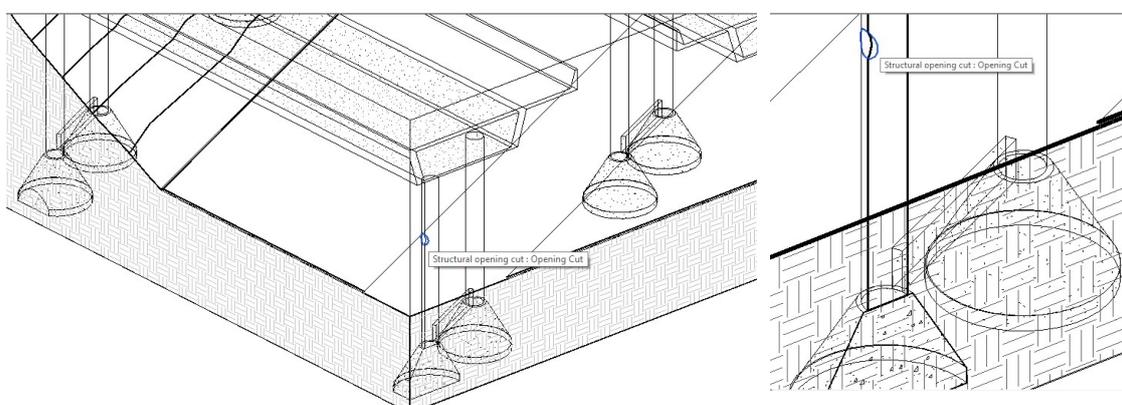
- Quanto à representação geométrica, um respondente considerou o modelo adequado (nota 4 de 5), um respondente considerou o modelo regular (nota 3 de 5) e um respondente considerou o modelo completamente inadequado (nota 1 de 5);
- Quanto à representação das manifestações patológicas, um respondente considerou o modelo adequado (nota 4 de 5), um respondente o graduou como inadequado (nota 2 de 5) e um respondente considerou completamente inadequado (nota 1 de 5);
- Quanto ao uso do modelo com enfoque em gerenciamento de manutenções, um respondente considerou o modelo regular (nota 3 de 5), um respondente considerou o modelo inadequado (nota 4 de 5) e um respondente considerou o modelo completamente inadequado (nota 1 de 5).

Além dos graus atribuídos, recomendações também foram feitas:

- A estrutura do viaduto pode conter melhor detalhamento estrutural. Os pilares, por exemplo, podem ser modelados de maneira a conter a representação das armaduras, dado que esse é um componente diretamente associado à diversas manifestações patológicas, e portanto, de interesse direto ao gerenciamento de manutenções;
- O estabelecimento do uso pretendido com o modelo pode levar a conclusões distintas sobre sua adequação, bem como o uso de diferentes *softwares* (que podem ser mais pertinentes);

- O modo como será realizado o armazenamento e distribuição da informação entre os envolvidos no processo também é um detalhe importante na execução e uso da modelagem, que foge de indicadores específicos para avaliar sua viabilidade;
- Ao apresentar versões em formatos portáteis (do tipo *PDF*, por exemplo) a envolvidos não tem acesso direto ao modelo, é importante configurar adequadamente filtros, para situação e identificação dos elementos, conforme exemplifica a Figura 21.

Figura 21 – Destaque, através de ajustes do filtro, dos elementos construtivos e da manifestação patológica



Fonte: Autor

Uma vez definidos os parâmetros, eles foram classificados segundo o sistema *OmniClass*, o que possibilita a garantia de formatos interoperáveis de informação. A classificação foi realizada tomando como base o tipo de dado previsto a estar contido em cada parâmetro, e como prevê a própria classificação, por vezes uma mesma entidade pode assumir uma combinação de critérios e tabelas. A recomendação de adoção está apresentada no Quadro 13.

A título de exemplo, o parâmetro “Condições de acesso”, é definido por sua função de acesso de circulação planejada, entre os elementos classificados como espaço por função (OMNICLASS, 2012a). Mas enquadra-se também, entre os elementos de propriedades, segundo seu desempenho (OMNICLASS, 2012b).

Quadro 13 - Classificação dos parâmetros no Sistema OmniClass

continua

GRUPO	PARÂMETRO	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO	FONTE
Localização	Condição de acessos	OmniClass Tabela 13 - Espaço por função; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012a) (OMNICLASS, 2012b)
	Condições ambientais	OmniClass Tabela 13 - Espaço por função; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012a) (OMNICLASS, 2012b)
	Tipo de tráfego	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Proteção de margem/APP	OmniClass Tabela 13 - Espaço por função; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012a) (OMNICLASS, 2012b)
	Vazão do curso d'água	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
Documentação	Projeto executivo inicial	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Projetos de intervenções	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Data das inspeções	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Autorizações especiais de trânsito (AET)	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Registros de colapsos	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)
	Vida útil prevista	OmniClass Tabela 36 - Informação;	(OMNICLASS, 2012c)

Quadro 13- Classificação dos parâmetros no Sistema OmniClass

continuação

GRUPO	PARÂMETRO	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO	FONTE
Infraestrutura: Fundações	Dimensões	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Tipos de materiais utilizados	OmniClass Tabela 41 – Materiais	(OMNICLASS, 2012d)
	Indicação de processos erosivos	OmniClass Tabela 32 – Serviços	(OMNICLASS, 2012e)
	Condições de drenagem	OmniClass Tabela 32 – Serviços; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012e) (OMNICLASS, 2012b)
	Avaliação e desempenho	OmniClass Tabela 32 – Serviços	(OMNICLASS, 2012e)
Mesoestrutura: Pilares	Dimensões	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Tipos de materiais utilizados	OmniClass Tabela 41 – Materiais	(OMNICLASS, 2012d)
	Torções	OmniClass Tabela 32 – Serviços; OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012e) (OMNICLASS, 2012f)
	Avaliação e desempenho	OmniClass Tabela 32 – Serviços	(OMNICLASS, 2012e)
Mesoestrutura: Aparelhos de apoio	Dimensões	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Tipos de materiais utilizados	OmniClass Tabela 41 – Materiais	(OMNICLASS, 2012d)
	Avaliação e desempenho	OmniClass Tabela 32 – Serviços	(OMNICLASS, 2012e)

Quadro 13- Classificação dos parâmetros no Sistema OmniClass

continuação

GRUPO	PARÂMETRO	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO	FONTE
Superestrutura	Dimensões	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Tipos de materiais utilizados no pavimento	OmniClass Tabela 41 – Materiais	(OMNICLASS, 2012d)
	Avaliação e desempenho do pavimento	OmniClass Tabela 32 – Serviços	(OMNICLASS, 2012e)
	Condições de drenagem	OmniClass Tabela 32 – Serviços; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012e) (OMNICLASS, 2012b)
	Dimensões das juntas de dilatação	OmniClass Tabela 14 – Espaços por forma; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Tipos de materiais utilizados das juntas de dilatação	OmniClass Tabela 41 – Materiais	(OMNICLASS, 2012d)
	Avaliação e desempenho das juntas de dilatação	OmniClass Tabela 32 – Serviços; OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012e) (OMNICLASS, 2012b)
	Existência de laje de aproximação	OmniClass Tabela 14 – Espaços por forma	(OMNICLASS, 2006)
	Condições dos guarda-corpos	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Condições da iluminação	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Condições da sinalização	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)

