

19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

PROPOSTA DE CONJUNTOS DE PROPRIEDADES (PROPERTY SETS) PARA COORDENAÇÃO DE MODELOS BIM EM PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM SOBRE A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DE PAVIMENTOS (PIM)

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Matheus Lima de Barros¹; José Vinícius Silva Martins²; Melissa Midori Yamada³; André Luís Brasil Cavalcante¹ & Priscila Rosa Pizutti³

RESUMO

A adoção da Modelagem da Informação da Construção ou *Building Information Modeling* (BIM) em projetos de infraestrutura está em ascensão no Brasil. A aplicação do BIM em infraestruturas se distingue de sua utilização em projetos de edifícios devido a diversas particularidades, como as variáveis do terreno em obras lineares. Este estudo visa abordar o conceito de Modelagem da Informação de Pavimentos, ou em inglês *Pavement Information Modeling* (PIM), por meio da proposição de conjuntos de propriedades, também conhecidos como *property sets*, para a coordenação de modelos de pavimentos rígidos e flexíveis, com ênfase em dimensionamentos. A partir do mapeamento dos parâmetros necessários para o dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis no caso dos métodos DNER/81, MeDiNa e ABCP – PCA/84, os conjuntos de propriedades foram estruturados, onde para cada propriedade definiu-se nome, abrangência da propriedade para as camadas, tipo de dado pelo esquema IFC e descrição com unidade sugerida. Para demonstrar a aplicação dos conjuntos de propriedades foram realizadas modelagens no Autodesk Civil 3D, um programa específico para projetos de infraestruturas. A discussão do trabalho busca detalhar e contribuir para o desenvolvimento da coordenação BIM de projetos rodoviários no Brasil. O pavimento é um dos itens de impacto no orçamento de um projeto de rodovia. Dessa forma, desenvolver um modelo que possa apresentar informações importantes acerca desse dimensionamento é de grande valia para a evolução dessa metodologia.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Pavimentos, Conjuntos de Propriedades

ABSTRACT

The adoption of Building Information Modeling (BIM) in infrastructure projects is on the rise in Brazil. The application of BIM in infrastructure differs from its use in building projects due to several particularities such as terrain variables in linear projects. This study aims to address the concept of Pavement Information Modeling (PIM) through the proposition of property sets for the model coordination of rigid and flexible pavements, with emphasis on dimensioning. The necessary parameters for the design of rigid and flexible pavements were mapped in this case for the methods DNER/81, MeDiNa and ABCP – PCA/84. The property sets were structured and for each property were defined name, coverage of the property in relation to the pavement layers, type of data given by IFC scheme and description with suggested unit. To demonstrate the application of the property sets a modeling process was carried out in Autodesk Civil 3D, a specific software for infrastructure design. The discussion of this paper seeks to detail and contribute to the development of BIM coordination of highway design in Brazil. The pavement is one of the points of great importance in the budget of a highway project. Thus, developing a model that can provide important information about its conception is of great value for the evolution of this methodology.

KEY WORDS: BIM, Pavement, Property Sets

¹ Universidade de Brasília, e-mail: matheuslb.eng@gmail.com; abrazil@unb.br

² Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e-mail: contato.jvsmartins@gmail.com

³ Consórcio Supervisor Strata-Proes lotada no Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, melissayamada@der.pr.gov.br; priscilapizutti@der.pr.gov.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

A adoção da Modelagem da Informação da Construção ou *Building Information Modeling* (BIM) em projetos de infraestrutura está em ascensão no Brasil. O uso do BIM oferece benefícios em diferentes estágios do ciclo de vida de uma obra, desde as etapas preliminares de planejamento, ao projeto, construção, operação e manutenção do ativo (SACKS *et al.*, 2021).

A aplicação do BIM em infraestruturas se distingue de sua utilização em projetos de edifícios devido a diversas particularidades. Por exemplo a variação de relevos e de solos ao longo de projetos lineares que impactam a solução adotada de pavimento, além da necessidade de ensaios tecnológicos específicos.

Um fator a ser destacado também é o grande volume de dados associado aos projetos lineares, como rodovias e ferrovias, o que torna um desafio para *software* e *hardware*. A manipulação de informações georreferenciadas e as análises espaciais necessárias em projetos relaciona diretamente o segmento de infraestruturas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou *Geographic Information Systems* (GIS), o que traz a multidisciplinariedade de profissionais envolvidos.

De acordo com Corrêa *et al.* (2019), o BIM para infraestruturas enquanto processo e fluxo de trabalho ainda se encontra numa fase de desenvolvimento quando comparado com sua aplicação em edificações. Isso é evidenciado pelo menor número de publicações técnico-científicas, menor quantidade de guias, normas e cadernos de especificações técnicas para projetos BIM de infraestruturas, além de desafios culturais na gestão de pessoas e tecnologias (STRIEDER; SCHREINERT, 2022).

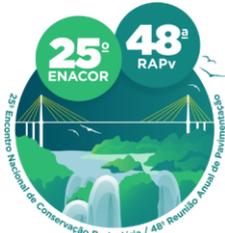
A padronização de dados é fundamental para o fluxo de informações em um projeto. Uma vez que os dados brutos são organizados de forma estruturada, a comunicação entre os agentes envolvidos torna-se mais eficaz. Um dos principais obstáculos para a implementação do BIM em organizações é a adoção plena de padrões. No caso de projetos de infraestruturas, essa dificuldade é agravada pela ausência de guias nacionais, apesar dos esforços em direção a essa padronização (STRIEDER; SCHREINERT, 2022).

