

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

CONSULTING
INNOVATION
FOR GROWTH

INOVA+T

CENTRO DE INOVAÇÃO DE MATOSINHOS
RUA DR. AFONSO CORDEIRO, 567
4450-309 MATOSINHOS, PORTUGAL

Caso de Estudo

PONTE RANDSELVA

Jevnaker, Hønefoss - Noruega

*"A ponte mais longa do mundo construída
sem desenhos 2D"*

PORTO | LISBOA | BRUXELAS | HEIDELBERG | VARSÓVIA

CONSUL-
TING
DIGITAL
INTER-
NATIONAL

FICHA TÉCNICA

- Projeto: DIGITAL_STEEL - Promoção da Digitalização dos processos nas PME do setor da Construção Metálica e Mista
- Objeto: Caso de Estudo - PONTE RANDSELVA, NORUEGA
- Empresa Responsável: INOVA+ Innovation Services S.A.
- Distribuição Nacional
- Metodologia: Caso de Estudo Descritivo e Único, baseado em pesquisa bibliográfica e entrevista qualitativa ao Eng.º Tiago Vieira da empresa Armando Rito Engenharia S.A., que liderou a equipa de projetistas do projeto.
- Data de publicação: novembro de 2021

SUMÁRIO EXECUTIVO

O Caso de Estudo “PONTE RANSELVA - A ponte mais longa do mundo construída sem desenhos 2D” aborda a adoção de ferramentas digitais, nomeadamente da metodologia BIM, na sua dimensão 5D, aplicado à construção de pontes, com benefícios visíveis associados, ao nível de custo e de prazos de execução, além de validar a possibilidade de interação entre todos os agentes sem recurso a desenhos 2D.

Efetua-se, deste modo, uma apresentação do projeto, das suas especificidades, bem como dos seus intervenientes, e analisa-se como é que estes se adaptaram a esta realidade, tornando o projeto da Ponte Randselva num modelo a seguir no que respeita à utilização da metodologia BIM aplicada a este tipo de infraestruturas.

O presente Caso de Estudo apresenta, assim, o desafio enfrentado, destacando o contexto geográfico/cultural, a motivação que levou à opção por esta ferramenta digital, os constrangimentos observados, e a abordagem que permitiu alcançar os benefícios observados com a adoção da metodologia BIM de forma integral.

Este projeto obteve reconhecimento internacional, tendo sido premiado inclusive como o melhor projeto BIM em 2020 nos Tekla 2020 Global BIM Awards, o que permite concluir que a estratégia adotada é vencedora e deveria ser adotada de forma transversal no setor por forma a promover a digitalização da construção nas suas várias vertentes, desde a conceção à execução em obra.

PALAVRAS-CHAVE

BIM, modelagem 3D, Ponte Randselva, software Tekla

ABSTRACT

The Case Study "RANDSELVA BRIDGE - The longest bridge in the world built without 2D drawings" addresses the adoption of digital tools, namely the BIM methodology, in its 5D dimension, applied to the construction of bridges, with visible benefits associated, in terms of cost and execution deadlines, besides the validation of the possibility of interaction between all agents without resorting to 2D drawings.

It's made, thus, a presentation of the project, its specificities, as well as its intervening parties, and it is analyzed how they have adapted to this reality, turning the Randselva Bridge project into a model to be followed with regard to the use of the BIM methodology applied to this type of infrastructures.

Therefore, this Case Study presents the challenge faced, highlighting the geographic/cultural context, the motivation that led to the option for this digital tool, the constraints observed, and the approach that allowed achieving the benefits observed with the adoption of the BIM methodology across the entire project.

This project has gained international recognition, having even been awarded as the best BIM project in 2020 at the Tekla 2020 Global BIM Awards, which allows us to conclude that the adopted strategy is a winner and should be adopted across the sector in order to promote the digitalization of construction in its various aspects, from conception to execution on site.

KEYWORDS

BIM, 3D Model-based, Randselva Bridge, Tekla software



INNOVA+

CONSULTING
INNOVATION
FOR GROWTH

ÍNDICES

ÍNDICE GERAL

FICHA TÉCNICA.....	2
SUMÁRIO EXECUTIVO.....	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICES.....	6
ÍNDICE GERAL.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. PONTE DE RANDSELVA.....	10
2.1. SÍNTESE DO PROJETO.....	10
2.2. PROPRIEDADE.....	11
2.3. INTERVENIENTES.....	12
3. DESAFIO.....	13
3.1. CONTEXTO CULTURAL.....	13
3.2. MOTIVAÇÃO.....	18
3.3. CONSTRANGIMENTOS.....	19
3.4. APROVAÇÃO E INSPEÇÕES.....	22
3.5. IMPLEMENTAÇÃO 'IN SITU'.....	23
4. ABORDAGEM / SOLUÇÃO.....	26
4.1. SOFTWARE TEKLA.....	26
5. BENEFÍCIOS.....	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visão geral das estruturas ao longo da nova E16.....	10
Figura 2 - Vista do plano de alinhamento rodoviário da Ponte Randselva.....	11
Figura 3 - Logotipos das empresas do consórcio da Ponte Randselva	12
Figura 4 - Custo de desenvolvimento de projetos rodoviários.....	14
Figura 5 - Requisitos BIM pela Nye Veier.....	15
Figura 6 - Métodos de Difusão do BIM - Top-Down, Bottom-Up e Middle-Out .16	
Figura 7 - "How BIM adoption is subject to different types of diffusion pressures: Coercive, Normative, and Mimetic"	16
Figura 8 - Mapa ilustrativo do nível de desenvolvimento da tecnologia BIM no Mundo, com os países nórdicos em 1º lugar do Top 5.....	17
Figura 9 - Fase de Construção da Ponte Randselva.....	19
Figura 10 - Fase de Construção da Ponte Randselva	20
Figura 11 - Fatores de complexidade da Ponte Randselva	21
Figura 12 - Utilização do Sistema de Realidade Aumentada Trimble Sitevision na Ponte Randselva	25
Figura 13 - Exemplo de Desenho Paramétrico da Ponte Randselva	26
Figura 14 - Utilização de Sistema de Realidade Virtual Trimble Sitevision na Ponte Randselva.....	28
Figura 15 - Exemplos do Modelo 3D BIM da Ponte Randselva	29
Figura 16 - Efeitos do uso do Manual V770 Model Data.....	30

1. INTRODUÇÃO

O projeto Digital_Steel apresenta-se como um instrumento estratégico na promoção e aceleração da transição das PME do setor nacional da construção metálica e mista para o novo paradigma produtivo e colaborativo da Indústria 4.0. Especificamente, e incidindo de forma particular na digitalização dos processos, pretende capacitar e qualificar as PME do setor para a adoção e endogeneização de metodologias de trabalho colaborativas que, pela forte incorporação tecnológica, permitirão uma minimização do trabalho “manual”, uma maximização da utilização dos recursos (humanos, temporais e financeiros), promovendo um aumento substancial da eficiência da qualidade, da flexibilidade e da inovação, vetores inquestionáveis da competitividade internacional.

Nos últimos anos, o desenvolvimento de programas informáticos de cálculo com elementos finitos e o surgimento de programas de modelação tridimensional, aplicados às áreas de projeto estrutural e de detalhe de construção metálica, têm permitido reduções significativas do tempo de execução das tarefas, através do aumento da automatização de processos anteriormente realizados de forma manual. Esta automatização tem promovido também o aumento da qualidade de execução dessas mesmas atividades, muitas das vezes sujeitas a erro humano. De igual modo, do lado dos centros de investigação, tem-se verificado um trabalho crescente de desenvolvimento de códigos que regulamentam a atividade de projeto, o que tem permitido o surgimento de soluções estruturais mais arrojadas, não descurando a necessária segurança.

O surgimento e rápido desenvolvimento de ferramentas digitais, como a tecnologia BIM (Building Information Modeling), permitiu que os diferentes intervenientes num mesmo projeto pudessem executar sobre uma mesma plataforma as suas atividades, refletindo claras vantagens para todos, mas sobretudo para a qualidade do projeto em geral. Esta plataforma permite a geração, gestão e armazenamento de todas as informações de uma construção num modelo informático.

Em Portugal, durante vários anos houve um clima de crescimento do setor da construção, o que impulsionou o setor metalomecânico, tendo muitas das empresas sobredimensionado a sua capacidade de produção em máquinas e homens. No entanto, observou-se nos últimos anos uma redução deste setor, o que obrigou as empresas que estavam fortemente equipadas a internacionalizar-se, por um lado e, por outro, a diversificarem as suas soluções.

O setor da construção metálica português apresenta alguma internacionalização, com alguma capacidade e experiência, mas constituído (salvo algumas exceções) essencialmente por pequenas e médias empresas, com baixa dimensão quando comparadas com outras empresas mundiais do mesmo setor.