Quadro 13- Classificação dos parâmetros no Sistema OmniClass

conclusão

GRUPO	PARÂMETRO	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO	FONTE
Manifestações patológicas	Dimensões	OmniClass Tabela 49 - Propriedades;	(OMNICLASS, 2012b)
	Existência de armaduras expostas ou áreas com concreto poroso	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)
		OmniClass Tabela 49 - Propriedades; OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012b) (OMNICLASS, 2012f)
	Nível de agressividade	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)
		OmniClass Tabela 49 - Propriedades; OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012b) (OMNICLASS, 2012f)
	Perda de Seção	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)
		OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012f)
	Opções de reparo	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)
OmniClass Tabela 33 – Disciplinas		(OMNICLASS, 2012f)	
Reparo	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)	
	OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012f)	
Custo do reparo	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)	
	OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012f)	
Cronograma de reparos	OmniClass Tabela 32 – Serviços;	(OMNICLASS, 2012e)	
	OmniClass Tabela 33 – Disciplinas	(OMNICLASS, 2012f)	

Fonte: Autor

O modelo virtual, cujos parâmetros necessários ao gerenciamento de manutenções foram definidos, pode compor, em um primeiro momento, a documentação prevista pelo sistema de gestão de pontes atualmente em uso pelo DNIT, o SGO – Sistema de Gestão de Pontes, ilustrado na Figura 22

Figura 22 – Tela principal do SGO

The screenshot displays the SGO v3 software interface. The title bar reads "SGO v3 - DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - [Cadastro de Obras]". The main window is titled "Cadastro de Obras" and features a navigation menu on the left with options like "Consultas", "Cadastro de Obras", "Inspeções", etc. The central area is divided into several tabs: "Identificação", "Carac. Funcionais", "Rotas Alternativas", "Aspectos Especiais", "Elementos Componentes", "Deficiências Funcionais", and "Substituição". The "Identificação" tab is active, showing a form with the following data:

OAE	60277
Identificação	Ponte s/ o Rio São Marcos
Altitude (m)	811,00
Latitude	17° 2,080'
Longitude	47° 9,809'
Tipo da Estrutura	Viga de concreto armado
Natureza da Transposição	Ponte
Sistema Construtivo	Moldado no local
Unit / UIL	6 / 12
Rodovia / UF	BR040 / MG
Trecho (PVM)	0406MG0090
Local na Rodovia (km)	0,00
Cidade mais Próxima	Paracatu
Dimensões (Comp x Larg)	270,00 x 10,00
Tipo de Administração	Administração Direta
Administrador	Depto Nac de Infra-Estrutura e Transport
Projetista	Sérgio Marques de Souza
Construtor	Soc. Engª Comércio Ltda - Construtores
Trem-Tipo	24
Ano de Construção	1958
Localização do Projeto	6ª UNIT
Local Docxos Construção	
Local Documentos Diversos	
Period. Inspeção (Anos)	2
Equipamento de Inspeção	Não
Melhor Época p/ Inspeção	Jun à Nov
Arquivo de Vídeo	c:\sgo\videos\video.mpg
Data de Cadastramento	11/02/2004

On the right side, there is a photo gallery showing a view of the bridge. Below the photo, there is a table with columns "Descrição", "Cód", "Data", and "Tipo de Arquivo". The first entry is:

Descrição	Cód	Data	Tipo de Arquivo
Pista sentido Paracatu.	1	03/11/2002	Foto

At the bottom of the window, there is a taskbar with the Windows logo, "Iniciar", and several open applications including "SIGA REDE - Sistema de...", "Sgo", "SGO", "TELAS-SGO-LUCIANA.od...", and "Sem Título1 - BrOffice.or...". The system clock shows "16:36".

Fonte: (MENDES, 2011)

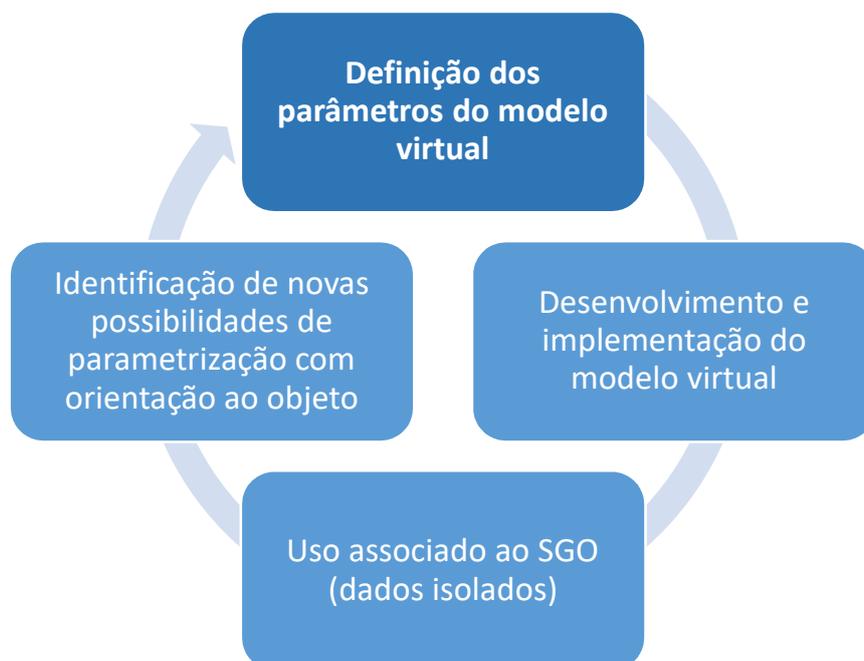
A informação, que no SGO consta em disposição de cadastro, composto por dados que não se encontram integrados, no modelo seria vinculada diretamente aos elementos da própria ponte, ou seja, os dados passariam a ser orientados ao objeto, representados diretamente na localização ou elemento onde se insere.

A série de procedimentos próprios à alimentação do banco de dados do SGO poderia ser agilizada através do uso de modelos virtuais de construção, com representações mais explícitas e aplicações via equipamentos portáteis. A

interoperabilidade e colaboratividade próprias desse conceito também são vantagens no uso deste tipo de modelo virtual de construção, que atinge disciplinas (profissionais) e hierarquias bastante diversas.