Diante do exposto, este estudo visa abordar o conceito de Modelagem da Informação de Pavimentos, ou em inglês *Pavement Information Modeling* (PIM), por meio da proposição de conjuntos de propriedades, também conhecidos como *property sets*, para a coordenação de modelos de pavimentos rígidos e flexíveis, com ênfase em dimensionamentos. Para isso, uma revisão acerca de métodos de dimensionamento de pavimentos será realizada, seguida da elaboração dos conjuntos de propriedades e a aplicação prática em uma ferramenta de projeto.

MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

A implementação do *Building Information Modeling* (BIM) no âmbito brasileiro está contemplada pela Estratégia BIM BR, a estratégia nacional de disseminação do BIM (MDIC, 2018). O incentivo do uso do BIM por parte do governo acelera o processo de implantação nacional, em que se observam ações de resposta, como a publicação de guias normativos estaduais e editais de licitações (STRIEDER; SCHREINERT, 2022).

No âmbito da infraestrutura destaca-se a publicação do Caderno BIM para Infraestrutura Rodoviária do Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR), com especificações técnicas para a modelagem de projetos rodoviários baseado nas normas NBR ISO 19650 e incluindo a apresentação do nível de informação e de detalhe em modelos de pavimentos (DER/PR, 2022). Esse documento traz uma forma de padronização do que seria mínimo para a coordenação de um projeto rodoviário. Em paralelo a esse padrão de informação, a *buildingSMART*, organização internacional, neutra e sem fins lucrativos, tem por objetivo a criação e o desenvolvimento de padrões abertos para trocas de



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



informações para os ativos de construção (BUILDINGSMART, 2023). Os padrões abertos são não proprietários, ou seja, não estão associados a um fabricante de *software* específico. O formato DWG, por exemplo, é de propriedade da fabricante Autodesk, enquanto o formato SHAPEFILE da fabricante ESRI. A buildingSMART desenvolve formatos como o *Industry Foundation Classes* (IFC), um esquema de dados para promover a interoperabilidade de informações entre fabricantes. O IFC é constituído de entidades e subentidades com definições semânticas, relações de herança, atributos e conjuntos de propriedades (*property sets*). Recentemente, a versão 4.3 do IFC foi lançada incluindo objetos de infraestrutura para rodovias e vias urbanas, ferrovias, investigações geotécnicas, pontes, portos e hidrovias, e encontra-se em desenvolvimento (BUILDINGSMART, 2021). Entretanto, mesmo sendo uma versão em aprimoramento, o IFC 4.3 possibilita testes de processos para a verificação dos fluxos de trabalho.

Neste contexto, cabe destacar que as versões anteriores tinham como foco as edificações, existindo, portanto, uma carência de suporte para os objetos típicos de infraestrutura. Apesar disso, entidades IFC de texto e de propriedades geométricas de elementos, como comprimentos, áreas e volumes, já tinham sido introduzidas e consolidadas em versões anteriores (BUILDINGSMART, 2023).

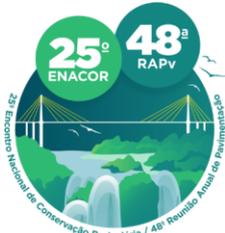
Na documentação do IFC 4.3.1.0, a entidade *IfcPavement* é definida como um tipo de elemento construído em vias e áreas pavimentadas com a função de resistir as cargas aplicadas de veículos e pedestres (BUILDINGSMART, 2023).

Do ponto de vista de usos do BIM, um dos usos mais comuns de modelos é a coordenação de projetos no qual contempla a colaboração no fornecimento de informações e a solicitação de alterações (SACKS *et al.*, 2021). Para a coordenação de um projeto de pavimentação e o seu dimensionamento, as informações necessárias a serem vinculadas ao modelo estão diretamente relacionadas ao resultado dos métodos de cálculo. Dessa forma, é importante também o vínculo com a memória de cálculo.

Do ponto de vista de planejamento e orçamentação, as informações contidas nos modelos podem subsidiar processos de quantificação. Nesse sentido, a buildingSMART traz uma sugestão de conjunto de propriedades para pavimentos denominada *Qto_PavementBaseQuantities*, no qual inclui as informações descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do *Qto_PavementBaseQuantities* (Traduzido de BUILDINGSMART, 2023)

Nome da Propriedade	Entidade IFC	Descrição
Comprimento (<i>Length</i>)	<i>IfcQuantityLength</i>	Comprimento do objeto.
Largura (<i>Width</i>)	<i>IfcQuantityLength</i>	Largura do objeto, dado apenas se o objeto possuir uma espessura constante.
Espessura (<i>Depth</i>)	<i>IfcQuantityLength</i>	Espessura do objeto, dado apenas se o objeto possuir geometria retangular.
Área Bruta (<i>GrossArea</i>)	<i>IfcQuantityArea</i>	Área bruta total do objeto, sem considerar aberturas, reentrâncias e recortes. Indica a área extrudada do objeto, dado apenas se o objeto for prismático.
Área Líquida (<i>NetArea</i>)	<i>IfcQuantityArea</i>	Área líquida total do objeto, considerando aberturas, reentrâncias e recortes por meio de subtrações e projeções por adições. Indica a área extrudada do objeto, dado apenas se o objeto for prismático.
Volume Bruto (<i>GrossVolume</i>)	<i>IfcQuantityVolume</i>	Volume bruto total do objeto. Aberturas, reentrâncias, objetos fechados e projeções não são considerados.
Volume Líquido (<i>NetVolume</i>)	<i>IfcQuantityVolume</i>	Volume líquido total do objeto. Aberturas, reentrâncias, objetos fechados e projeções são considerados, por meio de subtrações e projeções por adições.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Além do *Qto_PavementBaseQuantities*, a buildingSMART apresenta na documentação do IFC outras sugestões de conjuntos de propriedades conforme os usos BIM e as fases do ciclo de vida da obra. Dentre os conjuntos de propriedades sugeridos destacam-se o de avaliação de condições do pavimento, de operação e manutenção, de análise de riscos e de indicadores de impacto ambiental (BUILDINGSMART, 2023).