Apesar do consecutivo investimento das empresas do setor em tecnologia produtiva, com vista a capacitar-se e à sua produção para responder aos desafios do mercado, a verdade é que se observa um evidente gap tecnológico no setor no que respeita à incorporação e adoção de novas tecnologias e metodologias de trabalho nos seus processos organizacionais, como é o caso do BIM.

Particularmente, o processo de conceção, projeto e produção nacional apresenta ainda uma forte componente “manual”, ou seja, apesar de o processo ser desenvolvido com recurso a diferentes ferramentas tecnológicas, a verdade é que todas as fases e todos os passos necessário implicam um elevado esforço humano, temporais e financeiros. A transposição deste gap e a consequente afirmação em mercados internacionais passa, assim, pela plena migração do setor para o paradigma da indústria 4.0, por via da digitalização dos seus processos, promovida, por sua vez, pela total adoção do BIM.

No setor da construção metálica, a soldadura é um dos processos mais onerosos no fabrico, com a agravante de que será sempre um processo com elevado controlo de qualidade. Apesar da existência de alguma robotização do processo de soldadura, esta automatização ainda fica aquém daquilo que se pretende. As abordagens de soluções para ligações que prescindam de soldadura são igualmente uma área de grande potencial de desenvolvimento, como novos sistemas de ligadores com soluções que não necessitem de soldadura mesmo em fábrica - parafusos especiais, colas, rebites.

2. PONTE DE RANDSELVA

2.1. SÍNTESE DO PROJETO

A Ponte Randselva, na Noruega, é uma ponte de viga oca em betão armado pré-esforçado, que está a ser construída pelo método de avanços sucessivos, e que atravessará o rio com o mesmo nome, em Jevnaker, Hønefoss, a cerca de 60 km a noroeste de Oslo [1]. Este troço estará localizado a sudeste do centro de Jevnaker e irá desviar o tráfego da zona baixa da cidade.

A construção teve início em fevereiro de 2019 e a sua conclusão está prevista para o verão de 2022.

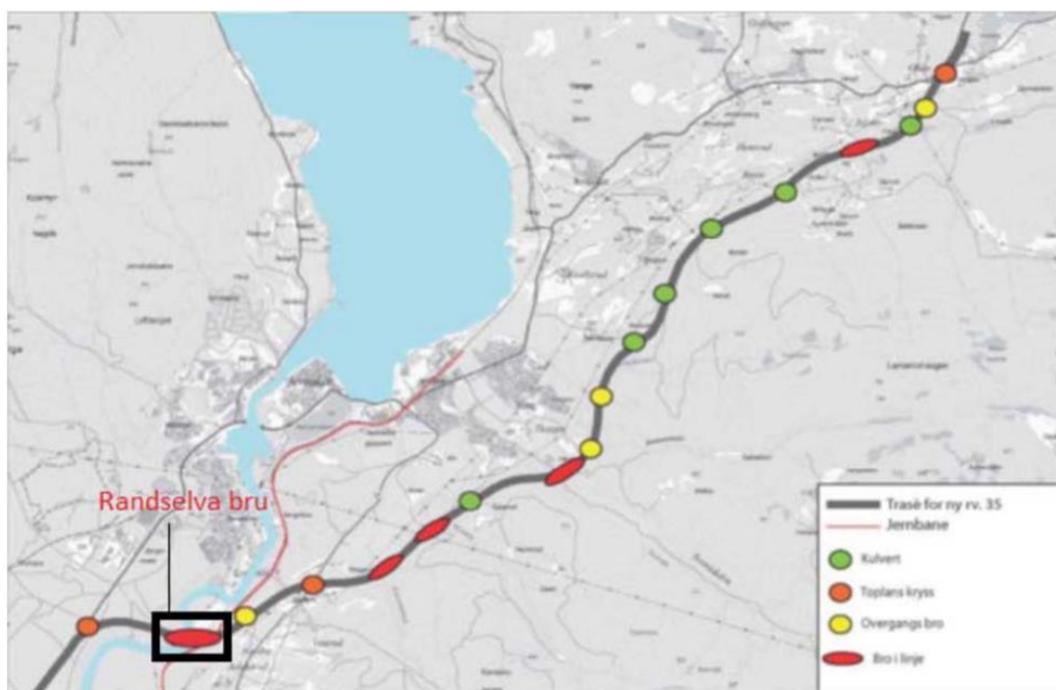


Figura 1 - Visão geral das estruturas ao longo da nova E16
Fonte: Piotr Poraj Górski [2]

Com duas faixas rodoviárias, um design simples para um mínimo impacto visual na paisagem e uma curvatura ligeira sobre o rio Randselva, a ponte atravessará uma área de floresta íngreme (o lado oeste do rio - Eggemoen), uma área agrícola plana onde se encontram planeadas duas interseções que ligarão ao centro de Jevnaker e ao Museu Kistofos, um parque de estacionamento e uma linha ferroviária (do lado de Kleggerud).

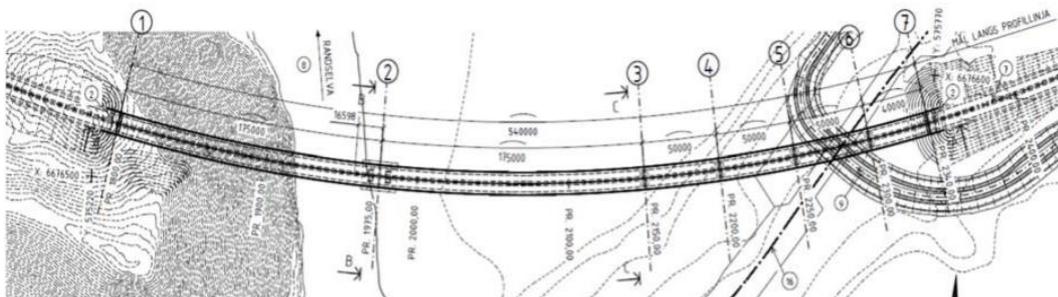


Figura 2 - Vista do plano de alinhamento rodoviário da Ponte Randselva
Fonte: Piotr Poraj Górski [2]

A ponte está projetada para ter 634 metros de comprimento, 14,5 metros de largura, atingindo 55 metros acima do nível do solo no ponto mais elevado sobre o rio Randselva. Assentará em seis pilares com alturas entre 5 e 42 metros e o vão principal terá 200 m de comprimento [3].

Tendo em consideração a geometria complexa da sua estrutura, detalhadamente explicada no capítulo 3.3 deste documento e que demonstra a complexidade associada a esta obra, na construção da Ponte Randselva foi adotada uma abordagem exclusivamente baseada em modelos BIM, sendo a ponte mais longa do mundo projetada e construída sem nenhum desenho 2D.

2.2. PROPRIEDADE

A Ponte Randselva está integrada no projeto promovido pela Statens vegvesen - Norwegian Public Roads Administration (NPRA) para a construção do troço da E16 (Estrada Europeia 16) Eggemoen-Olum (iniciado em 01-07-2008), entre Buskerud e Viken.

A E16 começa em Londonderry, na Irlanda do Norte, passa por Belfast, Glasgow, Edimburgo, Bergen, Hønefoss, Borlänge, Falun e Sandviken, e termina em Gävle, na Suécia. Tem 1.180 km de extensão, dos quais 190 km na Grã-Bretanha, 630 km na Noruega e 360 km na Suécia.

2.3. INTERVENIENTES

Sendo parte de um projeto maior, que incide na requalificação da E16, uma autoestrada que atravessa vários países europeus, a equipa envolvida teria que ser também ela Pan-Europeia.

Nesse sentido, a Statens vegvesen (NPRA), promotor / dono de obra, concessionou a obra da Ponte Randselva ao consórcio composto pelas seguintes empresas:

- Sweco Norway (Noruega) - quatro equipas de quatro países (Noruega, Dinamarca, Finlândia, Polónia): modelagem 3D e design;
- PNC Norge AS (Noruega) - subsidiária do grupo austríaco PORR: empreiteiro geral / diretor de obra;
- Armando Rito Engenharia SA (Portugal): controlo de qualidade do modelo 3D, cálculos e design;
- Isachsen Anlegg AS (Noruega): subempreiteiro



Figura 3 - Logotipos das empresas do consórcio da Ponte Randselva
Fonte: Websites das empresas identificadas.

3. DESAFIO

3.1. CONTEXTO CULTURAL

O uso do BIM foi introduzido na Noruega no início dos anos 2000 pela entidade pública Statsbygg (Norwegian Directorate of Public Construction and Property) que em 2005 desenvolveu o primeiro projeto-piloto em formato IFC (Industry Foundation Classes), chamado HiTOS.

Em 2008 foi responsável pela publicação da primeira versão do Norwegian 'BIM manual', que definiu os requisitos para os projetos BIM. Este documento, atualmente designado SIMBA, encontra-se na sua segunda versão (SIMBA 2.0 - consultar [aqui](#)).

Desde 2007, todos os projetos públicos e os que sejam compartilhados em pelo menos 50% com recursos públicos tem que ser obrigatoriamente projetados com recurso ao BIM [4].