A implementação de novas tecnologias costuma gerar resistência por parte dos usuários, mas é importante perceber que um modelo virtual não vai, de maneira instantânea, substituir um sistema de gestão consolidado. Parte-se de modelos simplificados, conforme apresentado neste trabalho, com a inserção dos parâmetros consolidados nesta pesquisa. Este modelo vai compor uma série de dados (incluindo projetos, tabelas e outros dados não integrados) que alimentam o sistema de gestão, e à medida que o modelo é efetivamente utilizado, novas demandas podem ser identificadas, que levarão à necessidade de implementação de novos parâmetros, ajustes no modelo e nova rodada de aplicações. O uso contínuo, com essas melhorias vai, paulatinamente, reduzindo o volume de dados não integrados (do sistema de gestão de pontes atual) e aumentando o volume de dados orientado ao objeto (próprios do modelo virtual), conforme representado no esquema ilustrado na Figura 23

Figura 23 – Ciclo de utilização associada entre o modelo virtual e o SGO



Fonte: Autor

Essa dinâmica é aplicável ao contexto de utilização do modelo virtual diretamente no estágio pós-construção no qual se insere a gestão de facilidades, ou, especificamente, o gerenciamento de manutenções, ou seja, para obras pré-existentes, em operação. Para o caso do desenvolvimento de um modelo virtual nas etapas iniciais do ciclo de vida da obra, é mais coerente trabalhar com aplicação mais ampla do conceito e maior concentração de dados no modelo, expandindo a gama de vantagens que seu uso permite.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um parâmetro aplicado a um modelo virtual de construção – em especial os que remetem diretamente ao gerenciamento de manutenções – provê a possibilidade de acompanhamento da obra. Esse dado pode ser mantido de maneira agregada à documentação geral de um determinado projeto, através de conceitos da modelagem paramétrica da informação, comumente denominada *BIM*, *Building Information Modeling*, ou quando aplicado à pontes ou viadutos, *BrIM*, *Bridge Information Modeling*.

A modelagem da informação de pontes e viadutos é benéfica devido a organização e acessibilidade ao banco de dados, facilitando a obtenção de informação, incrementando a velocidade na tomada de decisão e consequentemente reduzindo entraves do gerenciamento da manutenção de construções

Entretanto, é comum, na indústria da construção, a geração de grande quantidade de dados e documentos. A digitalização e consequente automação dos sistemas de informação incentiva a concentração de todos os dados possíveis, mas isso pode desencadear um fenômeno de sobrecarga de informação, cuja solução é a definição de qual informação é, efetivamente, essencial.

Um dos princípios do BIM é sua utilização durante todo o ciclo de vida da obra modelada, ou seja, o acúmulo de dados desde sua concepção até o fim de sua funcionalidade. Uma vez que há no Brasil um número muito maior de pontes em operação – e com demandas de manutenção – do que novos projetos, é razoável o estabelecimento de modelos simplificados, com enfoque em gerenciamento de manutenções, aliando as vantagens de uma construção virtual possibilitada através do *BIM*, às necessidades de um sistema de gestão de pontes.

Combinando entrevistas com profissionais ligados à gestão de pontes e regulamentações nacionais e internacionais, esta investigação compilou os parâmetros presentes nas diversas referências utilizadas, respondendo o

problema de pesquisa inicial, que buscava delimitar quais são os dados relevantes à etapa de gerenciamento de manutenções de pontes.

Os parâmetros resultantes de cada fonte (definidos como um conjunto cada) foram organizados em categorias, relativas a: a localização e condições de onde se encontra; a documentação associada ao projeto; o encontro ponte-rodovia e as paredes de contenção; a infraestrutura de fundações; os pilares da mesoestrutura; os aparelhos de apoio da mesoestrutura; a superestrutura e as manifestações patológicas. Da união dos conjuntos foram estabelecidos os parâmetros resultantes dessa pesquisa.

Esse inventário de parâmetros escolhidos foi avaliado, com bons resultados da perspectiva de gestores de pontes. Na análise relativa ao modelo desenvolvido, na interpretação dos profissionais de *BIM*, foi assinalada a necessidade de melhorias ou seja, o modelo projetado foi considerado excessivamente simplista.

Por fim, os parâmetros foram classificados dentro do sistema *OmniClass*, que busca a padronização dos formatos de apresentação de dados, sistema no qual a Comissão de Estudo Especial de Modelagem da Informação da Construção se embasa durante o desenvolvimento da norma brasileira de sistemas de classificação de elementos e componentes da construção. Uma tabela com uma recomendação de distribuição foi apresentada no Capítulo 5.

O desenvolvimento de modelos virtuais de obras de arte especiais ainda encontra-se disperso, apesar dos esforços de integração. Destaca-se, entre as limitações encontradas na execução deste trabalho, encontrar profissionais que atuassem concomitante nas duas áreas correlacionadas nesta investigação, ou seja, a modelagem virtual e o gerenciamento de manutenção de pontes. A perspectiva, neste âmbito, é de mudança de cenário, visto que os conceitos de *BIM* vem sendo disseminados no ciclo de vida de edificações, sendo inclusive solicitados, como pré-requisito, em diversos processos licitatórios.

Para evolução desta pesquisa, recomenda-se a execução de novos estudos de caso, através da implantação destes parâmetros e avaliação quantitativa de sua eficácia. Estudos que ampliem o uso de modelos com foco na gestão de manutenções abrem uma gama de possibilidades usualmente

ignoradas devido à preferência dada ao uso do modelo desde o início do projeto. Considerando os custos altos despendidos nas fases pós-construção (operação, manutenção), é importante que este cenário seja revertido, ou, minimamente, seja menos negligenciado.

Esta pesquisa foi limitada em relação ao uso de sistemas de modelagem BIM. O desenvolvimento de modelos virtuais de pontes e viadutos em outros contextos (estágios de aplicação) e diferentes *softwares* também são investigações que devem ser exploradas em estudos futuros. Outra oportunidade de prosseguimento dessa pesquisa é a aplicação dos parâmetros definidos ao uso no modelo como possíveis indicadores de desempenho da estrutura.

É comum a resistência à adoção de novas tecnologias, por essa razão, o processo de implementação do modelo de informação não deve substituir de maneira repentina os sistemas de gestão de pontes, e sim ser aplicado de maneira conveniente, com a implementação dos parâmetros listados acima e a inclusão gradual de novas demandas de elementos com possibilidade de orientação ao objeto. Este processo cíclico é válido para aplicações realizadas diretamente em obras já inseridas no contexto de gestão de facilidades. Para modelos desenvolvidos concomitantemente com o início do projeto, é mais razoável estabelecer aplicação mais ampla do conceito BIM, e assim, extrair mais vantagens do seu uso.

REFERÊNCIAS

AASHTO. The Manual for Bridge Evaluation. p. 820, 2011.

ABNT/CEE. **ABNT/CEE-134 - Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cee-134>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

_____. **Primeiro projeto de revisão: NBR 9.452:2014 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto**, 2014.

AMANN, J.; SINGER, D.; BORRMANN, A. **Extension of the Upcoming IFC Alignment Standard with Cross Sections for Road Design**. Munich: 2013.

AMORIM, D. L. N. F.; BARBOZA, A. S. R. Análise Do Comportamento De Sistemas Estruturais De Grelha Aplicada Ao Tabuleiro Associada a Um Modelo. **Asociación Argentina de Mecánica Computacional**, v. XXIX, p. 15–18, 2010.