A coordenação de projetos de pavimentos contempla a verificação do dimensionamento e os parâmetros adotados. Um novo conjunto de propriedades pode ser proposto, semelhante aos existentes sugeridos pela buildingSMART, de forma a considerar os métodos de dimensionamento de pavimentos no Brasil. Aos dados incluídos no modelo como *property sets* devem ser adicionados também os resultados da metodologia adotada para o cálculo, conforme será discutido.

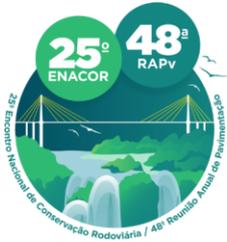
MÉTODO DNER/81

O método empírico DNER se originou das experiências acumuladas do Corpo de Engenheiros do Exército Americano – USACE e dos resultados dos estudos experimentais conduzidos pela Associação Americana de Oficiais de Rodovias e Transportes Estaduais – AASHTO. Conforme descrito no manual do método DNER, elaborado pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza (SOUZA, 1981), o procedimento para o dimensionamento de pavimentos flexíveis inclui as seguintes etapas:

- Avaliação da capacidade de suporte do subleito e das camadas granulares que compõem o pavimento por meio do ensaio de Suporte Califórnia, também conhecido como *California Bearing Ratio* (CBR) ou Índice de Suporte Califórnia (ISC);
- O CBR ajustado, de acordo com o Índice de Grupo (IG), pode ser adotado para calcular o Índice de Suporte (IS) se for apropriado;
- A classificação dos materiais granulares que compõem o pavimento deve considerar os valores mínimos recomendados para o Índice de Suporte (IS), expansão, Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP);
- O Número N (USACE), equivalente à quantidade de repetições de carga aplicadas por um eixo simples padrão rodoviário de 8,2 t, deve ser calculado com base nas condições de tráfego da estrada e no período operacional estimado. Este número N (USACE) é então multiplicado pelo Fator Climático Regional (FR), no qual considera as variações de umidade dos materiais que compõem as camadas do pavimento ao longo das estações do ano. Quando não há dados disponíveis, o valor de FR é unitário;
- Definição do coeficiente de equivalência estrutural (K) para cada material das camadas do pavimento. Para cada material é atribuído um valor de coeficiente K conforme tabelas de referência;
- Determinação de espessuras totais do pavimento por gráficos que relacionam o número N (USACE) com o valor de CBR ou IS da camada de subleito;
- Cálculo de espessura das camadas de reforço do subleito, sub-base e base pelas inequações definidas no manual do método segundo Souza (1981). A espessura mínima do revestimento betuminoso é determinada em função do número N (USACE).

MECÂNICA DOS PAVIMENTOS E O MÉTODO MEDINA

De acordo com Medina (1997), a mecânica de pavimentos é um ramo da engenharia que trata os pavimentos como sistemas de camadas sob a influência das cargas do tráfego. O pavimento é visto como uma estrutura, e os parâmetros de deformabilidade, incluindo tensões, deformações e deslocamentos são analisados.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Em homenagem ao professor Jacques de Medina, o novo método de dimensionamento nacional de pavimentos flexíveis foi denominado de MeDiNa. A aplicação do método é facilitada por um programa computacional para verificação de pavimentos forma empírico-mecanística com análise de camadas, disponibilizado na página oficial do DNIT (DNIT, 2020). Conforme Franco (2007), os passos para o dimensionamento empírico-mecanístico de pavimentos flexíveis incluem:

- Coleta de dados laboratoriais e de campo sobre os materiais usados na construção das camadas do sistema, condições de tráfego e ambiente;
- Comparação e análise dos dados coletados sobre os materiais das camadas, tráfego e ambiente em relação ao tipo de carregamento;
- Estimativa inicial da espessura das camadas e cálculo de tensões, deformações e deslocamentos;
- Aplicação de modelos de previsão que correlacionam tensões, deformações e deslocamentos calculados com os danos previstos para o pavimento nas condições analisadas;
- Verificação das espessuras calculadas para a estrutura estão de acordo com os critérios normativos de ruptura, incluindo o nível de confiabilidade, a área trincada (AT) estimada e a deformação permanente devido ao afundamento de trilha da roda (ATR). O controle deflectométrico por camada também deve ser especificado;
- Se os critérios forem atendidos, o dimensionamento pode ser adotado. Se um ou mais critérios não forem atendidos, os materiais usados e/ou as espessuras das camadas devem ser modificados.