Em 2010, a Statsbygg passou a requerer o uso do formato IFC para a construção e gestão de todo o ciclo de vida dos edifícios públicos que gere, e em 2012, o BIM tornou-se obrigatório também para obras municipais e nacionais acima de determinado valor.

Ainda em 2012, a Statens vegvesen (NPRA - Norwegian Public Roads Administration) e a Jernbaneverket (Norwegian National Rail Administration), entidades governamentais da Noruega responsáveis pela gestão dos meios de transporte rodoviários, passaram a exigir o BIM nas suas diretrizes.

A NPRA iniciou em 2010 o desenvolvimento do Manual V770 Model Data ('Modellgrunnlag'), que foi lançado em dezembro de 2012 ('138 Modellgrunnlag'). Neste manual encontra-se descrito como os modelos 3D podem ser usados em projetos de estradas e estão definidos os requisitos de qualidade para dados básicos, modelos e outros tipos de documentação [5].

Um dos objetivos da NPRA com a publicação deste manual foi a redução das alterações e dos conflitos na fase de execução da obra que, como se comprova na figura seguinte, levam ao aumento dos custos.

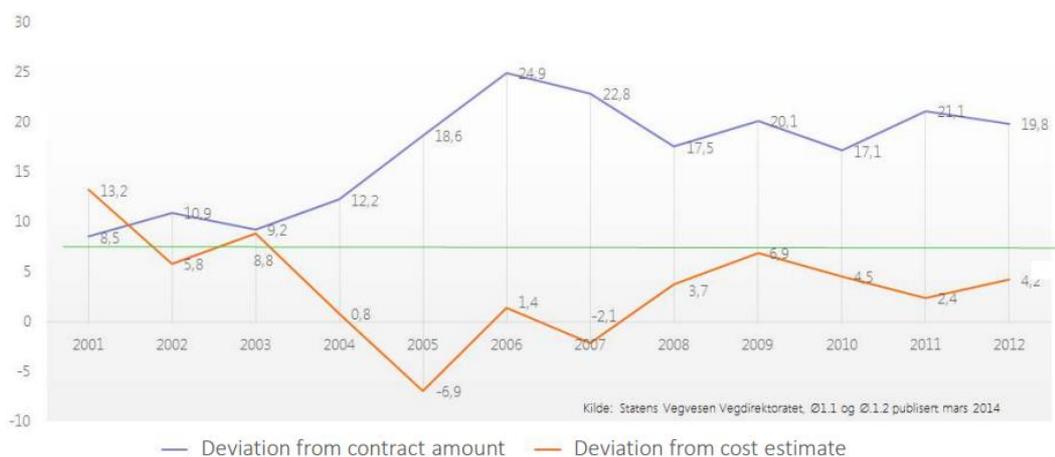
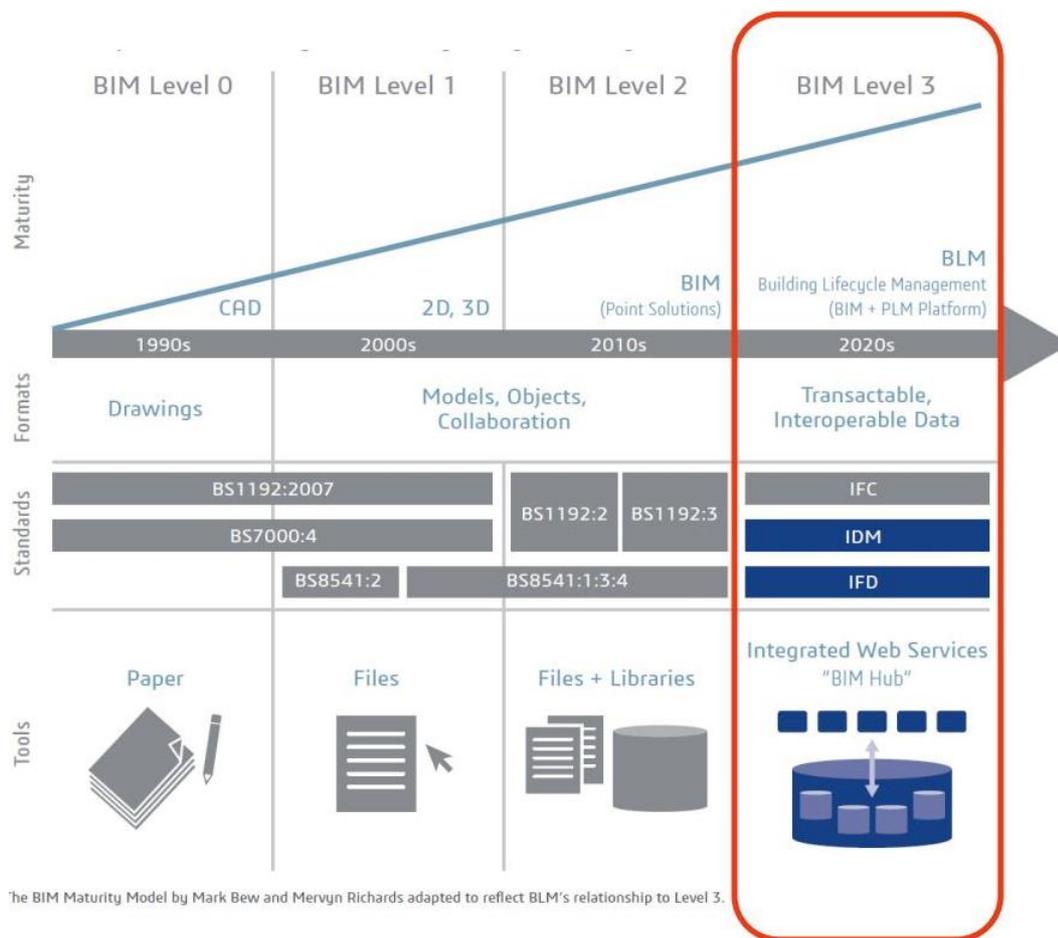


Figura 4 - Custo de desenvolvimento de projetos rodoviários
- como % do preço do contrato e estimativa de custo
Fonte: BERG, Heidi (Vianova Systems AS) [6]

No que respeita a pontes e conceção estrutural de infraestruturas, esta entidade lançou em 2015 o Manual N400, que definiu simultaneamente requisitos específicos para estas estruturas, como por ex. ser necessário o uso de formatos open BIM; o detalhe e precisão dos modelos 3D dever ser, pelo menos, a mesma dos desenhos 2D tradicionais; o levantamento de dados ser retirado do modelo 3D; serem feitos alguns desenhos 2D, nomeadamente o desenho geral da estrutura [7]

A empresa pública Nye veier AS (New Roads), responsável pelo planeamento, construção, operação e manutenção das principais autoestradas da Noruega, criada em 2015, passou a exigir nos seus últimos projetos de conceção e construção a utilização do BIM Nível 3.



Dassault Systems



Figura 5 - Requisitos BIM pela Nye Veier
Fonte: Imagem retirada da apresentação 'BIM strategi i Nye Veier'

Quase em simultâneo, e muitas vezes antes ainda de ser definido esse requisito pelas autoridades nacionais, as empresas norueguesas de design e de construção começaram a utilizar o BIM na conceção dos projetos que desenvolviam ('Bottom-up' market initiative) [7].

