Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Daniel Araújo Vilas Boas Ribeiro

Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão

Maio de 2015

Bruno Daniel Araújo Vilas Boas Ribeiro **Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão**
UMinho | 2015

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Daniel Araújo Vilas Boas Ribeiro

Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho Efetuado sob a orientação do
Professor José Carlos Lino
e do
Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha

Maio de 2015

DECLARAÇÃO

Nome: Bruno Daniel Araújo Vilas Boas Ribeiro

Endereço eletrónico: bruno58597@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 13970760

Título da dissertação: Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão

Orientadores: Professor José Carlos Lino e Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, __/__/____

_____

Bruno Daniel Araújo Vilas Boas Ribeiro

“If you want to live a happy life, tie it to a goal,

not to people or objects.”

Albert Einstein

Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor José Carlos Lino, por todo o apoio, orientação, conhecimentos partilhados e pela disponibilidade ao longo deste trabalho.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha, pela sua constante disponibilidade, apoio, conselhos e entusiasmo demonstrado durante a realização deste trabalho.

Aos Engenheiros João Carvalho e Bruno Barbosa, por toda a ajuda, partilha de conhecimento e informação acerca da construção da Ponte.

Ao Eng. Miguel Pires, pelo entusiasmo e colaboração para a realização deste trabalho. Pelo seu convite para expor o trabalho no Seminário BIM na CASAIS.

À CASAIS S. A. pela permissão da realização deste projeto.

Ao Eng. Bruno Caires pelas longas conversas motivacionais, partilha de conhecimento, experiência e ideias.

À Construsoft, especialmente à doutora Emília Cabral e ao Eng. Pedro Falcão, pelo apoio, dedicação e conhecimento.

A todos os membros do BIMClub da Universidade do Minho por todo o apoio, amizade e ajuda ao longo deste trabalho e da realização do Workshop BIM para a comunidade académica.

A toda a equipa da BIMMS pela interajuda e partilha de informação.

À minha família, pelos seus sacrifícios, suporte, conselhos e afeto presente durante todo o meu caminho académico.

Agradeço aos meus amigos e colegas da universidade pela relação pessoal, companhia e apoio, especialmente o João Fernandes, Bruna Sampaio, Tiago Costa, Hugo Freire, Paulo Cardoso, Ricardo Otero, Hugo Oliveira e Vítor Braga.

Por fim, à Ana Filipa Silva, por todos momentos passados em conjunto, apoio incondicional, paciência, compreensão e ajuda.

RESUMO

O BIM está cada vez mais presente nas diversas fases do ciclo de vida das construções. De entre os diversos envolvidos nesta atividade, os construtores são dos que poderão tirar maior partido das potencialidades inerentes à adoção sistemática e regular desta metodologia inovadora.

As pontes têm especificidades, quer em fase de projeto, quer na preparação e no planeamento da sua construção, que têm retardado a completa aplicação do conceito e da metodologia BIM a este tipo de estruturas. Mesmo assim, as técnicas BIM começam a disseminar-se de forma alargada no contexto do projeto e construção de pontes, e com uma pertinência e especificidade tais que até levou ao surgimento da designação própria de Bridge Information Modelling (BrIM).

Neste trabalho descreve-se a aplicação prática ao caso de estudo da construção da nova ponte sobre o Rio Dão, cujo construtor é a empresa CASAIS, S.A., em que se procurou implementar a metodologia BrIM em paralelo com a metodologia tradicional, quer para a preparação da obra, quer para o seu planeamento.

Foi também dado enfoque às limitações das plataformas/ferramentas adotadas, bem como uma perspetiva acerca das dificuldades de implementação no contexto do processo produtivo, nomeadamente tendo em conta que este é, atualmente, realizado por profissionais mais acostumados aos procedimentos tradicionais.

Com esta aplicação piloto, procuraram-se obter conclusões acerca desta implementação específica, com especial ênfase para as vantagens que podem ser colhidas ao adotar abordagens BIM neste tipo de construções e na divulgação de novas formas de tratar e analisar a informação gerada.

Palavras-chave: Building Information Modelling (BIM), Bridge Information Modelling (BrIM), Modelação geométrica e de armaduras (BIM 3D), Planeamento da construção (BIM 4D).

ABSTRACT

BIM is more and more present on all the phases of buildings life cycle. Among all the people involved in this activity, builders are the ones who can take greater advantage of the potentialities inherent to the regular and systematic adoption of this innovative methodology.

Bridges have particularities, either in project phase or in construction preparation and planning, which have delayed the application of BIM concept and methodology to this type of structures. Notwithstanding, BIM techniques begin to spread so wide in the context of bridges design and construction, and with such a relevance and specificity that led to the emergence of its own designation of Bridge Information Modelling (BrIM).

This work describes a practical application on a case study about the construction of a new bridge over Dão river, whose constructor is the contractor CASAIS, S.A., in which it sought to implement the BrIM methodology in parallel with the traditional one either for the preparation of the work as for its planning.

It was also given emphasis to the limitations of the platforms/tools adopted, as well to the perspective about the difficulties of implementation in the context of the productive process, in particular bearing in mind that this is currently held by professionals more accustomed to traditional procedures.

With this pilot application, sought to obtain conclusions about this specific implementation, with special emphasis on the advantages that can be harvested by adopting BIM approaches in this type of constructions and on dissemination of new ways to treat and assess the information generated.

Keywords: Building Information Modelling (BIM), Bridge Information Modelling (BrIM), Geometric and steel rebar modelling (BIM 3D), Construction planning (BIM 4D).

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

ÍNDICE GERAL vii

ÍNDICE DE FIGURAS ix

ÍNDICE DE TABELAS xiii

SIGLAS E ACRÓNIMOS xv

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Enquadramento 1

1.2 Objetivos da dissertação 3

1.3 Organização da dissertação 3

2. ESTADO DA ARTE 5

2.1 Pontes por avanços sucessivos 5

2.2 Conceito BIM 7

2.3 Aplicações BIM mencionadas na dissertação 11

2.4 Casos Práticos Internacionais 12

2.4.1 Ponte de caminhos-de-ferro na Suécia 12

2.4.2 Crusell Bridge 14

2.4.3 Outros Casos 21

3. PREPARAÇÃO DA MODELAÇÃO 26

3.1 Metodologias tradicionais de acompanhamento da construção 26

3.2 Leitura e compreensão do modelo CAD 27

3.3 Desafios e requisitos de desempenho BIM 28

3.4 Escolha da aplicação informática BIM 30

4. PRODUÇÃO DO MODELO BIM 34

4.1 Modelos paramétricos e geometria 34

4.2 Pormenorização de armaduras ordinárias 38

4.3 Pormenorização de armaduras de pré-esforço 41

4.4 Faseamento Construtivo 42

5. UTILIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO E PROCESSO COLABORATIVO 45

5.1 Medição de quantidades 45

5.2 Deteção de colisões e incompatibilidades 49

5.3 Geração automática de peças desenhadas 50

5.4 Faseamento construtivo 53

5.5 Partilha colaborativa de informação 54

5.6 Acompanhamento da obra 54

5.7 Modelo promocional 56

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS 60

6.1 Considerações Finais 60

6.2 Perspetivas futuras 62

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

ANEXOS 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nova ponte sobre o Rio Dão [1] (montagem foto-realista) 1

Figura 2. Vista inferior da solução proposta [12] 2

Figura 3. Sequência construtiva da Ponte sobre o Rio Dão [3] 6

Figura 4. Esquema 2D do sistema de carrinhos [4] e sistema aplicado na ponte sobre o Rio Dão 6

Figura 5. Processo de um projeto BrIM, adaptado de [6] 8

Figura 6. Informação de um conjunto de varões disponível em código de barras [20] 10

Figura 7. Esquema de processos para ligação às máquinas de CN [19] 10

Figura 8. Modelo Tekla da ponte de caminhos-de-ferro [27] 13

Figura 9. Desenhos 3D em obra [27] 14

Figura 10. Detalhe das armaduras numa secção do tabuleiro [6] 15

Figura 11. Modelo Tekla e Ponte real [28] 16

Figura 12. Processo colaborativo da ponte de Crusell [28] 16

Figura 13. Processo de Sincronização utilizado [6] 17

Figura 14. Projeto de cofragem das hastes do pilar [29] 18

Figura 15. Ferramenta de planeamento construtivo no Tekla [29] 19

Figura 16. Diferentes zonas de trabalho identificadas por cores [6] 19

Figura 17. Imagens utilizadas no concurso Tekla BIM awards, pela *GHD Services Pty Ltd* [30] 22

Figura 18. Renderizações do modelo da ponte apresentadas no concurso Tekla BIM awards 2014 [31] 23

Figura 19. Ponte sobre o rio Vantaa, armaduras em pormenor[32] 25

Figura 20. Índice de peças desenhadas utilizado no projeto real 28

Figura 21. Esquema organizacional da informação ao longo do modelo 29

Figura 22. Tentativa de modelação da laje inferior da ponte e maciço e pilares modelados no Revit 31

Figura 23. Janela de informação do Pilar P2 no Revit 32

Figura 24. Estacas, maciço de encabeçamento e pilares 34

Figura 25. Inclinações do tabuleiro 35

Figura 26. Exemplo de diferentes perfis, a vermelho os perfis de entrada e a verde os perfis de saída 35

Figura 27. Vigas fictícias que formam uma aduela 36

Figura 28. Aduela inclinada antes do corte e prolongamento e esquema com as espessuras fictícias 36

Figura 29. Aduela Finalizada com o corte do lado direito e prolongamento do lado esquerdo37

Figura 30. Vista da Geometria Geral 37

Figura 31. Esquema de preparação para os estribos [3] 38

Figura 32. A amarelo os estribos que acompanham as diferentes inclinações da aduela 39

Figura 33. Exemplo de Aduela finalizada (cabos de pré-esforço omitidos) 40

Figura 34. Cópia gerada sem ajustes 41

Figura 35. Modelo de pormenorização de armaduras final 41

Figura 36. Quadro informativo resultante do plug-in de Pré-esforço 42

Figura 37. Pormenor Pré-esforço Aduela 01 42

Figura 38. Ferramenta de análise do faseamento construtivo 43

Figura 39. Janela de introdução dos tipos de tarefas 44

Figura 40. Quadro informativo principal da ferramenta de faseamento construtivo, coluna referente aos subcontratados a vermelho 44

Figura 41. Quadro informativo da aduela P1.06A (parcial) – Total em Anexo na Figura 57 .. 45

Figura 42. Interface de utilização do organizador do modelo 46

Figura 43. Representação das áreas de cofragem, a roxo, no VICO/Trimble 48

Figura 44. Colisão total e parcial entre armaduras 49

Figura 45. Colisão entre o estribo e o cabo de pré-esforço 50

Figura 46. Desenho de preparação de armadura (CAD fornecido pela CASAIS) 51

Figura 47. Desenho de preparação de armadura (geração automática) 51

Figura 48. Planeamento de quinagens (parcial) 52

Figura 49. Ambiente da ferramenta de análise do faseamento construtivo 53

Figura 50. Interface "Pergunta-Resposta" Tekla BIMSight 54

Figura 51. Introdução de informação na atividade betonagem através de ficheiros e notas 55

Figura 52. Proposta da organização das pastas para este tipo de construções 56

Figura 53. Modelo Conceptual da ponte 57

Figura 54. Modelo pormenorizado sem objetos e com ocultação do rio 58

Figura 55. Pormenor da textura do betão na realidade (parte superior) e virtualmente (parte inferior) 58

Figura 56. Modelo Final com todos os objetos complementares 59

Figura 57. Quadro informativo da aduela P1.10A no Tekla Structures 66

Figura 58. Desenho de preparação sobre a execução do tabuleiro da ponte [3] 67

Figura 59. Conjunto de imagens e conceitos renderizados no Lumion 68

Figura 60. Exemplo de exportação criada automaticamente a partir do *template* padrão do Tekla Structures para criar folhas de excel 69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Código de cores para as armaduras 39

SIGLAS E ACRÓNIMOS

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

API – Application Programming Interface

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

BIM – Building Information Modeling

BrIM – Bridge Information Modeling

CAD – Computer-aided Design (Desenho assistido por computador)

CAM – Computer-aided manufacturing (Manufaturação assistida por computador)

COBIM – Common BIM Requirements

CN – Corte Numérico

GSA – General Services Administration

MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing

MS – Microsoft

m – metro

km – Quilómetro

kg – Quilograma

IP – Itinerário Principal

UM – Universidade do Minho

XML – eXtensible Markup Language

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O desenvolvimento desta dissertação decorreu durante a construção da nova ponte sobre o Rio Dão, integrada no IP3 entre Penacova e Santa Comba Dão, com projeto de Armando Rito Engenharia, e construção a cargo da CASAIS, S.A.. A obra de arte, representada na Figura 1, desenvolve-se entre os kms 0+408,591 e 0+798,591 (entre eixos de apoio nos encontros) num troço do IP3.



Figura 1. Nova ponte sobre o Rio Dão [1] (montagem foto-realista)

Em planta a obra insere-se integralmente num alinhamento reto e em perfil longitudinal desenvolve-se, em toda a sua extensão, num trainel com inclinação i = 1,2%. A superstrutura tem, na diretriz, um comprimento total entre eixos de apoio nos encontros de 390,00 metros, com a seguinte modelação de vãos: 120,00 + 170,00 + 100,00 metros.

A plataforma é constituída por um único tabuleiro que assegura uma largura total de 15,00 metros e comporta duas bermas com 2,50 metros cada, uma faixa de rodagem com 7,00 metros, 3,50 m em cada sentido, e dois passadiços laterais cada um com 1,50 metros.

O tabuleiro é constituído por uma viga caixão de altura variável, construído por avanços sucessivos em consolas simétricas, com um vão central de 170 metros e vãos extremos de 120 e 100 metros, sendo encastrado nos pilares e apoiado em aparelhos de apoio nos encontros. O caixão é monocelular, em betão armado pré-esforçado, que será construído a partir das aduelas de encabeçamento dos pilares com 10,00 metros de comprimento, por troços com 4,00 m, 4,50

m ou 5,00 m betonados em consolas simétricas. Terminada a construção de cada par de consolas a continuidade do tabuleiro com a parte já construída é estabelecida depois de betonadas as aduelas de fecho com 4,00 metros de comprimento.

A secção transversal do tabuleiro é assim constituída por duas almas inclinadas, com espessura constante e igual a 0,50 m, as quais são ligadas inferiormente por uma laje de espessura variável decrescente dos pilares para os vãos, e superiormente pela laje que comporta a faixa de rodagem, as bermas e os passadiços.

O tabuleiro é pré-esforçado longitudinalmente com duas famílias de cabos: os cabos das consolas dispostos na face superior do tabuleiro, e colocados à medida que vão sendo executadas as sucessivas aduelas; e os cabos de solidarização nas zonas centrais dos vãos para estabelecer a continuidade do tabuleiro.

Os pilares, em cada eixo de apoio do tabuleiro, com alturas de 10,00 metros e 12,00 metros, são construídos em betão armado pré-esforçado e são formados por duas lâminas paralelas de geometria constante com dimensões máximas de 5,80 m × 1,40 m, encastradas no tabuleiro e nos maciços de encabeçamento das estacas – ver Figura 2.

Os maciços de encabeçamento dos pilares assentam sobre 9 estacas de 2,00 metros de diâmetro, executadas com recurso a tubos de encamisamento perdido e encastradas inferiormente no maciço competente.

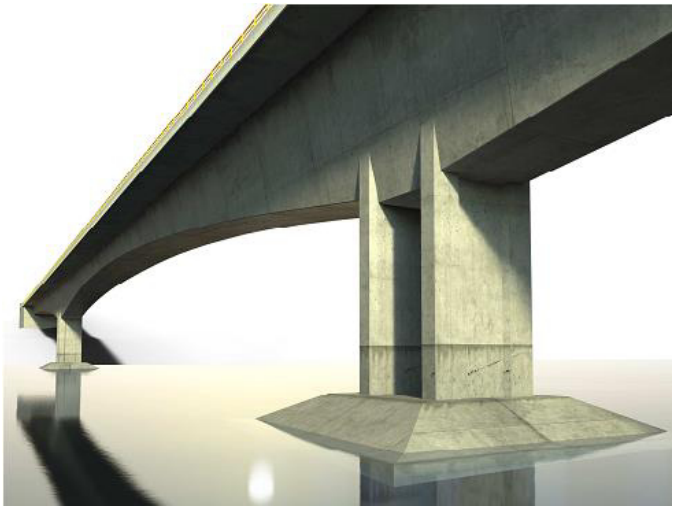


Figura 2. Vista inferior da solução proposta [1]

1.2 Objetivos da dissertação

Sendo o planeamento e execução de pontes construídas por avanços sucessivos extremamente complexo, o objetivo da dissertação é acompanhar a construção da ponte (que será realizada por metodologia tradicional), com elaboração e atualização de um modelo BIM da mesma. Pretende-se que o modelo BIM realizado permita demonstrar à empresa construtora as vantagens para a construção e planeamento que a metodologia BIM pode representar.

O modelo BIM a realizar compreenderá a vertente de preparação de armaduras (ordinárias e de pré-esforço) para colocação em obra, e emissão dos correspondentes esquemas 3D e desenhos de preparação. Em paralelo pretende-se também desenvolver simulação 4D da construção da ponte, com análise crítica das vantagens que se podem obter em relação às estratégias tradicionais de planeamento de tempos em obra.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, dos quais o primeiro é a introdução onde se encontra o enquadramento, os objetivos principais e a organização do tema a desenvolver.

No segundo capítulo é realizado o estado da arte onde é exposta uma breve elucidação sobre pontes por avanços sucessivos, seguida de uma explicação do conceito BIM e BrIM, aplicações BIM mencionadas ao longo da dissertação e a demonstração de alguns casos práticos internacionais.

No terceiro capítulo é iniciado o processo de preparação da modelação onde são analisadas as metodologias tradicionais de acompanhamento da construção e a leitura e compreensão do modelo CAD. Resultando, desta análise, um conjunto de desafios e requisitos de desempenho BIM para ajudar na escolha da aplicação informática.

No quarto capítulo é explicada, de uma forma científica, a produção do modelo BIM, começando pelos modelos paramétricos e geometria, pormenorização de armaduras ordinárias, de pré-esforço e finalizando com o faseamento construtivo.

No quinto capítulo são demonstradas as possibilidades da utilização da informação e o processo colaborativo através da medição de quantidades, deteção de colisões e incompatibilidades,

geração automática de peças desenhadas, faseamento construtivo, partilha colaborativa de informação, acompanhamento de obra e realização de um modelo promocional.

Finalmente, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e possíveis desenvolvimentos futuros para a continuação dos estudos realizados durante esta dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Pontes por avanços sucessivos

A construção de pontes por avanços sucessivos é usualmente utilizada perante grandes vãos onde, a topografia e a altura da ponte não tornam viáveis a utilização de cofragem tradicional ou a construção de uma estrutura temporária de apoio tradicional [2].

Neste tipo de pontes, a construção realiza-se por segmentos (aduelas). Esta metodologia de trabalho permite a sistematização de tarefas idênticas ao longo da construção, otimizando tempos e rendimentos. Além disso, o facto de termos segmentos curtos permite também otimizar na aplicação do pré-esforço colocando-o a equilibrar o diagrama de momentos [2].

Segundo Menn [2], numa construção clássica deste tipo de pontes, estas são construídas simetricamente a partir dos pilares, com segmentos de 3 a 5 metros de comprimento. A sequência de construção, ilustrada nas Figura 3 e Figura 4, é a seguinte:

1. Pré-tensionar o segmento betonado anteriormente (+/- 2 dias depois de ter sido betonado)
2. Avançar o carrinho de forma (cofragem)
3. Ancorar o carrinho ao final do segmento pré-esforçado e ajustar a cofragem
4. Colocar as armaduras de reforço, bainhas de pré-esforço e respetivos cordões de aço
5. Betonar o novo segmento

No caso da nova ponte sobre o Rio Dão, esta é realizada com tabuleiro em viga caixão de altura variável, construído por avanços sucessivos em consolas simétricas, com um vão central de 170 metros e vãos extremos de 120 e 100 metros. As aduelas variam entre 3,5 metros e 5 metros de comprimento.

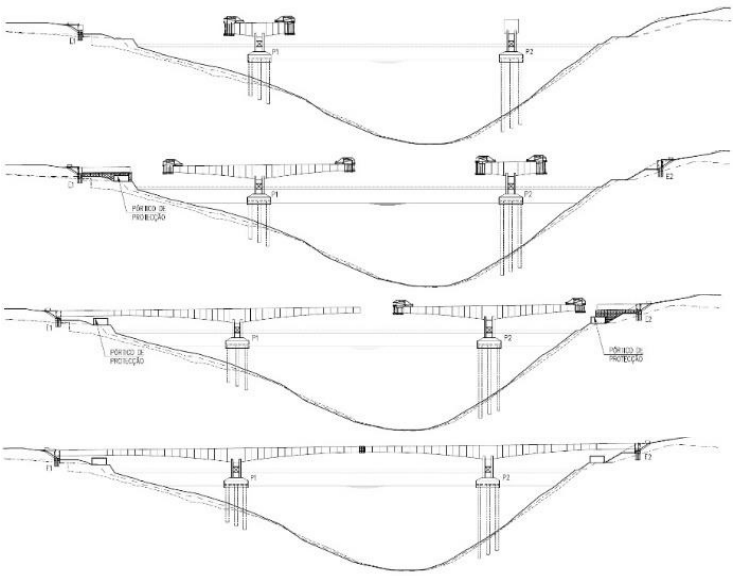


Figura 3. Sequência construtiva da Ponte sobre o Rio Dão [3]

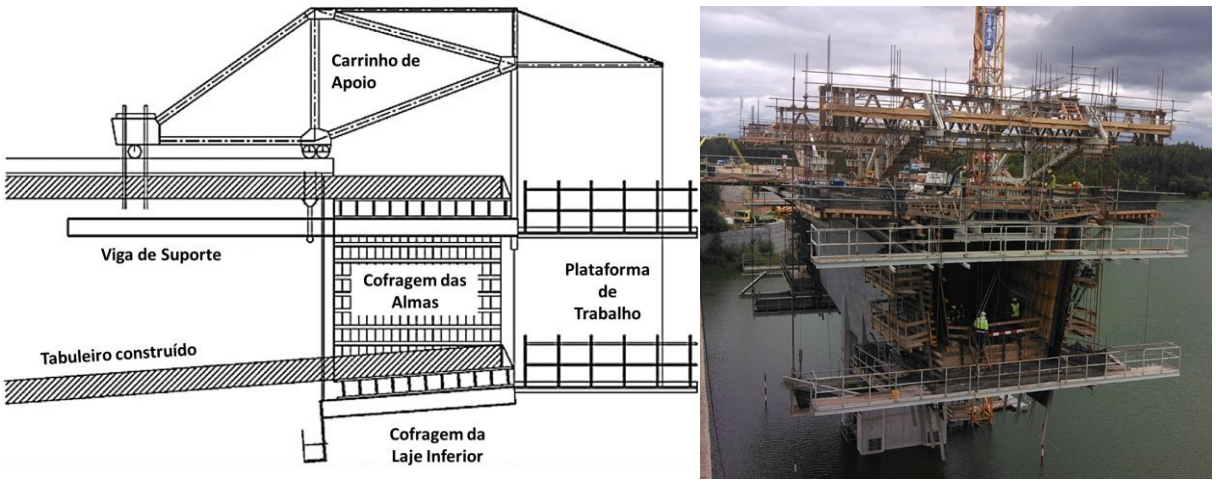


Figura 4. Esquema 2D do sistema de carrinhos [4] e sistema aplicado na ponte sobre o Rio Dão

As pontes com tabuleiro em caixão são das soluções estruturalmente mais eficientes até à data, permitindo tabuleiros excecionalmente esbeltos e de enorme leveza, que conjugam uma elevada resistência à torção e onde, praticamente, toda a massa estrutural é útil. Também por isso, exigem cuidados especiais no seu dimensionamento e na colocação de armaduras ativas e passivas, uma vez que, as densidades de aço são usualmente bastante superiores a 100 kg/m^3 [5].

2.2 Conceito BIM

O Building Information Modelling – BIM – é um conceito/metodologia/tecnologia emergente que permite a construção virtual do edifício num modelo digital que apoia os arquitetos, engenheiros e os construtores a melhor projetarem e melhor planearem a sua construção e operação [6]. O principal fundamento subjacente ao conceito BIM é a modelação orientada por objetos dos elementos construtivos, permitindo a sua fácil parametrização, modelação e armazenamento de informação complementar em bases de dados indexadas à geometria (características técnicas, planeamento, custos, gestão da operação, entre outras). Estas informações podem depois ser extraídas ou visualizadas facilmente a partir do objeto em causa. Com efeito, a estratégia BIM permite transcender as 3 dimensões do espaço euclidiano (3D), sendo genericamente aceite a designação de 4D quando o modelo BIM aborda também o planeamento construtivo (tempos), de 5D quando a isso se aliam as estimativas de custos, de 6D quando se acrescem as informações relativas à gestão da operação dos equipamentos já em funcionamento, entre outras designações [7].

Os conceitos de interoperabilidade entre diversas ferramentas e plataformas, através de protocolos universais de troca de dados, e da partilha da informação por todos os intervenientes no processo construtivo, ao longo de todo o ciclo de vida da construção, levam à obtenção de melhorias globais da eficiência da equipa com identificação de vantagens em cada uma das fases. Vários casos de estudo têm quantificado o valor das mais-valias obtidas com BIM e da pertinência da sistematização desta metodologia durante a fase de construção [6], [8].

Na indústria das vias de comunicação, as pontes são das obras mais complexas e caras. Este facto faz com que haja um investimento generalizado na otimização da construção de pontes.

Cada uma das fases do projeto de uma ponte, desde o planeamento à construção e até mesmo à demolição, acrescentam e necessitam de aceder a informação que, em última instância, é necessária para a total definição da ponte e de todos os processos que lhe estão inerentes. Com a adoção do BIM neste tipo de obras, estas práticas individuais têm evoluído, visando a partilha de informação e a criação de melhorias no processo ao se integrarem no Bridge Information Modelling (BrIM) [9].

O BrIM torna-se assim um conceito inovador de apoio à Engenharia de Pontes. O grande objetivo passa por disponibilizar toda a informação que vai sendo acrescentada aos projetos, partilhando-a em modelos que acompanhem todo o processo evolutivo de uma ponte, desde o

projeto à demolição. Com toda a informação presente no modelo logo desde a fase de projeto, podem ser otimizados os processos a jusante, de fabrico, de construção, de operação, manutenção e inspeção. O BrIM, naturalmente, também permite que vários intervenientes de diferentes especialidades introduzam informação no modelo de forma a construir o complexo puzzle da construção de pontes, ilustrado de forma esquemática na Figura 5 [10], [11].