Os dados necessários para o dimensionamento no *software* MeDiNa podem ser agrupados em duas categorias, de materiais e de carregamento. As especificações dos materiais incluem a descrição de cada camada, os valores de Módulo Resiliente – MR (linear, não linear ou sigmoideal), os coeficientes de Poisson, espessuras e número de camadas para as misturas asfálticas e para os solos/misturas granulares a serem utilizadas.

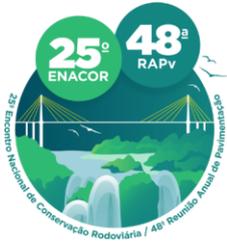
O valores de MR e do coeficiente de Poisson são obtidos por meio dos ensaios de laboratório de módulo resiliente normatizados pelo DNIT-ME 134/2018 e DNIT-ME 135/2018 (DNIT, 2018). As espessuras, condições de aderência e o número de camadas devem ser definidos de acordo com o critério do projetista. Para reforços, devem ser consideradas as condições de campo obtidas por meio de investigações *in situ*.

Classificações AASHTO e Miniatura, Compacto, Tropical (MCT) são recomendadas para solos. No caso de misturas asfálticas, ressalta-se a importância do ensaio uniaxial de carga repetida *Flow Number* (FN) e o ensaio de fadiga por compressão diametral para determinação da classe de fadiga (DNIT, 2021).

Acerca dos dados de carregamento, destaca-se o número N (USACE) equivalente de passagens do eixo padrão rodoviário de 8,2 t, determinado a partir do volume médio diário (VMD) e do fator de veículo (FV). Além disso, o tipo de via, o período operacional de projeto e a taxa de crescimento da frota são considerados.

MÉTODO ABCP – PCA/84

Conforme Pitta (1998), o método de 1984 leva em consideração a ruptura, a erosão e a fadiga das placas no dimensionamento de pavimentos rígidos, o diferenciando do método ABCP – PCA/66 que considera somente os efeitos de fadiga. Além disso, o ABCP – PCA/84 é visto como um método simplificado quando comparado ao Método AASHTO/93, que se fundamenta em critérios de desempenho e se configura como uma abordagem empírico-estática.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Pitta (1998) ainda destaca outras particularidades do método, como a sua aplicação a pavimentos de concreto simples e com barras de transferência, uso de armadura distribuída e descontínua e a adoção de um modelo de análise estrutural por elementos finitos - uma técnica matemática. Este modelo matemático considera um meio contínuo que é subdividido em elementos finitos, mas preserva as propriedades do material original, a fim de obter os resultados pretendidos.

É relevante mencionar que o método PCA/84 também contempla a contribuição de acostamentos de concreto para a melhoria do desempenho estrutural, além do suporte das sub-bases de concreto rolado ou tratadas com cimento (BRITO; GRAEFF, 2009). Os critérios de ruptura, fadiga e erosão são detalhados pelo DNIT (2005).

Dessa forma, o método simplificado estabelece a relação entre os tipos de vias, residenciais, estradas rurais, arteriais, vias expressas, e o tráfego médio diário (TMD), definindo a categoria de carga de eixo. Este método permite a criação de tabelas que facilitam o dimensionamento, como o exemplo de quadro de dimensionamento apresentado por Pitta (1998), que relaciona o TMD admissível de caminhões, considerando categoria de carga de eixo, e pavimento sem barras de transferência, eliminando a necessidade de calcular a resistência à fadiga e erosão por se tratar de uma matriz obtida pelo método.

A metodologia fornece sete quadros para o dimensionamento das placas de concreto, diferenciados por categorias de carga por eixos e pelo uso ou não de barras de transferência. Essas barras são dimensionadas, de forma resumida, conforme o Manual de Pavimento Rígido (DNIT, 2005), que relaciona o diâmetro, o comprimento e o espaçamento das barras em relação à espessura da placa.

ETAPAS METODOLÓGICAS

Para alcançar o objetivo proposto, a presente pesquisa foi separada nas etapas detalhadas a seguir.

Revisão da Literatura

A partir da consulta às bases científicas, a revisão da literatura foi realizada para contextualizar o uso do BIM para projetos de infraestruturas e relatar o avanço da buildingSMART para os modelos de pavimentos, assim como, os conjuntos de propriedades sugeridos. A revisão teve por foco também o mapeamento dos parâmetros necessários para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, pelos métodos DNER/81 e MeDiNa, e rígidos, pelo método ABCP – PCA/84.

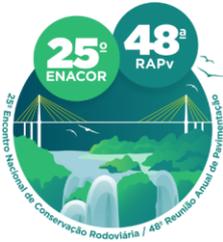
Estruturação dos Conjuntos de Propriedades

Após a revisão da literatura, considerando o uso BIM de coordenação do projeto de pavimentos, foi destacada a necessidade da criação de um padrão de organização das informações para que seja possível a conferência do dimensionamento de pavimento flexível ou rígido.

Dessa forma, os conjuntos de propriedades foram estruturados em tabelas com especificações para cada propriedade de nome, abrangência para as camadas, tipo de dado pelo esquema IFC e descrição com a unidade sugerida.