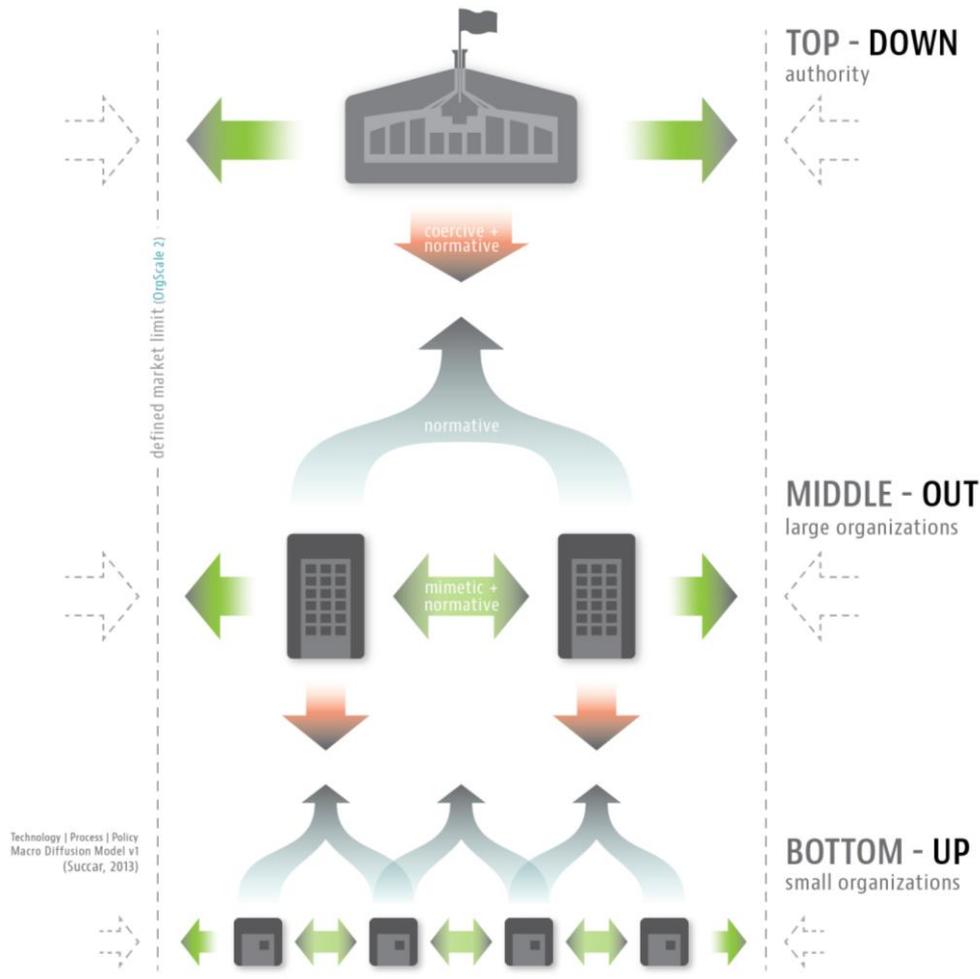


Figura 6 - Métodos de Difusão do BIM - Top-Down, Bottom-Up e Middle-Out
Fonte: Imagem retirada do vídeo "Diffusion Dynamics", BIM ThinkSpace, Episode 19

Diffusion DYNAMIC	ACTOR Transmitter	Pressure MECHANISM	RECIPIENT Adopter	Pressure TYPE
Top-Down	Government or regulatory body	Downwards ↓	All stakeholders falling within the circle of influence of the authority exerting pressure	Coercive; normative
		Horizontal ↔	Governments and authorities in other markets	mimetic
Middle-Out	Large organization or industry association	Downwards ↓	Smaller organizations further down the supply chain; members of industry associations	Coercive; normative; mimetic
		Upwards ↑	Governments and regulatory bodies within the market	Normative
		Horizontal ↔	Other large organizations and industry bodies within or outside the market	Mimetic; normative
Bottom-Up	Small organization	Upwards ↑	Larger organizations and industry bodies	Normative
		Horizontal ↔	Other small organizations	Mimetic; Normative

Latest image: <http://bit.ly/MacroDD>

Figura 7 - "How BIM adoption is subject to different types of diffusion pressures: Coercive, Normative, and Mimetic"

Fonte: Imagem retirada do vídeo "Diffusion Dynamics", BIM ThinkSpace, Episode 19

No que respeita ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas com o BIM, a Noruega conta ainda com a atuação da SINTEF, a maior organização independente de investigação da Europa, e cujo foco de estudo tem sido o desenvolvimento de ferramentas sustentáveis para melhorar a construção e operação dos edifícios [8]

Com mais projetos de construção desenvolvidos em 3D do que qualquer outro país, a Noruega é um exemplo a seguir para o resto da indústria, que se caracteriza pelas decisões ousadas, colaboração próxima e coragem para conduzir a mudança.

Most Influencing BIM Countries

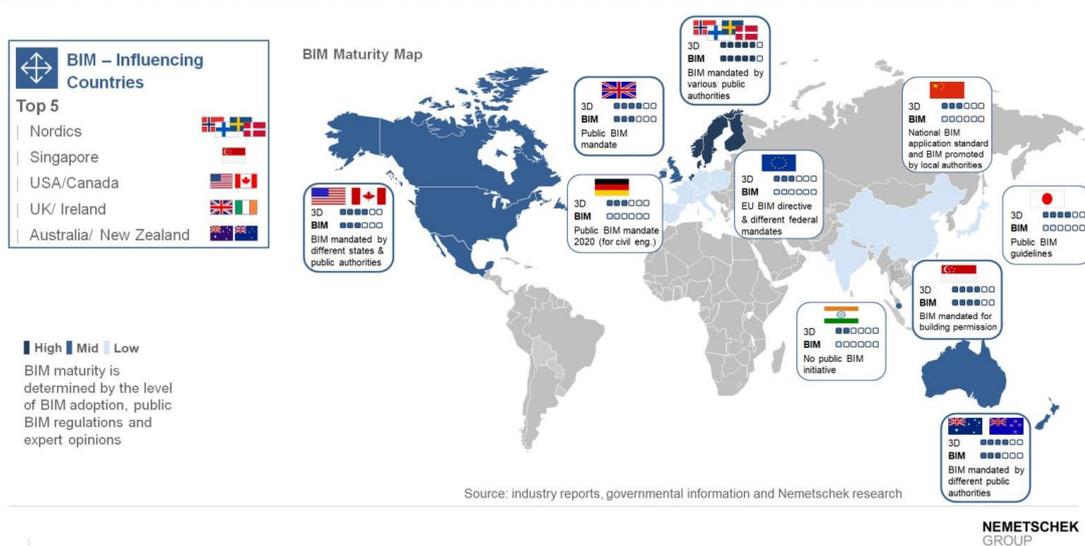


Figura 8 - Mapa ilustrativo do nível de desenvolvimento da tecnologia BIM no Mundo, com os países nórdicos em 1º lugar do Top 5
Fonte: BIM Corner [7]

3.2. MOTIVAÇÃO

A exigência inicial, patente na documentação do concurso era apenas de que a ponte fosse projetada e construída de acordo com os requisitos estabelecidos na Noruega para este tipo de projeto (patentes nos documentos "V770 Modellgrunnlag" e "R700 Tegningsgrunnlag") e que o empreiteiro fornecesse as "Instruções BIM". Na realidade, estas especificações poderiam ser garantidas desenvolvendo apenas um modelo 3D geral do projeto com os elementos principais, entregando toda a restante documentação necessária para a execução da obra no formato tradicional (desenhos 2D) [9].

Desde que, em 2016, começou a aceitar projetos baseados em modelos BIM, a NPRA tem trabalhado em estreita colaboração com a indústria de modo a promover uma transição suave para a construção apenas com recurso à tecnologia BIM.

No entanto, a decisão de adotar uma abordagem 100% baseada em modelos BIM na construção da Ponte Randselva partiu do consórcio que ganhou o concurso para a construção da obra, que, na sequência do desenvolvimento por parte da SWECO de alguns projetos anteriores recorrendo apenas a esta metodologia, lançou o desafio à restante equipa.

Para além dos desafios enfrentados e constrangimentos inerentes (que se encontram enumerados e detalhados no ponto 3.3 deste documento), que demonstram a complexidade associada a esta obra, outra motivação que levou à decisão de adotar o BIM, e de forma integral (sem desenhos 2D), foi a observação de reduções significativas nos pedidos de alterações durante a obra em projetos anteriores, nos quais tinha sido utilizada esta tecnologia de forma parcial como base para a produção de desenhos.

3.3. CONSTRANGIMENTOS

A Ponte irá ligar as duas margens do Rio Randselva, sendo que a escolha da solução construtiva ideal foi fortemente influenciada pela forma assimétrica do vale do rio naquele local e pelos desafios geotécnicos associados a grandes massas soltas na margem oeste do rio [10]. No planalto de Eggemoen o solo é composto por areias finas, com alguma areia grossa/cascalho até aos 17,1m de profundidade, e abaixo disso morainas, rochas e cascalho. Até aos 35,7 m de profundidade não foi detetada a presença de solo rochoso. Por este motivo, pela primeira vez numa ponte rodoviária na Noruega, teve de ser contemplada a utilização de estacas de betão de fricção reforçadas com 1,5 m de diâmetro [2].

Por outro lado, no lado oposto do rio Randselva, o solo rochoso entre este e a Reserva Natural de Svenådalen é composto maioritariamente de sedimentos rochosos de xisto (Cambro-silurianos), grés/argila e calcário. Assim, o risco de encontrar xisto de alúmen era demasiado elevada, pois existem vestígios deste mineral em ambos os lados do Rio Randselva e até à interseção em Kleggerud. O xisto de alúmen contém sulfatos que se desintegram e formam ácido sulfúrico quando em contacto com o oxigénio. Se tal ocorresse, os lixiviados de ácido e metal formados causariam danos ambientais severos. Por esse motivo, a equipa do projeto da Ponte Randselva teve que abordar estes solos como resíduos, seguindo as disposições específicas existentes nos regulamentos sobre poluição [2].

As condições desafiantes do solo, que causariam problemas acrescidos nas fundações, nomeadamente ao nível dos assentamentos, forçaram a equipa de design a realizar cálculos avançados e a utilizar um método não convencional para a instalação de estacas de núcleo de aço.