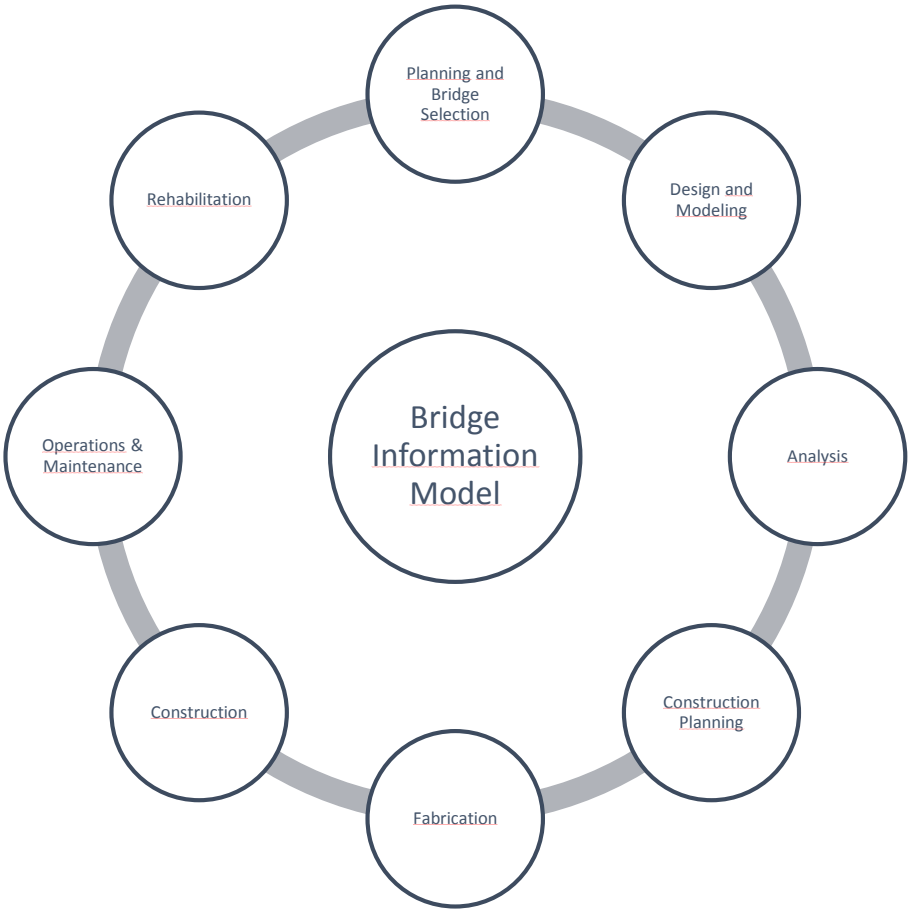


Figura 5. Processo de um projeto BrIM, adaptado de [6]

Várias são as vantagens de adoção do BrIM que, de modo simplificado, podem ser agrupadas consoante os principais intervenientes. Em relação aos projetistas podem elencar-se a visualização imediata de alterações de projeto e estudo de alternativas, a identificação atempada e resolução de incompatibilidades de planeamento e de construção, a maior precisão das medições e estimativas orçamentais, a simplificação do processo de entrega de elementos e a redução das ordens de alteração. Em relação aos construtores pode verificar-se a melhoria da análise da viabilidade construtiva, a deteção atempada de incompatibilidades e o contributo para a resolução de conflitos, a análise da sequência de construção e planeamento, a identificação exaustiva de erros e omissões na revisão e coordenação dos projetos e o apoio à

compreensão do projeto através da sua visualização. Em relação aos Donos de obra permite-lhes suportar virtualmente diferentes cenários de projeto, permite reduzir prazos mesmo com maior número de processos simultâneos, manter a representação digital das características físicas e funcionais da ponte, permite manter um histórico de informação para avaliação de tendências e análises de custo para a gestão financeira e garantir um modelo disponível para todas as operações ao longo do ciclo de vida, nomeadamente para a manutenção. De um modo geral, o BrIM proporciona uma otimização de todo o processo, reduzindo os custos do projeto e da construção, o prazo global, os desvios financeiros, os conflitos, as queixas e os processos de litigação [12], [13].

Como suporte a este conceito BrIM, as interações genéricas do BIM com as questões de interoperabilidade e partilha da informação, necessariamente, têm que ser acauteladas. Quer as ferramentas e plataformas de *software*, quer o hardware a utilizar têm que ser criteriosamente escolhidos, de modo a adequarem-se às condições e à obra em causa [14].

Na sequência dessa necessidade de sistematizar os processos de interoperabilidade e apesar de ainda não haver senão recomendações e projetos de trabalho, já existem várias iniciativas com vista a criar normas específicas para a adoção do BrIM, nomeadamente pelos grandes organismos nacionais de gestão de vias de comunicação [15], [16].

Intrinsecamente ligado às pontes, o aço é o elemento construtivo mais utilizado por isso, é pertinente a ligação do BIM à indústria da fabricação do aço. Nesta indústria, o processo mais comum de fabrico é a utilização do sistema CAD/CAM. Este sistema consiste na junção do CAD, utilização da tecnologia de computadores para projeto e para documentação, com o CAM, utilização da tecnologia de computadores para controlo de máquinas de ferramentas e maquinaria de fabrico de peças. O objetivo da incorporação do CAD/CAM é garantir a qualidade do dimensionamento, durante o processo de desenho do produto até a fabricação do mesmo, e fazer com que este intercâmbio de informação seja direto, agindo como uma ponte sobre as falhas de transmissão de informação causada pelo desenho e linguagem, isto é, entre o CAD e o CAM [17]–[19].

No caso de pontes por avanços sucessivos, a vantagem da utilização do sistema CAD/CAM é visível, isto porque, em grande parte dos casos de construção de pontes, ou esta se situa numa localização remota onde o esforço económico para produzir todo o projeto de armaduras é significativo, ou então, a ponte localiza-se num centro urbano onde a área de estaleiro é limitada,

o que impossibilita a preparação das armaduras em obra. As armaduras serão então entregues em conjuntos, etiquetadas com a informação acerca do conjunto como podemos ver na Figura 6 [19].



Figura 6. Informação de um conjunto de varões disponível em código de barras [20]

A incorporação do BIM neste processo permite, direta ou indiretamente, a redução de custos da produção de armaduras. Desta forma, a modelação 3D feita pelo projetista ou pelo construtor, numa ferramenta BIM, pode ser importada para as máquinas funcionando similarmente a uma impressora, quando a importação é direta (ver Figura 7) [19].

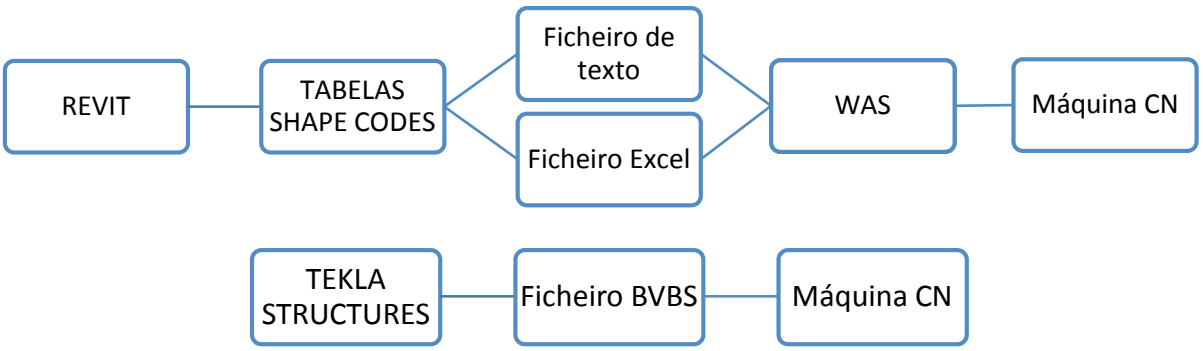


Figura 7. Esquema de processos para ligação às máquinas de CN [19]

2.3 Aplicações BIM mencionadas na dissertação

A metodologia BIM é implementada através da utilização prática de ferramentas de *software*, algumas mais específicas e outras mais genéricas. Estas ferramentas estão já bastante difundidas havendo um grande leque de escolha consoante os tipos de utilização.

- Revit

> "O *software* de projeto de construção Revit foi desenvolvido especificamente para o Modelo de Informação da Construção (BIM), fomentando novas ideias entre os profissionais de projeto e construção, desde o conceito até a construção, numa abordagem coordenada e consistente, baseada em modelos [21]."

O Revit é uma aplicação que inclui funcionalidades para projeto de arquitetura, MEP e engenharia de estruturas e de construção oferecendo ferramentas que ajudam a projetar, construir, manter construções de maior qualidade e energeticamente mais eficientes [22].

- Tekla

> "O *software* Tekla melhora o fluxo de trabalho da área de pré-fabricados de betão, desde a orçamentação até à entrega. As visualizações em 3D e a apresentação de soluções alternativas ajudam os fabricantes de pré-fabricados de betão a ganharem propostas com maior sucesso e mais rentabilidade. Pode modelar qualquer tipo de estrutura, gerir o fabrico, planear a sua construção e encontrar potenciais problemas antes mesmo de fabricar. O Tekla integra o projeto e detalhe com o fabrico e a gestão do projeto: o *software* tem interface com sistemas de gestão de produção (ERP) e com máquinas automáticas [23]."

- Tekla BIMsight

O Tekla BIMsight é um *software* gratuito que permite combinar todos os modelos de uma construção. Permite verificar colisões e partilhar informação, entre os diversos participantes, usando o mesmo ambiente BIM. É uma ferramenta que possibilita identificar e resolver

problemas ainda numa fase de projeto, antes da construção. Durante a construção, permite visualizar os modelos e extrair informação dos mesmos a partir de tablets ou computadores [24].

- Vico Office

O Vico Office é a primeira solução integrada de gestão da construção direcionada para os construtores que aproveita o poder dos desenhos 2D e modelos BIM para faseamento construtivo e estimativa de custos (4D e 5D). Os modelos podem ser importados de várias disciplinas e intervenientes: arquitetos, engenheiros, subcontratados; e podem vir de várias ferramentas: Revit, Tekla, ArchiCAD, CAD-Duct, ficheiros IFC, SketchUP e até ficheiros 3D provenientes do AutoCAD [25].

- Lumion

O Lumion é uma ferramenta para todos os que pretendem visualizar os seus projetos. Produz vídeos e imagens de alta qualidade muito rapidamente e é fácil de dominar. É um *software* utilizado por arquitetos, designers, engenheiros, modeladores BIM e universidades [26].

2.4 Casos Práticos Internacionais

Mundialmente, são escassos os documentos científicos acerca de modelação e construção de pontes utilizando metodologias BIM. Nesta dissertação, iremos apresentar alguns casos práticos dos quais há alguma documentação pública. O primeiro caso trata-se de uma ponte de caminhos-de-ferro em que foi comparado, em obra, o método tradicional e as metodologias BIM, o segundo exemplo trata-se de uma ponte atirantada que foi construída totalmente através de metodologias BIM. Por fim, irá ser apresentado um conjunto de outros casos em que a informação disponibilizada publicamente é diminuta ou que ainda se encontram em construção.

2.4.1 Ponte de caminhos-de-ferro na Suécia

Na ponte de caminhos-de-ferro no centro de Gotemburgo, construída pela E. Pihl & Søn, foi usado o Tekla para o detalhamento do betão armado [27]. Esta ponte foi desenhada para resistir a elevadas cargas, requerendo uma densidade de armaduras elevada, o que dificultou o seu posicionamento (ver Figura 8).

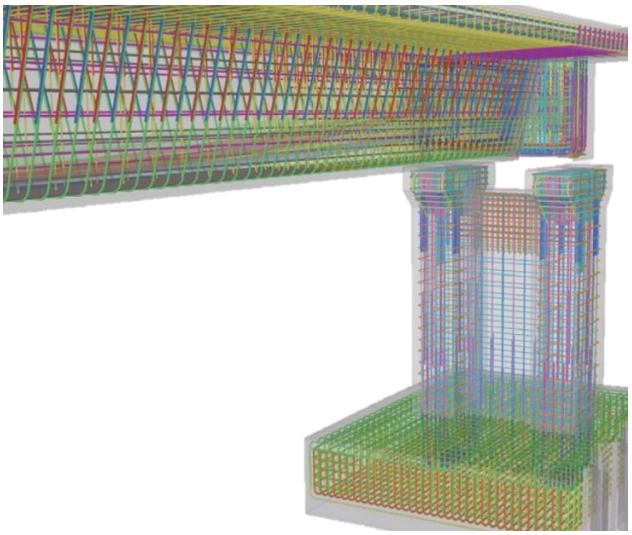


Figura 8. Modelo Tekla da ponte de caminhos-de-ferro [27]

Este projeto-piloto foi dividido em duas fases; a primeira incluiu a construção de um vão de 450 metros, e a segunda a demolição e construção de um novo vão de 550 metros. A primeira fase foi construída utilizando exclusivamente métodos tradicionais, onde 20 a 25% dos varões tiveram que ser redesenhados em obra devido a dificuldades de colocação e interpretação dos desenhos 2D. O resto da ponte foi modelada no Tekla, onde a margem de erro foi reduzida para 0 a 2%. Além disso, para o primeiro tabuleiro, foram gastos 23 dias para a preparação dos varões de aço em comparação com os 8 dias gastos para o segundo tabuleiro. Apesar de, alguma desta produtividade se dever ao facto do primeiro tabuleiro ter sido realizado durante o inverno, a Pihl afirma que a razão deste aumento de produtividade se deve à incorporação do BIM.

Entre as vantagens de usar o BIM no detalhamento da ponte, há a possibilidade de imprimir os desenhos de preparação 2D e 3D para serem utilizados em obra. Isto permite aos intervenientes obter um entendimento muito melhor da imagem geral, com a imagem 3D, em vez de visualizar a colocação de varões baseada em desenhos 2D (ver Figura 9). Menos tempo é gasto a discutir a colocação dos varões o que, na verdade, pode ser gasto a montá-los. Outra ferramenta muito útil que a Tekla desenvolveu para este projeto, com base nas especificações da Pihl, foi uma função que permitiu os varões serem encomendados para o estaleiro selecionando e encomendando-os através do BIM. Todas as especificações das armaduras foram enviadas para o fabricante através de ficheiros BVBS. Devido a isso e por ter uma visão melhorada dos esquemas de preparação, a Pihl conseguiu encomendar os varões de reforço mais eficientemente, havendo menos desperdícios em obra [11].



Figura 9. Desenhos 3D em obra [27]

2.4.2 Crusell Bridge

A ponte de Crusell é uma ponte atirantada situada em Helsínquia, na Finlândia. Esta nova ponte permitiu ligar um antigo porto à cidade. Essa zona terá sido reabilitada com cerca de 9000 habitações criando assim, um novo distrito portuário e a necessidade da construção de uma nova ponte. Esta foi encomendada pela cidade de Helsínquia, projetada pela *WSP Finland* e construída pela *Skanska Civil*. É uma ponte de dois vãos assimétricos com 92 e 51,5 metros de comprimento e 24,8 metros de largura. A superestrutura é construída a partir de vigas de betão pré-esforçado longitudinalmente, enquanto a estrutura horizontal é composta por aço e betão. A construção da ponte decorreu entre o Outono de 2008 e o final de 2010, com um custo de cerca de 15 milhões de euros. Durante o seu projeto e a sua construção foram utilizadas metodologias BIM e LEAN como princípios e ferramentas [6].

Neste projeto, grande parte dos intervenientes tinham pouca ou nenhuma experiência com a utilização das metodologias BrIM por isso, acabou por ser um projeto piloto para todos intervenientes, inclusive para a *Tekla Corporation* que, devido a maturidade das entidades envolvidas e a este projeto ser pioneiro na construção de pontes complexas, disponibilizou uma equipa para dar apoio em obra. O modelo BIM foi então utilizado para:

- Fabricação das vigas de aço;
- Detalhamento de armaduras (ver Figura 10);
- Monitorização e planeamento do fornecimento de componentes fabricados;

- Cofragens e estruturas temporárias;
- Controlo de qualidade;
- Planeamento da construção utilizando animações 4D.

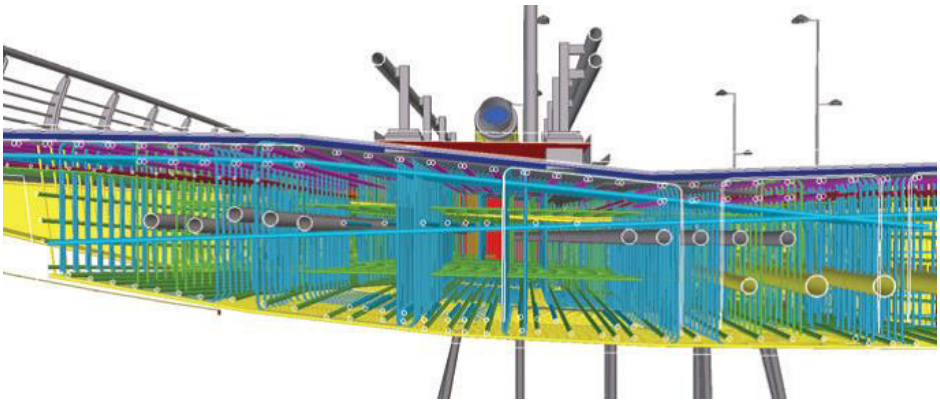


Figura 10. Detalhe das armaduras numa secção do tabuleiro [6]

A utilização do modelo em obra foi uma novidade para a *Skanska* e todas as partes envolvidas (subcontratados, fornecedores, etc). Como foi dito anteriormente, a *Tekla Corporation* disponibilizou apoio intensivo durante toda a construção e projeto da ponte. Este facto permitiu que durante o projeto e construção fossem utilizadas novas funcionalidades do *Tekla* como:

- Partilha do modelo na *cloud* (sincronização);
- Planeamento 4D;
- Sincronização do modelo com os *softwares* das fábricas fornecedoras;
- Exportação de informação diretamente para máquinas de corte e dobragem.

A modelação geométrica de pontes não é um assunto propriamente novo. Existem vários *softwares* que permitem a modelação da geometria das pontes, no entanto a integração com modelos BIM é nova. A *Skanska* utilizou o *Tekla* para modelar a ponte e as estruturas temporárias, além disso, incluiu o planeamento 4D no modelo e utilizou-o em obra. Na Figura 11 podemos ver uma fotomontagem da ponte real e do modelo elaborado para a construção [6].

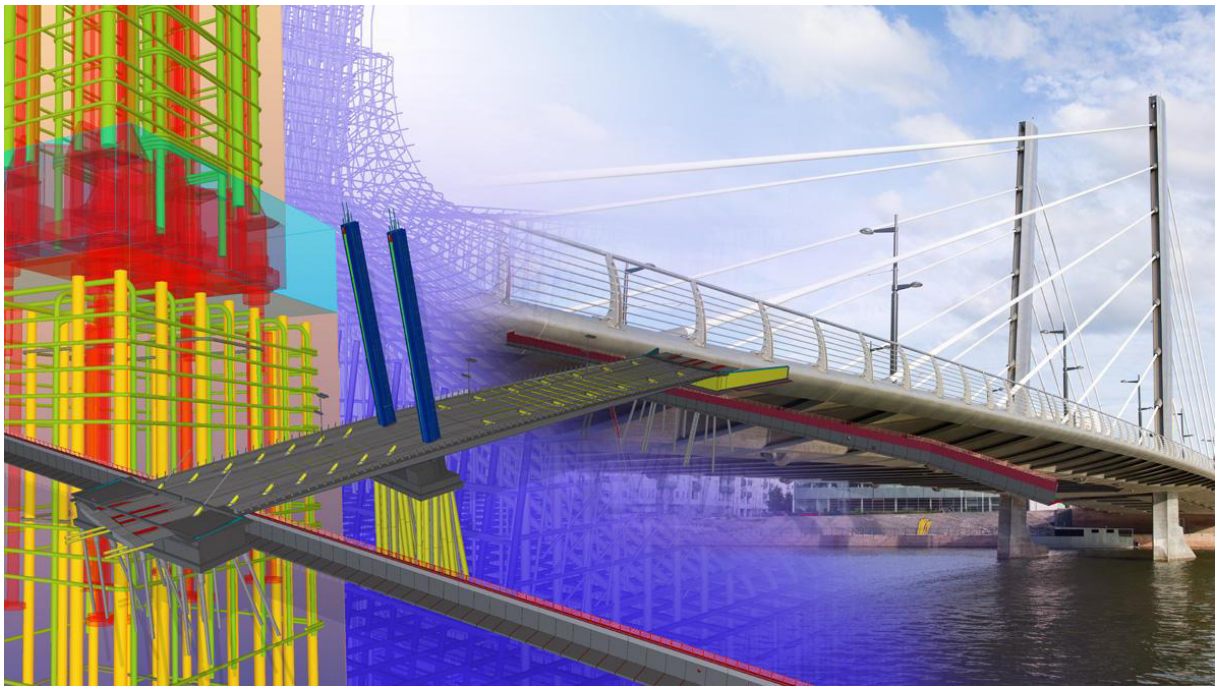


Figura 11. Modelo Tekla e Ponte real [28]

Em projetos de construção, normalmente, existem vários participantes onde cada um produz o seu modelo BIM específico. Este facto faz com que seja relevante que a informação seja partilhada convenientemente entre as diferentes partes. Este processo colaborativo deve ser definido desde cedo para haver uma partilha eficaz de informação. Na Figura 12 está ilustrado pela forma de um esquema o processo colaborativo utilizado na construção desta ponte [6].

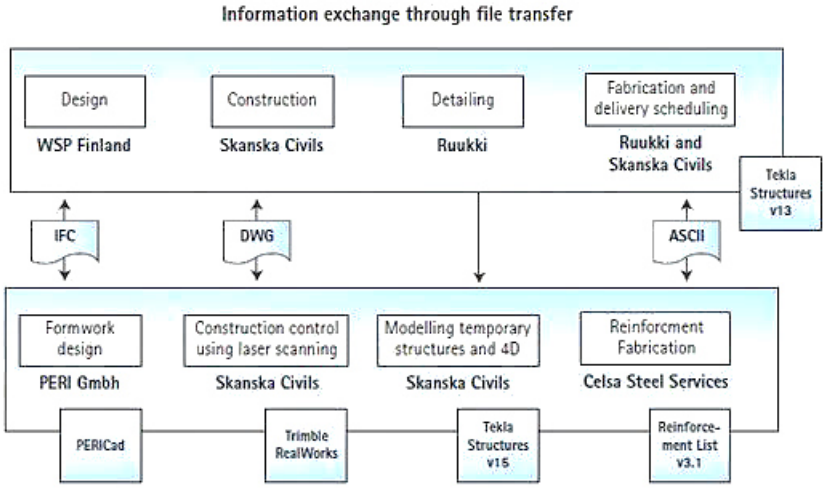


Figura 12. Processo colaborativo da ponte de Crusell [28]

Não só o processo colaborativo é importante mas também a possibilidade de sincronização de modelos. Assim, os vendedores de *softwares* BIM, cada vez mais, procuram desenvolver

funcionalidades que permitam a sincronização dos modelos. No caso da ponte de Crusell, foi a primeira vez que a *Tekla* utilizou esta funcionalidade, principalmente pelo facto de ser um projeto em que o detalhamento foi feito lado a lado com a construção. A sincronização entre o modelo de construção da *Skanska* e o modelo de fabrico da Ruukki, empresa que fez o detalhe e fabrico do aço, foi um dos pontos-chave para o sucesso da implementação das metodologias BIM na construção desta ponte [6].

A sincronização foi feita semanalmente embora sempre que a equipa de projeto fez alterações relevantes no projeto, avisou a obra destas. Para esta sincronização só eram adicionados ao modelo da obra os objetos que tinham sido alterados e eram substituídos pelos anteriores, isto tornou muito fácil a visualização das mudanças feitas no modelo pelos projetistas. Este processo permitiu uma comunicação extremamente otimizada porque mesmo antes dos desenhos serem aprovados pelo cliente, o construtor podia preparar trabalhos [6].

A sincronização entre o construtor e os subcontratados também foi feita mas não tão regularmente uma vez que, só era necessário quando as mudanças afetavam os seu trabalhos. O processo de sincronização entre as partes pode ser visto na Figura 13. A sincronização não necessitou apenas de uma solução tecnológica, mas também de um protocolo de gestão, aceite por todos os intervenientes, que ditou quem era autorizado a editar o quê e quando. É também de salientar que, os modelos das versões mais recentes do Tekla não funcionam nas versões anteriores, o que fez com que a certa altura a sincronização teve de ser feita unidireccionalmente porque a *Skanska* atualizou a sua versão para a 15 e a WSP manteve-se na 13 [6].

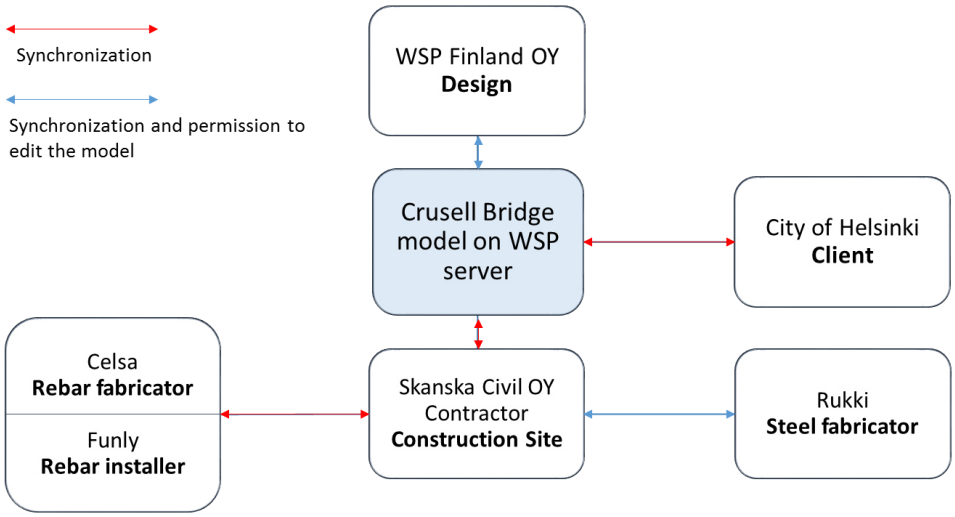


Figura 13. Processo de Sincronização utilizado [6]

Segundo as equipas que participaram na construção, inicialmente estas desconfiaram do potencial beneficio que o modelo poderia trazer pois não sabiam para que o poderiam usar. Com o passar do tempo, as equipas em obra começaram a entender o que podiam pedir ao modelo e este começou a ser a principal fonte de informação visto que o modelo continha toda a informação de projeto e de construção. O modelo foi então utilizado para tirar dimensões, para compreender como construir todo o tipo de componentes devido à possibilidade de visualização 3D, para relatórios de entrega de materiais, entre outros. É de salientar que, o modelo também permitiu ajudar os carpinteiros a compreender as formas mais complexas como as hastes com dupla curvatura dos pilares que não foram modeladas no Tekla devido a limitações do *software* e foram modeladas noutro *software* e importadas para o Tekla como referência [6].