ANDERSON, A.; MASTERS, A.; DOSSICK, C. S.; NEFF, D. **Construction to Operations Exchange: Chalenges of implementing COBie and BIM in a Large Owner Organization**. Construction Research Congress 2012. **Anais...West Laffayette**: 2012

ANTUNES, C. E. **Mapeamento de processos e determinação de requisitos de informação em projetos de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM: estudo de caso utilizando a metodologia IDM**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2014.

ARAUJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.

BARLISH, K.; SULLIVAN, K. How to measure the benefits of BIM - A case study approach. **Automation in Construction**, v. 24, p. 149–159, 2012.

BAZJANAC, V.; CRAWLEY, D. B. The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, 1997.

BRASIL/DNER. **DNER-TER002-79 - Conservação, restauração e melhoramentos - Terminologia**, 1979.

BRASIL/DNIT. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. 2004, p. 18.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of building information modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 971–980, 2013.

BUILDINGSMART. **Infrastructure - Vision**. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/scoping-work>>.

CAPIVARI-CACHOEIRA. **Desastre ocorrido na ponte do Capivari Cachoeira**. Disponível em: <<http://represadocapivari.blogspot.com.br/>>.

CHATFIELD-TAYLOR, C. Investing in intelligent infrastructure. **CE News**, p. 26–28, 2009.

CHEN, S. S.; LI, J. W.; TANGIRALA, V. K.; SHIROLÉ, A. M.; SWEENEY, T. Accelerating the Design and Delivery of Bridges with 3D Bridge Information Modeling: Pilot Study of 3D-Centric Modeling Processes for Integrated Design and Construction of Highway Bridges. **Final Report for Highway IDEA Project 108**, n. August, p. 108, 2006.

CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2014: relatório gerencial. p. 388, 2014a.

_____. O que o Brasil precisa em transporte e logística - propostas da CNT aos candidatos à presidência. p. 52, 2014b.

_____. Análise de Custo-Benefício em projetos de infraestrutura. **Economia em Foco**, p. 2, 2015.

CSI. **OmniClass: Introduction and User's Guide** Canada, 2006. Disponível em: <http://www.omniclass.org/tables/OmniClass_Main_Intro_2006-03-28.pdf>

DEBS, L. D. C. EL; FERREIRA, S. L. Diretrizes para processo de projeto de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 41–60, 2014.

DNIT. **Mapa Estratégico**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-estrategico/mapa-estrategico>>.

DURANTE, F. K. **Proposta de diretrizes para o desenvolvimento do projeto do sistema de produção apoiado pelos processos BIM**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2016.

EAST, B. **Construction-Operations Building Information Exchange**. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/resources/construction-operations-building-information-exchange-cobie>>. Acesso em: 7 fev. 2017.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

ELBEHAIRY, H.; HEGAZY, T.; SOUDKI, K. Integrated Multiple-Element Bridge Management System. **Journal of Bridge Engineering**, v. 14, p. 179–187, 2009.

EMEA. **Relatório técnico das pontes do Paraná gerenciadas pelo DNIT**. Curitiba: 2016.

_____. **EMEA - Quem somos**. Disponível em: <<http://www.emeaufpr.com.br/p/quem-somos.html>>. Acesso em: 11 ago. 2016a.

_____. **EMEA UFPR - Projetos.** Disponível em: <<http://www.emeaufpr.com.br/p/projetos.html>>. Acesso em: 24 jun. 2016b.

FROESE, T.; FISCHER, M.; GROBLER, F.; RITZENTHALER, J.; YU, K. Industry Foundation Classes for Project Management - a Trial Implementation. **ITcon**, v. 4, n. November, p. 17–36, 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HAMIL, S. **What is COBie?** Disponível em: <<http://www.thenbs.com/topics/BIM/articles/whatIsCOBie.asp>>. Acesso em: 21.jan. 2016.

HELENE, P. R. DO L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1992.

HOLZER, D. BIM ' s Seven Deadly Sins. **International Journal of Architectural Computing**, v. 9, n. 4, p. 463–480, 2012.

JEONG, S.; BYUN, J.; KIM, D.; SOHN, H.; BAE, I. H.; LAW, K. H. **A data management infrastructure for bridge monitoring.** SPIE. **Anais...2015.** Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2177109>>

KANG, T.; CHOI, H. BIM perspective definition metadata for interworking facility management data. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 4, p. 958–970, 2015.

KASSEM, M.; KELLY, G.; DAWOOD, N.; SERGINSON, M.; LOCKLEY, S. BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 261–277, 2015.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. DE. **BIM - Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia Apoio aos Diálogos Setoriais UE-Brasil.** Brasília: 2015.

LAFLAMME, S. **BrIM Implementation for Documentation of Bridge Element Condition for Inspection.** Disponível em: <<http://www.ccee.iastate.edu/files/2011/06/Firas-Shalabi-ConE-and-Structures.pdf>>.

LEE, S. H.; KIM, B. G. IFC extension for road structures and digital modeling. **The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction**, v. 14, p. 1037–1042, 2011.

LIEBICH, T.; AMANN, J.; BORRMANN, A.; CHIPMAN, T.; LEBEGUE, E.; MARACHE, M.; SCARPONCINI, P. **IFC Alignment.** Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc5-extension-projects/ifc-alignment/ifcalignment-projectpresentation-cs-1>>.

LU, W.; FUNG, A.; PENG, Y.; LIANG, C.; ROWLINGSON, S. Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves. **Building and Environment**, v. 82, p. 317–327, 2014.

MABRICH, A. **BrIM: Bridge Information Modeling - Nueva Tecnologia para el Análisis, Diseño y Mantenimiento de Puentes**. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. **Anais...**2014

MAIA, B. L. **Análise do fluxo de informações no processo de manutenção predial apoiada em BIM: Estudo de caso em coberturas**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2016.

MALEWSCHIK, F. H. **BIM e DFMA visando a redução da quantidade de partes da construção**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2016.

MARZOUK, M. **Bridge Information Modeling in Sustainable Bridge Management**. International Conference on Sustainable Design and Construction 2011. **Anais...**2012

MARZOUK, M.; HISHAM, M. Implementing earned value management using bridge information modeling. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 5, p. 1302–1313, 2014.

MCGUIRE, B. M. **Using Building Information Modeling to track and assess the structural condition of bridges**. Tese (Mestrado). Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado State University, 2014.

MENDES, P. DE T. C. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

MINEHANE, M.; Ruane, K.; Keeffe, O; Sullivan, G. O.; Mckenna, T. **Developing an “ as-i s ” Bridge Information Model (BrIM) for a Heritage Listed Viaduct**. p. 181–188, 2015.

MOGHADDAM, D. G. **Framework for Integrating Bridge Inspection Data with Bridge Information Model**. Tese (Doutorado). Concordia Institute for Information Systems Engineering. Concordia University. Montreal: 2014.