Figura 9 - Fase de Construção da Ponte Randselva
Fonte: Krzysztof Wojslaw [10]

O Método de Avanços Sucessivos foi um dos métodos usados na tecnologia de construção da ponte [2]. Mais comumente utilizado na construção de pontes metálicas, a introdução do betão pré-esforçado permitiu a adaptação deste método a pontes de betão-armado. Foi usado devido às duas estradas (em direção ao Museu Kistefoss) e à movimentada linha férrea situadas sob a ponte, e aplicado do eixo 4 ao eixo 8 da ponte. O segundo método utilizado, Balanced Cantilever (entre o eixo 1 e o eixo 4), permitiu reduzir o impacto no rio Randselva e na encosta a oeste (uma área verde protegida).



Figura 10 - Fase de Construção da Ponte Randselva
Fonte: Zigurat Global Institute of Technology [11]

Também o facto de a ponte ter uma geometria muito complexa, esguia e uma curvatura ligeira, obriga a que seja feito um reforço muito pesado combinado com a ancoragem de cabos pós-tensionados, o que torna muito difícil a conceção de certas áreas.

Até à data da conceção da Ponte Randselva, o maior comprimento de uma ponte que se considerava ser possível construir sem recurso a quaisquer desenhos 2D seria 50m [10].

No que respeita à modelagem 3D em BIM, nem sempre esta metodologia é a ideal para o uso na projeção de pontes, pois a construção deste tipo de infraestrutura difere fortemente da construção de edifícios, tipologia onde é mais comum a sua adoção, o que leva a recorrer a soluções de adaptação dos softwares existentes de modo a atender às necessidades específicas deste tipo de projetos. Por esse motivo, o consórcio recorreu à utilização do software Tekla Structures, desenvolvido pela Trimble (uma das empresas que tem aumentado o foco de desenvolvimento dos seus produtos em pontes), que ajudou os engenheiros a superar os desafios associados à geometria delgada e complexa da ponte e ao reforço pesado, enquanto a deteção de conflitos (clashes) garantiu que o projeto fosse construível.

O projeto da Ponte Randselva tem mais de 200 fases de betonagem do betão, o que, sem recurso ao BIM, exigiria a produção manual e individual de listas de dobragem das armaduras do betão armado para cada fase de betonagem, uma tarefa bastante demorada e sujeita a erros.

Na figura seguinte apresenta-se um resumo dos principais fatores de complexidade associados ao projeto da Ponte Randselva.

FATOR DE COMPLEXIDADE	NÍVEL
Topografia	Médio
Perfurações do solo	Baixo
Drenagem do solo	Alto
Terraplanagens	Médio
Acessos/Acessibilidade	Médio
Tráfego	Baixo
Condições naturais	Alto
Stakeholders	Médio
Requisitos ambientais	Alto
Envolvente habitacional, edifícios existentes e infraestruturas	Baixo
Complexidade técnica	Médio

Figura 11 - Fatores de complexidade da Ponte Randselva
Fonte: Piotr Poraj Górski [2]

Conforme exposto no capítulo 3.5 do presente documento, a importância de ter todos os intervenientes envolvidos na conceção do projeto desde o início é ainda outro aspeto de extrema importância, e neste projeto foi evidente quando por ex., já em fase de obra, foi detetado que um dos fornecedores de aço não tinha equipamentos produtivos com capacidade de executar os raios de dobragem das armaduras previstos no modelo.

3.4. APROVAÇÃO E INSPEÇÕES

O promotor do projeto da Ponte Randselva, a NPRA, é também a autoridade nacional responsável por analisar e aprovar os projetos de todas as pontes rodoviárias da Noruega, nacionais e regionais, antes da sua construção ser autorizada, numa média de 300 aprovações por ano [12].

Na NPRA, o processo de aprovação dos projetos de pontes é liderado por Sigmund Reinsborg Log, um Engenheiro de Estruturas de formação que reconhece as vantagens do BIM, e que tem sido fundamental na orientação da Noruega para a Modelagem de Informações de Construção 3D (BIM). A sua equipa trabalhou logo desde o início com o projeto da Ponte Randselva, projetada e construída inteiramente com recurso ao BIM. Em 2017, tendo como objetivo estabelecer procedimentos na NPRA para aceitar modelos 3D em vez de desenhos técnicos, Sigmund Reinsborg Log e a sua equipa tiveram que elaborar diretrizes e princípios a partir do zero. Na Noruega existem atualmente vários projetos de pontes em desenvolvimento em que a conceção e execução estão a ser realizados sem que nenhum desenho 2D seja produzido, sendo que, até ao momento, mais de 150 já foram aprovados.

A chave do sucesso para esta realidade é a cooperação e a adoção, por parte dos promotores pioneiros no desenvolvimento de projetos com recurso ao BIM a 100% na Noruega, de uma postura de partilha de informação em vez de proteção das suas posições de mercado. São continuamente realizados fóruns onde os vários intervenientes privados e públicos se reúnem para discutirem as dificuldades, partilhar soluções e se ajudam mutuamente tendo em mente a evolução da indústria na Noruega.

Segundo o Eng.º Tiago Vieira, da Armando Rito Engenharia, embora o projeto da Ponte Randselva tenha sido, logo desde o início, concebido com recurso total ao BIM, a equipa optou por apresentar na fase de concurso cerca de 12 desenhos 2D retirados do modelo. Na fase seguinte, a própria NPRA exige ainda a apresentação de um mínimo de desenhos 2D, nomeadamente, de Dimensionamento geral (que mostra a obra e onde constam todos os descritivos) e Desenhos complementares (das áreas afetadas pelas escavações, valores sequências de tensionamento dos cabos de pré-esforço, por ex.).

Passando para a fase de revisão do projeto e de execução da obra, a revisão do projeto é feita com base no modelo, através da extração deste em formato IFC para um sistema de comunicação (Solibri e Trimble Connect) que permite, não só à NPRA como ao construtor (PNC) consultar e aprovar quaisquer revisões, ajustes e esclarecer dúvidas.

3.5. IMPLEMENTAÇÃO 'IN SITU'

Embora vários estudos em diversos países já tenham vindo a confirmar a eficácia dos projetos executados com recurso à metodologia BIM, ao nível da redução dos prazos e dos custos da obra acima dos 5%, ou da melhoria da qualidade dos projetos, da gestão e planeamento, o facto de a adoção do BIM ir muito além de "fazer um projeto", mas sim tratar-se de um processo de inovação de médio/longo prazo, que necessita de investimentos em pessoal, formação, infraestruturas e reorganização interna de processos, origina, de forma global, a uma resistência por parte dos agentes envolvidos no processo construtivo, nomeadamente as empresas de construção [13].

O processo de transição entre métodos de trabalho é em geral conturbado, e necessita de persistência e cooperação de todos os intervenientes, e a mudança de softwares 2D e 3D para o BIM não é diferente. De facto, esta transição pode demorar mais do que se imagina, devido ao grande número de informações envolvidas no processo. Como argumento para a resistência à implantação da tecnologia BIM algumas empresas alegam não usar a plataforma porque as outras áreas/especialidades ainda não usam, outras apontam a inexistência de recursos para investir nesta nova tecnologia e em formação. Há ainda os que afirmam que a nova plataforma poderá limitar a criação arquitetónica [14].

O projeto da Ponte Randselva foi desenvolvido sem desenhos 2D, tendo como base apenas arquivos IFC, ou seja, só existem informações do modelo 3D e essas informações têm que se revelar suficientes para serem usadas no estaleiro de obra. É, assim, necessário que todos - desde projetistas, empreiteiros e trabalhadores no estaleiro - tenham formação especializada, uma vez que o BIM reveste uma forma completamente diferente de aceder e de processar informações [15].

Esta nova abordagem levou todos os intervenientes a renunciar aos métodos tradicionais e aos desenhos 2D, tendo esta transformação obrigado a uma mudança em toda a indústria, desde os fornecedores, projetistas, topógrafos, diretores técnicos de obra e trabalhadores do empreiteiro e do subempreiteiro. De acordo com o Eng.º Tiago Vieira, foi necessário um período inicial de adaptação de todos os intervenientes neste projeto, pois nem todos estavam familiarizados com o processo de modelação 3D em BIM, e o arranque foi difícil pois estavam muito habituados ao método tradicional. Este constrangimento acabou por absorver quaisquer ganhos de tempo que poderiam ocorrer se todos os intervenientes já tivessem maior domínio na utilização do BIM.

Para a PNC, a Ponte Randselva é o primeiro projeto que se propõe a construir sem recurso a quaisquer desenhos 2D, e por esse motivo, de modo a maximizar a partilha de conhecimento e a eficiência, e para garantir que o conhecimento 3D é partilhado entre todos, além da formação foi também encorajada a combinação das competências informáticas dos trabalhadores mais jovens com o extenso conhecimento prático dos trabalhadores mais experientes.

Segundo o Eng.º Tiago Vieira, o grande desafio para a equipa do projeto da Ponte Randselva foi, não tanto ao nível da modelação 3D em BIM, mas de como se iria extrair a informação do modelo, processo que considera que ainda precisa de ser melhorado.