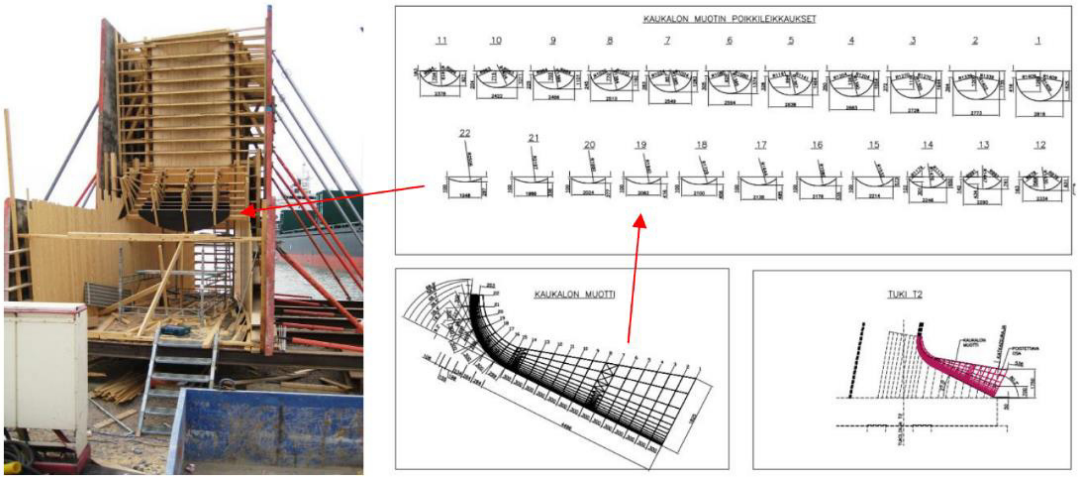


Figura 14. Projeto de cofragem das hastes do pilar [29]

Em relação ao planeamento da construção, este foi feito no Vico Office e depois exportado para o Tekla. Na ferramenta de planeamento construtivo do Tekla as tarefas foram então ligadas aos objetos e detalhados todos os pormenores para fornecer as informações necessárias durante a construção (ver Figura 15). Esta ferramenta permitiu então criar animações 4D através de cores que permitiram uma organização mais eficaz das reuniões e do próprio entendimento do desenrolar da construção da ponte. A partir da Figura 16 consegue-se ver duas áreas de trabalho distintas, uma marcada a azul e outra marcada a vermelho [6].

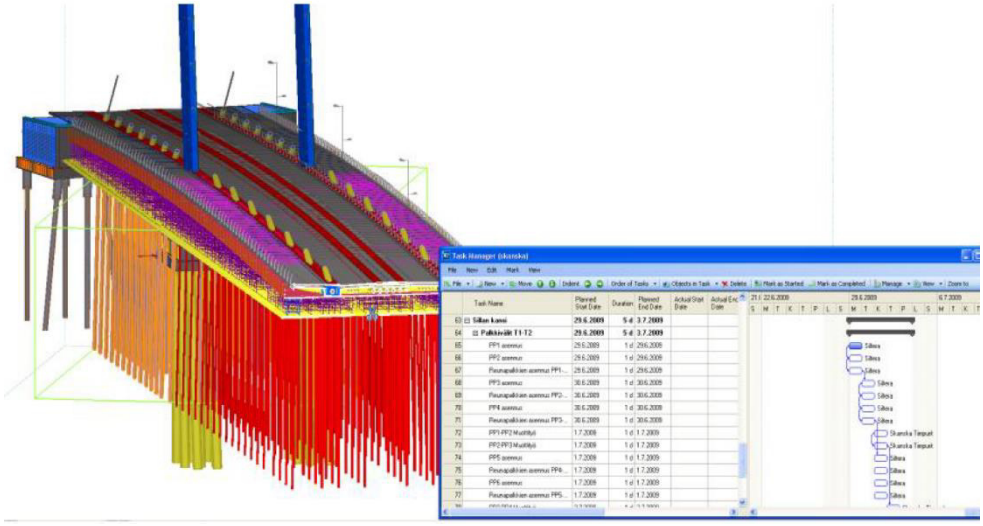


Figura 15. Ferramenta de planeamento construtivo no Tekla [29]

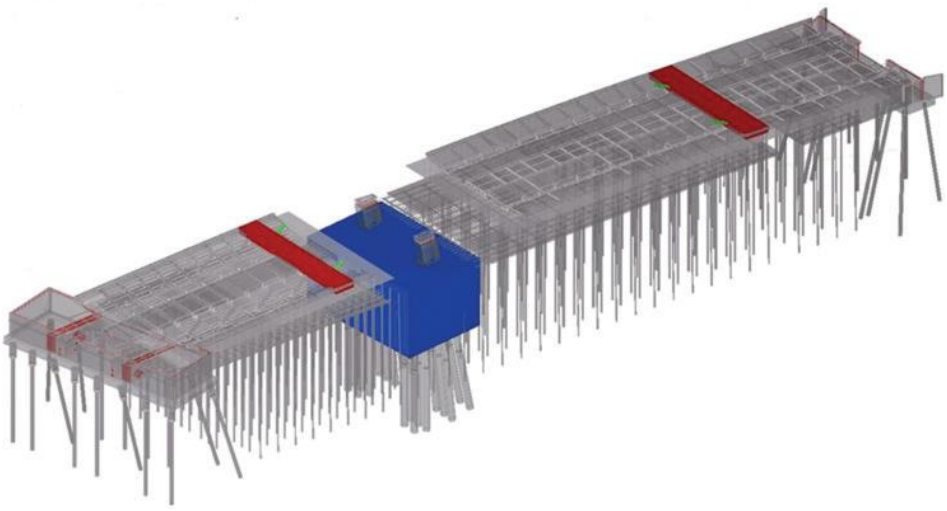


Figura 16. Diferentes zonas de trabalho identificadas por cores [6]

Este tipo de planificação permitiu que a extração de quantidades fosse feita de forma simples e rápida. No entanto, como a associação dos objetos às atividades foi feita manualmente, o primeiro planeamento consumiu bastante tempo. Após alguns problemas com as estacas do maciço dos pilares, a construção atrasou-se cerca de 2 meses e este atraso fez com que fosse necessário fazer uma nova abordagem ao planeamento da construção da ponte. Assim, para aumentar a velocidade de execução da empreitada, a construção do tabuleiro foi feita a partir de ambas as margens em vez de ser feita de uma margem para a outra, como estava decidido inicialmente. Esta mudança não foi alterada no Tekla uma vez que, a equipa considerou que a redefinição de todo planeamento construtivo traria mais custos que benefícios, por ser feita manualmente, iria consumir demasiado tempo. Esta limitação foi uma das críticas feitas pela

equipa de construção que considerou que, para realizar uma análise 4D, o *software*, tem que ser sofisticado o suficiente para permitir que as alterações no planeamento possam ser feitas de uma forma mais rápida [6].

A modelação das armaduras de reforço da ponte revelou-se mais difícil do que o antecipado. As pontes deste tipo têm uma alta densidade de armaduras e formas complexas que limitaram a automatização na modelação. Atualmente, modelar elementos construtivos comuns é relativamente rápido devido a macros que o Tekla fornece. No caso das pontes, existem geometrias únicas que não permitem usar estas ferramentas sendo necessário modelar cada grupo de armaduras manualmente. Apesar deste contratempo, a modelação de todas as armaduras provou ser benéfica para a construção, os desenhos foram extraídos automaticamente, a partir de máquinas de corte e dobragem foi possível fabricar as armaduras automaticamente através de ficheiros ASCII, a visualização 3D das jaulas permitiu facilitar a montagem destas [6].

O controlo de qualidade da obra também foi feito a partir de ferramentas BIM, para isso, foi utilizada a tecnologia de *laser scanning* através da qual foi possível fiscalizar todos os parâmetros topográficos e ajudar os construtores a posicionar devidamente os seus trabalhos. Basicamente esta tecnologia permite capturar coordenadas e tirar fotografias, combinando-as, funcionando como um teodolito e câmara fotográfica ao mesmo tempo. Este conjunto de coordenadas ou nuvem de pontos (*point cloud*) é depois comparado com as coordenadas de projeto que são transferidas da aplicação de modelação. Devido a ser um processo eficaz permitiu, por exemplo, detetar que um dos ninhos de ancoragem estava deslocado 1 cm em relação ao modelo, sendo então, ajustado antes da betonagem [6].

Concluindo, segundo Sacks e Pikas, as principais lições tiradas neste projeto são:

- Planear utilizar o BIM desde os primeiros momentos do projeto;
- Usar o modelo como um complemento às técnicas de planeamento de construção (planeamento, controlo, trocas de informação, reuniões, controlo de qualidade entre outras);
- Usar a sincronização do modelo para agilizar o processo de troca de informação;
- Usar o planeamento 4D para ajudar a compreender e avaliar se a rede de compromissos criada é realista;

- Modelar as estruturas temporárias, caso a quantidade seja justificativa e se o planeamento 4D estiver a ser utilizado;
- Importar as nuvens de pontos obtidas por *laser scanning* para o modelo para verificar localizações e a qualidade do trabalho. Caso seja bem utilizado, pode prevenir uma grande quantidade de retrabalho;
- Envolver os parceiros de projeto exteriores à obra e as equipas de obra para as reuniões gerais, de forma a compreender melhor o projeto e a fabricação;
- Certifique-se de que todos os participantes são obrigados a atualizar as suas ferramentas de *software* simultaneamente, assim são evitados problemas de compatibilidades entre versões atuais e anteriores.

2.4.3 Outros Casos

2.4.3.1 Cooroy Southern Interchange Bridge

Conjunto de Pontes inseridas numa autoestrada na Austrália. Cada ponte é constituída por duas faixas de rodagem, dois vãos de betão pré-esforçado, com 60 metros de comprimento e 27 metros de largura. A quantidade total de betão é cerca de 3200 m^3 e tem cerca de 400 toneladas em varões de aço. Neste caso o modelo foi usado para a extração de desenhos construtivos, relatórios de quantidades, visualização 3D e para a colaboração entre a equipa de projeto e a obra, através do Tekla BIMsight [30].

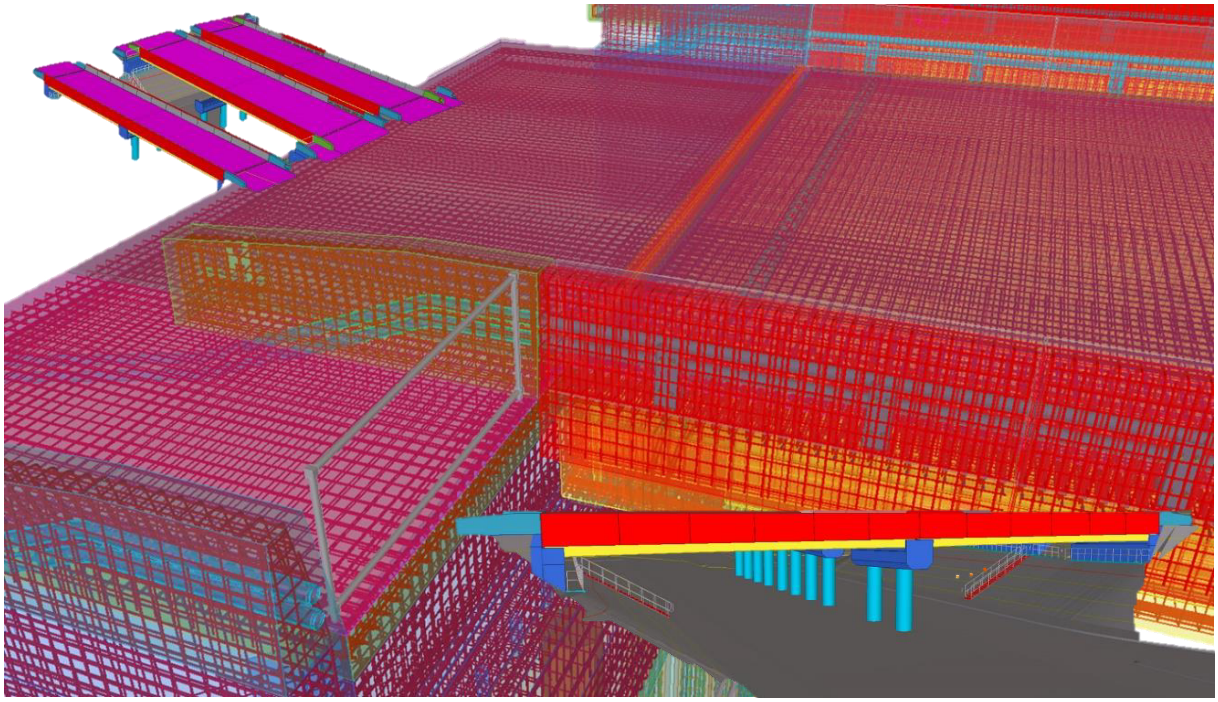


Figura 17. Imagens utilizadas no concurso Tekla BIM awards, pela *GHD Services Pty Ltd* [30]

2.4.3.2 Ponte atirantada de Cao Lanh

A ponte de Cao Lanh é uma ponte com 2010 metros de comprimento que está a ser construída no Vietnam (ver Figura 18). É previsto que a sua construção esteja finalizada em 2017 sendo que tem um preço máximo estimado de 250 milhões de dólares americanos. Este é um projeto complexo com requisitos rigorosos devido a ter que obedecer às normas vietnamitas e às internacionais. Portanto, o projeto requer muita experiência de projeto e cálculo. Além disso, uma das tarefas mais intensas neste projeto é manter-se com agendas muito apertadas, solicitadas pelo empreiteiro. Segundo a VTCO, empresa que modelou a ponte, esta missão não seria possível sem o uso de tecnologia BIM. Neste projeto, a equipa escolheu o Tekla como solução para modelar a ponte. O modelo de ponte irá ser utilizado não só para a produção de desenhos mas também desempenhará um papel importante na fase de operação e manutenção deste projeto [31].

Após um curto período de tempo, familiarizando-se com o Tekla, a VTCO decidiu-o utilizar na ponte de Cao Lanh, um projeto bastante extenso. Posto isto, a equipa não tinha muita experiência com o *software* e, por essa razão, enfrentou muitas dificuldades na organização e

gestão de modelo geral, na divisão em secções lógicas para a manipulação em Tekla e Tekla BIMsight mais tarde e na organização de recursos humanos para cada componente do modelo [31].

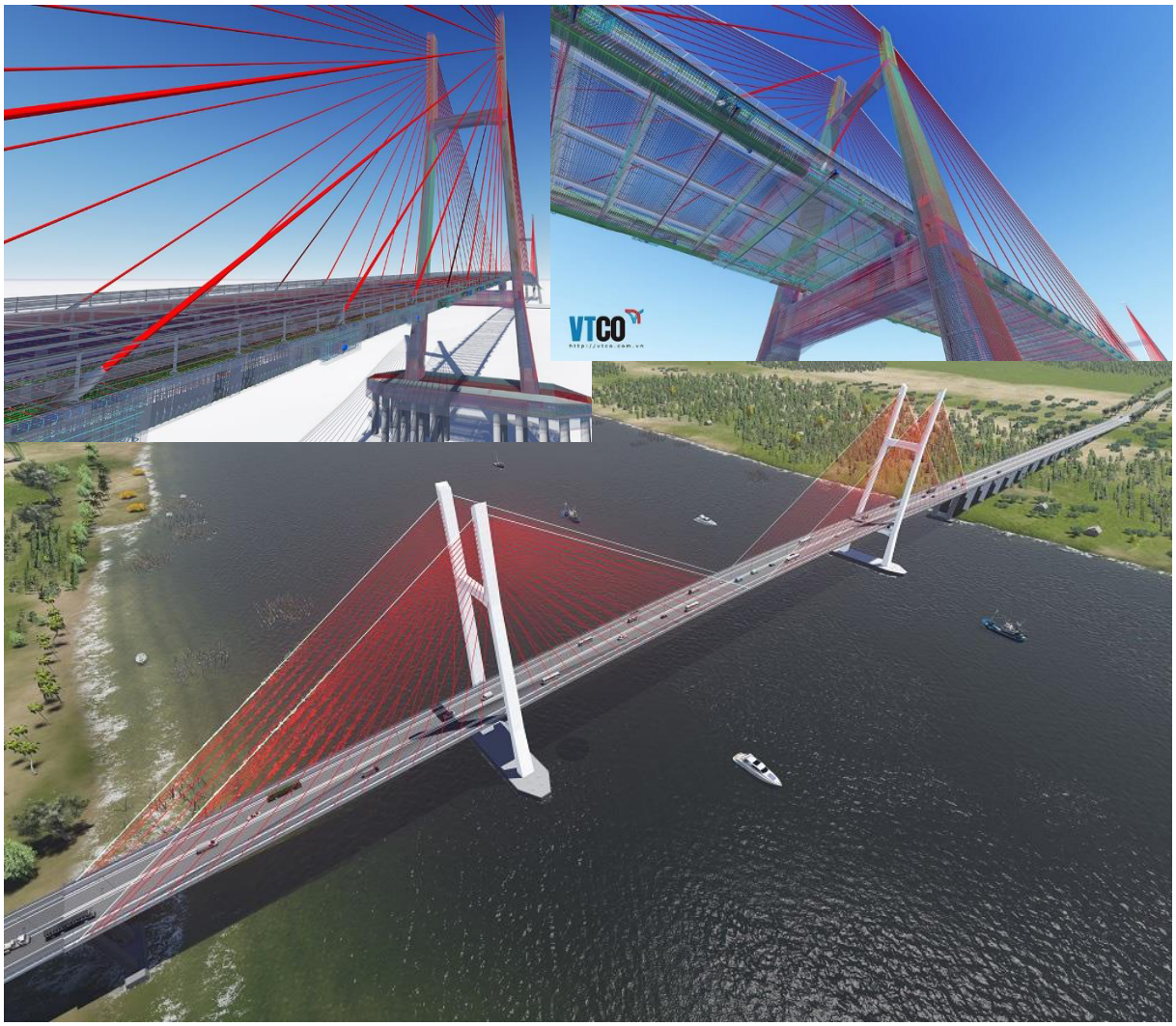


Figura 18. Renderizações do modelo da ponte apresentadas no concurso Tekla BIM awards 2014 [31]

Sendo a ponte um projeto grande com estruturas complexas e uma densidade de armaduras notável, a certa altura, a equipa ficou presa numa fase inicial deste projeto. Uma vez que sendo a primeira vez em que a VTCO usou o Tekla num projeto, não tinham um sistema de normas no seu processo de trabalho. Muitas vezes, a seleção de opções para resolver problemas resultou em mais problemas, isto levou à incerteza prazos dos de entrega. No período de execução do projeto da ponte de Cao Lanh, eles tiveram que gastar quase 40% do seu tempo a estudar e adaptar o produto para estar em conformidade com os requisitos do cliente (foi obrigatório entregar toda a documentação através de processos tradicionais) [31].

Inicialmente, houve algumas dificuldades que a equipa teve que lidar mas a direção da VTCO considerou este *software* altamente eficiente, por isso, tentaram implementá-lo e conseguiram obter resultados de sucesso a partir deste. Isto também foi um fator que motivou seus engenheiros a investir mais tempo em pesquisa e desenvolvimento dos seus trabalhos. O esforço da direção da VTCO foi mostrado ao dar um curso prático aos engenheiros na WSP, Finlândia, em abril de 2014. Graças a isso, eles agora conseguem corrigir qualquer erro e aplicar opções mais rápidas a projetar com eficiência e alta produtividade. Num curto período de tempo (cerca de 6 meses), eles tornaram-se altamente familiarizados com o *software* para, então, aplicar neste projeto. Depois de fazer o modelo, eles ajudaram os investidores a resolver os pontos de conflito do aço em estruturas muito intuitivamente e com precisão. Para a equipa de modelação, um dos pontos-chave para o sucesso deste projeto aconteceu quando eles perceberam a importância do estudo de APIs do Tekla para ajudar no seu trabalho [31].

2.4.3.3 Ponte sobre o rio Vantaa na rua Tikkurila

A ponte sobre o rio Vantaa é uma ponte-viga de betão pré-esforçado com vãos de 32 m + 45 m + 32 m e uma largura efetiva de 13 m dividido em duas vias de trânsito e um passeio pedestre. As fundações são realizadas em tubos de aço e os aterros em lajes de betão. O projeto foi iniciado em 2011 e concluído em 2013. Foi um dos primeiros projetos de infraestruturas, na Finlândia, em que o Building Information Modeling era obrigatório tanto para projeto como para a construção. Na fase de concurso, era também necessário descrever como é que os modelos BIM iriam ser utilizados.

Todas as estruturas foram modeladas, a estrada foi modelada usando o Tekla Civil e a ponte usando o Tekla Structures. O visualizador do Tekla foi utilizado em obra e pela empresa de inspeção, já o cliente seguia o projeto através do Tekla BIMSight. A ponte foi modelada com alto detalhe, incluindo todas as armaduras (ver Figura 19).

Os intervenientes da obra foram todos formados, para utilizar os programas Tekla, antes de se iniciar o projeto. Isto permitiu utilizar os modelos sempre que possível. Além disso, durante o projeto foi testado um novo fluxo de trabalho onde o empreiteiro apenas construía a partir do modelo e o cliente iria aprovar o modelo como documento final do projeto, em vez dos tradicionais desenhos. Assim o cliente foi capaz de comentar o projeto com ajuda do consultor de inspeção. Para planeamento da construção foi utlizada a ferramenta interna do Tekla para

visualizar o que estava construído, o que estava atrasado e o que faltava ser feito. Esta visualização é codificada por cores que permitiram facilitar as reuniões do projeto. Este modelo era atualizado regularmente e disponibilizado *online* para todos os intervenientes.

No final do projeto, os intervenientes concluíram que ganharam bastante experiência para projetos vindouros e que o Tekla BIMsight foi uma ferramenta útil e fácil para combinar todas as estruturas. Quer o cliente, quer o projetista, consideraram ter ganho experiência valiosa sobre a utilização de modelos para processos de verificação e aprovação. Além disso, consideraram que a forma mais eficiente de utilizar os modelos é o engenheiro tirar uma imagem do modelo, com as observações necessárias e envia-la diretamente para a obra por correio eletrónico. Por fim, o que eles consideraram mais importante foi acordar todas as questões relacionadas com a modelação antes do projeto se iniciar. Questões tais como, "Que partes deverão ser modeladas?", "Quais as ferramentas a utilizar?", "Local onde os modelos devem ser guardados? Como os modelos devem ser utilizados? devem ser respondidas previamente uma vez que, quando a construção começa, já não há tempo para discutir estas questões e corre-se o risco de não usar o modelo em tudo que é suposto originalmente [32].

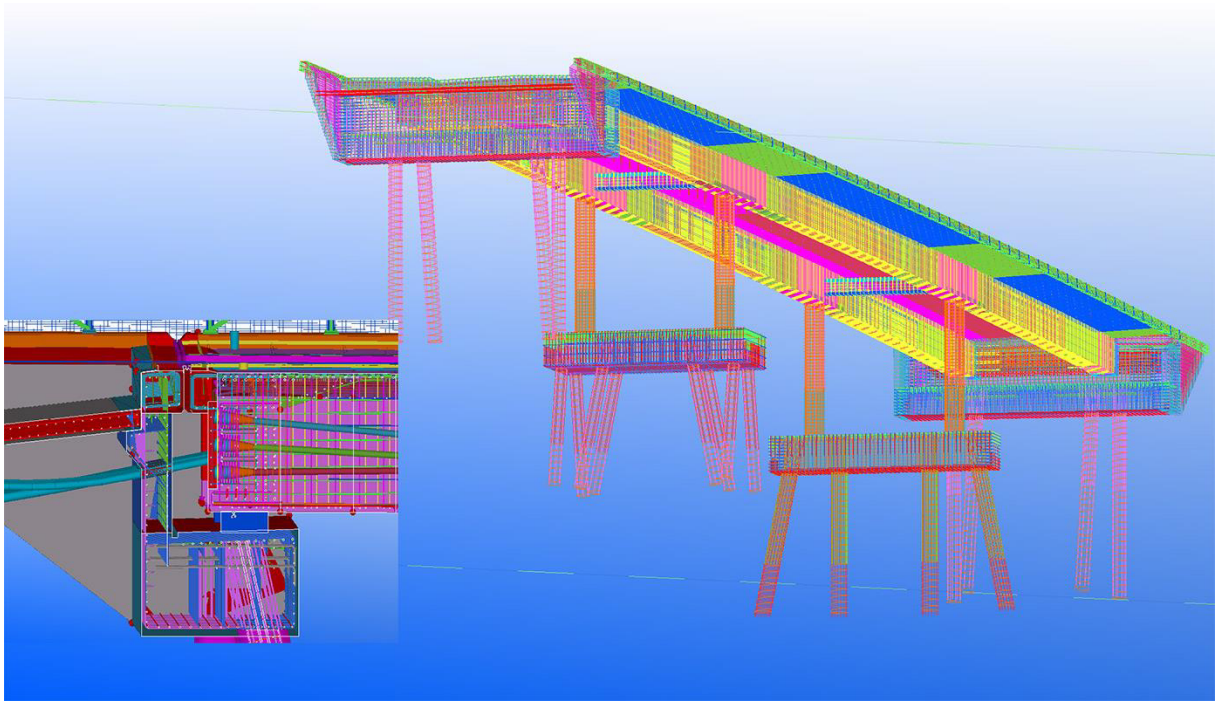


Figura 19. Ponte sobre o rio Vantaa, armaduras em pormenor[32]

3. PREPARAÇÃO DA MODELAÇÃO

3.1 Metodologias tradicionais de acompanhamento da construção

A construção da nova ponte sobre o Rio Dão foi efetuada com os processos de execução usuais para as pontes e viadutos de betão-pré-esforçado deste tipo. As estacas dos pilares foram executadas com recurso a meios fluviais, enquanto os seus maciços de encabeçamento foram construídos com recurso a caixotões pré-fabricados, servindo de cofragem para a betonagem de todo o volume final dos maciços. Os pilares e encontros seguiram os procedimentos habituais, neste tipo de obras bem como o tabuleiro, por avanços sucessivos em consola, a partir das aduelas de encabeçamento dos pilares, com recurso a dois pares de carros de avanços.

Habitualmente, a construção de cada um destes elementos estruturais típicos numa obra de pontes, é acompanhada, por parte do empreiteiro, da preparação de peças desenhadas específicas, que permitem a pormenorização detalhada das armaduras a colocar para cada uma das aduelas, deixando já preparados os empalmes para ligação à aduela seguinte, bem como o posicionamento das bainhas para cabos de pré-esforço e os respetivos aparelhos e elementos de desvio. Estes mesmos desenhos têm também por função servirem de suporte à medição de todas as quantidades de materiais, quer para efeitos de encomenda e armazenamento, quer para controlo financeiro da obra.

Igualmente, consoante o andamento dos trabalhos e as condições locais, o empreiteiro tem a obrigação de manter atualizado o seu mapa de planeamento, apresentando os respetivos desvios entre o previsto e o real, que lhe permitem antecipar a necessidade de ajustar procedimentos ou aumentar os recursos de modo a garantir as datas críticas.

As ferramentas de apoio fundamentais na preparação da obra, ao nível de elementos de desenho, foram baseadas em CAD. Tanto porque o projeto de execução foi desenvolvido em CAD, como pelo facto de serem as ferramentas convencionalmente utilizadas. São ferramentas úteis, mas que obrigam a trabalho extenso na formulação de qualquer elemento de preparação, pois como não se baseiam num modelo global único, qualquer alteração ou adaptação requer um trabalho específico sobre os desenhos interessados.

No controlo do plano de trabalhos a ferramenta utilizada foi o Microsoft Project, com controlo específico por tarefa das durações e quantidades de trabalho.

Para controlo de custos é utilizado o sistema global da empresa, suportado em SAP, com avaliação das quantidades e dos custos previstos e os efetivos, tanto por natureza de custo como por tipo de atividade.

Para gestão da qualidade são utilizados os modelos do Sistema de Gestão da CASAIS e com arquivo específico por elemento.

A gestão é efetuada com base em ferramentas robustas, testadas, mas que não são centralizadas. Esta situação obriga a registos em vários suportes, sendo que a utilização da informação gera uma necessidade adicional de organização e tempo de consulta [33].