MONTEIRO, P. S.; WAJDOWICZ, C. C.; SANTOS, A. DE P. L.; SANTOS FILHO, M. L. **Bridge information modeling: A systematic literature review**. 8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS. **Anais...**Foz do Iguaçu: 2016

MORÁN, G. A. L. **Índices geométricos de puentes carreteros de hormigón armado**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2002.

MOREIRA, A. R. **Metodologia para avaliação de estruturas de pontes – usando a teoria de confiabilidade – Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2002.

MOTAWA, I.; ALMARSHAD, A. A knowledge-based BIM system for building maintenance. **Automation in Construction**, v. 29, p. 173–182, 2013.

MÜLLER, R. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações em pontes e viadutos rodoviários no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2004.

OMNICLASS. Table 14 - Spaces by Form. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2006.

_____. Table 13 – Spaces by Function. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, p. 50, 2012a.

_____. Table 49 - Properties. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2012b.

_____. Table 36 - Information. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2012c.

_____. Table 41 - Materials. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2012d.

_____. Table 32 - Services. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2012e.

_____. Table 33 - Disciplines. **A Strategy for Classifying the Built Environment**, 2012f.

PFEIL, W. **Pontes - Curso Básico: projeto, construção e manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1983.

_____. **Pontes em concreto armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1990.

POÇAS, R. DE F. G. **Gestão do Ciclo de vida de Pontes**. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Coimbra: 2009.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner-researchers**. Oxford: Blackwell Publishing, 2002. v. 142

SAKAMORI, M. M. **Modelagem 5D (BIM) - processo de orçamentação com estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2015.

SHIM, C. S.; YUN, N. R.; SONG, H. H. **Application of 3D bridge information modeling to design and construction of bridges**. The Twelfth East Asia-

Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. **Anais...2011**

SHIROLÉ, A. M.; CHEN, S. S.; PUCKETT, J. A. **Bridge Information Modeling for the Life Cycle**. 10. International Conference on Bridge and Structure Management. **Anais...2008**

SIQUEIRA, C. H. **Palestra “Ponte Rio-Niterói: Referência Mundial em Manutenção de Grandes Obras”**, 2015.

SOUZA, D. I.; MÜLLER, D. M.; FRACASSI, M. A. T.; ROMEIRO, S. B. B. Manual de orientações para projetos de pesquisa. **Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira Da Cunha**, v. 1, p. 1–56, 2013.

SOUZA, V. C. DE. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1998.

TIBAUT, A.; PECNIK, S.; KOROSK, M. R.; MIHALIC, K.; ZABREZNIK, I. BIM-based parametric modeling of roads and infrastructure objects. **Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015, 27th-29th October 2015, Eindhoven, The Netherlands**, p. 725–734, 2015.

TURKAN, Y.; LAFLAMME, S.; AL-SHALABI, F. **Digital Documentation of Element Condition for Bridge Evaluation**. Report # MATC-ISU: 236 Final Report. **Anais...2015**

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R. M. M. C. Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil. **3º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes**, p. 62–70, 2013.

WITICOVSKI, L. C. **Levantamento de quantitativos em projeto: uma análise comparativa do fluxo de informações entre as representações em 2D e o modelo de informações da construção (BIM)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2011.

YIN, R. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE 01 – QUESTIONÁRIO APLICADO AO EMEA

PERFIL DO ENTREVISTADO

Responda estes itens abaixo, segundo a instrução de cada um deles, sobre a sua experiência acadêmica e profissional e atuação dentro do EMEA

1. Qual seu nível escolar?

Marcar apenas uma oval.

- Técnico
- Graduação incompleta
- Graduação completa
- Especialização incompleta
- Especialização completa
- Mestrado incompleto
- Mestrado completo
- Doutorado incompleto
- Doutorado completo
- Outro: _____

2. Atuação profissional no EMEA

Quais atividades você executa nos projetos de manutenção de pontes desenvolvidos?

Marque todas que se aplicam.

- Desenvolvimento de projetos (desenhos);
- Previsão de custos/orçamentação;
- Previsão de prazos/elaboração de cronogramas;
- Definição de critérios técnicos a serem aplicados na manutenção das pontes;
- Vistorias e inspeções;
- Outro: _____

3. Uso de software CAD no EMEA

Quais atividades você executa utilizando software CAD?

Marque todas que se aplicam.

- Não utilizo CAD no EMEA;
- Desenvolvimento de projetos (desenho);
- Extração de dados do projeto;
- Modificações no projeto;
- Outro: _____

4. Você tem experiência profissional prévia ao EMEA em projetos na área de pontes?

(Sim/não e em caso positivo, quanto tempo)

CONHECIMENTOS ACERCA DO CONCEITO BIM

Responda estes itens abaixo, segundo a instrução de cada um deles, sobre seu conhecimento prévio sobre Building Information Modeling e sua aplicação em pontes.

5. Antes da apresentação realizada, você conhecia o conceito BIM?

Assinale, neste item, a resposta que mais se aproxima da realidade.

Marcar apenas uma oval.

- Nunca tinha ouvido falar a respeito;
- Já tinha ouvido falar, mas sem nenhuma profundidade;
- Conheço conceitualmente, mas nunca tive contato com nenhum modelo;
- Tenho alguma experiência em modelagem BIM;
- Tenho ampla experiência em modelagem BIM;

6. O que você conhecia previamente sobre BIM?

Caso você tenha algum conhecimento prévio, indique sucintamente quais conceitos, aplicações, softwares, etc.

7. Você tem acesso a alguma ferramenta BIM?

Marcar apenas uma oval.

- Não tenho acesso a nenhuma ferramenta BIM;
- Tenho acesso a ferramentas BIM, mas não utilizo;
- Tenho acesso, mas utilizo apenas para fins de visualização;
- Tenho acesso, mas com acesso restrito (poucos projetos ou funções);
- Trabalho frequentemente com ferramentas BIM;

8. A quais ferramentas BIM você tem acesso?

Caso você tenha acesso a alguma ferramenta, indique quais.

MODELO BrIM - VIADUTO SOBRE A BR-476

Responda estes itens abaixo, segundo a instrução de cada um deles, sobre a sua percepção sobre o modelo BrIM desenvolvido neste estudo e apresentado.

9. Do seu ponto de vista, a implantação da modelagem BrIM pode ser eficiente?

Sendo que 1 significa que você discorda completamente e 5 que você concorda plenamente.
 Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

10. Você acredita que a manipulação dos dados diretamente no modelo BrIM traria mais organização aos sistemas de gestão de pontas?

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

11. Você acredita que a concentração dos dados dentro do modelo BrIM traria mais agilidade aos sistemas de gestão de pontas?

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

12. Você acredita que a acessibilidade aos dados dentro do modelo BrIM para os vários profissionais atuando nele seria facilitado em um sistemas de gestão de pontas?