Cerca de 95% das informações são enviadas à PNC e à Isachsen (subempreiteiro) sob a forma de arquivos IFC, rotulados de acordo com a respetiva fase de aplicação (frente de obra). As equipas a trabalhar no estaleiro têm à disposição tablets para poderem aceder aos modelos BIM em qualquer lugar, ou visualizá-los em grandes monitores disponíveis dentro dos "quiosques" - contentores instalados no estaleiro [1].

Através da plataforma de colaboração online Trimble Connect, da qual melhor falaremos no ponto 4.1 do presente documento, a equipa que se encontra a trabalhar no estaleiro pode ainda comunicar qualquer questão ou problema que surja e que precise de ser discutido com a equipa de modelação 3D da Sweco, com os projetistas da Armando Rito, ou com outras partes interessadas.

No sentido contrário, quaisquer revisões e mudanças feitas ao modelo são identificadas e podem ser filtradas no visualizador de arquivos IFC de modo que os trabalhadores no estaleiro possam consultar rapidamente e em tempo real os objetos que tenham sido alvo de mudanças geométricas, mudanças de colocação e o respetivo estado de aprovação [15].

Também as encomendas de materiais são realizadas através do envio do modelo diretamente aos fornecedores. Por exemplo, o fornecedor do aço consulta o modelo que contei uma numeração para todas as barras e fornece cada uma delas etiquetada de acordo com o modelo.

Desta forma, a informação (tridimensional) pode ser usada por todos os intervenientes, que, como já referido anteriormente, devem idealmente estar envolvidos na conceção do projeto desde o início:

- Projetistas e equipa de modelação, para controlar o Modelo;
- Empreiteiro e Subempreiteiro, para acompanhar todas as alterações atualizadas, e controlar todas as mudanças feitas aos objetos projetados e o seu status atual;

- Fornecedores e Promotor e terceiros envolvidos (como as entidades fiscalizadoras), para entender as regras seguidas nas revisões / alterações realizadas aos objetos e não perderem nenhuma informação.

A equipe de projetistas da ponte Randselva deu ainda mais um passo em direção à digitalização do projeto com o uso de um sistema de realidade aumentada, que permite visualizar em estaleiro uma versão virtual da sequência seguinte de construção sobre o que já se encontra edificado. Esta tecnologia (VR) é utilizada sobretudo para planejar e instalar as tubagens e as armaduras, assim como para controlar a posição dos andaimes e das estacas.



Figura 12 - Utilização do Sistema de Realidade Aumentada Trimble Sitevision na Ponte Randselva
Fonte: Zigurat Global Institute of Technology [11]

4. ABORDAGEM / SOLUÇÃO

4.1. SOFTWARE TEKLA

O projeto da Ponte Randselva foi pioneiro ao utilizar um modelo 3D paramétrico como a única documentação oficial e fonte de informações necessárias para construir a ponte sem desenhos.

Um dos intervenientes no projeto, a SWECO, tinha terminado a modelação de um projeto importante, com recurso totalmente ao BIM, com um nível de parametrização muito elevado (utilizando as ferramentas Grasshoppers e Rhino para o 'design paramétrico', integrados no software Tekla da Trimble), e sugeriu ao consórcio a utilização desta ferramenta para a modelação da Ponte Randselva.

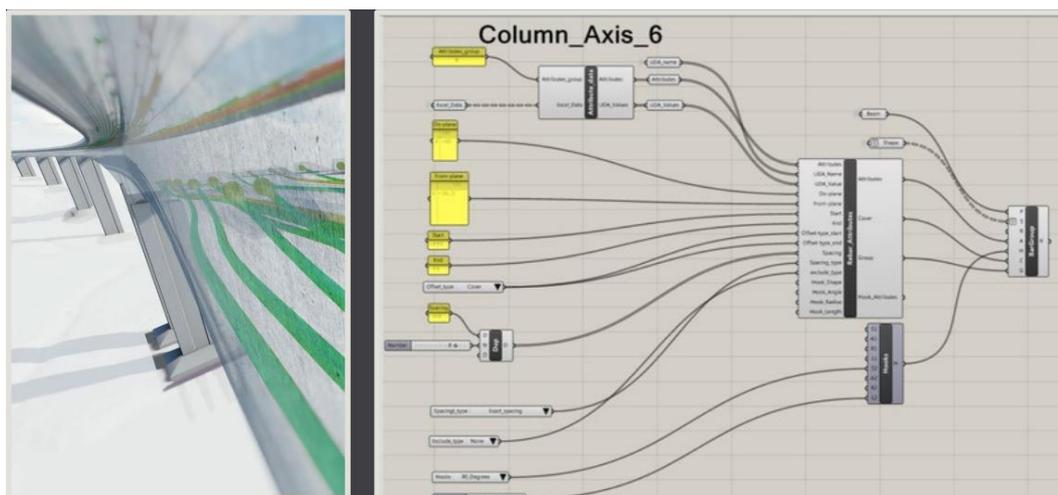


Figura 13 - Exemplo de Desenho Paramétrico da Ponte Randselva
Fonte: Krzysztof Wojslaw [10]

Tanto o setor como um todo quanto algumas das empresas de desenvolvimento de software têm, nos últimos anos, intensificado os esforços para adaptar a tecnologia BIM às necessidades específicas dos projetistas, empreiteiros e proprietários de pontes. Os dados precisam ser padronizados para serem úteis e para garantir que quaisquer alterações sejam refletidas em todo o modelo, de forma que este se mantenha atualizado. Os softwares evoluem inevitavelmente com o tempo, levando a questões de compatibilidade com versões anteriores, sendo este problema agravado quando se trata de projetos de pontes, que são infraestruturas que podem ter uma vida útil de 100 anos ou mais.

Isso torna particularmente importante o uso de um formato aberto não vinculado a um software específico ou a uma encarnação específica desse software, especialmente porque manter a ponte em bom estado de conservação tende a ser um problema de segurança pública. A publicação de formatos IFC específicos para pontes, permite que os proprietários e todos os outros intervenientes utilizem o BrIM em formato aberto [12].

A Trimble é uma das empresas que tem aumentado o foco do seu desenvolvimento em pontes. O software utilizado pelo consórcio, Tekla Structures, desenvolvido pela Trimble, ajudou os engenheiros a superar os desafios associados à geometria delgada e complexa da ponte e ao reforço pesado, enquanto a detecção de conflitos (clashes) garantiu que o projeto fosse construível. O sistema também é compatível com a modelagem da forma da ponte usando a abordagem de 'design paramétrico'.

O BIM (ou BrIM) permite que criar simulações 3D que contêm significativamente mais informações sobre as estruturas reais do que desenhos 2D produzidos usando um sistema de desenho tradicional auxiliado por computador.

As várias equipas da Sweco, distribuídas pela Noruega, Finlândia, Dinamarca e Polónia utilizaram o Tekla Model Sharing para trabalhar diariamente, e ao mesmo tempo no modelo, pois permite a sincronização das alterações e mantém o trabalho nos diferentes objetos flexível [16].

O BIM teve o papel principal neste caso, bem como a correta modelação do modelo. Este projeto é um exemplo em que a maioria dos benefícios ou bons resultados podem ser alcançados através de uma forte colaboração e cooperação entre a equipa projetista e o empreiteiro geral. Só a partilha e a troca de conhecimentos com os stakeholders experientes permitem que o coração do projeto (Modelo BIM) se desenvolva da forma mais útil [11].

Para esta cooperação resultar é fundamental o cuidado controlo das informações e propriedades anexadas aos objetos do modelo 3D desenvolvido. Outra das ferramentas utilizadas foi o Trimble Connect, que permitiu que todos os intervenientes tivessem acesso atualizado a todas as informações e alterações realizadas em tempo real, através de alertas gerados, e garantindo assim a qualidade do projeto ao mais alto nível.

Adicionalmente, o software Trimble Sitevision (sistema de realidade aumentada) está a ser utilizado no estaleiro, para visualizar versão virtual da sequência seguinte de construção sobre o que já se encontra edificado. Esta tecnologia (VR) é utilizada sobretudo para planear e instalar as tubagens e as armaduras, assim como para controlar a posição dos andaimes e das estacas.