3.2 Leitura e compreensão do modelo CAD

Como foi referido, a ferramenta de apoio utilizada para construção da nova ponte sobre o rio Dão foi baseada em desenhos CAD bidimensionais. As principais limitações deste sistema, comum em qualquer tipo de construção, são o esforço necessário para a introdução de alterações, pois a informação é limitada ao representado, sendo necessária uma vasta base de dados para organizar todos os desenhos convenientemente e a colaboração é feita unidireccionalmente. Por outro lado, o facto de ser uma metodologia com elevada maturidade no setor da construção permite que todos os intervenientes estejam familiarizados com a mesma, sendo então importante que a metodologia BIM permita também a ligação a estes processos.

Antes de iniciar a modelação é premente conhecer todo o projeto e os seus desenhos para então avaliar qual a melhor forma de traduzir a informação para um modelo BIM. A organização dos desenhos CAD é preponderante para a compreensão do modelo e neste campo podemos dizer que as equipas envolvidas fizeram um bom trabalho. Na Figura 20 podemos ver o índice de peças desenhadas do livro de desenhos do projeto. As folhas estão organizadas por número ou código, que é dividido por 6 temas, geral (GR), encontro (EN), pilares (PR), tabuleiro (TA), processo construtivo (PC) e equipamento (EQ).

A principal ilação a retirar da leitura dos desenhos é o facto de não haver um desenho de todas as aduelas e apenas desenhos transversais de cada tipo de reforço das aduelas, assim apenas é necessário representar o corte transversal das aduelas sempre que houver uma alteração. Este facto permitiu, desde uma fase inicial, prever que seria necessário representar o corte transversal

para todas as aduelas, uma vez que, uma das técnicas mais comuns de modelação 3D é a utilização de secções transversais para realizar extrusões.

ÍNDICE DE PEÇAS DESENHADAS

Número	Título	Índice		
		01	02	03
P362-PDAO-PE-GR100	Planta de Localização	X		
P362-PDAO-PE-GR110	Esboço Corográfico	X		
P362-PDAO-PE-GR200	Planta e Perfil Longitudinal	X		
P362-PDAO-PE-GR300	Dimensionamento Geral – Planta e Alçado	X		
P362-PDAO-PE-GR301	Apresentação Geral – Fotomontagens e Secções Transversais	X		
P362-PDAO-PE-GR320	Perfil Geológico e Geotécnico – Planta de Fundações e Alçado 1/2			X
P362-PDAO-PE-GR321	Perfil Geológico e Geotécnico – Planta de Fundações e Alçado 2/2		X	
P362-PDAO-PE-GR340	Perfis Geológico e Geotécnicos – Pilar P1 1/3	X		
P362-PDAO-PE-GR341	Perfis Geológico e Geotécnicos – Pilar P1 2/3	X		
P362-PDAO-PE-GR342	Perfis Geológico e Geotécnicos – Pilar P1 3/3	X		
P362-PDAO-PE-GR360	Perfis Geológico e Geotécnicos – Pilar P2 1/2	X		
P362-PDAO-PE-GR361	Perfis Geológico e Geotécnicos – Pilar P2 2/2	X		
P362-PDAO-PE-GR400	Planimetria e Altimetria	X		
P362-PDAO-PE-GR500	Serviços Afectados	X		
P362-PDAO-PE-EN100	Encontro E1 – Dimensionamento 1/2		X	
P362-PDAO-PE-EN101	Encontro E1 – Dimensionamento 2/2		X	
P362-PDAO-PE-EN140	Encontro E2 – Dimensionamento 1/2		X	
P362-PDAO-PE-EN141	Encontro E2 – Dimensionamento 2/2		X	
P362-PDAO-PE-EN160	Encontros – Pormenores	X		
P362-PDAO-PE-EN300	Encontro E1 – Armaduras 1/2	X		
P362-PDAO-PE-EN301	Encontro E1 – Armaduras 2/2		X	
P362-PDAO-PE-EN340	Encontro E2 – Armaduras 1/2	X		
P362-PDAO-PE-EN341	Encontro E2 – Armaduras 2/2	X		

Figura 20. Índice de peças desenhadas utilizado no projeto real (parcial)

3.3 Desafios e requisitos de desempenho BIM

Os principais desafios que se colocaram neste trabalho residiram na capacidade de entregar elementos provenientes do modelo BrIM em tempo útil, por forma a permitir a sua leitura e interpretação por parte de técnicos da obra habituados a fazê-lo através dos processos tradicionais.

Para tal, procurou-se um sistema integrado que permitisse a modelação geométrica complexa quer de elementos em betão, quer de armaduras ativas e passivas. A garantia de qualidade e rigor da metodologia de modelação é crucial pois traz implicações na tipologia de informação que pode ser recolhida com facilidade para efeitos de produção de planos de cofragens; desenhos/CAM de preparação de armaduras e medição das quantidades para controlo de custos da empreitada. Com efeito, era importante criar mecanismos de criação do modelo suficientemente expeditos para permitir tornar competitivo o seu próprio custo. Pretendeu-se também garantir a possibilidade de introdução do planeamento (4D) no modelo, que deveria

estar indexado à construção faseada por aduelas, de modo a que fosse possível acompanhar a evolução da obra em relação ao previsto. Por último, seria necessário introduzir um sistema de partilha da informação entre todos os intervenientes, que fosse de simples manuseamento e de rápida aprendizagem, mas que pudesse servir de meio de consulta para esclarecimento de todas as dúvidas que surgissem ao longo da construção e no local da obra.

Em relação aos requisitos BIM, é necessário utilizar um *software* que forneça ferramentas capazes de satisfazer os pedidos da obra e que permita a introdução de informação externa nos objetos como, desenhos tradicionais, ensaios, documentos de higiene e segurança, etc. O software tem de ser capaz de corresponder a uma contínua rede de informação. Para isso, a informação do *software* tem que fornecer uma ligação indubitável ao projeto tradicional. As identificações utilizadas no processo tradicional, como se pode visualizar na Figura 58 (em anexo), tem que estar presentes no modelo BIM. Através do esquema da Figura 21, vemos que, ao longo do projeto, necessitamos de utilizar informação que irá ser pedida ou introduzida no modelo. Este intercâmbio de informação tem de ser rápido e intuitivo, de forma a ser possível todos os intervenientes participarem sem grandes dificuldades. No fundo, podemos dizer que, o *software* a utilizar terá que funcionar como uma base de dados virtual tridimensional.

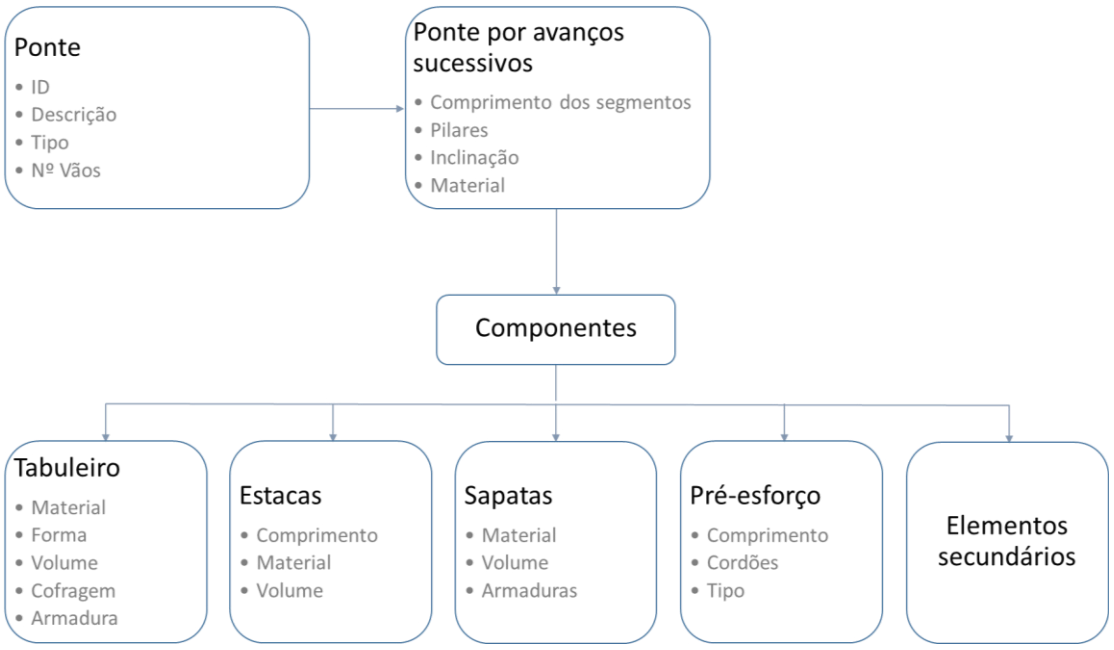


Figura 21. Esquema organizacional da informação ao longo do modelo

De acordo a figura anterior, é necessário que aplicação permita a introdução da informação geral referente à ponte, como o tipo de ponte, número de vãos, materiais, inclinação, entre outros, na descrição do ficheiro. A informação específica aos objetos ou componentes terá que

estar implícita nos mesmos. Por exemplo, o objeto sapata terá que incluir, no mínimo, a informação acerca do material, do volume de betão e as respetivas armaduras. Caso seja possível, é desejável que a aplicação permita a introdução de informação proveniente de outras fontes.

3.4 Escolha da aplicação informática BIM

Definidos os requisitos necessários para a modelação da estrutura, foram testados dois pacotes de software: o Revit Structures da Autodesk e o Tekla Structures da Trimble. A escolha inicial recaiu apenas nestes dois sistemas devido à:

- Disponibilidade de tempo para o teste de múltiplas aplicações;
- Simplicidade de obtenção de licenças académicas;
- Facilidade de aprendizagem das aplicações com base em informação disponível na internet (documentos de suporte, vídeos de apoio, etc);
- Conhecimento prévio das potencialidades das aplicações.

A primeira ferramenta testada foi o Revit Structures, onde se começou inclusivamente a modelação de toda a ponte. As estacas, respetivos maciços de encabeçamento e os pilares foram modelados com facilidade mas, para a criação do tabuleiro por aduelas, seria necessária a criação de famílias parametrizadas de elevada complexidade ou a modelação através de massas, sendo que, com esta segunda opção, se perderiam algumas das funcionalidades interessantes que o BIM pode proporcionar. Com o nível de conhecimentos disponível sobre a utilização desta aplicação, não foi possível avançar mais em tempo útil para o trabalho em questão. Na Figura 22, podemos ver a tentativa de modelação de toda a laje inferior do tabuleiro onde, a principal limitação foi conseguir corresponder as inclinações corretas e a sua espessura.

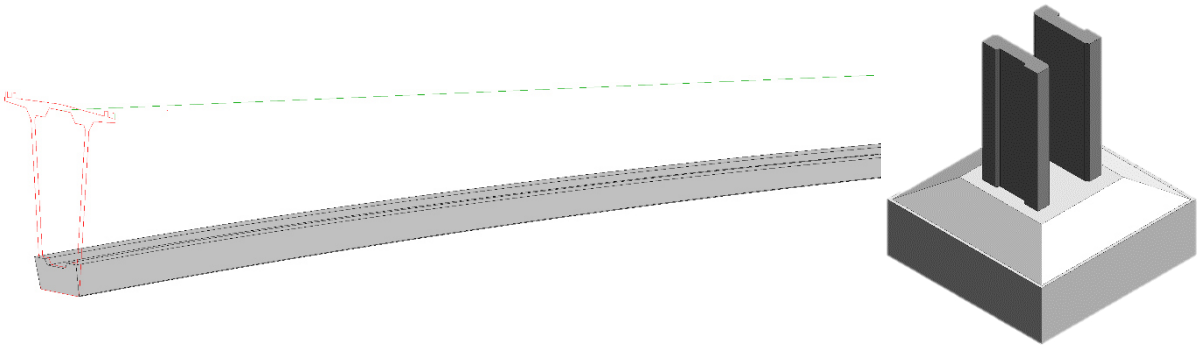


Figura 22. Tentativa de modelação da laje inferior da ponte e maciço e pilares modelados no Revit

A segunda aplicação BIM testada foi o Tekla Structures. Este *software* é bastante utilizado para modelação de estruturas metálicas incluindo a seu fabrico e montagem, mas, ultimamente, tem evoluído bastante para a indústria do betão armado. Apesar do autor (responsável pela criação do modelo) não ter qualquer tipo de experiência prévia com este *software*, conseguiu modelar a infraestrutura com facilidade (estacas, maciços e pilares), demorando cerca de uma semana para aprender os comandos básicos do programa. A modelação de uma aduela foi conseguida após alguma investigação e prática, demorando também cerca de uma semana, para esta etapa. Refira-se que os tempos de modelação em questão foram predominantemente preenchidos com processos de aprendizagem e tentativa-e-erro, que acabam por desaparecer em modelações subsequentes. Em relação à modelação de armaduras, o Tekla demonstrou ter os requisitos necessários para a sua pormenorização adequada uma vez que, permite a modelação manual e a organização das armaduras por cores.

No que concerne à informação, ambas as ferramentas são bastante capazes embora o façam de maneiras um pouco diferentes. O Revit permite que o utilizador introduza informação por objeto, esta pode ser em formato original ou em formato predefinido. Neste projeto piloto, grande parte da informação é original e existente em ficheiros por isso, um fatores mais importantes a satisfazer é a possibilidade de anexar ficheiros a objetos ou tarefas. No Revit existe essa possibilidade a partir dos diretórios dos ficheiros. Já o Tekla permite a introdução de informação de diferentes formas. É possível adicionar informação a qualquer objeto e definir nomes específicos para cada objeto que neste caso provou ser bastante útil uma vez que em obra havia especificações ou códigos para cada componente. Em relação à anexão de ficheiros o Tekla funciona de uma forma análoga ao Revit no que diz respeito aos diretórios, mas permite a anexão a objetos e a tarefas porque inclui uma ferramenta de planeamento no *software*.

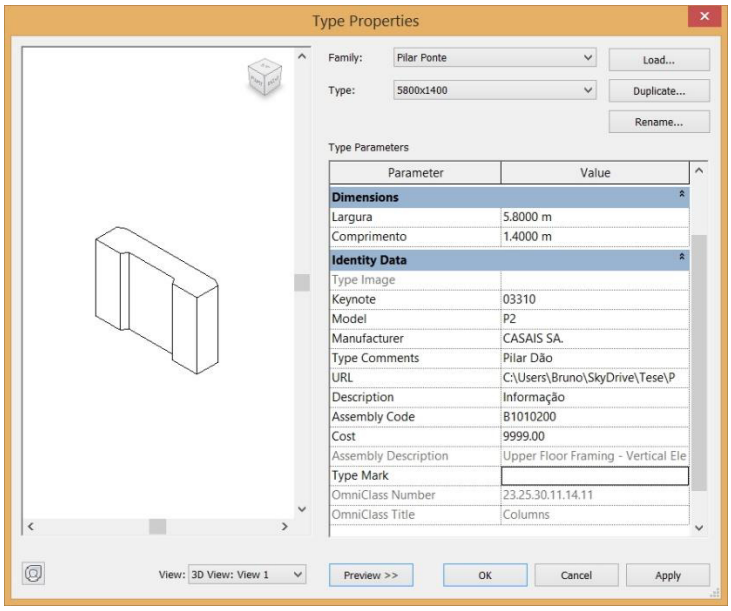


Figura 23. Janela de informação do Pilar P2 no Revit

Tendo em conta as potencialidades das duas aplicações estudadas, o grau de complexidade do problema em causa, a disponibilidade de obtenção de elementos de apoio à aprendizagem, o acesso a contactos de suporte para a resolução de problemas, bem como à própria experiência do autor, optou-se pelo Tekla Structures para o caso de estudo da nova ponte sobre o Rio Dão.

No que concerne à ferramenta de faseamento construtivo e de extração de informação, a aplicação prevista, inicialmente, foi o Vico Office da Trimble. Este é um *software* altamente especializado em leitura de modelos, extração de quantidades e otimização de tempos, permite o planeamento através de localizações, controlo e atualização dos rendimentos e organização através da linha de balanço. Além disso, apesar do autor não ter o mínimo de experiência com a aplicação, a empresa criadora do Vico Office, fornece uma vasta panóplia de vídeos tutoriais que facilitou uma aprendizagem inicial rápida e sucinta. Os vídeos encontram-se organizados por temas e níveis por isso, o autor, apenas necessitou de se focar no que pretendia do *software* [34], [35].

Dado que, o Tekla e o Vico Office pertencem à mesma companhia, a Trimble, seria de esperar uma interoperabilidade direta, sem perdas de informação entre as duas ferramentas, sendo então a escolha ideal para o trabalho a realizar. Infelizmente, apesar de existir um processo de exportação entre os dois *softwares*, este não pôde ser utilizado. Pelo facto de se ter utilizado a versão de estudante do Tekla Structures, esta tem a limitação de não permitir a instalação de componentes externos, não sendo então possível instalar o *plug-in* necessário para a utilização

do processo de exportação direto. Descoberta esta limitação, rapidamente se tentou encontrar uma solução a partir de outro formato.

Depois de contactar a representante dos *softwares* em Portugal, foram encontradas duas soluções para resolver esta limitação. Uma solução seria a passagem do modelo da versão educacional para a profissional e a outra a utilização das ferramentas do Tekla Structures para realizar todos os trabalhos inerentes ao Vico. Depois de alguma reflexão sobre ambas as soluções, optou-se por escolher a segunda uma vez que, a perda de informação seria menor por tudo se realizar no mesmo *software*, além disso, apesar das ferramentas do Vico serem mais vastas, as opções oferecidas pelo Tekla também são bastante competentes.

A aplicação BIM de apresentação utilizada foi o Lumion. Esta escolha deveu-se principalmente ao facto da disponibilidade da licença do programa e ao apoio dado pelo atelier de arquitetura Nuno Lacerda Lopes que, prontamente, se disponibilizou para ajudar na utilização do Lumion.

4. PRODUÇÃO DO MODELO BIM

4.1 Modelos paramétricos e geometria

O início dos esforços de modelação coincidiu com o início da construção do tabuleiro, estando já concluídos ambos os pilares e correspondente infraestrutura. A modelação das estacas foi realizada sem dificuldades de relevo, tendo as mesmas já sido modeladas com o seu comprimento real. O mesmo se passou com os maciços de encabeçamento e com os pilares (ver Figura 24).

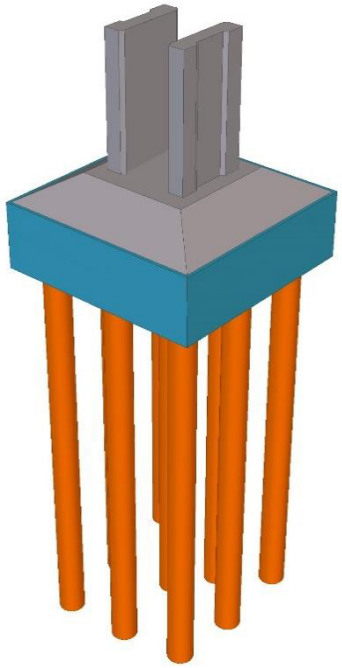


Figura 24. Estacas, maciço de encabeçamento e pilares

O principal desafio presente na elaboração do modelo BIM da nova ponte sobre o Rio Dão foi a modelação do seu tabuleiro. Usualmente, os tabuleiros deste tipo de ponte são delimitados por uma ou várias equações polinomiais formando um arco. É também preciso modelar todas as aduelas com as respetivas inclinações. No caso presente, cada aduela é constituída por três inclinações ilustradas na Figura 25, sendo duas inclinações na laje inferior devido à sua espessura variável e outra na laje superior (inclinação do trainel da estrada).

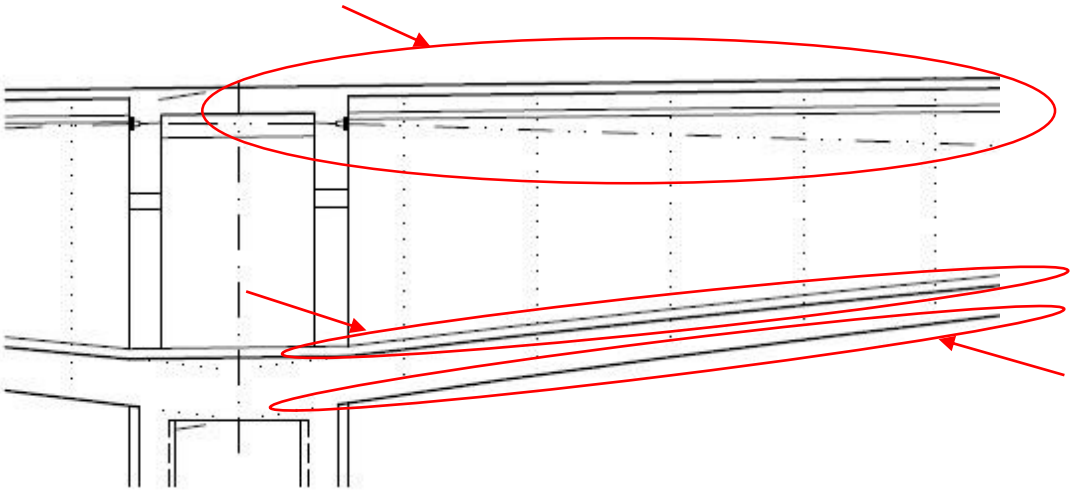


Figura 25. Inclinações do tabuleiro

Para a modelação da geometria foi utilizada uma lógica de perfis de entrada e de saída. Para a modelação dos maciços apenas foi necessário um tipo de perfil para cada objeto, enquanto para o tabuleiro foram necessários dois perfis divididos em duas vigas fictícias, representadas na Figura 26 e Figura 27, de modo a juntarem-se e a formarem uma aduela.

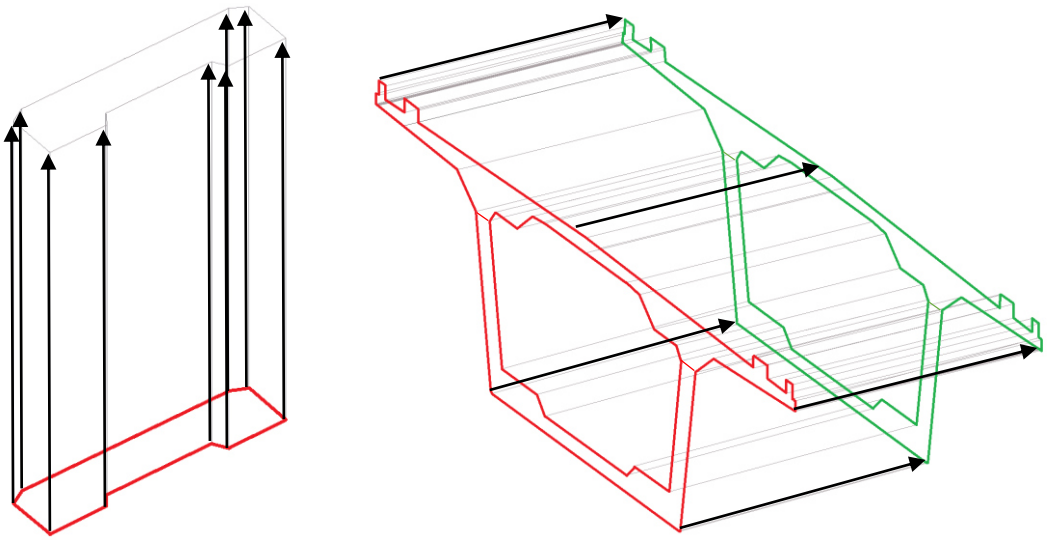


Figura 26. Exemplo de diferentes perfis, a vermelho os perfis de entrada e a verde os perfis de saída

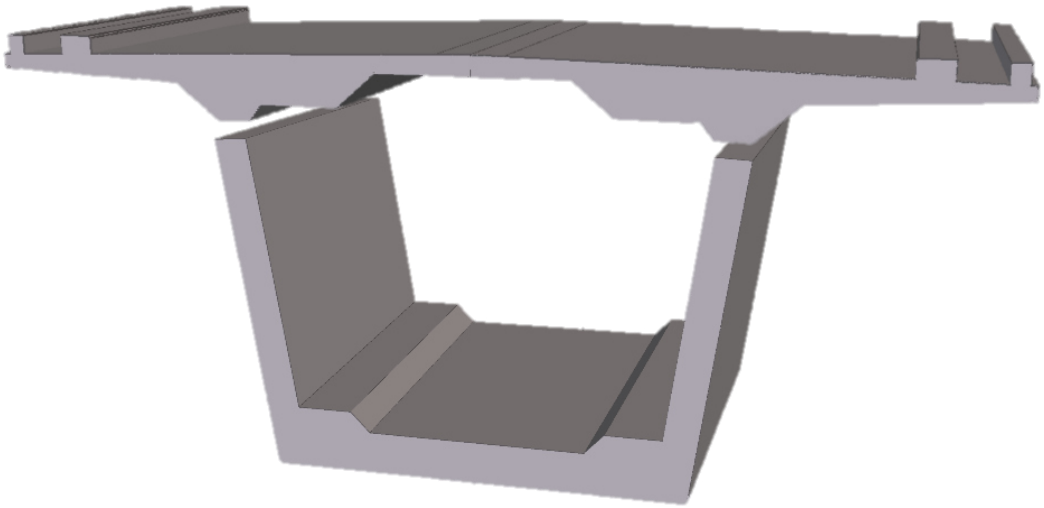


Figura 27. Vigas fictícias que formam uma aduela

A introdução dos perfis de entrada e saída foi feita a partir dos desenhos CAD fornecidos pela CASAIS. Para a modelação dos maciços e pilares a importação dos perfis foi direta já, para as aduelas, o facto de estas serem inclinadas implicou que fossem criados perfis fictícios. Esta situação acontece devido à inclinação do tabuleiro e à forma que o software tem para modelar vigas. Como podemos ver na Figura 28, quando modelamos uma viga inclinada o software considera que o perfil da viga é perpendicular à inclinação, isto quer dizer que o perfil de entrada que foi introduzido está inclinado e não perpendicular. Para corrigir este erro foi necessário alterar individualmente cada perfil de entrada e de saída de forma a que a espessura da laje correspondesse à medida indicada no projeto quando cortado e prolongado – ver Figura 29.