Aplicação Prática

Uma vez que os conjuntos de propriedades foram definidos, modelagens foram realizadas no Autodesk Civil 3D, um programa específico para projetos de infraestruturas. Os conjuntos de propriedades da etapa anterior foram aplicados em sólidos tridimensionais de corredores de projeto de rodovias de pistas simples e duplas, considerando camadas de revestimento, base e sub-base. O comando do Autodesk Civil 3D utilizado para adicionar as informações nos modelos foi o Definir Conjunto de Propriedades, ou em inglês *Define Property Sets*.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método DNER/81

Para o método DNER/81 aplicado para pavimentos flexíveis, o conjunto de propriedades proposto para verificação de dimensionamentos é detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Conjunto de Propriedades Proposto para o Método DNER/81

Nome da Propriedade	Abrangência	Tipo de Dado	Descrição
DNER81_NUSACE	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Número N (USACE) de repetições do eixo padrão rodoviário adotado no projeto [ciclos].
DNER81_FR (opcional)	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator Climático Regional (FR) adotado no projeto para dimensionamento, propriedade opcional [adimensional].
DNER81_PERIODO	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Período operacional adotado para atendimento da camada do pavimento aos esforços de tráfego [anos].
DNER81_CBR	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Resultado do ensaio CBR ou Índice de Suporte (IS) para o subleito [porcentagem].
DNER81_IG (opcional)	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Índice de Grupo (IG) adotado no projeto para o cálculo do Índice de Suporte (IS), propriedade opcional [adimensional].
DNER81_DESC	Específico	<i>IfcText</i>	Descrição do material constituinte da camada.
DNER81_ESPESSURA	Específico	<i>IfcQuantityLength</i>	Espessura da camada [cm].
DNER81_K	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Coefficiente de equivalência estrutural K adotado para a camada [adimensional].

Na Figura 1, uma aplicação prática de modelagem foi realizada no *software* Autodesk Civil 3D para implantação de rodovia de pista simples. No caso, a camada de base foi selecionada e as propriedades correspondentes do método DNER/81 podem ser consultadas.

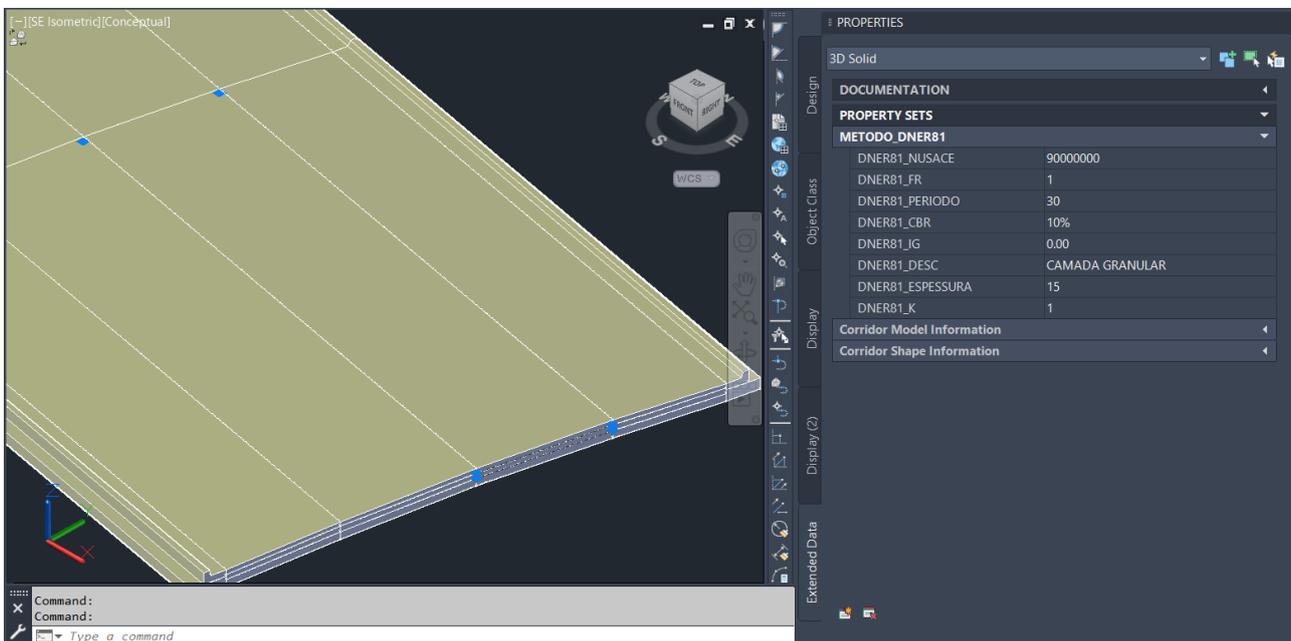
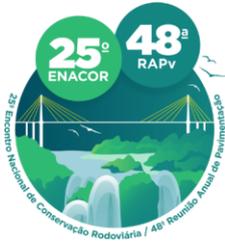


Figura 1. Conjunto de Propriedades em modelo BIM para o Método DNER/81



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Na Tabela 2 foi especificada uma coluna de abrangência, onde o valor das propriedades gerais é igual para todas as camadas do pavimento. Enquanto o valor das propriedades específicas varia para cada camada. Assim sendo, as propriedades específicas de descrição da camada, espessura e coeficiente de equivalência estrutural K no método DNER/81 devem ser modificadas para cada camada correspondente de revestimento, base, sub-base e reforço de subleito, quando apropriado.