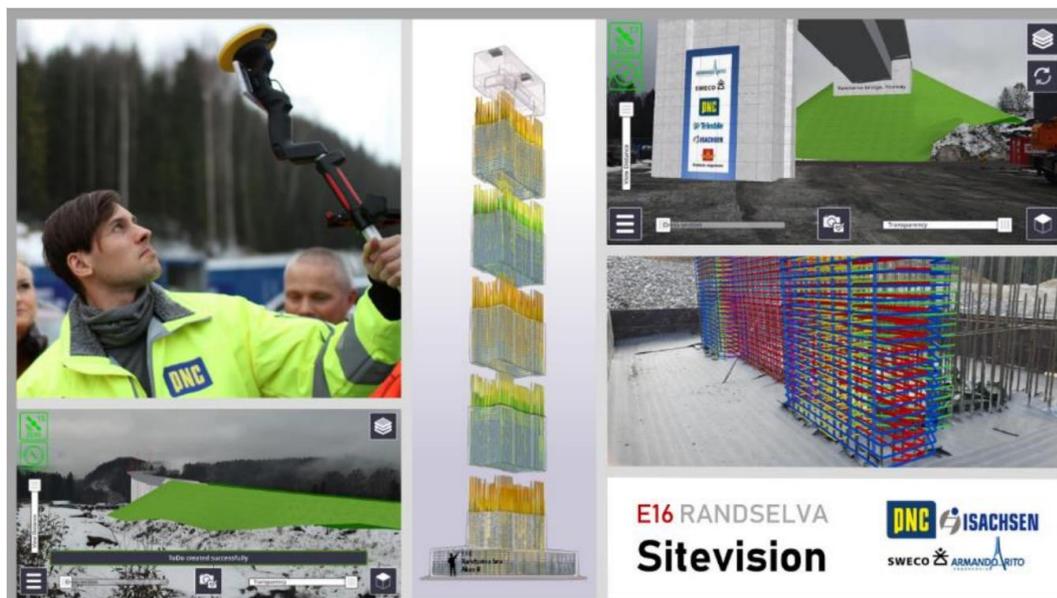


Figura 14 - Utilização de Sistema de Realidade Virtual Trimble Sitevision na Ponte Randselva
Fonte: Krzysztof Wojslaw [10]

Graças ao desenvolvimento de um modelo paramétrico BIM (neste caso, BrIM) e a sua integração com outras ferramentas digitais de avaliação e gestão de projeto, o promotor / dono da obra (NPRA) e o empreiteiro geral (PNC) puderam, em conjunto com a equipa de engenharia, rapidamente explorar as diferentes opções e respetivas consequências de cada uma delas, nomeadamente no que respeita ao custo.

Essa colaboração em tempo real, entre os principais intervenientes proporcionou uma maior qualidade do projeto num tempo mais curto, e aumentou a confiança entre os membros da equipa do projeto. A bem-sucedida coordenação da solução BIM apresentada gerou poupanças significativas de tempo e de custo durante a fase de construção. As questões que habitualmente surgem no local da obra foram reduzidas em 80%, o que liberta a equipa de design para tarefas de maior valor acrescentado.

Neste projeto, 95% da informação partilhada com o construtor e empreiteiro foi feita através de arquivos IFC. O design paramétrico foi utilizado em cerca de 70% dos objetos do modelo BIM [17]. Cada objeto contém 50 atributos informativos, e o modelo global contém 200.000 armaduras, 250 cabos pós-tensionados que não poderiam entrar em conflito com nada e 200 fases de betonagem do betão. Ao mesmo tempo, o software garante um sistema de deteção automática de conflitos que assegura a qualidade do modelo, ajudando a eliminar erros, o que se traduz em redução de tempo e de custos em fase de execução, o que é crucial para o cumprimento dos prazos da empreitada [10].

O modelo 3D foi desenvolvido para ser utilizado em quatro propósitos principais [18]:

- Terraplanagens;
- Escavações e aterros;
- Betonagem do betão e colocação de andaimes (produtos de terceiros que são adicionados ao modelo);
- Armaduras.

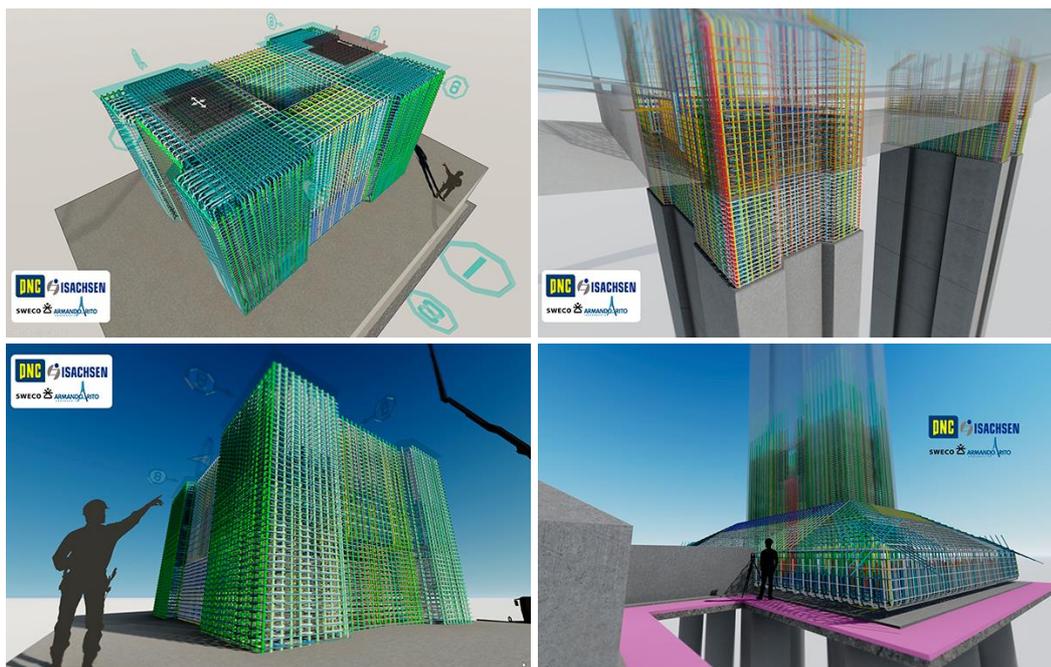


Figura 15 - Exemplos do Modelo 3D BIM da Ponte Randselva
Fonte: Zigurat Global Institute of Technology" [11]



5. BENEFÍCIOS

A melhor forma de avaliar os benefícios da adoção da metodologia BIM no projeto de concepção da Ponte Randselva, é através da análise dos resultados observados e das mudanças percebidas, em comparação com o método tradicional.

De modo transversal, e segundo as conclusões de um estudo realizado pela empresa Vianova Systems AS e a NPRA [6], que analisou seis projetos rodoviários completos, desenvolvidos na Noruega, e que comparou o volume de pedidos de alteração entre os que se basearam em modelos 3D e os que usaram o método "tradicional" 2D, os benefícios económicos associados ao uso de modelos (segundo os requisitos definidos no Manual V770 da NPRA) *versus* o método tradicional foram:

- Os projetos baseados em modelos 3D apresentam uma redução de erros e deficiências no material de design, o que significa uma construção mais rápida e com menor custo.
- Maior foco na qualidade dos dados do modelo básico reduz a proporção de eventos imprevistos (acidentes, condicionantes naturais, por ex.) e consequentes pedidos de alteração.
- Os pedidos de alteração são reduzidos significativamente. A análise mostrou uma redução de 11% nos pedidos de alteração usando o método de design de modelo 3D em comparação com o tradicional.

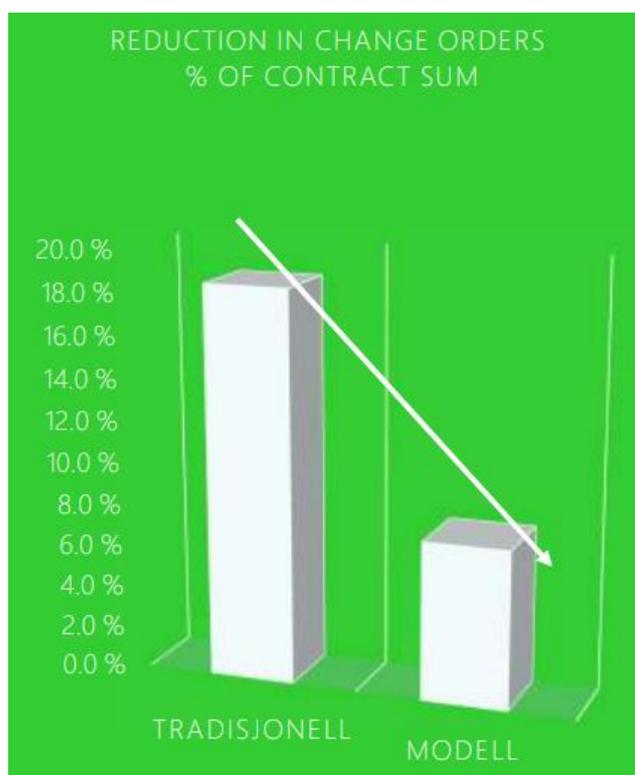


Figura 16 - Efeitos do uso do Manual V770 Model Data
Fonte: BERG, Heidi (Vianova Systems AS) [6]

No projeto da Ponte Randselva, a utilização de uma abordagem OpenBIM promoveu uma melhor acessibilidade às informações e agilizou a comunicação, já que o modelo mais atualizado estava sempre disponível para todos consultarem instantaneamente.