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

13. Você acredita que a forma de visualização do projeto com a utilização do modelo BrIM seria aperfeiçoada?

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

14. Você acredita que a forma de visualização das manifestações patológicas detectadas em inspeções e registradas no modelo BrIM seria aperfeiçoada?

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

15. **Você acredita que o acesso aos dados a respeito das manifestações patológicas detectadas em inspeções e registradas no modelo BrIM seria aperfeiçoada?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

16. **Você preferiria manipular os dados a respeito das manifestações patológicas detectadas em inspeções no modelo BrIM ao invés de uma planilha eletrônica comum?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

17. **Você acredita que os parâmetros adotados na elaboração do modelo apresentado são suficientes para suprir as necessidades de um sistema de gestão de pontes?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

18. **Quais elementos deveriam ter um nível de detalhamento maior na modelagem?**

.....

.....

.....

.....

19. **Considere o custo de aquisição de uma ferramenta BIM em uma ordem de 40% maior que de uma ferramenta CAD, Você acha o custo-benefício favorável?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

20. **Em que situações você acredita que a tecnologia BrIM mostra-se viável?**

Marque todas que se aplicam.

- Nunca;
- Somente em novas obras;
- Como ferramenta de apoio a sistemas de gestão de pontes;
- Em pontes sujeitas a intervenções significativas (reforço ou reabilitação);
- Sempre;

21. Quais destes fundamentos próprios do BIM você acredita que poderiam ser efetivamente atingidos com a utilização do modelo apresentado?

Marque todas que se aplicam.

- Inclusão de parâmetros diversos no modelo (concentração de dados em uma única fonte);
- Orientação a objetos (distribuição dos dados associados a cada elemento da ponte);
- Uso em todo o ciclo de vida da ponte;
- Colaboratividade (diversos profissionais trabalhando no mesmo modelo);
- Interoperabilidade (padronização de formato de dados e possibilidade de reutilização de dados);
- Biblioteca de componentes (estabelecimento de elementos típicos para uso no desenvolvimento dos projetos);

22. Indique os cinco parâmetros (ou características) que você considera de maior importância no desenvolvimento de uma ferramenta computacional que represente apoio a um sistema de gestão de pontes

APÊNDICE 02 – QUESTIONÁRIO APLICADO NO WORKSHOP GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

PERFIL DO ENTREVISTADO

Responda estes itens abaixo, segundo a instrução de cada um deles, sobre a sua experiência acadêmica e profissional.

1. Qual seu nível escolar?

Marcar apenas uma oval.

- Técnico
- Graduação incompleta
- Graduação completa
- Especialização incompleta
- Especialização completa
- Mestrado incompleto
- Mestrado completo
- Doutorado incompleto
- Doutorado completo
- Outro:

2. Atuação profissional

Quais destas atividades enquadram-se na sua experiência em projetos de manutenção de pontes?

Marque todas que se aplicam.

- Desenvolvimento de projetos;
- Previsão de custos/orçamentação;
- Previsão de prazos/elaboração de cronogramas;
- Desenvolvimento de projetos de manutenção das pontes;
- Vistorias e inspeções;
- Outro:

3. Uso de software CAD

Você ou sua empresa executam atividades utilizando software CAD?

Marque todas que se aplicam.

- Não utilizamos CAD;
- Desenvolvimento de projetos;
- Extração de dados do projeto;
- Modificações no projeto;
- Outro:

4. Uso de software BIM

Você ou sua empresa executam atividades utilizando software BIM?
 Marque todas que se aplicam.

- Não utilizamos BIM;
- Desenvolvimento de projetos;
- Extração de dados do projeto;
- Modificações no projeto;
- Outro:

5. Quanto tempo de experiência profissional você tem em projetos na área de pontes?

(Indique em anos ou meses)

.....

MODELO BrIM - VIADUTO SOBRE A BR-476

Responda estes itens abaixo, segundo a instrução de cada um deles, sobre a sua percepção sobre o modelo BrIM desenvolvido neste estudo e apresentado.

6. Você acredita que a distribuição dos dados relativos a um projeto (entre vários arquivos, órgãos, projetistas, etc.) dificulta o controle e a gestão de pontes?

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

7. Você acredita que a forma de visualização dos dados relativos a um projeto tem impacto no controle e gestão de pontes?

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

8. Você acredita que a forma de registro e visualização das manifestações patológicas detectadas em inspeções tem impacto no controle e gestão de pontes?

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

9. Você acredita que o acesso aos dados a respeito das manifestações patológicas detectadas em inspeções e registradas em modelo virtual pode facilitar o controle e gestão de pontes?

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

10. **Você acredita que os parâmetros adotados na elaboração do modelo apresentado são suficientes para suprir as necessidades de um sistema de gestão de pontes?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

11. **Quais elementos deveriam ter um nível de detalhamento maior na modelagem?**

.....

.....

.....

12. **Considere o custo de aquisição de uma ferramenta BIM (modelagem virtual da construção) em uma ordem de 40% maior que de uma ferramenta CAD. Você acha o custo-benefício favorável?**

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo completamente	<input type="radio"/>	Concordo plenamente				

13. **Em que situações você acredita que a tecnologia BrIM mostra-se viável?**

Marque todas que se aplicam.

- Nunca;
- Somente em novas obras;
- Como ferramenta de apoio a sistemas de gestão de pontes;
- Em pontes sujeitas a intervenções significativas (reforço ou reabilitação);
- Sempre;

14. **Quais destes fundamentos próprios podem auxiliar numa ferramenta de apoio a gestão de pontes?**

Marque todas que se aplicam.

- Inclusão de parâmetros diversos no modelo (concentração de dados em uma única fonte);
- Orientação a objetos (distribuição dos dados associados a cada elemento da ponte);
- Uso em todo o ciclo de vida da ponte;
- Colaboratividade (diversos profissionais trabalhando no mesmo modelo);
- Interoperabilidade (padronização de formato de dados e possibilidade de reutilização de dados);
- Biblioteca de componentes (estabelecimento de elementos típicos para uso no desenvolvimento dos projetos);

15. **Indique os cinco parâmetros (ou características, elementos da ponte) que você considera de maior importância no desenvolvimento de uma ferramenta computacional que represente apoio a um sistema de gestão de pontes**

.....

.....

.....