A inserção de informações nos conjuntos de propriedades foi realizada de forma manual, o que pode ser aprimorado em futuras pesquisas com rotinas de automações. Além disso, buscou-se minimizar o número de propriedades nos modelos para apenas o que é necessário. O estabelecimento de requisitos de modelagem por parte de contratantes, como é o exemplo do Caderno BIM para Infraestrutura Rodoviária do DER/PR (DER/PR, 2022), contribui para que apenas as informações relevantes sejam inseridas no modelo.

Método MeDiNa

Para o método MeDiNa aplicado para pavimentos flexíveis, o conjunto de propriedades proposto para verificação de dimensionamentos é detalhado na Tabela 3.

Tabela 3. Conjunto de Propriedades Proposto para o Método MeDiNa

Nome da Propriedade	Abrangência	Tipo de Dado	Descrição
MEDINA_NUSACE	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Número N (USACE) de repetições do eixo padrão rodoviário adotado no projeto [ciclos].
MEDINA_PERIODO	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Período operacional adotado para atendimento da camada do pavimento aos esforços de tráfego [anos].
MEDINA_MCT	Geral	<i>IfcText</i>	Classificação MCT do solo de subleito.
MEDINA_DESC	Específico	<i>IfcText</i>	Descrição do material constituinte da camada.
MEDINA_CF	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Classe de fadiga da mistura asfáltica [adimensional].
MEDINA_FN	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Flow Number (FN) da mistura asfáltica [ciclos].
MEDINA_ESPESSURA	Específico	<i>IfcQuantityLength</i>	Espessura da camada [cm].
MEDINA_ADERENCIA	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Condições de aderência [0 ou 1].
MEDINA_MR	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Módulo Resiliente (MR) da camada adotado no projeto para dimensionamento [MPa].
MEDINA_POISSON	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Coefficiente de Poisson da camada adotado no projeto para dimensionamento [adimensional].
MEDINA_CONF	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Confiabilidade do resultado obtido pelo dimensionamento [porcentagem].
MEDINA_AT	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Área Trincada (AT) obtida pelo dimensionamento [porcentagem].
MEDINA_ATR	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Afundamento de Trilha de Roda (ATR) obtida pelo dimensionamento [mm].
MEDINA_CONTROLE	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Controle deflectométrico por camada [mm].



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O mesmo modelo de implantação de rodovia de pista simples do método anterior foi utilizado para a demonstração dos conjuntos de propriedades do MeDiNa. Assim, na Figura 2, demonstra-se as propriedades definidas na Tabela 3 no caso de uma base de pavimento.

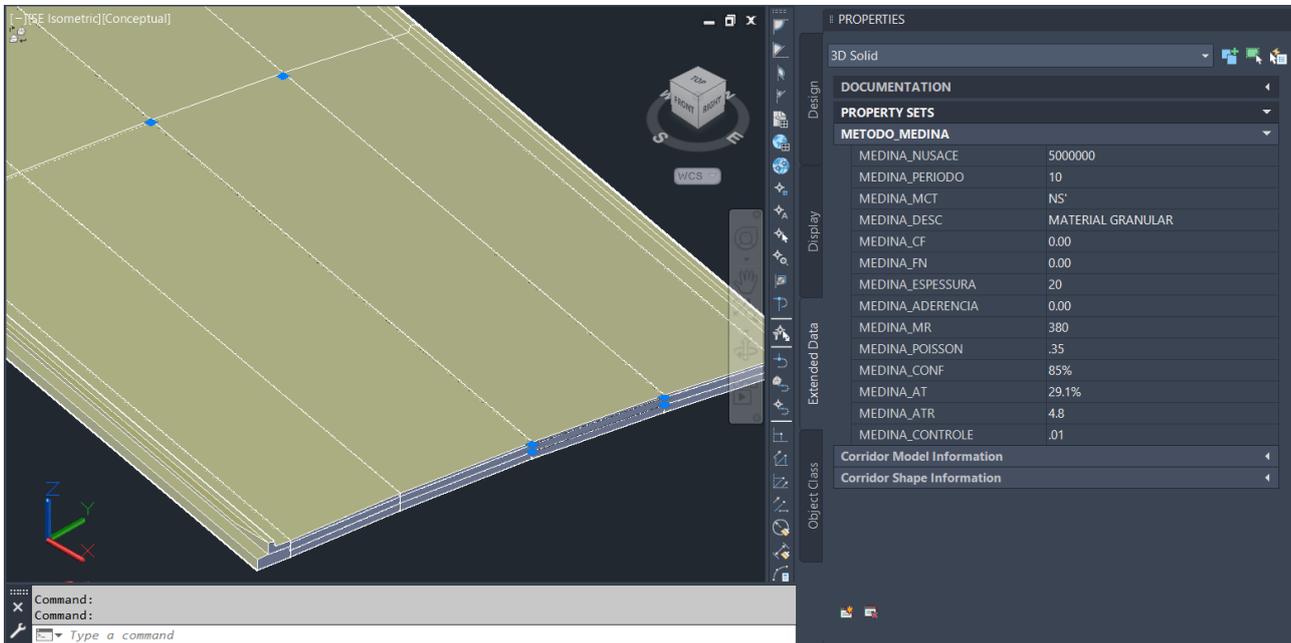


Figura 2. Conjunto de Propriedades em modelo BIM para o Método MeDiNa

Pela natureza empírico-mecanística do método, mais propriedades foram definidas em comparação ao método empírico DNER/81. A abordagem mecanicista traz um maior rigor matemático na avaliação do dimensionamento com os critérios de ruptura e mais resultados de ensaios, conforme especificado nos normativos do DNIT.