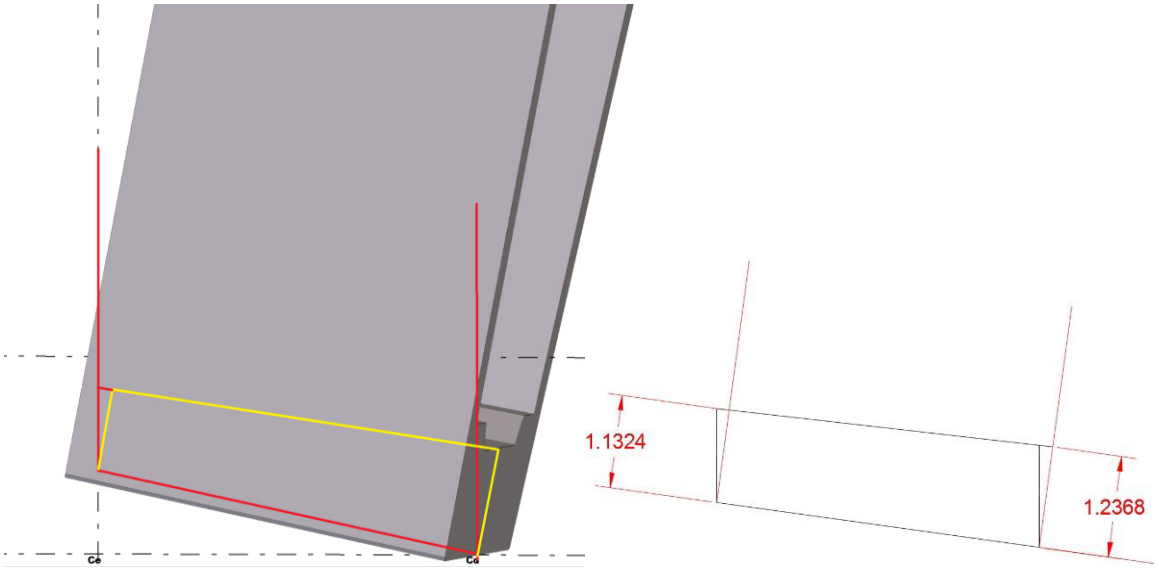


Figura 28. Aduela inclinada antes do corte e prolongamento e esquema com as espessuras fictícias

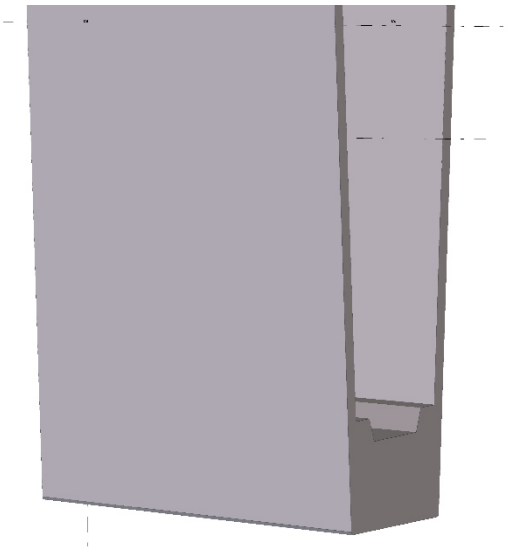


Figura 29. Aduela Finalizada com o corte do lado direito e prolongamento do lado esquerdo

A curva de aprendizagem da modelação da geometria foi relativamente lenta, uma vez que, as funções utilizadas são complexas e têm especificidades na sua aplicação que não são evidentes, como seria desejável. Numa fase inicial, a modelação de uma aduela demorava cerca de 16 horas, sendo que na fase final de modelação, os tempos despendidos em cada aduela eram já inferiores a cerca de 5 horas. A modelação geométrica da ponte foi feita por um único modelador e demorou cerca de 1 mês e 2 semanas. Na Figura 30 podemos ver o resultado final da modelação da geometria.

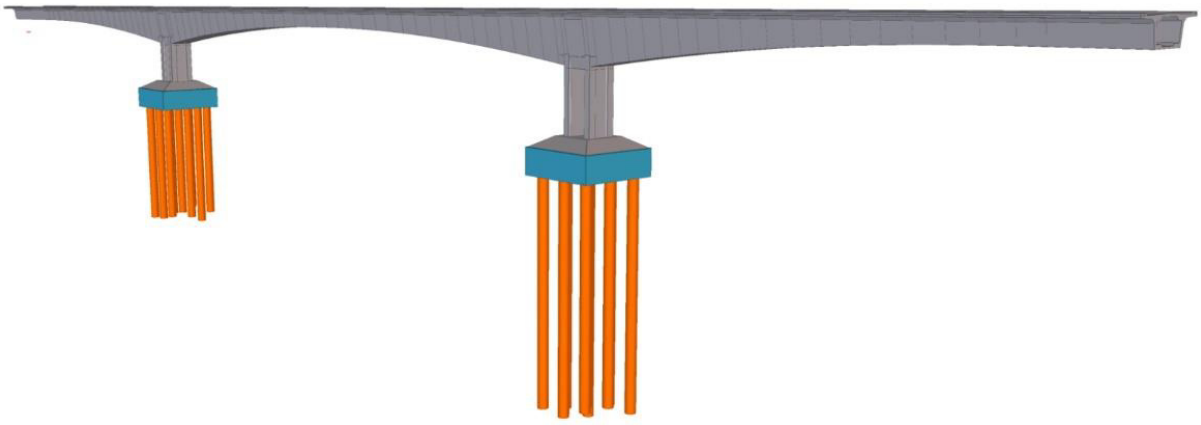


Figura 30. Vista da Geometria Geral

4.2 Pormenorização de armaduras ordinárias

Outra das complexidades presente nestas obras de arte surge devido à grande densidade de armaduras e à sua diversidade sendo, por essa razão, de grande utilidade prever e pré-visualizar virtualmente cada aduela para identificar estas dificuldades ainda numa fase inicial da construção.

Na Figura 31 e Figura 32 podemos ver um dos principais conjuntos de estribos que obedecem a comprimentos de sobreposição e orientações complexas. Este grupo de armaduras segue as inclinações superiores e inferiores de cada aduela, diminuindo o seu comprimento e diâmetro ao longo do tabuleiro. Em obra, este grupo de estribos foi simplificado de forma a todos os estribos da mesma aduela, terem o mesmo comprimento, aumentando desta forma o comprimento de sobreposição e o desperdício de aço, ao contrário do modelo BIM que fornece os comprimentos de entrada e saída da aduela exatos.

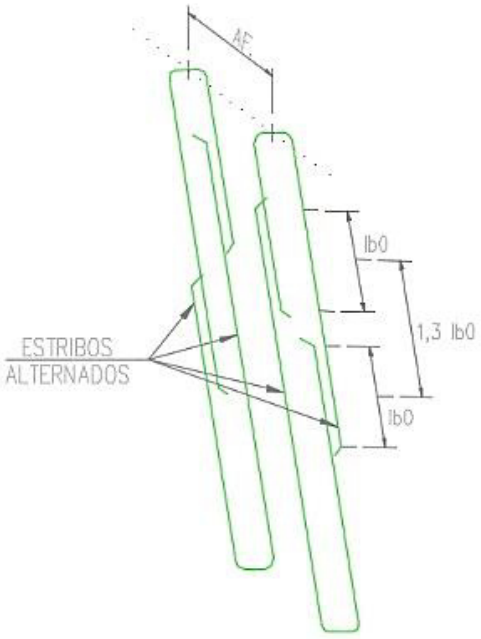


Figura 31. Esquema de preparação para os estribos [3]

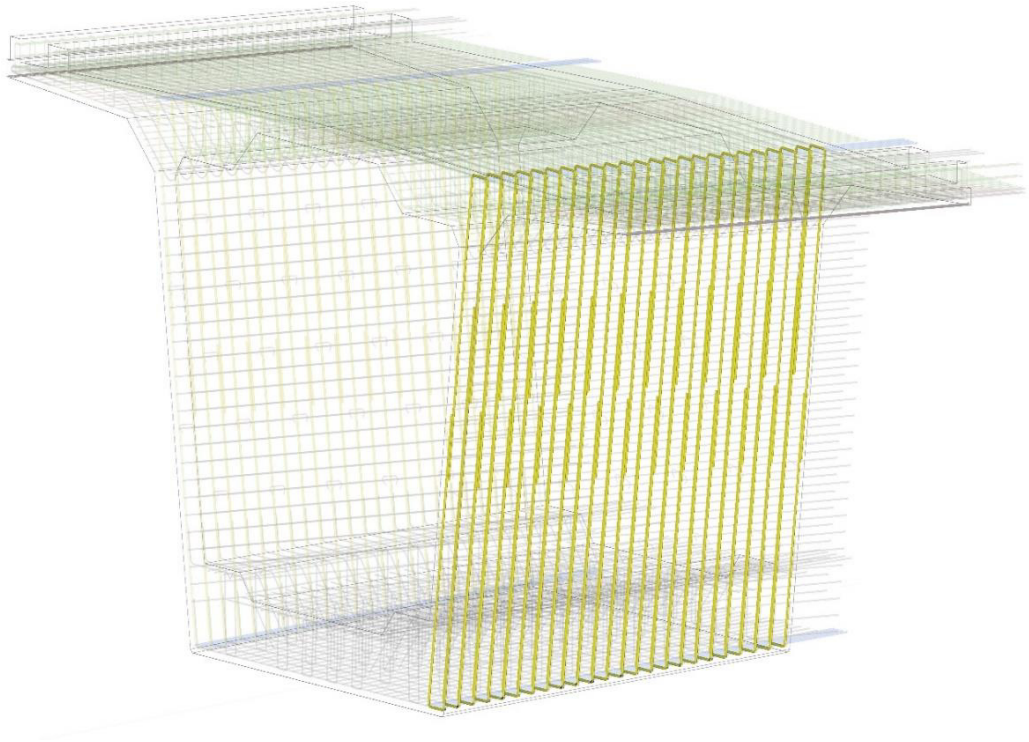


Figura 32. A amarelo os estribos que acompanham as diferentes inclinações da aduela

O elevado número de diâmetros presentes no projeto levou à necessidade de criação de um código de cores, este diferencia os diâmetros por cores aumentando a facilidade de visualização e a organização do modelo – ver Tabela 1.

Tabela 1. Código de cores para as armaduras

ø (mm)	COR	CÓDIGO NO TEKLA
10	Vermelho	9
12	Verde	10
16	Cinzento Escuro	8
20	Azul	4
25	Amarelo	6
Pré-esforço	Azul claro	11

Apesar do software oferecer uma panóplia grande de automatismos (macros) que facilitam a modelação de armaduras, eles são mais apropriados para objetos regulares de edifícios como

sejam pilares retangulares e circulares, vigas retangulares e lajes maciças. No caso da ponte sobre o Rio Dão, todos os objetos são originais não havendo macros pré-criadas que se revelem efetivamente úteis para diminuir o tempo de modelação. Por esta razão, a modelação das armaduras foi realizada individualmente por grupos de armaduras. O aspeto da armadura de uma aduela finalizada está representado na Figura 33. Para agilizar a criação das armaduras em aduelas subsequentes, o *software* fornece uma função que permite a cópia dos elementos constituintes de um objeto para outro objeto, isto é, neste caso, permite copiar as armaduras de uma aduela para a outra. Perante um problema desta complexidade, a cópia gerada com esta função não é perfeita, conforme se pode observar na Figura 34. No entanto, a cópia conseguida sempre se revelou um excelente ponto de partida para conseguir tempos de modelação inferiores aos que seriam necessários para modelação integral das novas armaduras. Salienta-se adicionalmente que o *software* permite modelação explícita dos empalmes das armaduras.

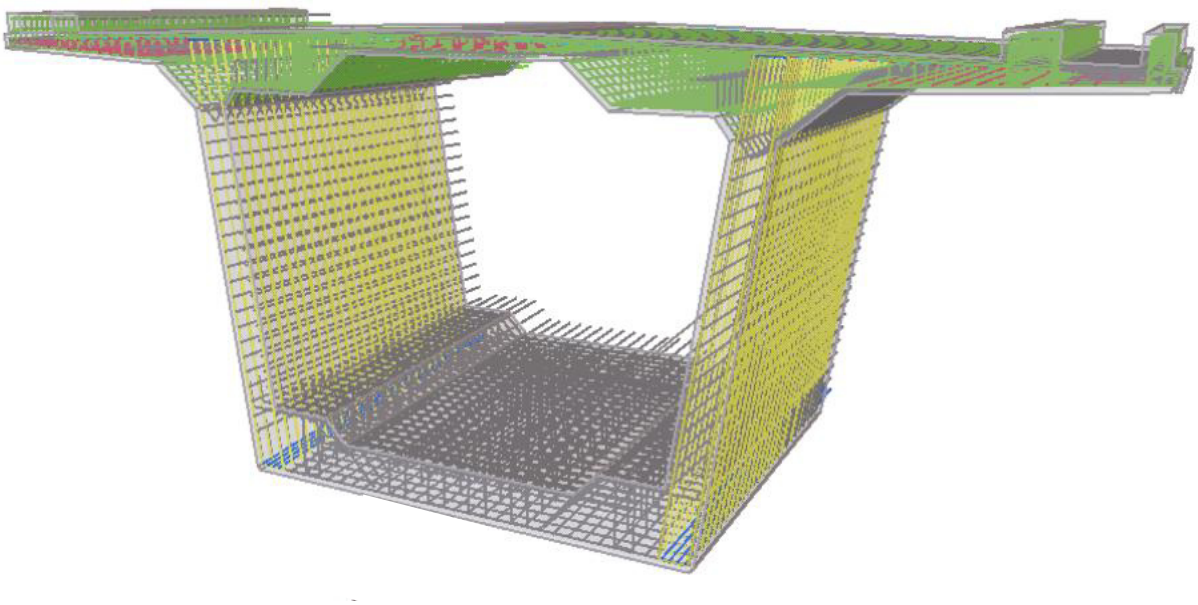


Figura 33. Exemplo de Aduela finalizada (cabos de pré-esforço omitidos)

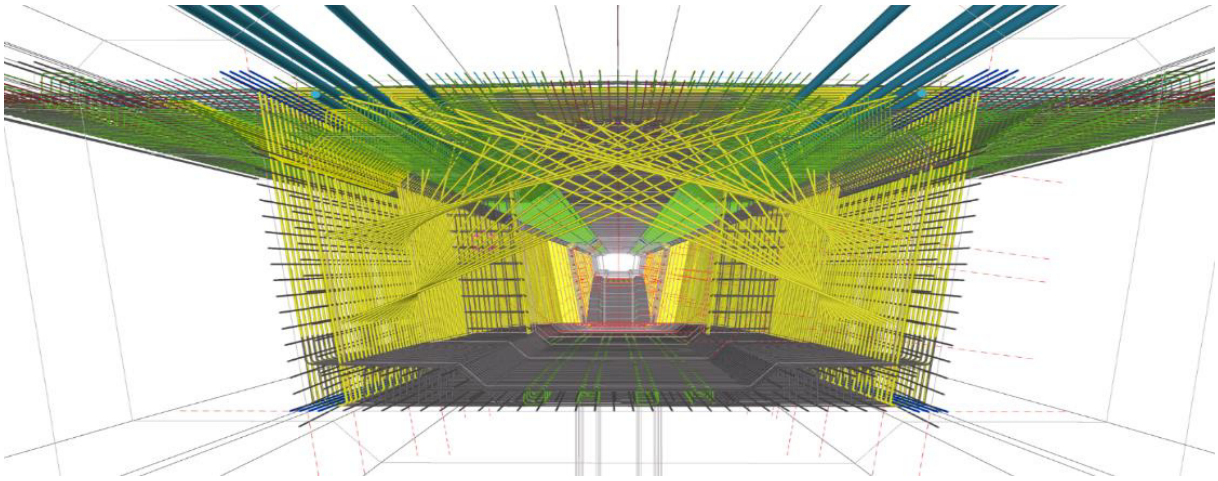


Figura 34. Cópia gerada sem ajustes

O grau de detalhe e pormenorização permitiu a produção de desenhos de preparação com todos os grupos de armaduras detalhados sendo inclusivamente, possível produzir um ficheiro de ligação às máquinas de corte automático (CAM) através de comando numérico. No entanto, essa funcionalidade não pôde ser testada na prática por razões relacionadas com a logística da obra e estruturação das respetivas subempreitadas.

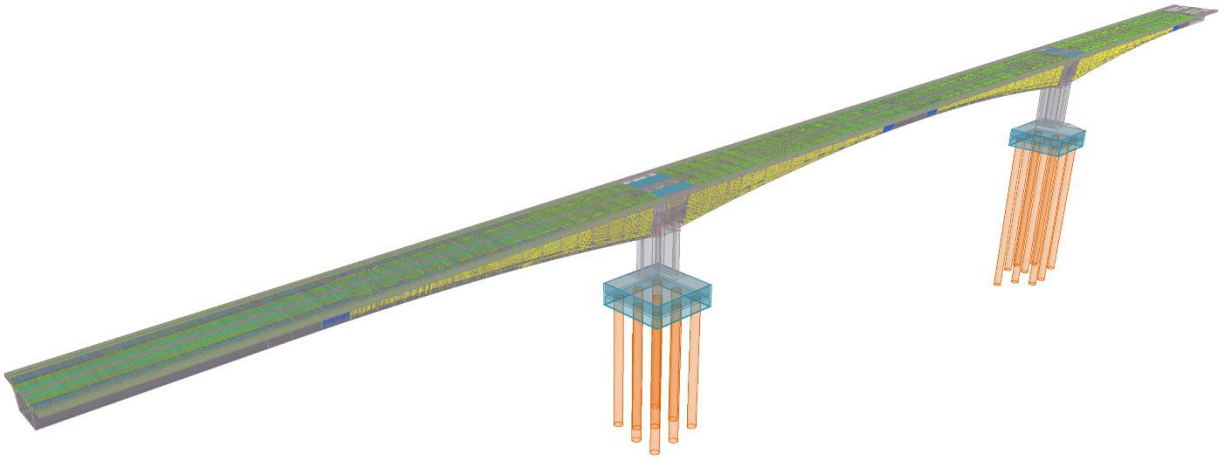


Figura 35. Modelo de pormenorização de armaduras final

4.3 Pormenorização de armaduras de pré-esforço

Neste projeto pretendia-se a modelação de todas as armaduras de pré-esforço presentes no tabuleiro superior. Para tal foi usado o plug-in de modelação de pré-esforço existente no Tekla. Com este módulo, foi totalmente modelado o traçado das diversas bainhas dos cabos e

introduzida a informação acerca do número e tipo de cordões (ver Figura 36). No tempo disponível para criação do modelo não foi possível introduzir os cabos, os aparelhos de apoio nem as armaduras de reforço, o que exigiria a construção e parametrização de objetos próprios. De qualquer modo, esta modelação permitiu detetar as incompatibilidades entre armaduras passivas e de pré-esforço e perceber desde cedo as complexidades inerentes ao elevado número de cabos presente nas primeiras aduelas (ver Figura 37).

Strand pattern Qty.	Grade	Size	Length	Mark	Name	Number of patterns
4	Undefined	100	18001	220(?)	22T15	2

Figura 36. Quadro informativo resultante do plug-in de Pré-esforço

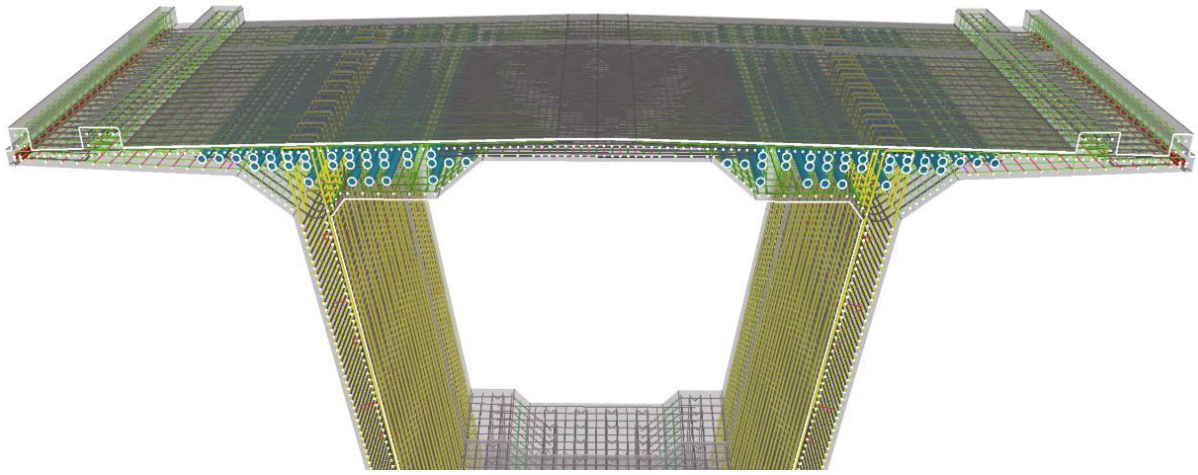


Figura 37. Pormenor Pré-esforço Aduela 01

4.4 Faseamento Construtivo

Para a interligação do modelo BIM com o planeamento construtivo, o Tekla fornece uma ferramenta que permite a importação de ficheiros MS-Project (através de ficheiros .xml) ou a introdução manual de tarefas, prazos e rendimentos. No caso da nova ponte sobre o Rio Dão, o planeamento em MS-Project começou por ser importado parcialmente mas devido a algumas limitações na importação, houve que adaptar e editar manualmente esse planeamento já dentro do Tekla. A definição das tarefas e a sua associação aos rendimentos de trabalho permitiu

controlar o desenvolvimento dos trabalhos com produção de relatórios de percentagem de execução de trabalhos e da sua comparação com o previsto – ver Figura 38.

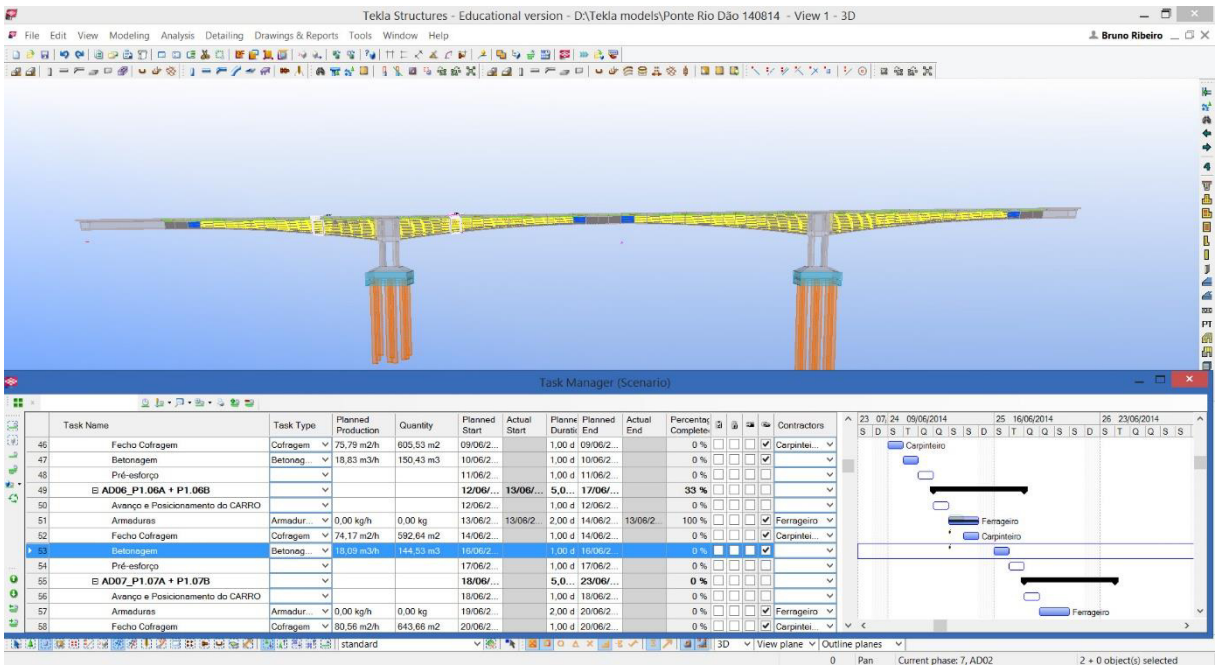


Figura 38. Ferramenta de análise do faseamento construtivo

Como foi mencionado anteriormente, a importação do faseamento construtivo utilizado em obra teve que ser feita manualmente. Para iniciar este processo foi necessário recolher toda a informação existente no project fornecido pela obra e iniciar a importação pela seguinte ordem:

1. Introdução de tempos de laboração e interrupções;
2. Definição de tipos de tarefas (ver Figura 39);
3. Cópia dos nomes das tarefas utilizadas em obra;
4. Definição dos tempos planeados;
5. Ligação das tarefas aos objetos.

A definição dos tipos de tarefas é feita pelo utilizador que define o tipo de informação que pretende recolher do modelo, esta informação é depois processada fornecendo as quantidades e rendimentos por tarefas.

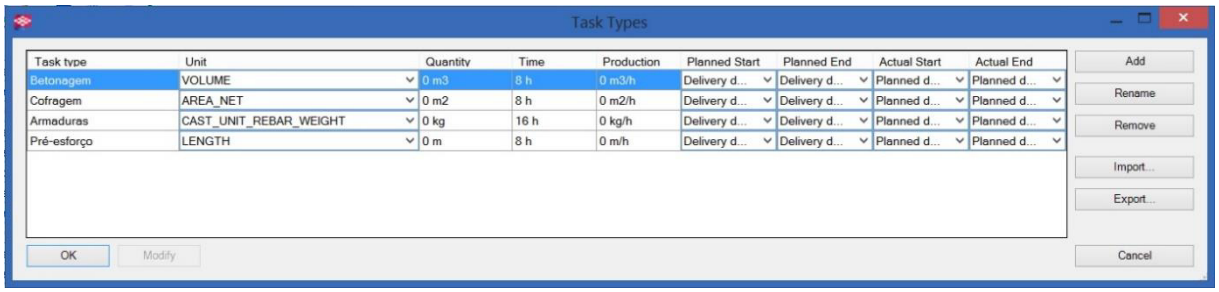


Figura 39. Janela de introdução dos tipos de tarefas

Neste tipo de pontes, as tarefas no tabuleiro são cíclicas, repetidas pelo número de aduelas existentes [4]. Cada ciclo inicia-se pelo avanço e posicionamento do carro, seguido do posicionamento das armaduras, fecho da cofragem, betonagem e por fim, a aplicação do pré-esforço quando a resistência necessária do betão é atingida. As tarefas complementares às referidas, como dobragem e corte do aço, corte e preparação das cofragens, ensaios, levantamentos topográficos entre outras, não foram incluídas neste modelo. É de ressalvar que num caso profissional e não académico, estas atividades poderiam ser incluídas e mesmo detalhadas no Tekla. Por exemplo, no caso da ponte sobre o rio Dão a preparação das cofragens ficou ao cargo de uma subempreitada. A CASAIS poderia então partilhar o modelo geométrico da ponte com a empresa contratada que por sua vez poderia modelar as respetivas cofragens no Tekla ou noutro *software*, sincronizando depois novamente com o modelo central da CASAIS. Neste caso, seria então possível incluir as tarefas e anexa-las ao objetos em causa. Caso a empresa não partilhasse ou não utilizasse este tipo de metodologias, uma das propostas possíveis seria a criação de uma tarefa, com nome devido, em que se definisse o subcontratado e a respetiva data esperada de entrega dos trabalhos. Este último exemplo pode ser visto na Figura 40.

	Task Name	Task Type	Planned Production	Quantity	Planned Start	Actual Start	Planne Duratic	Planned End	Actual End	Percenta Complete	Contractors
58	Fecho Cofragem	Cofragem	80,56 m2/h	643,66 m2	20/06/2...	28/10/2...	1,00 d	20/06/2...	28/10/2...	100 %	Carpintei...
59	Betonagem	Betonag...	19,49 m3/h	155,73 m3	21/06/2...	28/10/2...	1,00 d	21/06/2...	28/10/2...	100 %	
60	Pré-esforço				23/06/2...	28/10/2...	1,00 d	23/06/2...	28/10/2...	100 %	
61	⊟ **AD08_P1.08A + P1.08B**				**24/06/...**	**28/10/...**	**5,0...**	**28/06/...**	**28/10/...**	**100 %**	
62	Avanço e Posicionamento do CARRO				24/06/2...	28/10/2...	1,00 d	24/06/2...	28/10/2...	100 %	
63	Armaduras	Armadur...			25/06/2...	28/10/2...	2,00 d	26/06/2...	28/10/2...	100 %	Ferrageiro
64	Fecho Cofragem	Cofragem	78,84 m2/h	629,95 m2	26/06/2...	28/10/2...	1,00 d	26/06/2...	28/10/2...	100 %	Carpintei...
65	Betonagem	Betonag...	18,65 m3/h	149,01 m3	27/06/2...	28/10/2...	1,00 d	27/06/2...	28/10/2...	100 %	
66	Pré-esforço				28/06/2...	28/10/2...	1,00 d	28/06/2...	28/10/2...	100 %	

Figura 40. Quadro informativo principal da ferramenta de faseamento construtivo, coluna referente aos subcontratados a vermelho

5. UTILIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO E PROCESSO COLABORATIVO

5.1 Medição de quantidades

A extração da informação do modelo pode ser feita através da geração de tabelas resumo ou através de consulta direta de informação subjacente a cada objeto que compõe o modelo. Na Figura 41 é exemplificada uma consulta à informação contida num objeto "aduela". Este tipo de consulta de informação permite a visualização de toda a informação referente ao objeto em questão.

