



# **A DINÂMICA BIM NA CONSTRUÇÃO METÁLICA**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

Nicolas Hernandez Reyes

Leiria, outubro de 2020



# **A DINÂMICA BIM NA CONSTRUÇÃO METÁLICA**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

Nicolas Hernandez Reyes

Dissertação de Projeto realizado sob a orientação do Professor Ricardo José Leal Duarte e  
do Professor Doutor Hugo Filipe Pinheiro Rodrigues

Leiria, outubro de 2020

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a/o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado/a o/a Autor/a e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Luis Octavio Hernandez Betancourt e Mariela Reyes Cartagena, pelo amor. Aos meus irmãos, Ivan Octavio Hernandez Reyes e Oscar Javier Hernandez Reyes, pelo respaldo. À minha cunhada Alba Jazmin Sanabria Lozano, pelo incentivo. Às minhas sobrinhas, Hannah Hernandez Sanabria e Hellen Hernandez Sanabria que amo como se fossem minhas filhas.

# Agradecimentos

Para a realização da presente dissertação contei com o apoio direto e indireto de muitas pessoas às quais devo muito. Quero deixar expresso meus agradecimentos, ainda que correndo o risco de injustamente não mencionar alguém, quero deixar claro que me lembrarei sem exceção todos aqueles que contribuíram para que eu conseguisse subir mais um degrau na escada do sucesso.

Agradeço a toda minha família pelo apoio incondicional, em particular meus pais, Luis Octavio Hernandez Betancourt e Mariela Reyes Cartagena, irmãos, Ivan Octavio Hernandez Reyes e Oscar Javier Hernandez Reyes, e minha cunhada, Alba Jazmin Sanabria Lozano, não só pelo apoio que sempre me deram, mas também por todo o amor que sempre estiveram presentes durante toda a minha vida. Os seus exemplos de vida foram para mim uma verdadeira fonte de motivação, aos quais, na medida do possível, respondi, com esforço e compromisso.

Deixo também uma palavra de apreço aos meus amigos com os quais passei momentos únicos. Nomeadamente o colega Eng.º Guilherme Rodrigues Christo que forneceu o projeto para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Professor Ricardo José Leal Duarte e coorientador Professor Doutor Hugo Filipe Pinheiro Rodrigues pela orientação prestada, mas sobretudo pelo entusiasmo e interesse contagiante e pela autonomia e confiança que me foi depositada na realização deste trabalho. O seu domínio de conhecimentos e profissionalismo associados à sua boa disposição, são para mim um modelo a seguir.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou outro me acompanharam durante a fase do curso e tornaram possível a realização deste trabalho.

“BIM is not just a 3D visual model. It's possible to have a model without any geometric information but with lots of other data, and it will still be a Building Information Model”.

Arto Kiviniemi, Professor of Digital Architecture Design School of the Built Environment,  
University of Salford

# Resumo

O *Building Information Modeling* (BIM) é uma prática em desenvolvimento no campo da arquitetura e da engenharia. O BIM nasce como uma nova maneira de trabalho entre projetistas das diversas especialidades, para reunir todas as características geométricas, físicas e económicas num modelo tridimensional. Atualmente a aplicação dos modelos BIM está a tornar-se cada vez mais o pilar base nas empresas.

Neste enquadramento a implementação do BIM pode ser uma ferramenta vital para a redução dos custos e diminuição de falhas pela incompatibilidade na interpretação das peças desenhadas em modelos *Computer Aided Design* (CAD), além de que se espera que futuramente esta metodologia domine o setor da construção.

Esta dissertação vai abordar a temática BIM em projetos de estruturas metálicas, focando-se na integração de vários programas de Autodesk, Trimble e Computers & Structures que adotam ferramentas para todas as áreas para desenhar, projetar, construir e administrar. Efetuando todas estas fases, esta dissertação vai focar-se na análise e comparação da interoperabilidade dos programas de um caso prático em ambiente BIM. Não obstante, serão estudadas as pormenorizações das peças metálicas.