Método ABCP – PCA/84

Para o método ABCP – PCA/84 aplicado para pavimentos rígidos, a Tabela 4 apresenta a proposta de um conjunto de propriedades para verificação de dimensionamentos.

Tabela 4. Conjunto de Propriedades Proposto para o Método ABCP – PCA/84

Nome da Propriedade	Abrangência	Tipo de Dado	Descrição
PCA84_FCTM	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Máxima resistência característica à tração na flexão do concreto [MPa].
PCA84_PERIODO	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Período adotado no projeto para atendimento da camada do pavimento aos esforços de tráfego [anos].
PCA84_CBR	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Resultado do ensaio CBR ou Índice de Suporte (IS) para o subleito [porcentagem].
PCA84_DESC	Específico	<i>IfcText</i>	Descrição do tipo do pavimento.
PCA84_JUNTAS	Específico	<i>IfcText</i>	Descrição dos tipos de juntas.
PCA84_ESPESSURA	Específico	<i>IfcQuantityLength</i>	Espessura da camada [cm].



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Nome da Propriedade	Abrangência	Tipo de Dado	Descrição
PCA84_KSB	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Coefficiente de recalque no topo da sub-base [MPa/m].
PCA84_FSC	Geral	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de segurança de carga do projeto [adimensional].
PCA84_TENSAO_S	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Tensão equivalente de projeto para eixos simples [MPa/m].
PCA84_TENSAO_TD	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Tensão equivalente de projeto para eixos tandem duplo [MPa/m].
PCA84_TENSAO_TT	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Tensão equivalente de projeto para eixos tandem triplo [MPa/m].
PCA84_FADIGA_S	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de fadiga para eixos simples [adimensional].
PCA84_FADIGA_TD	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de fadiga para eixos tandem duplo [adimensional].
PCA84_FADIGA_TT	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de fadiga para eixos tandem triplo [adimensional].
PCA84_EROSAO_S	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de erosão para eixos simples [adimensional].
PCA84_EROSAO_TD	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de erosão para eixos tandem duplo [adimensional].
PCA84_EROSAO_TT	Específico	<i>IfcPropertySingleValue</i>	Fator de erosão para eixos tandem triplo [adimensional].
PCA84_BL	Específico	<i>IfcText</i>	Dimensionamento das barras de ligação (As – Área da seção de barras de aço [cm ² /m], Comprimento [cm]).
PCA84_BT	Específico	<i>IfcText</i>	Dimensionamento das barras de transferência (Diâmetro [cm, Comprimento [mm], Espaçamento [mm]).

Para exemplificar a atribuição do conjunto de propriedades, um modelo de implantação de rodovia de pista dupla com pavimento rígido foi elaborado no Autodesk Civil 3D, conforme a Figura 3.

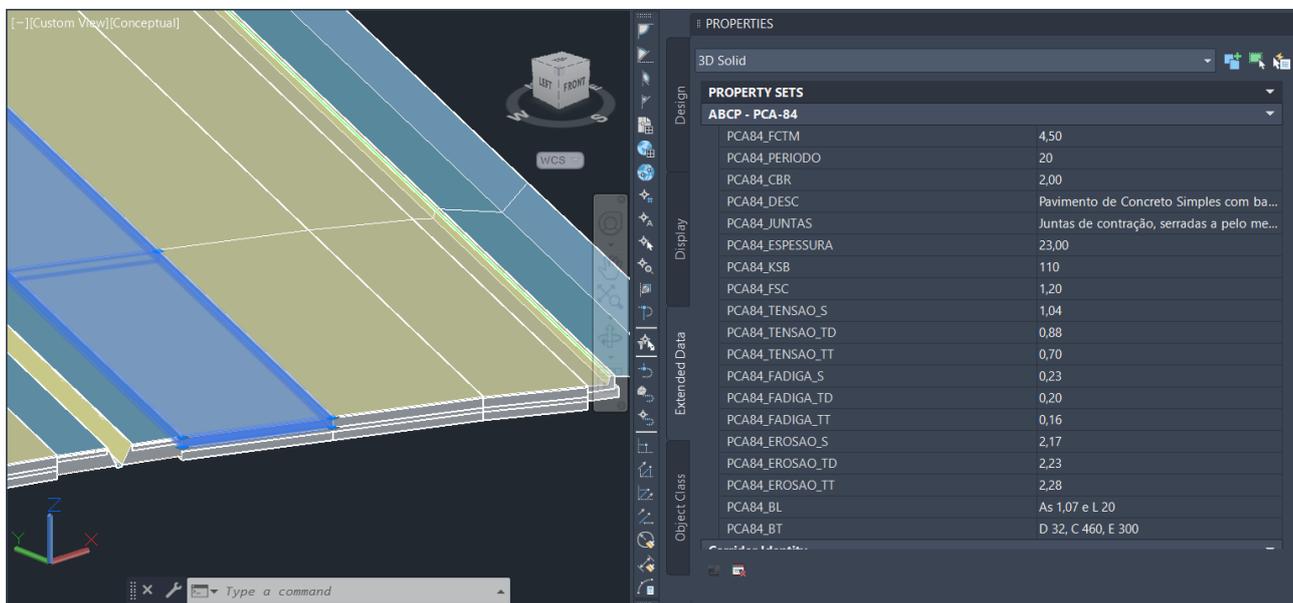
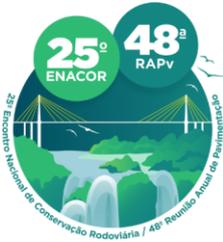