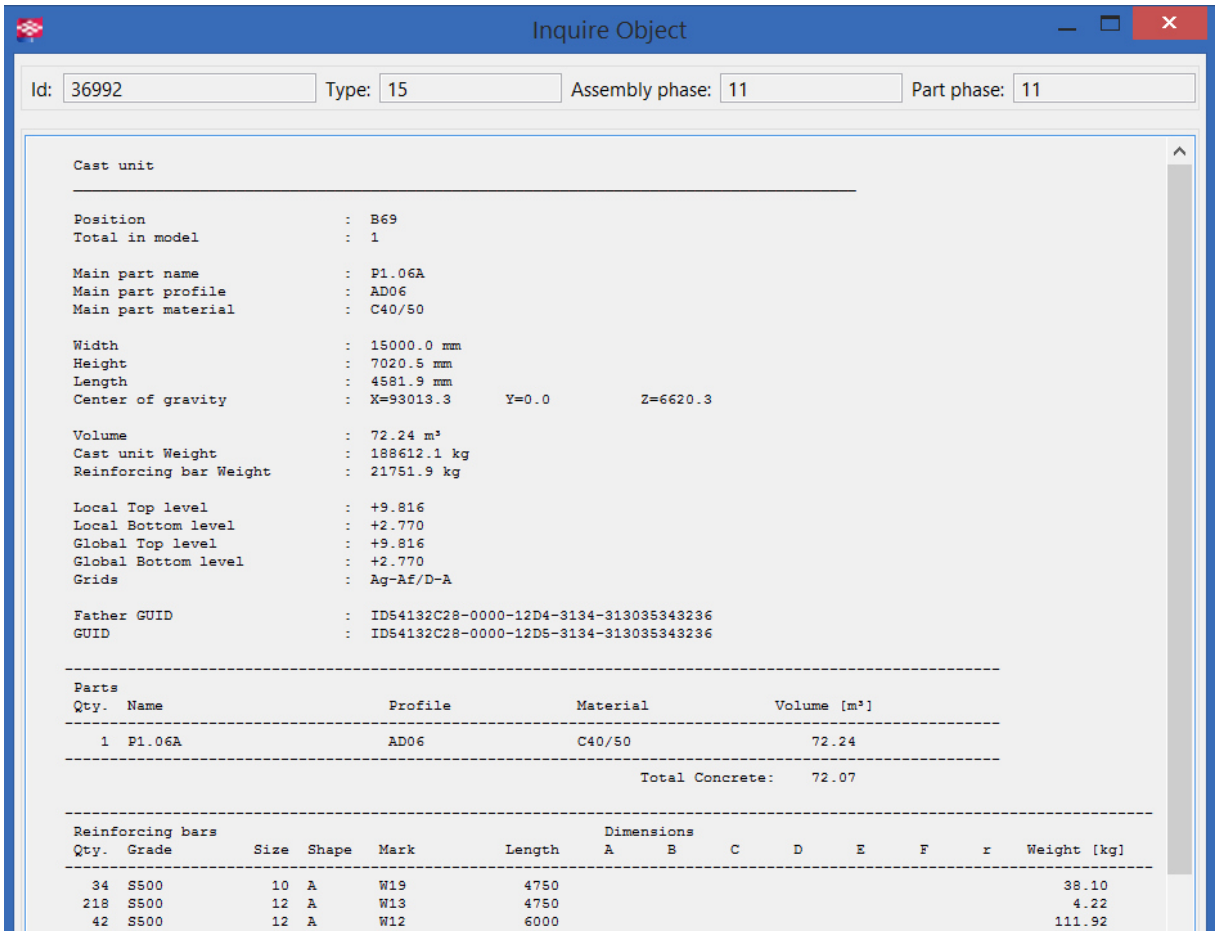


Figura 41. Quadro informativo da aduela P1.06A (parcial) – Total em Anexo na Figura 57

A extração de informação a partir de tabelas-resumo é feita a partir da ferramenta de organização do modelo. Esta ferramenta é uma solução altamente versátil para exportação de informação pois permite utilizar templates de excel criados pela própria empresa (ver Figura 60 em anexo), escolher a informação a apresentar nas tabelas e, além disso, a seleção dos objetos

pode ser feita por fases, perfis, tipo de material, local e objeto. Na Figura 42 encontra-se a interface de utilizador do organizador do modelo. Do lado direito seleciona-se a categoria que pretendemos examinar a informação, enquanto do lado esquerdo aparece a tabela com a informação que os objetos selecionados abrangem. É também de salientar que os objetos selecionados no modelo se encontram coloridos com um tom alaranjado.

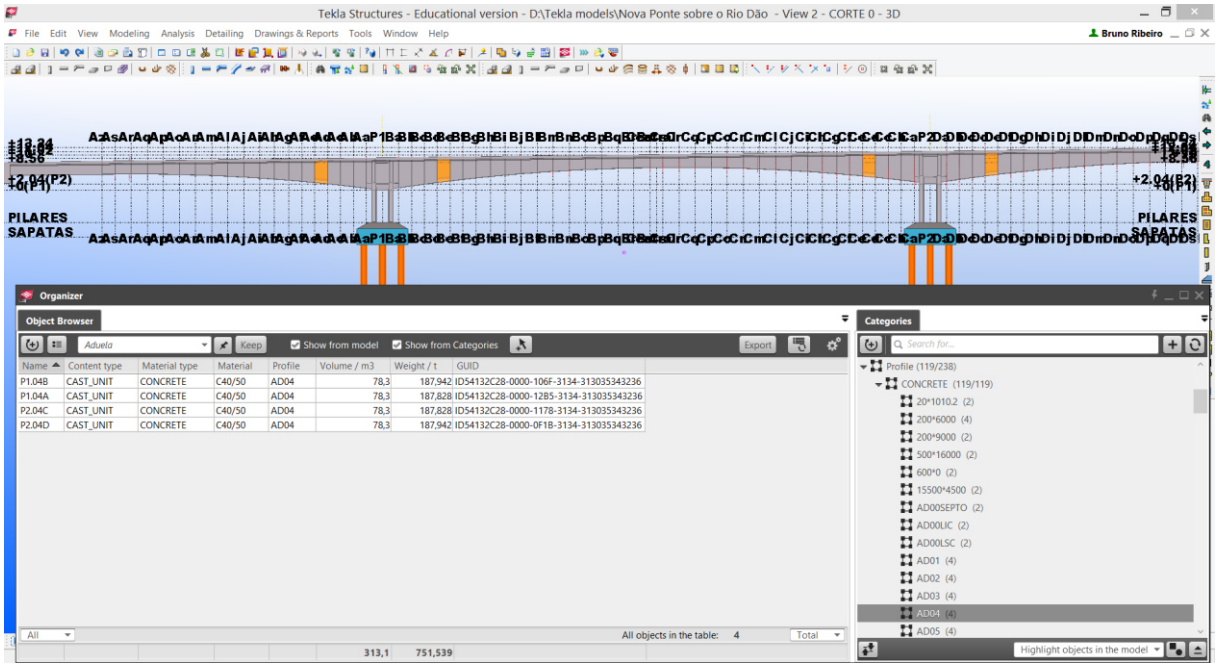


Figura 42. Interface de utilização do organizador do modelo

À medida que a ponte foi sendo construída foi possível fazer uma análise comparativa entre as quantidades estimadas pelos métodos tradicionais, as provenientes do modelo BIM e informações relativas às quantidades realmente utilizadas em obra (quando disponíveis).

Ressalve-se que apenas se pretende mostrar a validação mútua entre os métodos, sendo que a extração de quantidades no modelo BrIM foi muito menos trabalhosa (dada a disponibilidade prévia do modelo) e menos sujeita a erros. Uma vez que, neste tipo de pontes, as aduelas são betonadas aos pares, o processo comparativo incidiu sobre um par de aduelas a título exemplificativo: P1.10A +P1.10B.

A estimativa de volume de betão efetuada em obra por processos denominados 'tradicionais' foi feita com base nos desenhos CAD 2D através multiplicação do comprimento da aduela pela média entre a área da secção transversal de entrada e a área da secção transversal de saída. Para as aduelas P1.10A + P1.10B, o volume de betonagem estimado em obra foi de 148,8 m^3, o que é muito aproximado da estimativa obtida no modelo BrIM que foi de 147,38 m^3. Estas

quantidades foram validadas pela quantidade de betão fornecido aquando da betonagem das aduelas em questão que foi de 150 m^3 (notar que há sempre algum desperdício nos processos de betonagem e é relativamente frequente o aproveitamento de algum betão para aplicação fora do contexto do tabuleiro, justificando a diferença de ~2m^3).

A estimativa da área de cofragem efetuada através do processo tradicional foi obtida através de metodologia análoga à utilizada para a estimativa do volume de betão, com base nas secções transversais de entrada e saída das aduelas. A área de cofragem estimada para as aduelas P1.10A + P1.10B pelo processo tradicional foi de 436,7 m^2. No contexto do modelo BrIM, para além do uso do Tekla Structures, recorreu-se ao apoio do VICO/Trimble, colmatando dificuldades encontradas. O valor encontrado para as áreas de cofragem pelo modelo BrIM foi ligeiramente inferior ao do processo tradicional cifrando-se em 409,4 m^2. A preparação da cofragem foi feita na frente de obra, não havendo registo dos valores realmente utilizados. Indica-se no entanto que o valor de 436,7 m^2 indicado pelo processo tradicional terá sido suficiente pois não houve indicação por parte da frente de obra de necessidade de placas de cofragem adicionais relativamente às alocadas com base na estimativa referida.

As dificuldades encontradas no Tekla Structures para extração das áreas de cofragem cinge-se ao facto das aduelas serem objetos que não pertencem à biblioteca de objetos presente no *software*. O Tekla permite a medição automática de áreas de cofragem para objetos regulares como vigas, lajes e pilares presentes geralmente na sua biblioteca. No caso das aduelas, ele fornece a área total do objeto excluindo a parte superior, como estas são ocas existem áreas internas que não são incluídas no cálculo da área total sendo uma limitação presente no Tekla. O *software* VICO/Trimble é um software especializado para análises 4D e 5D sendo por isso mais versátil para extração de quantidades. A partir do modelo importado no VICO, o processo para extrair as áreas totais de cofragem é bastante intuitivo uma vez que, usa uma lógica de áreas pintadas/selecionadas, como se pode ver na Figura 43.

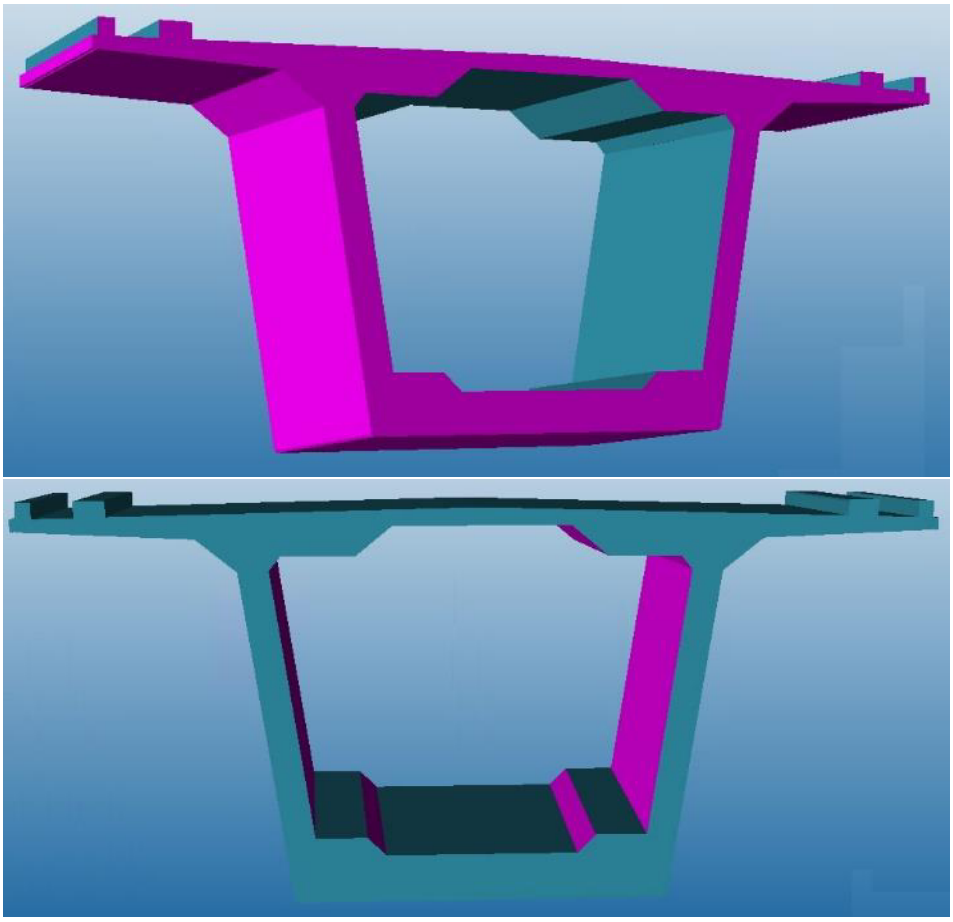


Figura 43. Representação das áreas de cofragem, a roxo, no VICO/Trimble

Relativamente à armadura, a preparação de obra foi feita com base em processos CAD 2D, com representação explícita de todas as armaduras a utilizar. Para as aduelas em análise, o peso total de armadura resultante foi de 16734 kg, sendo que a estimativa obtida com o modelo BrIM foi de 16287 kg. Os valores obtidos consideram-se próximos, tendo em conta que não houve diálogo direto entre o preparador da obra e o modelador BrIM para homogeneização de critérios de localização de empalmes e interpretação geral das regras de colocação de armadura.

Concluindo, fazendo uma análise percentual das quantidades obtidas em todas as aduelas, a variação média entre os valores alcançados pelo método tradicional e o modelo BIM foi cerca de 2% e a variação máxima foi de 6%. Esta variação máxima deve-se ao facto de, no cálculo do volume de betão para as aduelas que continham septos, os mesmos não serem considerados no cálculo tradicional, já no modelo BIM os septos foram quantificados obtendo então esta diferença.

5.2 Deteção de colisões e incompatibilidades

Conforme a modelação vai decorrendo, o *software* permite fazer, automaticamente, a verificação do projeto para procurar colisões e incompatibilidades. Esta ferramenta foi útil para prever dificuldades antes da construção e para classificar a gravidade dessas incompatibilidades. Com efeito, existem incompatibilidades detetadas pelo *software* que não são graves em obra pois podem ser facilmente ajustadas. Por exemplo: na Figura 44 podemos ver dois casos onde duas armaduras colidem por alguns milímetros e um caso onde a colisão é total, nesta situação, a introdução de ligeiros desvios na montagem é fácil, não requerendo a intervenção aquando da deteção no modelo BrIM. Um dos casos relevantes detetado neste trabalho referiu-se à incompatibilidade entre o traçado dos cabos de pré-esforço e os estribos verticais, que tiveram que ser deslocados não influenciando o comportamento estrutural – ver Figura 45.

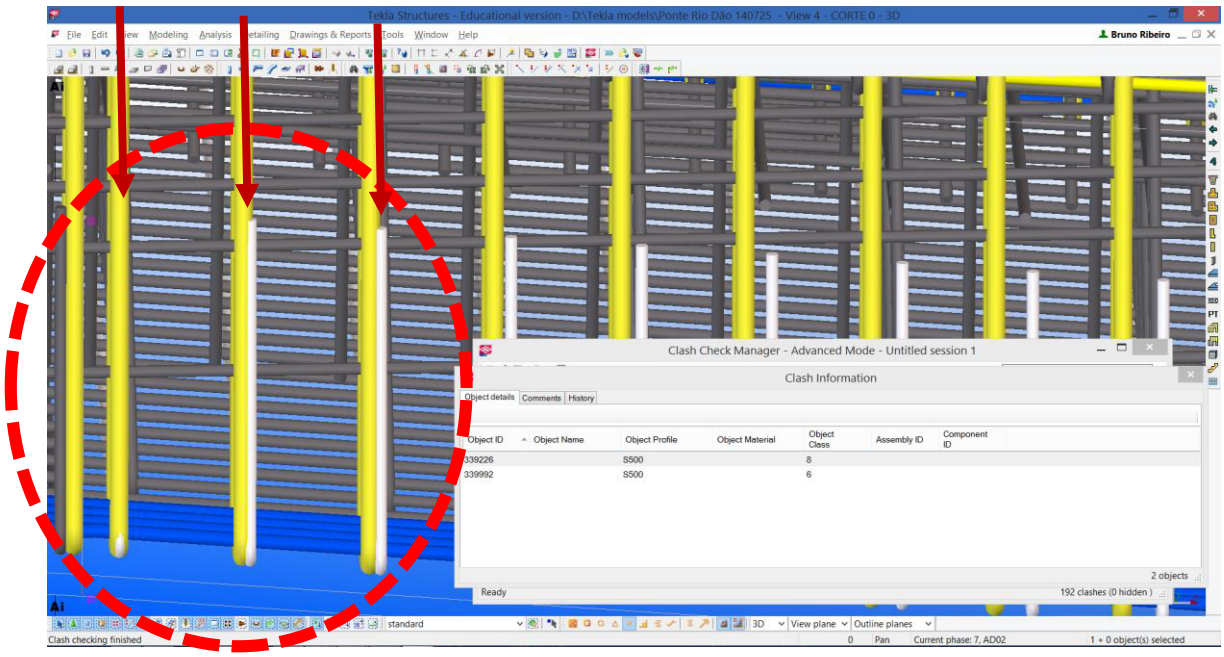


Figura 44. Colisão total e parcial entre armaduras

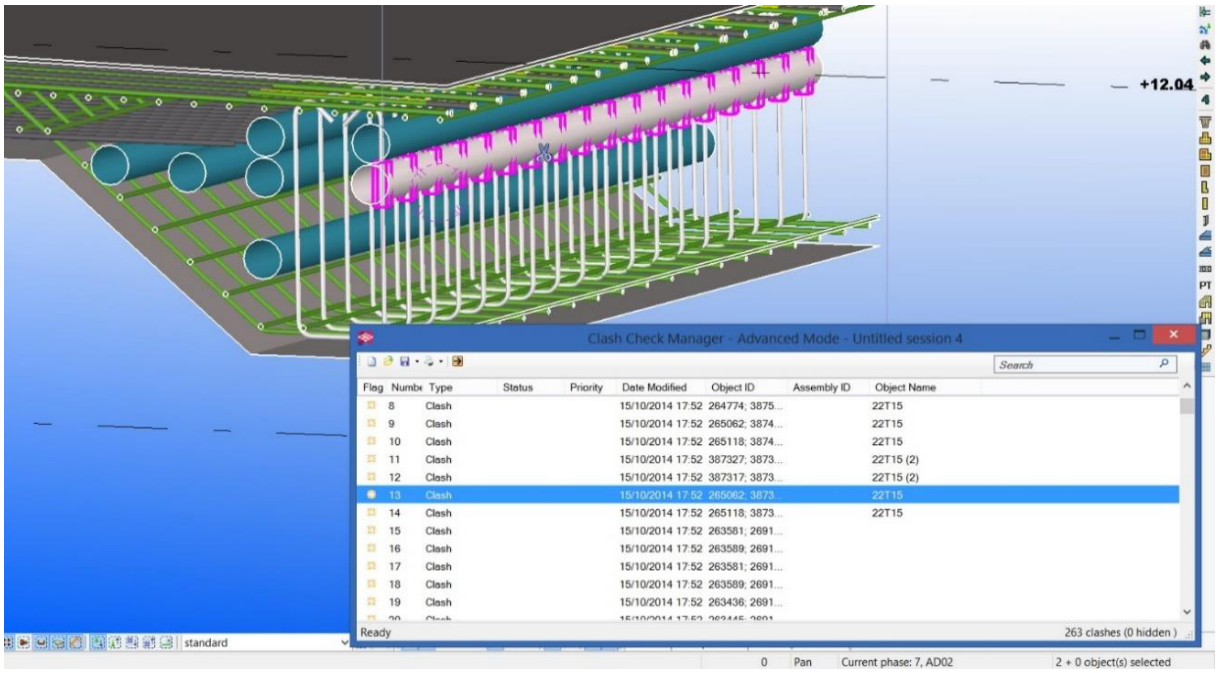


Figura 45. Colisão entre o estribo e o cabo de pré-esforço

5.3 Geração automática de peças desenhadas

A criação de desenhos de preparação em obra foi sempre uma necessidade na construção. Esta tarefa impõe que exista sempre pelo menos uma pessoa encarregue de desenhar e alterar os desenhos conforme a obra vai decorrendo. Muitas vezes, a impossibilidade de visualização de um projeto como um todo, ou seja visualização 3D do projeto, leva a alguns desentendimentos entre os vários intervenientes de uma obra. O BIM veio colmatar estas limitações possibilitando a automatização na criação de peças desenhadas para a produção e construção, através do modelo BIM.

Na Figura 46 pode observar-se um dos desenhos de preparação desenhado pela CASAIS e na Figura 47 pode observar-se um dos desenhos gerados através do Tekla. Neste caso, já existiam modelos (*templates*) pré-definidos, que facilitaram muito a tarefa de produção automatizada dos desenhos. De qualquer modo, estes mesmos *templates* podem ser criados e editados pelo utilizador, o que proporciona níveis elevados do binómio automatização/personalização, particularmente na geração de novos desenhos após alteração do *template* ou do próprio modelo da ponte/armadura em si.

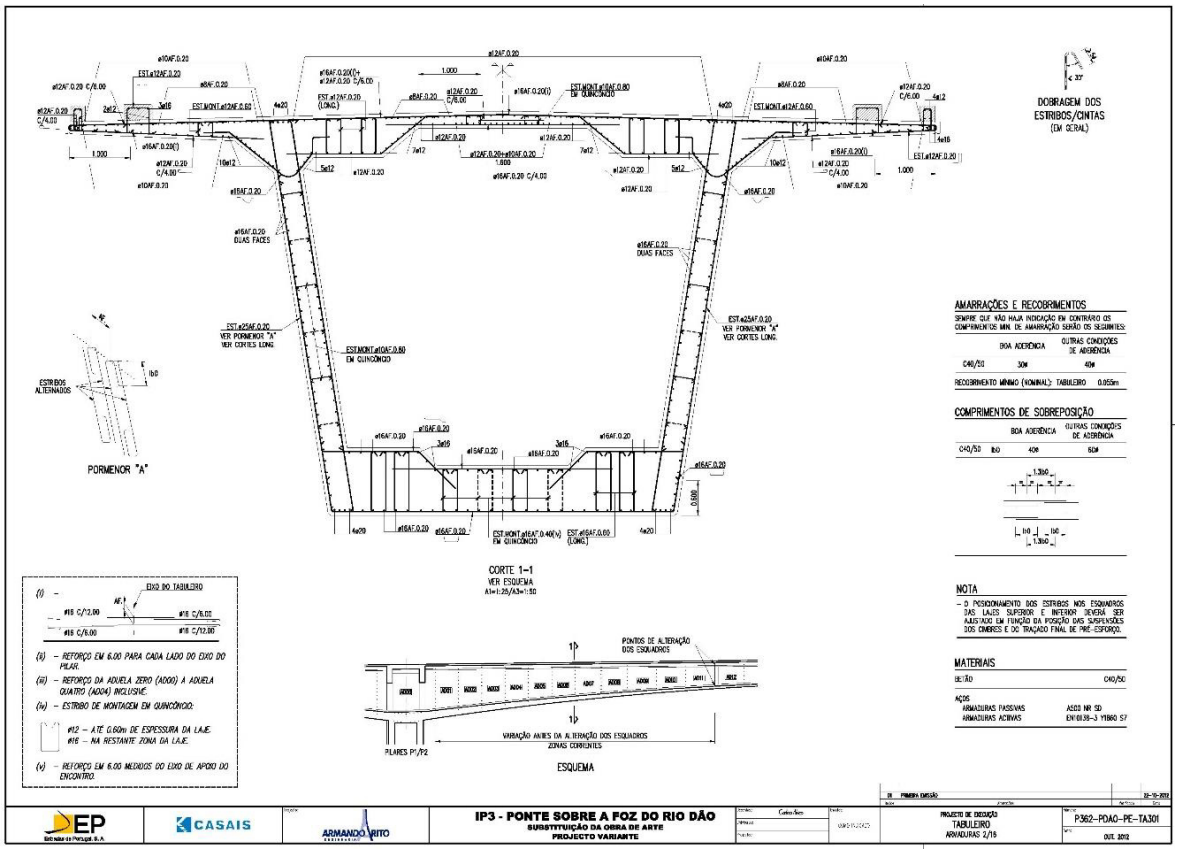


Figura 46. Desenho de preparação de armadura (CAD fornecido pela CASAIS)

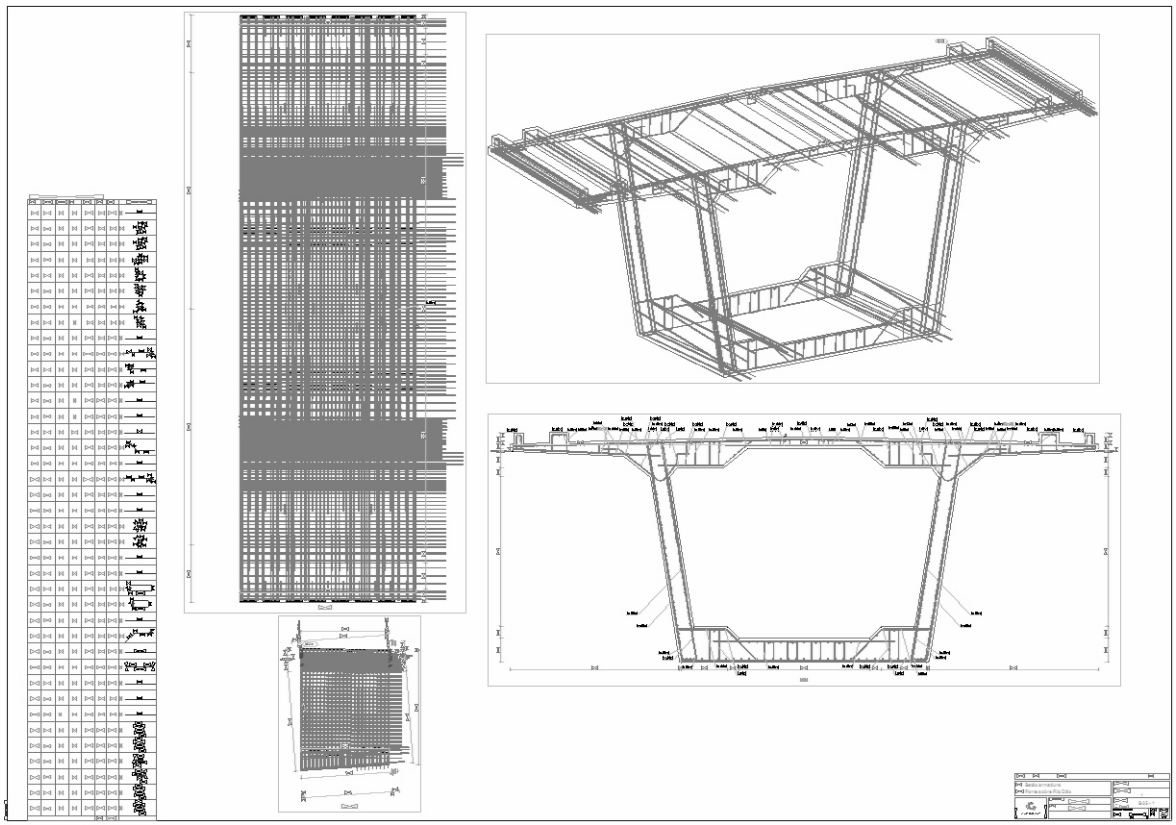


Figura 47. Desenho de preparação de armadura (geração automática)

Após uma comparação atenta entre os dois desenhos de preparação, é visível que, o desenho criado pelo modelo BIM é rico em informação visual, além disso fornece uma listagem de todas as armaduras presentes na respetiva peça. Na Figura 48 está representada, parcialmente, a tabela de quinagens presente nos desenhos de preparação de armaduras. Esta tabela fornece informação acerca do comprimento, peso e formato da quinagem de cada grupo de varões. É de salientar que o desenho criado no Tekla foi feito automaticamente de acordo com os templates pré-definidos do programa. Num caso real, em tecido empresarial, seria necessário criar os templates segundo os padrões da empresa ou da obra. Ao comparar os dois desenhos, podemos ver que o desenho da CASAIS possui informação acerca de vários elementos da peça, situação que pode ser feita também no Tekla mas que não foi abordada nesta dissertação uma vez que, os desenhos criados nesta dissertação não foram utilizados em obra.