Além disso, os conflitos detetados ou os ajustes efetuados puderam ser identificados mais facilmente diretamente no modelo BIM, diminuindo o surgimento de problemas inesperados, que muitas vezes são custosos e demorados. A grande qualidade do modelo 3D levou a uma redução de quase 80% das solicitações em obra ao projetista e, graças ao pedido/encomenda de materiais diretamente do modelo, os custos com novas encomendas foram reduzidos em 50%.

Num projeto baseado em desenhos 2D os custos relacionados com alterações de design, erros ou problemas não detetáveis aumenta em 19%, enquanto que utilizando a metodologia BIM estes representam entre 6% a 8% de custo extra.

Por outro lado, os desenhos 2D geralmente são específicos de cada país, enquanto as informações do modelo BIM são universais, tornando a cooperação transfronteiriça mais fácil e imediata, o que, no caso da Ponte Randselva permitiu trabalhar com uma equipa Pan-Europeia [10].

Adicionalmente, observam-se ainda os seguintes benefícios do uso da metodologia BIM neste projeto [17]:

- Melhor planeamento e controlo de tempo (4D) e custo (5D) da obra;
- 'Design paramétrico' flexível que facilitou o processo de revisão e permitiu rápidas alterações ao Modelo;
- Projeto reutilizável devido à modelagem de 'design paramétrico'.

No entanto, a equipa também enfrentou alguns desafios relacionados com a opção de utilização da metodologia BIM a 100%, nomeadamente: a forma muito diferente de efetuar o controlo de qualidade, o que requer ainda uma necessidade de padronização adicional; a dificuldade de mostrar os objetos que foram removidos do modelo; e a necessidade de garantir que as informações escritas sejam bem transferidas do modelo [12].

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Temos assistido a uma vontade crescente de transformação na indústria da construção civil com o uso cada vez maior da tecnologia BIM. Esta permite fazer uma simulação da obra, ou seja, o projetista pode calcular a quantidade de material necessário e, por ex., realizar ensaios de resistência a ventos, movimentos sísmicos, iluminação, conforto térmico e acústico. A ferramenta possibilita ainda a redução de erros, conflitos e alterações, levando consequentemente a uma diminuição dos desperdícios e resíduos em obra [19].

De acordo com o Global Architectural BIM Software Market Research Report 2019-2026, elaborado pela Research N Reports, o valor da indústria BIM em todo o mundo gerará receitas de mais de 99.830 milhões de euros até 2026, representando um crescimento global a uma taxa média de 23% nos próximos sete anos [20].

Conforme exposto ao longo deste documento, a adoção e implementação da metodologia BIM é um processo que já se encontra em marcha, e que já não é possível reverter. Embora a resistência à mudança seja ainda relevante por parte dos diversos agentes do setor da construção, esta tem que se iniciar o quanto antes sob pena dos "resistentes" perderem competitividade.

O Eng.º Tiago Vieira, da Armando Rito Engenharia, tendo a experiência da participação no projeto da Ponte Randselva, reconhece que em Portugal, as autoridades públicas têm interesse na implementação do BIM, mas considera que os decisores não têm feito o investimento necessário na concretização dessa vontade, enquanto na Noruega, as autoridades já exigem requisitos mínimos no que respeita ao BIM. De acordo com o Engenheiro, "ter este modelo completo disponível para a fase de exploração de determinada infraestrutura, para os donos de obra é um ativo muito valioso, porque passam a ter uma concretização da obra a que podem recorrer com um grau de detalhe que não existe até hoje - para manutenções, por ex".

A aposta na formação é crucial, e passa não apenas pelo investimento individual das empresas junto das suas equipas, mas também a montante, na formação de novos profissionais. No entanto, o nível e a velocidade de desenvolvimento do BIM em Portugal, estarão indexados à vontade de investimento que as empresas tenham disponibilidade de fazer. Este acabará por ser mais elevado para os agentes a montante, por ex. as empresas projetistas, uma vez que executam vários projetos ao mesmo tempo e têm necessidade de um maior número de equipamentos, enquanto as empresas construtoras, por outro lado, podem concentrar o investimento num menor nº de equipamentos, que utilizam para verificação dos arquivos IFC.

Em suma, o sucesso da implementação do BIM dependerá de um esforço conjunto de todos, não só, ou primeiro, dos projetistas, mas de todos os players do setor ao mesmo tempo, senão não haverá incentivo à mudança.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tekla, "Randselva bridge: closing the gap on drawing-free design," [Online]. Available: <https://www.tekla.com/resources/case-studies/randselva-bridge-closing-the-gap-on-drawing-free-design>. [Accessed 2021 outubro 18].
- [2] P. P. Górski, "Construction Management of Randselva bridge, assessment between two construction methods: cantilever concrete and steelbox method," NTNU, Master Thesis, 2015.
- [3] B. Scandinavia, "Sweco - "Randselva Bridge"," 31 agosto 2020. [Online]. Available: <https://buildingpoint-scandinavia.com/customer-references/Sweco-randselva-bridge>. [Accessed 2021 outubro 18].
- [4] F. G. Jr, "BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia," [Online]. Available: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. [Accessed 19 outubro 2021].
- [5] S. vegvesen, "Håndbok V770 Modellgrunnlag," [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/handboker-fullstendig-liste/>. [Accessed 2 novembro 2021].
- [6] H. BERG, "Experiences with BIM for infrastructure implementation - Measured value of today's level - possibilities with future levels of BIM," Vianova Systems AS, 2 outubro 2014.
- [7] B. Corner, "9 reasons why Norway is THE BEST in BIM!," 1 março 2020. [Online]. Available: <https://bimcorner.com/9-reasons-why-norway-is-the-best-in-bim/>. [Accessed 21 outubro 2021].
- [8] R. d. D. d. MIRANDA and L. SALVI, "Análise da tecnologia BIM no contexto da indústria da construção civil brasileira," *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04. ISSN: 2448-0959, pp. Ed. 05, Vol. 07, pp. 79-98, maio 2019.
- [9] B. Corner, "BIM requirements in Norway - part 1 - Statens vegvesen," 10 novembro 2020. [Online]. Available: <https://bimcorner.com/bim-requirements-in-norway-part-1-svv/>. [Accessed 19 outubro 2021].
- [10] E. -. E. F. o. E. C. Associations, "EFCA - Future Leader of the Year 2021, Entry Form of Krzysztof Wojslaw," [Online]. Available: <https://www.efcanet.org/future-leaders>. [Accessed 20 outubro 2021].
- [11] Z. G. I. o. Technology, "Is Building Without Drawings Possible? The Reality of Randselva Bridge," 21 outubro 2020. [Online]. Available: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/randselva-bridge-without-drawings/>. [Accessed 22 outubro 2021].
- [12] T. C. Index, "BIM for bridges, New developments are making it easier to adopt information modelling on bridge projects. Lisa Russell reports," 5 agosto 2019. [Online]. Available: <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/bim-for-bridges>. [Accessed 20 outubro 2021].
- [13] S. Leusin, "Por que há tanta resistência ao BIM? Uma análise das dificuldades de implantação de processo BIM nas empresas de construção imobiliária," 25 março 2019. [Online]. Available: <https://blogdaliga.com.br/por-que-ha-tanta-resistencia-ao-bim/>. [Accessed 2021 outubro 19].

- [14] M. M. G. CARVALHO, "Gestão de Projetos: O BIM nas Organizações," ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Dissertação de Mestrado, outubro de 2016.
- [15] Z. G. I. o. Technology, "What does BIM mean for the construction of a bridge project?," 10 novembro 2020. [Online]. Available: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-bridges-future/>. [Accessed 22 outubro 2021].
- [16] C. SUNNYVALE, "Trimble Announces Tekla 2020 Global BIM Awards Winners," 2020 outubro 2020. [Online]. Available: <https://www.trimble.com/news/release.aspx?id=100120a>. [Accessed 21 outubro 2021].
- [17] Tekla, "Randselva Bridge - The Best BIM Project & Best Infrastructure Project," [Online]. Available: <https://www.tekla.com/bim-awards/randselva-bridge>. [Accessed 20 outubro 2021].
- [18] G. Neves, "MoB EP 13, Randselva Bridge - designed, approved and being built without drawings," Ministry of Bridges, 9 novembro 2020. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rbvAaF157js>. [Accessed 19 outubro 2021].
- [19] InfraFM, "BIM amplia a transparência nas contratações públicas," 20 agosto 2019. [Online]. Available: <https://infrafm.com.br/Textos/19388/BIM-amplia-a-transpar%C3%A2ncias-contrata%C3%A7%C3%B5es-p%C3%BAblicas>. [Accessed 22 outubro 2021].
- [20] BIMserver.center, "A indústria mundial do BIM crescerá a um ritmo de 23% ao ano durante os próximos sete anos," 29 novembro 2019. [Online]. Available: <https://blog.bimserver.center/br/a-industria-mundial-do-bim-crescera-a-um-ritmo-de-23-ao-ano-durante-os-proximos-sete-anos/>. [Accessed 22 outubro 2021].