Figura 3. Conjunto de Propriedades em modelo BIM para o Método PCA/84



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O método PCA/84 apresentou o maior número de propriedades e de propriedades específicas dentre os métodos analisados. A necessidade de fatores de fadiga, tensão e erosão, além das especificações de barras de ligação e transferência em pavimentos rígidos, exigiu a inserção de mais propriedades. Por fim, salienta-se que outras informações podem ser inseridas com o intuito de facilitar a verificação de dimensionamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão que este artigo propõe a fazer busca detalhar um tema que alinha conceitos importantes na aplicação do BIM para a coordenação de projetos rodoviários no Brasil. Importante destacar que o BIM aplicado à infraestrutura está em ascensão de forma acelerada no Brasil e o pavimento é um dos itens de impacto no orçamento de um projeto de rodovia. Dessa forma, desenvolver um modelo que possa apresentar informações importantes acerca desse dimensionamento é fundamental para a evolução dessa metodologia.

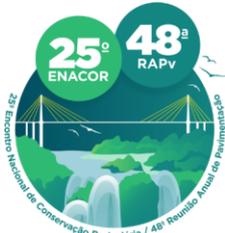
A adoção da estrutura de dados que a buildingSMART apresenta para os elementos de pavimento é também um avanço a ser destacado. A padronização de informações e a interoperabilidade para projetos de infraestrutura tem muito a ser discutido a aprimorado em pesquisas futuras.

Um conjunto de propriedades ou *property sets* foi proposto para a organização de informações de dimensionamento em modelos de informação de pavimentos rígidos e flexíveis. Com o intuito de promover a continuidade em pesquisas futuras foram destacadas as seguintes observações:

- A padronização de propriedades facilita a coordenação de modelos BIM, no entanto, entende-se que a sua plena aplicação é um desafio em organizações. A especificação de uso por órgãos de fiscalização pode facilitar a disseminação e o uso dos conjuntos de propriedades em modelos;
- Os métodos de dimensionamento de pavimentos evoluem constantemente e novos parâmetros podem ser incluídos no conjunto de propriedades, de forma a facilitar o entendimento por parte de analistas e fiscalizadores;
- A versão 4.3 do IFC, ainda em desenvolvimento, pode ser mais explorada com o mapeamento de informações entre os modelos BIM e as entidades IFC;
- Os conjuntos de propriedades propostos pela buildingSMART são genéricos e podem ser adaptados para contextos nacionais. Outros focos podem ser explorados para fortalecer a modelagem da informação com ênfase em pavimentos no Brasil, como as especificações de propriedades para as fases de construção, operação e manutenção;
- A vinculação das informações de memórias de cálculos com os dados inseridos nos *property sets* é um aspecto importante para verificações de projeto mais automatizadas. Nesse sentido, rotinas de programação podem ser exploradas;
- Os conjuntos de propriedades propostos podem ser testados em ferramentas de outras fabricantes de modo a explorar a interoperabilidade de informações com foco na coordenação de projetos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os órgãos de fomento da presente pesquisa, incluindo a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, L. A. T., GRAEFF, Â. G. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos: Metodologias e seus Impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações**. Relatório Final de Pesquisa. Porte Alegre, RS, 2009.

buildingSMART. IfcPavement. **Documentação do IFC 4.3.1.0**. 2023. Disponível em: <<https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcPavement.htm>>. Acesso em maio de 2023.

buildingSMART. **The status of IFC 4.3 and the benefit of further extensions as IFC 4.4**. 2021. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/the-status-of-ifc-4-3-and-the-benefit-of-further-extensions-as-ifc-4-4/>>. Acesso em maio de 2023.

CORRÊA, S. L. M.; SIVIERO, L. F.; FREITAS, R. O.; CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. **BIM para infraestrutura de transportes**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais[...].Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <<https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/180>>. Acesso em maio de 2023.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER/PR). **Caderno de Especificações Técnicas para Contratação de Projetos para infraestrutura rodoviária em BIM**. Curitiba, PR, 2022. Disponível em: <<https://www.bim.pr.gov.br/Pagina/Caderno-BIM-Infraestrutura-Rodoviaria>>. Acesso em maio de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2.ed., Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio**. DNIT-ME 134/2018. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio**. DNIT-ME 135/2018. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos**. Manual de Utilização do programa MeDiNa. Convênio UFRJ/DNIT, Rio de Janeiro, RJ, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa**. Brasília, DF, 2021.

FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos - SisPav**. Tese de doutorado - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

STRIEDER, H. L. SCHREINERT, G. G. **METODOLOGIA BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**. Anais do 24º Encontro Nacional de CONSERVAÇÃO Rodoviária (ENACOR), 47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV). Bento Gonçalves, RS, 2022.

MDIC. **Estratégia BIMBR**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Brasília, DF, 2018.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª ed. editora UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

PITTA, M. R. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/84**. 3ª edição, Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, SP, 1998.

SACKS, R. EASTMAN, C. LEE, G. TEICHOLZ, P. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 3ª edição, editora Bookman. Porto Alegre, RS, 2021.

SOUZA, M. L. DE. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. Publicação 667. 3ª edição. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1981.