ARMADURAS, planeamento de quinagens

Num.	Material	Diametro	Qtd	Comp.	Kg/p	Peso	Formato da quinagem
W12	S500	12	48	6001	5.33	255.8	A 6001
W14	S500	12	48	1645	1.46	70.1	Un
W15	S500	12	48	1687	1.50	71.9	Un
W16	S500	12	18	931	0.83	14.9	Un
W17	S500	12	48	1502	1.33	64.0	Un
W18	S500	12	46	1153	1.02	47.1	Un
W20	S500	10	14	756	0.47	6.5	Un
W21	S500	10	6	759	0.47	2.8	Un
W33	S500	16	24	4000	6.32	151.7	A 4000
W34	S500	16	12	11997	18.96	227.5	Un
W37	S500	12	48	4003	3.55	170.6	E
W41	S500	16	24	6003	9.48	227.6	E

Figura 48. Planeamento de quinagens (parcial)

5.4 Faseamento construtivo

O faseamento construtivo foi utilizado essencialmente para obtenção de rendimentos e registo de operações, ilustrando-se na Figura 49, o ambiente gráfico de gestão indexada à geometria. Este planeamento é uma peça essencial para o diretor de obra que pode ter que tomar decisões de alteração das frentes de trabalho e pretender a rápida atualização desta informação, avaliando rapidamente as consequências sobre prazos/custos e reafectando recursos de forma dinâmica.

Assinala-se também a interessante potencialidade de adicionar ficheiros anexos aos objetos do modelo, permitindo um repositório de informação rico. Repare-se que é possível associar a um objeto aduela informação tão importante como: folha de encomenda e entrega do betão; composição do betão; dados do controlo da qualidade do betão; folhas técnicas, etc.

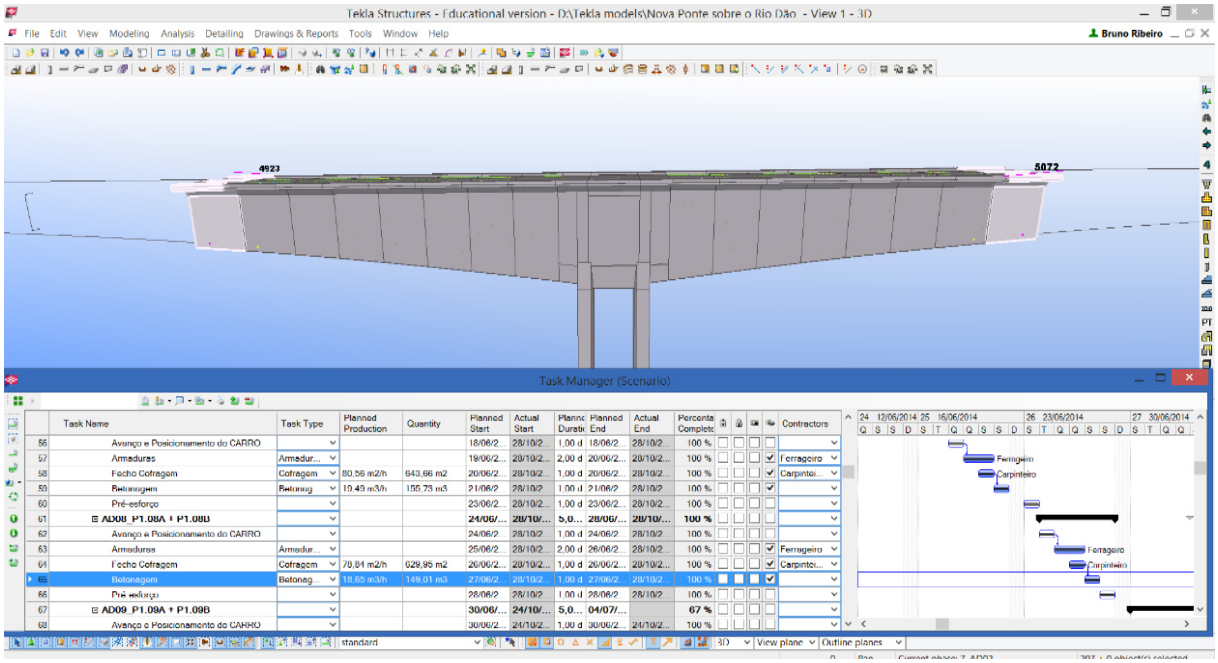


Figura 49. Ambiente da ferramenta de análise do faseamento construtivo

Na Figura 40 podemos ver os diversos tipos de informação que podemos extrair e introduzir no modelo. Este ambiente baseia-se no processo informativo encontrado no MS-Project, onde podemos encontrar o nome de cada tarefa, o tipo de tarefa, quantidade e respetivos tempos ou rendimentos.

5.5 Partilha colaborativa de informação

A comunicação entre os diversos intervenientes na realização deste trabalho, nomeadamente entre o modelador e a obra foi feita através da ferramenta de visualização gratuita Tekla BIMSight. Este visualizador tem a particularidade de permitir consultar toda a informação do modelo (p.ex: volume de betonagem, peso de armaduras, comprimento dos cabos de pré-esforço e área de cofragem). A ferramenta permite também diálogo remoto entre intervenientes através de uma interface "Pergunta-Resposta" (ver Figura 50) onde se podem colocar notas e comentários e gravar vistas pré-definidas que depois poderão suportar a explicação ou discussão de algum detalhe da obra. Apesar de, no caso presente, a partilha ser feita apenas entre o modelador e os diretores de obra, o facto de ser um *software* gratuito e de fácil aprendizagem possibilita que, num caso em que o projeto esteja a ser construído a partir de metodologias BIM, o projetista e construtor possam partilhar a informação com todos os subcontratados mesmo que não sejam familiares a estas metodologias.

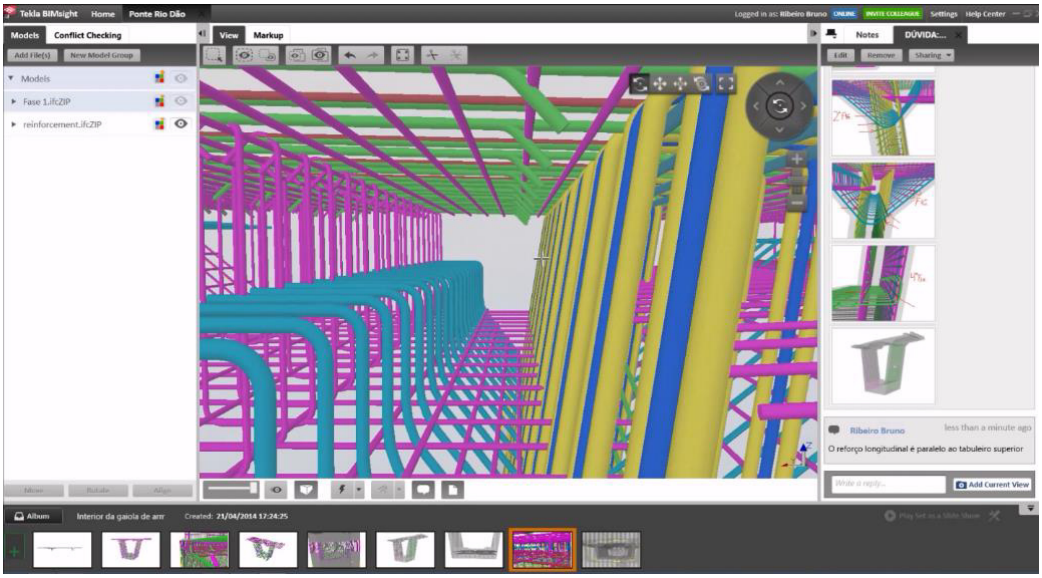


Figura 50. Interface "Pergunta-Resposta" Tekla BIMSight

5.6 Acompanhamento da obra

Sendo cada vez mais premente o acompanhamento de obra para aumentar a qualidade do edificado, neste projeto utilizou-se a potencialidade da introdução de informação externa ao modelo, isto é, de acordo com cada tarefa foi introduzida informação acerca desta, como ensaios

ou pedidos de encomenda. Na Figura 51 podemos ver os dois diferentes tipos de introdução de informação, um através de documentos e outro através de notas.

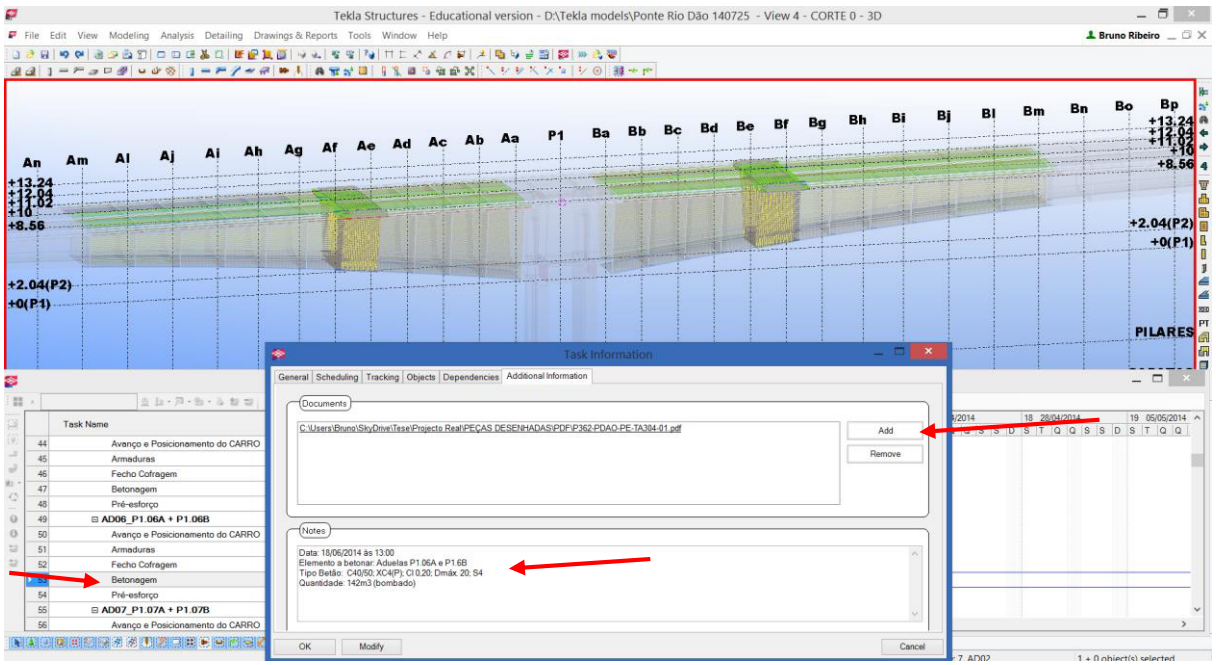


Figura 51. Introdução de informação na atividade betonagem através de ficheiros e notas

A introdução de documentos é feita a partir do diretório do documento, o que levou a uma limitação na transferência de informação entre intervenientes uma vez que, quando a pasta com o modelo era transferida para outro computador os diretórios deixavam de existir. Para solucionar este problema e aproveitando o facto dos modelos Tekla serem constituídos por uma pasta e não apenas por um ficheiro, propusemos uma hierarquia de pastas organizadas dentro da pasta do modelo.

Na Figura 52 está presente a organização proposta para este tipo de projetos. Numa primeira linha temos as pastas comuns a qualquer modelo Tekla onde acrescentamos uma pasta "Anexos" para inserimos toda a informação, não original ao Tekla, como ensaios realizados no âmbito técnico da obra, informação de faturação, peças desenhadas externas ao *software*, notas construtivas entre outros.

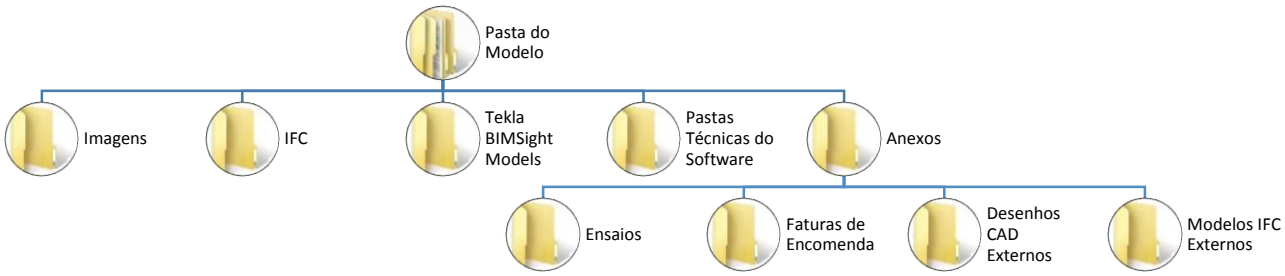


Figura 52. Proposta da organização das pastas para este tipo de construções

5.7 Modelo promocional

Na indústria da AEC cada vez mais se tem dado importância ao método de apresentação dos projetos não só para o cliente mas também para todos os intervenientes da obra. Este tipo de apresentação consiste na representação do projeto através de imagens ou vídeos que demonstrem, de uma maneira realista, todo o edificado.

Nesta dissertação também se procurou utilizar e avaliar esta ideologia. Para isso, o modelo foi exportado para um *software* próprio para realização de imagens, vídeos e animações. Uma vez que, a modelação da ponte no Tekla apenas se cingiu à estrutura foi necessário encontrar um *software* com o requisito de completar todo o ambiente envolvente à estrutura da ponte (estrada, guardas e terreno).

O *software* encontrado e utilizado neste caso de estudo foi o Lumion. Este *software* enquadrou-se nos requisitos avaliados à priori: permite a importação de objetos em diversos formatos; permite a introdução de texturas; modelação livre do terreno; contém uma biblioteca de objetos adequada com carros, camiões, barcos, pessoas, sinais de trânsito, postes de iluminação entre outros. Além disso, o *software* permite a importação de armaduras, o que permitiu criar algumas imagens interessantes.

A importação do modelo foi feita através de ficheiros .skp (SketchUp/Trimble) sem grandes limitações, sendo a única limitação a importação apenas de uma parte das armaduras porque quando é feita a passagem do modelo Tekla para este ficheiro, cada armadura passa a ser um

objeto e não um grupo de objetos, isto faz com que o tamanho do modelo se torne demasiado grande. Esta limitação não tem qualquer tipo de influência no nosso processo porque em termos de apresentação não necessitamos de uma vista geral de todas as armaduras, apenas é interessante a apresentação das principais particularidades do projeto.

Para completar o modelo, além dos objetos da biblioteca interna do Lumion, foi necessário importar umas guardas idênticas às utilizadas no projeto uma vez que, este elemento não foi pormenorizado no Tekla. As guardas e os rails utilizados no Lumion foram descarregados da internet em *sites* de partilha gratuita de objetos. [36]

Na Figura 53 podemos ver o modelo da ponte importado sem nenhuma textura específica, formando uma espécie de modelo conceptual. É possível, desde esta iteração, constatar que a visualização se tornou mais real apenas pelo facto de existir terreno e o rio à sua volta.

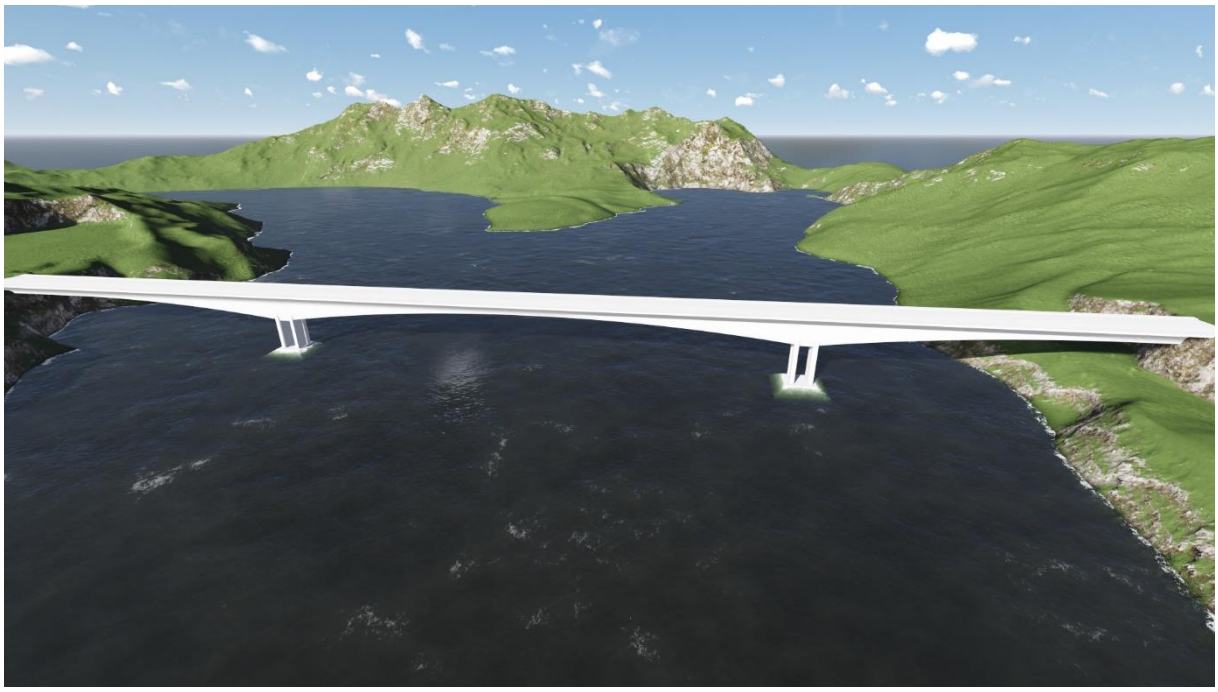


Figura 53. Modelo Conceptual da ponte

Através da Figura 54 visualizamos a ponte já com a introdução dos elementos complementares para tornar o modelo mais real. As guardas e os rails de proteção já foram posicionados e as marcas de trânsito horizontais introduzidas. Neste caso específico, para a realização desta figura, o rio foi ocultado. Esta funcionalidade permite dar uma ideia da dimensão e das dificuldades presentes na execução das estacas.

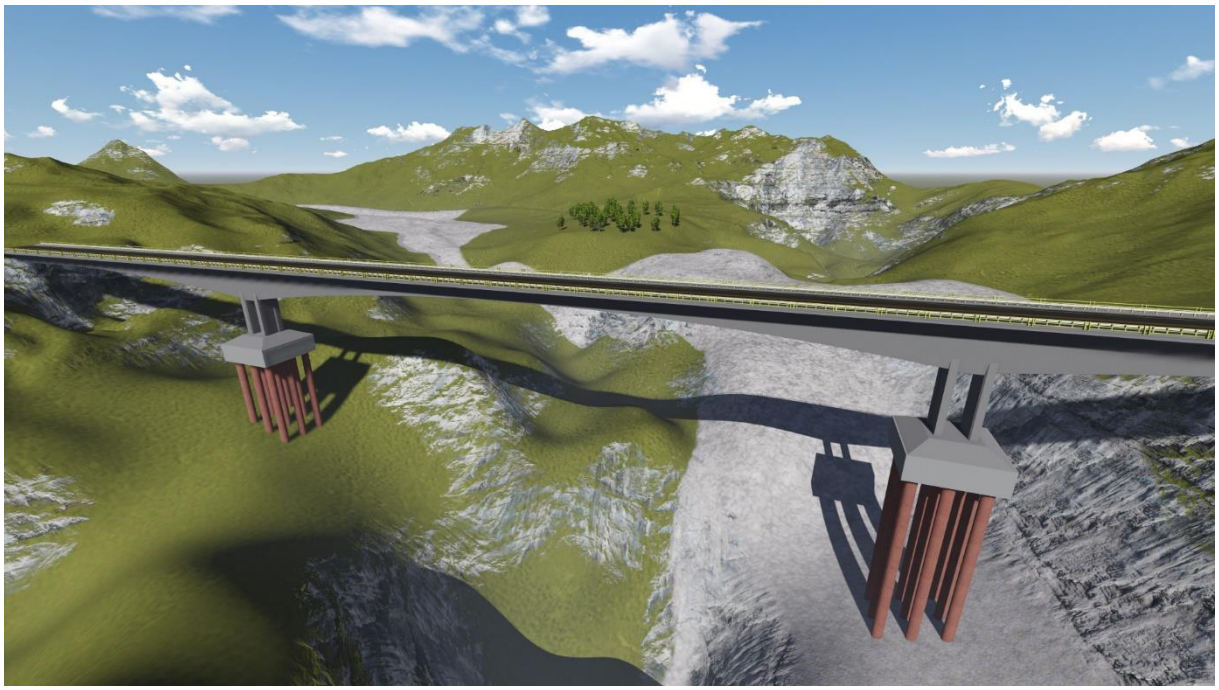


Figura 54. Modelo pormenorizado sem objetos e com ocultação do rio

Com o modelo a ficar cada vez mais completo, compete ao utilizador identificar possíveis melhoramentos quer através de introdução de mais objetos como carros, barcos e pessoas como através da alteração das texturas. No caso da nova ponte sobre o rio Dão, um dos aspetos mais importantes, devido à sua dimensão e importância, é o betão. Por essa razão, procurou-se encontrar uma textura que mais se identificasse com a realidade – ver Figura 55 e Figura 56.

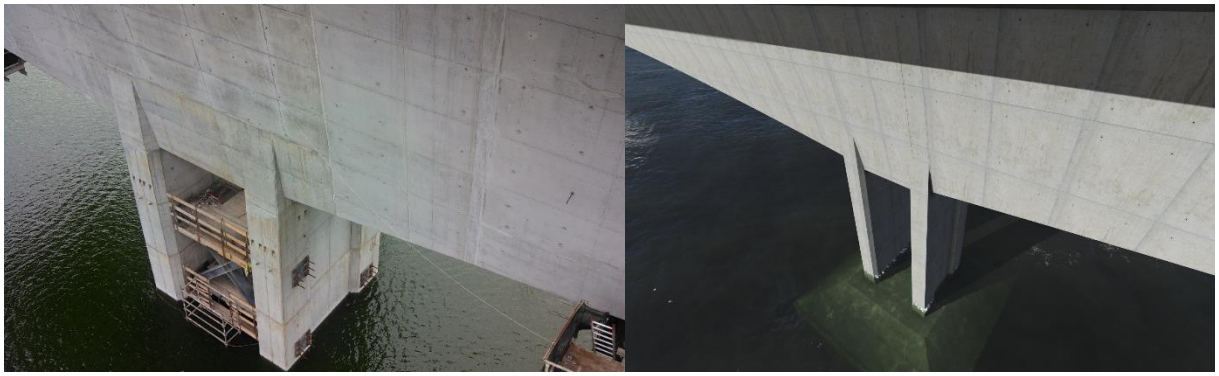


Figura 55. Pormenor da textura do betão na realidade (parte superior) e virtualmente (parte inferior)

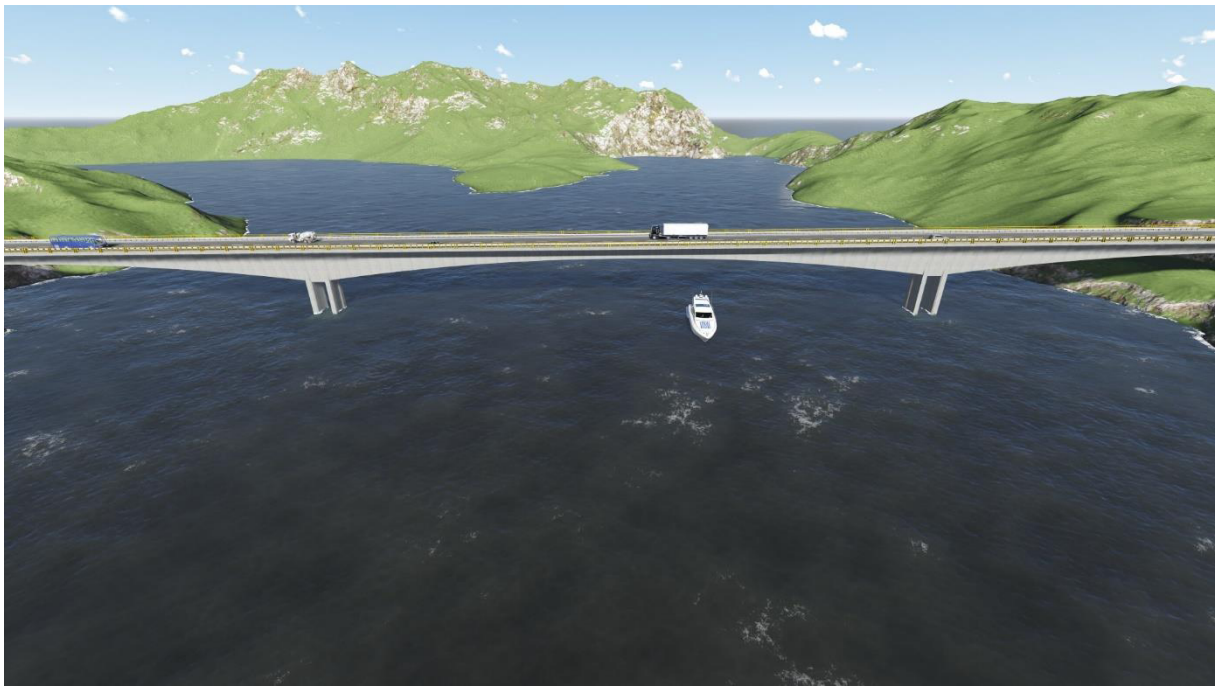


Figura 56. Modelo Final com todos os objetos complementares

Finalmente, após a inclusão de todos os elementos e das respetivas texturas, realizou-se um vídeo promocional da ponte. Neste vídeo procurou-se ter uma visão de toda a ponte desde o modelo conceptual até ao modelo real, incluindo também uma demonstração do próprio modelo BIM no Tekla. O vídeo está disponível online através do link: https://youtu.be/S2tQnFm3nV4

Em anexo, na Figura 59, encontram-se mais algumas imagens criadas a partir do Lumion.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Considerações Finais

O presente trabalho teve como principal objetivo acompanhar a construção da ponte sobre o rio Dão, com elaboração e atualização de um modelo BIM da mesma. Através deste projeto foi possível avaliar o desenvolvimento atual do *Building Information Modelling* aplicado a pontes, também apelidado, por alguns autores, de *Bridge Information Modelling*. Nesta dissertação, primeiro foram avaliados alguns casos em que esta metodologia foi utilizada e depois desenvolveu-se o caso prático de aplicação na ponte sobre o rio Dão.