APÊNDICE 03 – RESULTADOS DA PRIMEIRA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA - BrIM

A Comparative Review of Building Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries	(SHOU et al., 2014)
A Data Management Infrastructure for Bridge Monitoring	(JEONG et al., 2015)
Accelerating the design and delivery of bridges with 3D bridge information modeling: pilot study of 3D-centric modeling processes for integrated design and construction of highway bridges	(CHEN et al., 2006)
Achieving BIM and CIM implementation through quality management	(MILLS, 2010)
Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM	(SHIN et al., 2011)
Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges	(SHIM; YUN; SONG, 2011)
Arch Bridge in Nijmegen - New 3D Approach to Workshop Plans	(FRANC; PECHAL, 2012)
Bridge Information Modeling for the Life Cycle	(SHIROLÉ; CHEN; PUCKETT, 2008)
Bridge information modeling in sustainable bridge management	(MARZOUK, 2012)
Bridge information modeling to cover a complete set of processes	(PETERS, 2009)
BrIM Implementation for Documentation of Bridge Element Condition for Inspection	(LAFLAMME, 2013)
BrIM: Bridge Information Modeling Nueva Tecnología para el análisis, diseño y mantenimiento de puentes	(MABRICH, 2014)
Can BIM be civil?	(DROGEMULLER, 2009)
Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule	(MOON; DAWOOD; KANG, 2014)
Digital Documentation of Element Condition for Bridge Evaluation	(TURKAN; LAFLAMME; AL-SHALABI, 2015)
Discrete event simulation and 4D modelling for elevated highway reconstruction projects	(MAWLANA et al., 2012)
Exchange of parametric bridge models using a neutral data format	(JI et al., 2013)
Framework for Integrating Bridge Inspection Data with Bridge Information Model	(MOGHADDAM, 2014)
IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling	(LEE; KIM, 2011)
Implementing BIM on Infrastructure: Comparison of Two Bridge Construction Projects	(FANNING et al., 2014)
Implementing earned value management using bridge information modeling	(MARZOUK; HISHAM, 2014)
Integrating a fuzzy-logic decision support system with bridge information modelling and cost estimation at conceptual design stage of concrete box-girder bridges	(MARKIZ; JRADE, 2014)
Integration of Bridge Model Data and Engineering Document Information	(KIM; PH, 2013)
On the use of building information modeling in infrastructure bridges	(SEIF et al., 2010)
Open BIM-based information modeling of railway bridges and its application concept	(KÖNIG, 2014)
Parametric modeling in transportation construction	(AGDAS; ELLIS, 2010)
Real-time drill monitoring and control using building information models augmented with 3D imaging data	(AKULA et al., 2013)
Standard Classification for Bridge Elements—UNIFORMAT II	(ASTM, 2013)
State of the art report on the flow of information in a bridge life cycle	(OGBEIDE, 2010)
Ten minutes with the godfathers of bridge information modeling	(CHO, 2009)
Unified Frontiers: Reaching Out with BIM	(SHARPLES, 2009)
Using building information modeling to track and assess the structural condition of bridges	(MCGUIRE, 2014a)
Using the methodology BrIM (Bridge Information Modeling) as a tool for planning the construction of a concrete bridge in Colombia	(JUAN SEBASTIÁN GAITÁN CABRERA, 2014)
Virtual prototyping for planning bridge construction	(LI et al., 2012)

APÊNDICE 04 – QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS COM EXPERIÊNCIA EM GESTÃO DE PONTES

Parâmetros indicados para modelagem da informação aplicável ao gerenciamento da manutenção de pontes.

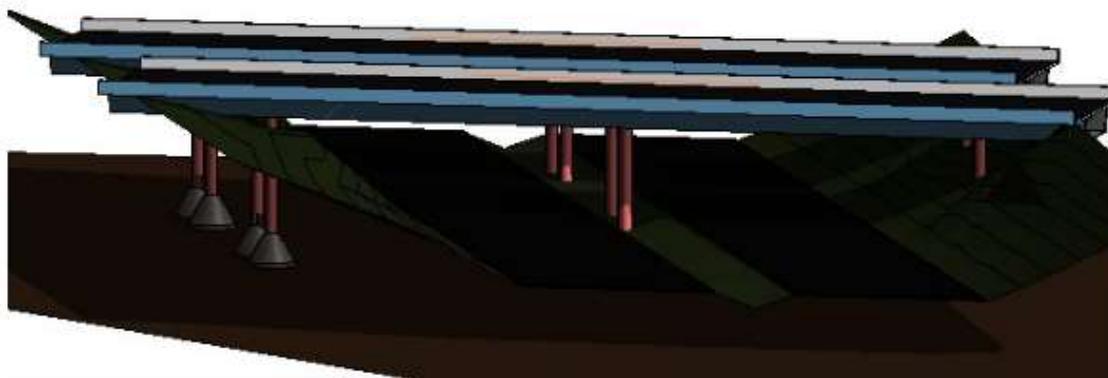
A modelagem de informação de uma construção inclui o seu desenho tridimensional, no qual cada elemento possui atributos associados a ele (o que se denomina orientação ao objeto). Entre os objetos encontram-se elementos próprios da geometria da obra de arte especial, e, considerando o foco em gerenciamento de manutenções, encontram-se representações de manifestações patológicas, conforme exemplificado nas imagens presentes no formulário. Neste contexto, por favor, responda os itens indicados.

*Obrigatório

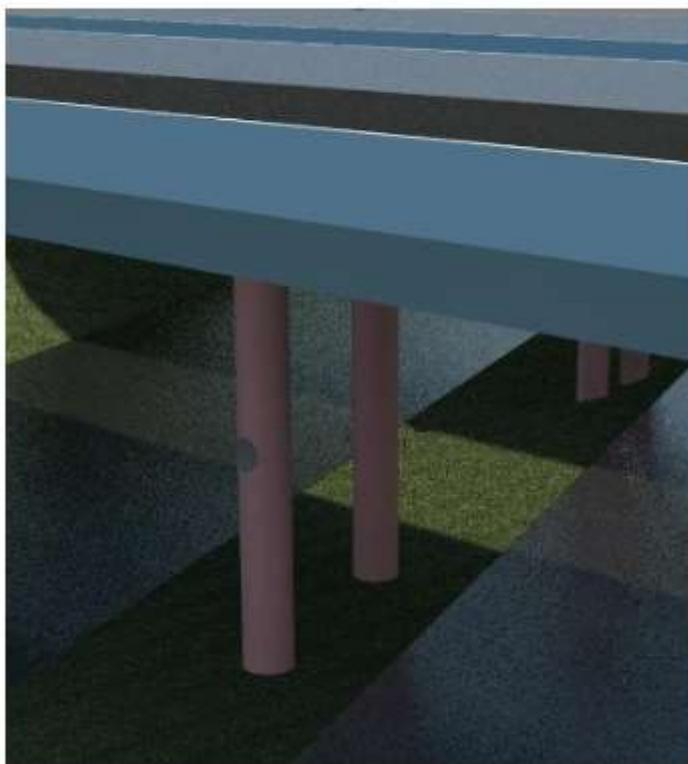
Endereço de e-mail *

Seu e-mail

Viaduto sobre a BR-476 modelado



Representação de manifestação patológica no pilar do modelo



Para definição dos parâmetros de interesse ao gerenciamento de manutenção de pontes, foram compilados dados de entrevistas bem como de diversas normas, nacionais e internacionais, resultando nos elementos abaixo. Marque as caixas de seleção a seguir, conforme suas impressões.