Após uma análise atenta dos poucos casos de estudo documentados conseguiu-se concluir que, os avanços e resultados da utilização do BrIM são bastante satisfatórios. O emprego destas metodologias possibilitou, sinteticamente, diminuir erros e omissões de projeto, colaboração mais eficiente entre diferentes participantes, métodos de controlo de qualidade mais convincentes, organização do processo construtivo mais adequada, otimização de processos de produção e possibilidade da visualização global do projeto, quer para efeitos de projeto e construção, como para efeitos de promoção.

Previamente à modelação foi também feita uma análise de cuidada dos requisitos necessários para um projeto desta espécie. No mercado, existe uma vasta gama de *softwares* BIM por isso, tornou-se premente, escolher a aplicação que mais se adequa à modelação de uma ponte de betão pré-esforçado, construída por avanços sucessivos. Além disso, a escolha foi limitada pela disponibilidade de licenças e apoio assim como, a experiência prévia do modelador. Posto isto, a aplicação BIM que preencheu mais convenientemente os requisitos foi o Tekla Structures da Trimble. É de evidenciar que, esta opção também foi sustentada pelos casos de estudo uma vez que, a maior parte destes utilizou o Tekla para a modelação BrIM.

Do ponto de vista da produção do modelo BrIM é patente a possibilidade da parametrização de objetos e a vantagem da modelação 3D relativamente à modelação 2D. Alguma alteração de projeto necessária em qualquer altura do ciclo de vida da ponte, desde o pré-projecto até à demolição ou reabilitação, pode ser feita sem grandes dificuldades e sem a tarefa, muitas vezes hercúlea, de procurar todos os documentos referentes à alteração necessária. Adicionalmente o facto da tridimensionalidade do projeto permite uma diminuição de erros de coordenação entre

desenhos visto que, estes são extraídos a partir de um 3D coordenado. Em relação ao planeamento da construção, este é feito identicamente à metodologia tradicional através de tarefas e tempos mas a inclusão de quantidades é feita automaticamente e a própria ponte é construída virtualmente, antes de ser construída fisicamente.

Relativamente aos processos de utilização da informação, elenca-se as seguintes conclusões:

- Extração de quantidades exatas com possibilidade de organização dos mapas de acordo com qualquer parâmetro inerente aos objetos, como por exemplo, organização das armaduras de uma aduela por diâmetro e comprimento;
- Os valores obtidos através do modelo BrIM estão de acordo com os obtidos na faturação da obra e idênticos aos valores propostos pelo método tradicional, relembrando que este está com um grau de maturidade francamente elevado, comparativamente à metodologia BrIM;
- A deteção de incompatibilidades permite descobrir problemas antes da construção e que, em obra, normalmente são descobertas tardiamente ou mesmo quando esta surge no processo construtivo. Isto acontece essencialmente, devido ao facto dos diferentes projetos estarem desenvolvidos em desenhos separados e a coordenação ser feita manualmente. Com o modelo BrIM todos os projetos são coordenados num ficheiro permitindo verificar incompatibilidades entre eles automaticamente. Neste caso, o *freeware* Tekla BIMSight mostrou-se uma ferramenta extremamente poderosa, uma vez que, permitiu a interação direta com a obra, através de uma interface simples;
- A introdução dos desenhos 3D nas peças desenhadas permite uma leitura mais fácil do projeto e diminui a curva de aprendizagem para a leitura dos desenhos CAD, uma das dificuldades sentidas pelo autor, quando entrou em contacto com o projeto tradicional;
- O acompanhamento da obra pode ser feito através de um modelo visual, ao contrário do processo tradicional, que organiza todos os documentos em pastas ou capas, que se tornam ineficazes para a consulta de informação;
- A hipótese da utilização do modelo BrIM para a criação de vídeos técnico-profissionais é uma possibilidade bastante atrativa para promoção pública da obra e do projetista/construtor.

Finalmente, após uma discussão entre os engenheiros envolvidos neste trabalho e no artigo científico apresentado nas Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas 2014, ficou patente que o BrIM é uma opção viável. Em futuros projetos, será uma solução equacionada

pela CASAIS. Além das vantagens demonstradas cientificamente nesta dissertação, os responsáveis da obra elencaram outras vantagens como, a redução dos meios humanos, redução do tempo despendido em discussões por telefone, a falta de cultura da monitorização pode ser alterada com a facilidade que o BrIM trás para este processo, passará a existir uma linguagem transparente entre intervenientes, o topógrafo poderá interligar-se diretamente ao modelo, a possibilidade de todos o registos de controlo de qualidade estarem ligados ao modelo, centralizando a informação para, numa possível entrega ao cliente, este possa utilizar o modelo para manutenção e a alteração da taxa de esforço para o início do projeto permitirá uma construção mais eficaz.

6.2 Perspetivas futuras

Num futuro próximo, adivinha-se que as principais dificuldades encontradas no desenvolver desta dissertação de mestrado serão mitigadas. Com a evolução constante dos *softwares* e com a crescente implementação das tecnologias BIM, no setor da construção, será possível otimizar produtividade, aumentar a qualidade do património edificado e diminuir erros e omissões nos projetos. Para esta evolução também é importante a aposta do BIM no meio académico uma vez que, o esforço financeiro para a implementação destas metodologias é francamente elevado para pequenas e médias empresas, o que cria um fosso entre estas e as grandes empresas que já começaram a apostar no BIM. Assim as universidades terão um papel importantíssimo na formação de engenheiros com conhecimentos BIM para alimentar as pequenas e médias empresas e aumentar a competitividade no sector na construção.

Numa visão mais global, podemos ver a "internet das coisas" a moldar-se lado a lado com o BIM. As pequenas limitações da construção no presente poderão rapidamente ser solucionadas por inovações provenientes de outros sectores, por exemplo, o desenvolvimento de ecrãs dobráveis adivinha-se uma ferramenta otimizará as frentes de obra, as impressoras 3D entre outras inovações que revolucionaram a forma de trabalhar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Armando Rito Engenharia, "IP3 Ponte sobre a foz do rio Dão - Projeto de Execução," 2012.

[2] C. Menn, *Prestressed Concrete Bridges*, English an. 1990.

[3] CASAIS S.A., "IP3 Ponte sobre a foz do rio Dão - Desenhos de Preparação," 2014.

[4] H. Said, M. Marzouk, and M. El-Said, "Application of computer simulation to bridge deck construction: Case study," *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 4, pp. 377–385, Jul. 2009.

[5] J. Schlaich, J. Manterola, and P. Pacheco, "Tipologias e sistemas estruturais," em *Apontamentos de Pontes*, 2009.

[6] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook Second Edition*. 2011.

[7] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, "Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas", *Jornadas Port. Eng. Estruturas,* pp. 24–26, 2012.

[8] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering," vol. 11, pp. 241–252, 2011.

[9] S. Chen and et al., "Accelerating the Design and Delivery of Bridges with 3D Bridge Information Modeling: Pilot Study of 3D-Centric Modeling Processes for Integrated Design and Construction of Highway Bridges," *Transp. Reasearch Board Natl. Acad.*, 2006.

[10] Bentley, "About Bridge Information Modeling." [Online]. Disponível em: http://www.bentley.com/en-US/Solutions/Bridges/brim/. [Acedido a: 30-Ago-2014].

[11] J. Johansen, "BIM in Bridge Design," Norwegian University of Science and Technology, 2013.

[12] T. Kivimaki and R. Heikkila, "Bridge Information Modeling (BriIM) and model utilization at worksite in Finland," *27th Int. Symp. Autom. Robot. Constr.*, 2010.

[13] A. Abbas, "San Francisco - Oakland Bay Bridge benefits from bridge information modeling," 2011. [Online]. Disponível em: http://cenews.com/article/8351/san-francisco-oakland-bay-bridge-benefits-from-bridge-information-modeling. [Acedido a: 10-Set-2014].

[14] Shim CS and et al., "Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges," *Procedia Eng.*, vol. 14, pp. 95–99, 2011.

[15] C. Garrel, "Bridge Information Modeling and Integrated Practice," *Natl. Steel Bridg. Alliance*, 2012.

[16] B. Kozy, "Development of National Bridge Information Modeling (BrIM) Standards," *FHWA Off. Bridg. Struct.*, 2014.

[17] U.S. Congress Office of Technology Assessment, *Computerized manufacturing automation: employment, education, and the workplace*. DIANE Publishing, 1984.

[18] H.-F. Wang and Y.-L. Zhang, "CAD/CAM integrated system in collaborative development environment," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 18, no. 2, pp. 135–145, Apr. 2002.

[19] C. Ribeiro, "Desenvolvimento de processo CAD/CAM para a pormenorização e produção industrial de armaduras para elementos de betão armado," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

[20] E.Pihl & Søn, "Bridge BIM project," 2011. [Online]. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=65hv1kOSLZM. [Acedido a: 15-Out-2014].

[21] Autodesk Inc., "Revit: Descrição Geral," 2014. [Online]. Disponível em: http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview. [Acedido a: 14-Jan-2015].

[22] Autodesk Inc., "Revit: Funcionalidades," 2014. [Online]. Disponível em: http://www.autodesk.pt/products/revit-family/features/software-for-bim/all/gallery-view. [Acedido a: 14-Jan-2015].

[23] Construsoft, "Tekla Structures: Detalhes," 2015. [Online]. Disponível em: http://www.construsoft.pt/site/pt/products/detail/tekla-structures.85.html. [Acedido a: 14-Jan-2015].

[24] Tekla Corporation and Trimble Navigation Limited, "Tekla BIMsight: Learn more," 2013. [Online]. Disponível em: http://www.teklabimsight.com/learn-more. [Acedido a: 18-Jan-2015].

[25] Vico Software and Trimble Navigation Limited, "5D Virtual Construction Software," 2015. [Online]. Disponível em: http://www.vicosoftware.com/bim-for-construction-software-products/tabid/84567/Default.aspx. [Acedido a: 15-Jan-2015].

[26] Act-3D B.V., "Lumion 5," 2014. [Online]. Disponível em: http://lumion3d.com/products/. [Acedido a: 15-Jan-2015].

[27] E. Pihl & Søn A.S., "Armering af jernbanebro," 2011.

[28] Tekla Corporation, "Crusell Bridge." [Online]. Disponível em: http://www.tekla.com/references/crusell-bridge. [Acedido a: 15-Out-2014].

[29] A. Mikkonen, "New Bridges with new Technology Experiences of product modelling in bridge construction projects," no. September. NVF Annual Bridge Conference 2014, Reykjavik, Iceland, pp. 8–12, 2014.

[30] GHD Services Pty Ltd, “Bruce Highway (Cooroy to Curra) Upgrade Section A,” *Tekla Global BIM Awards*, 2014. [Online]. Disponível em: http://www.tekla.com/global-bim-awards-2014/cip-bruce-highway.html. [Acedido a: 07-Jan-2015].

[31] VTCO Investment Ltd., “Cao Lanh Cable-Stayed Bridge,” *Tekla Global BIM Awards*, 2014. [Online]. Disponível em: http://www.tekla.com/global-bim-awards-2014/cip-cao-lanh.html. [Acedido a: 07-Jan-2015].

[32] Siltanylund Oy, Destia Oy, Tekla Corporation, and Trimble Navigation Limited, “Tikkurila street, bridge over Vantaa river and undercrossing,” *Tekla Global BIM Awards*, 2014. [Online]. Disponível em: http://www.tekla.com/global-bim-awards-2014/cip-tikkurila-street.html. [Acedido a: 18-Jan-2015].

[33] B. Ribeiro, J. C. Lino, M. Azenha, J. Carvalho, and B. Barbosa, “Aplicação de metodologias bim no contexto da construção da nova ponte sobre a foz do rio dão,” *Jornadas Port. Eng. Estruturas*, no. 5, 2014.

[34] Vico Software and Trimble Navigation Limited, “4D BIM Scheduling,” 2015. [Online]. Disponível em: http://www.vicosoftware.com/products/4d-bim-software-scheduling/tabid/229125/Default.aspx. [Acedido a: 24-Jan-2015].

[35] Vico Software and Trimble Navigation Limited, “Vico Office Training Videos,” 2015. [Online]. Disponível em: http://www.vicosoftware.com/vico-office-training-videos/tabid/236235/Default.aspx. [Acedido a: 25-Jan-2015].

[36] Trimble Navigation Limited, “3D Warehouse,” 2014. [Online]. Disponível em: https://3dwarehouse.sketchup.com/. [Acedido a: 24-Nov-2014].

ANEXOS

Cast unit

Position	:	B76
Total in model	:	1
Main part name	:	P1.10A
Main part profile	:	AD10
Main part material	:	C40/50
Width	:	15000.0 mm
Height	:	6602.0 mm
Length	:	6283.1 mm
Center of gravity	:	X=74518.2 Y=0.0 Z=7291.4
Volume	:	75.71 m³
Cast unit Weight	:	203957.0 kg
Reinforcing bar Weight	:	31803.8 kg
Local Top level	:	+9.600
Local Bottom level	:	+4.090
Global Top level	:	+9.600
Global Bottom level	:	+4.090
Grids	:	A1-Aj/D-A
Father GUID	:	ID54132C28-0000-1314-3134-313035343236
GUID	:	ID54132C28-0000-1315-3134-313036343236

Parts

Qty.	Name	Profile	Material	Volume (m³)
1	P1.10A	AD10	C40/50	75.71
			Total Concrete:	75.46

Reinforcing bars

Qty.	Grade	Size	Shape	Mark		Length	Dimensions A	B	C	D	E	F	r	Weight [kg]
32	S500	8	A	W270		5750								13.63
42	S500	10	A	W266		5750								28.38
26	S500	10	A	W267		5750								46.13
106	S500	12	A	W87		5750								76.59
12	S500	12	A	W89		5750								30.63
52	S500	12	A	W12		6000								138.57
26	S500	16	A	W33		4000								164.32
42	S500	16	A	W163		5650								187.48
38	S500	16	A	W180		5650								169.66
29	S500	16	A	W213		5660								259.21
14	S500	16	A	W164		5750								27.26
21	S500	16	A	W214		6000								9.48
8	S500	20	A	W80		5810								57.37
8	S500	20	A	W73		6200								61.26
52	S500	12	E	W37		4000	196	93	3770				30	92.44
27	S500	16	E	W41		6000	5028	93	948				29	132.79
16	S500	10	Unknow	W20		760	0							3.73
7	S500	10	Unknow	W21		760	0							3.28
20	S500	12	Unknow	W16		930	0							8.28
52	S500	12	Unknow	W18		1150	0							26.64
52	S500	12	Unknow	W17		1500	0							34.69
52	S500	12	Unknow	W14		1650	0							38.00
52	S500	12	Unknow	W15		1690	0							38.97
52	S500	12	Unknow	W90		2870	0							66.19
26	S500	16	Unknow	W179		2930	0							120.29
26	S500	16	Unknow	W181		2930	0							120.29
13	S500	16	Unknow	W110		11980	0							246.02
14	S500	16	Unknow	W34		12000	0							265.38
42	S500	12	Unknow		Min	1160	0							15.26
					Max	1290	0							
39	S500	12	Unknow		Min	1170	0							14.17
					Max	1290	0							
26	S500	16	A		Min	4730								195.78
					Max	4810								
10	S500	16	A		Min	6000								47.43
					Max	6000								
26	S500	16	E		Min	7440	560	6377	560				30	307.86
					Max	7540	561	6479	561				30	
28	S500	16	Unknow		Min	1790	0							40.92
					Max	1910	0							
52	S500	16	Unknow		Min	2710	0							113.42
					Max	2810	0							
26	S500	25	E		Min	5760	3241	388	2212				30	296.45
					Max	6080	3555	389	2216				30	
26	S500	25	E		Min	5720	2209	388	3200				30	302.81
					Max	6380	2556	389	3614				30	
26	S500	25	E		Min	7030	2730	387	3994				30	351.95
					Max	7030	2731	388	3994				30	
26	S500	25	E		Min	7040	4038	387	2694				30	352.35
					Max	7040	4039	387	2695				30	
												Total weight:		8126.89

Strand pattern

Qty.	Grade	Size	Length	Mark	Name	Number of patterns
4	Undefined	100	96007	2229	22T15	2

More:

Figura 57. Quadro informativo da aduela P1.10A no Tekla Structures

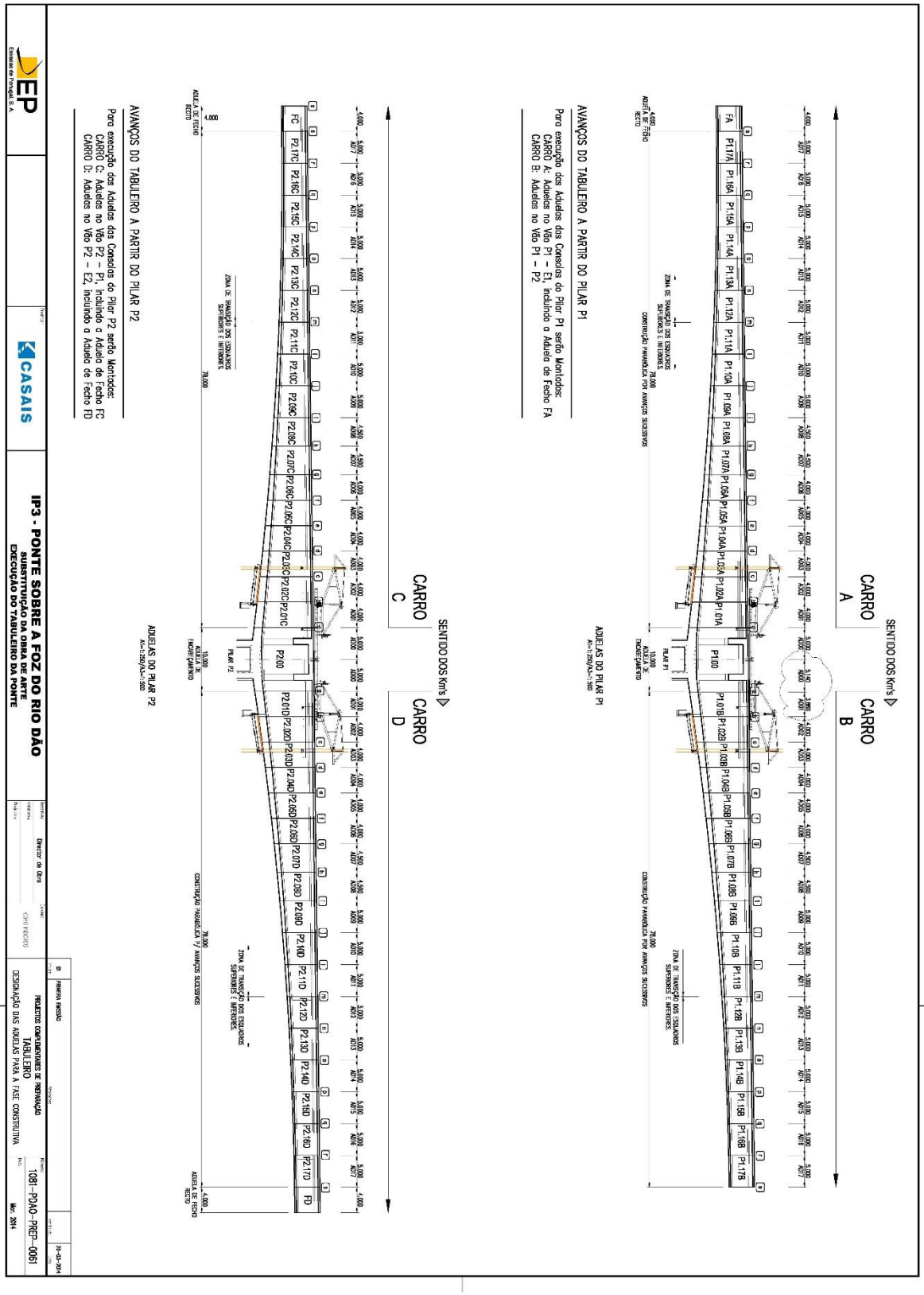


Figura 58. Desenho de preparação sobre a execução do tabuleiro da ponte [3]

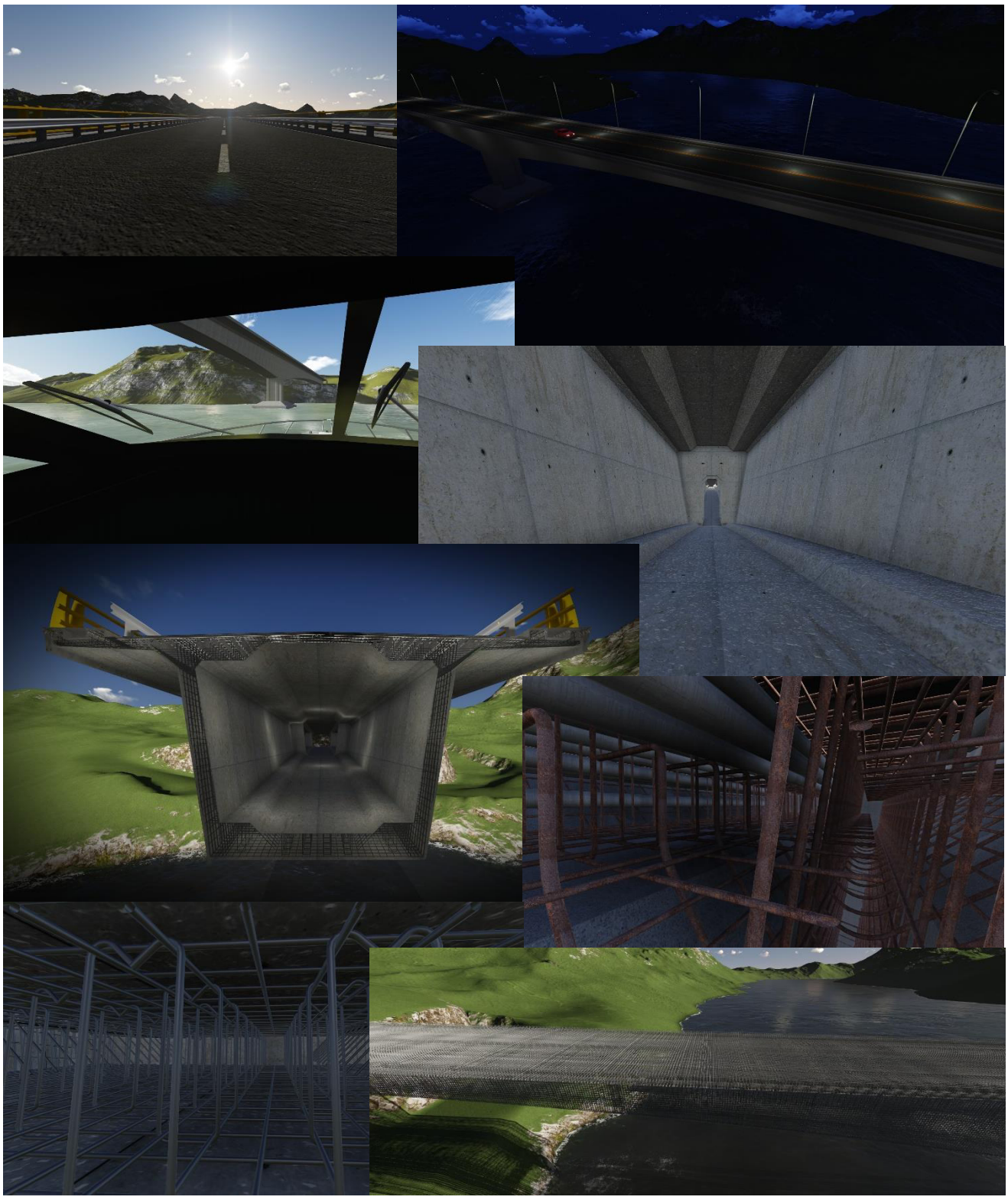
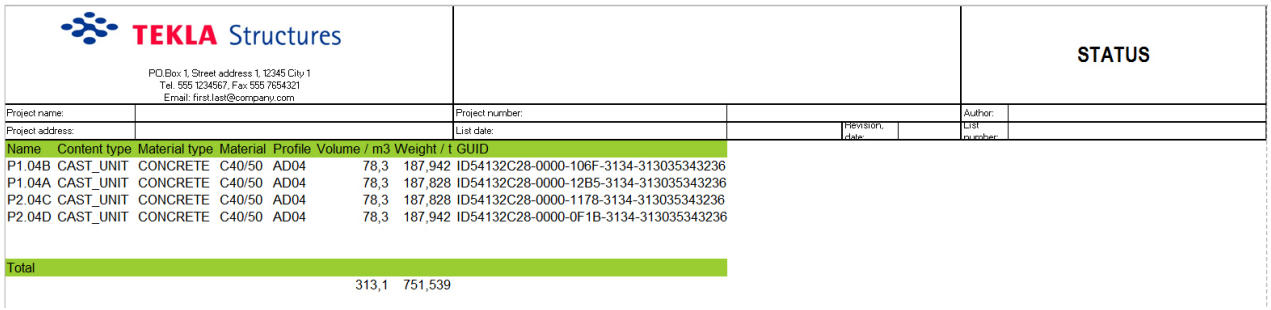


Figura 59. Conjunto de imagens e conceitos renderizados no Lumion



TEKLA Structures

PO.Box 1, Street address 1, 12345 City 1
Tel. 555 1234567, Fax 555 7654321
Email: first.last@company.com

STATUS

Project name:		Project number:		Author:	
Project address:		List date:	Revision, date:	List number:	

Name	Content type	Material type	Material	Profile	Volume / m3	Weight / t	GUID
P1.04B	CAST_UNIT	CONCRETE	C40/50	AD04	78,3	187,942	ID54132C28-0000-106F-3134-313035343236
P1.04A	CAST_UNIT	CONCRETE	C40/50	AD04	78,3	187,828	ID54132C28-0000-12B5-3134-313035343236
P2.04C	CAST_UNIT	CONCRETE	C40/50	AD04	78,3	187,828	ID54132C28-0000-1178-3134-313035343236
P2.04D	CAST_UNIT	CONCRETE	C40/50	AD04	78,3	187,942	ID54132C28-0000-0F1B-3134-313035343236
Total					313,1	751,539	

Figura 60. Exemplo de exportação criada automaticamente a partir do *template* padrão do Tekla Structures para criar folhas de excel