CADASTRAL	
Localização	<input type="checkbox"/> Condição de acessos <input type="checkbox"/> Condições ambientais <input type="checkbox"/> Tipo de tráfego <input type="checkbox"/> Vazão do curso d'água
Documentação	<input type="checkbox"/> Projetos <input type="checkbox"/> Data das inspeções <input type="checkbox"/> Registros de colapsos <input type="checkbox"/> Vida útil prevista

GEOMETRIA E ELEMENTOS ESTRUTURAIS	
Encontro: Paredes de contenção	Dimensões Tipos de materiais utilizados Talude Indicação de processos erosivos Condições de drenagem Avaliação e desempenho
Infraestrutura: Fundações	Dimensões Tipos de materiais utilizados Indicação de processos erosivos Condições de drenagem Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Pilares	Dimensões Tipos de materiais utilizados Torções Avaliação e desempenho
Mesoestrutura: Aparelhos de apoio	Dimensões Tipos de materiais utilizados Avaliação e desempenho
Superestrutura	Dimensões Tipos de materiais utilizados no pavimento Avaliação e desempenho do pavimento Condições de drenagem Dimensões das juntas de dilatação Tipos de materiais utilizados das juntas de dilatação Avaliação e desempenho das juntas de dilatação Condições dos guarda-corpos Condições da iluminação Condições da sinalização
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
	Dimensões Existência de armaduras expostas ou áreas com concreto poroso Perda de Seção Opções de reparo Reparo Custo do reparo Cronograma de reparos

- A escolha dos parâmetros está adequada ao uso em ferramenta de gerenciamento de manutenção de ponte
- A organização dos parâmetros está adequada ao uso em ferramenta de gerenciamento de manutenções
- Estou de acordo com os parâmetros definidos
- Não estou de acordo com os parâmetros definidos

Sugestões e comentários a respeito dos parâmetros do modelo, considerando o foco no gerenciamento de manutenções da ponte

Texto de resposta longa

Caso não esteja de acordo com os parâmetros, informe quais poderiam ter sido incluídos para tornar o modelo mais eficiente.

Texto de resposta longa

Caso não esteja de acordo com a organização dos parâmetros, informe como poderia ser a organização, de modo a tornar o modelo mais eficiente.

Texto de resposta longa

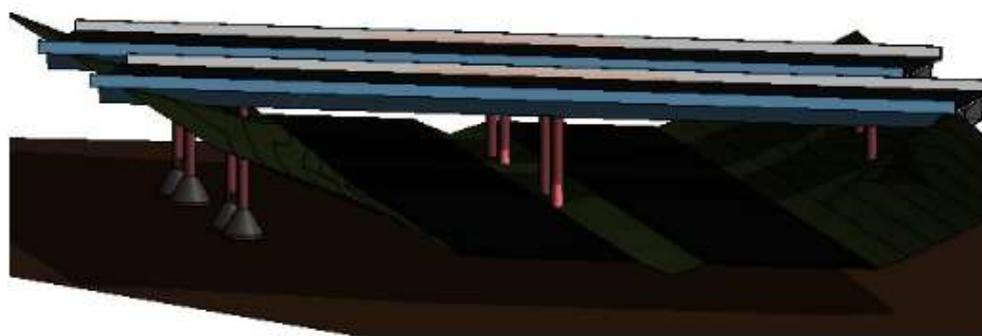
APÊNDICE 05 – QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS COM EXPERIÊNCIA EM MODELAGEM VIRTUAL DE CONSTRUÇÕES (BIM)

Modelo simplificado de OAE (Obra de Arte Espacial) com foco em gestão da manutenção

Admitindo as limitações indicadas por Stone (2012) na modelagem de obras de infraestrutura (bibliotecas incompletas; integração de parâmetros matemáticos do projeto incompleta; a importância da identificação das necessidades que o modelo pode vir a suprir; aspectos complicadores de um projeto de pontes - encontro rodovia-ponte, tipos de estrutura da ponte - e a consequente recomendação de modelagem exclusiva de pontos críticos da ponte) foi desenvolvido o modelo parametrizado do Viaduto sobre a BR-476, representado nas imagens a seguir.

Considerando as imagens apresentadas e o arquivo da ponte disponibilizado (anexo), por favor, indique suas impressões abaixo.

Viaduto modelado (sobre a BR-476)



Representação de patologia encontrada no pilar

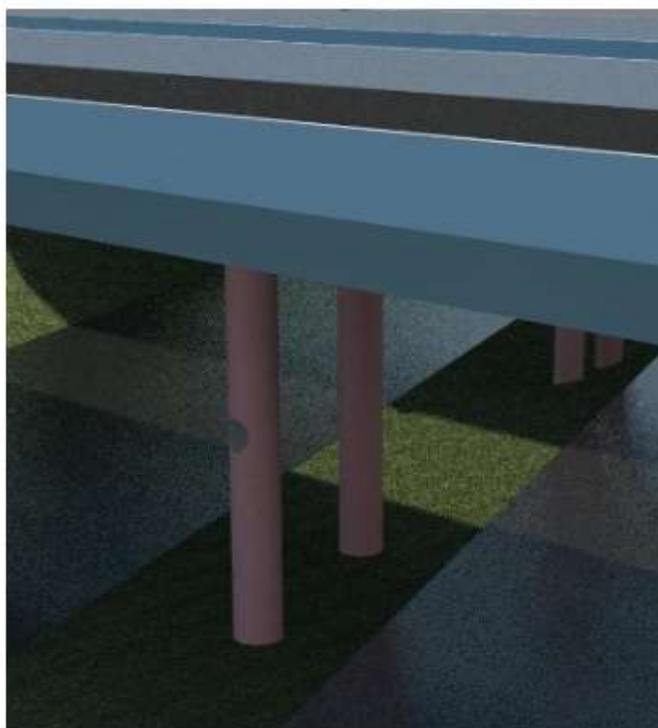


Tabela de manutenção

<Tabela de manutenção>						
A	B	C	E	F	G	H
Elemento	Manifestação	Localização	Área	Comp.	Data de Insp. 01	Custo estim. reparo
Tabuleiro	Recapeamento Irregular	Tabuleiro eixo 2	-	12 m	13/06/2015	a ser determinado
Viga caixa de concreto	Machas de umidade	parte inferior da viga caixaão	72 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado
Viga caixa de concreto	Machas de umidade	parte inferior da viga caixaão	32 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado
Laje de concreto armado	Fissura horizontal	parte inferior da viga caixaão	-	3,1 m	13/06/2015	a ser determinado
Pilar	corrosão com deslocamento	Pilar 2 - concreto armado	1,2 m ²	-	13/06/2015	a ser determinado

Considerando 1 como completamente inadequado, e 5 como completamente adequado, julgue o modelo apresentado quanto aos elementos geométricos definidos.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

Considerando 1 como completamente inadequado, e 5 como completamente adequado, julgue o modelo apresentado quanto à representação das patologias identificadas em inspeção

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

Considerando 1 como completamente inadequado, e 5 como completamente adequado, julgue o modelo apresentado quanto à utilização na gestão de manutenção

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

Indique outras observações que julgar relevantes ao desenvolvimento de um modelo deste tipo

Sua resposta

E-mail:

Sua resposta