Para a aplicação prática da metodologia em questão, elaborar-se-á um guião prático com a finalidade do desenvolvimento na integração dos *softwares* para estruturas metálicas em ambiente BIM, de forma na qual se possa contribuir na compatibilização das informações entre as demais especialidades.

**Palavras chave:** Building Information Modeling (BIM), Estruturas Metálicas, Interoperabilidade.

# Abstract

Building Information Modeling (BIM) is an evolving practice in the field of architecture and engineering. BIM emerges, as a new way of working among designers of different specialties, to bring together all the geometric, economic and economic characteristics in a three-dimensional model. Currently, the application of BIM models is increasingly becoming the pillar base in companies.

In this scenario, the implementation of BIM can be a vital tool for cost reduction and loss of failures due to incompatibility in the interpretation of parts designed in the Computer Aided Design (CAD) models, in addition to the hope that in the future this methodology will dominate the construction sector.

The following dissertation addresses the BIM theme in metal structure projects, focusing on the integration of several programs from Autodesk, Trimble and Computers & Structures, which adopted tools for all areas of design, design, construction and administration. Carrying out all these phases, this dissertation will focus on the analysis and comparison of the interoperability of the programs of a practical case in the BIM environment. However, they will be studied as details of metal parts.

For the practical application of the methodology in question, develop a practical guide using the development of software integration for metallic tools in the BIM environment, in a way that can contribute to the compatibility of information between the other specialties.

**Keywords:** Building Information Modeling (BIM), Steel Structures, Interoperability.

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatória .....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de tabelas.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Lista de siglas e acrónimos.....</b>	<b>xviii</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Justificação do trabalho .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos do trabalho.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Estrutura do trabalho .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Enquadramento Teórico .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. História do BIM.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. O que não é o BIM.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Vantagens do BIM.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Futuro do BIM.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Níveis de Maturidade do BIM .....</b>	<b>11</b>
<b>2.6. Níveis de Desenvolvimento do BIM .....</b>	<b>12</b>
<b>2.7. Interoperabilidade do BIM.....</b>	<b>14</b>
<b>2.7.1. Industry Foundation Classes.....</b>	<b>17</b>

2.7.2.	Extensible Markup Language.....	17
2.7.3.	Portable Document Formar e Design Web Format.....	18
<b>2.8.</b>	<b>O BIM na Construção Metálica .....</b>	<b>19</b>
<b>2.9.</b>	<b>O BIM e a Normalização .....</b>	<b>21</b>
2.9.1.	BS 1192-4:2014.....	22
2.9.2.	ISO 12006-2:2015 .....	22
2.9.3.	ISO 19650-1:2018 .....	23
2.9.4.	ISO 19650-2:2018 .....	23
<b>3.</b>	<b>Softwares de Estudo .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.</b>	<b>Revit.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.</b>	<b>Tekla Structures 2019i.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.</b>	<b>Robot Structures Analysis 2020 .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.</b>	<b>SAP2000 v21.1.0 .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5.</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>30</b>
<b>4.</b>	<b>Aplicação a um Caso de Estudo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.</b>	<b>Apresentação do caso de estudo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.</b>	<b>Interoperabilidade entre Revit 2020 e Robot Structural Analysis 2020 .....</b>	<b>34</b>
4.2.1.	Modelação dos elementos da estrutura metálica .....	34
4.2.2.	Modelação das ligações da estrutura metálica .....	42
<b>4.3.</b>	<b>Interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i e Robot Structural Analysis 2020 .....</b>	<b>46</b>
4.3.1.	Modelação dos elementos da estrutura metálica .....	46
4.3.2.	Modelação das ligações da estrutura metálica .....	56
<b>4.4.</b>	<b>Interoperabilidade entre Revit 2020 e SAP2000 v21.1.0 .....</b>	<b>60</b>
4.4.1.	Modelação dos elementos da estrutura metálica .....	60
4.4.2.	Modelação das ligações da estrutura metálica .....	66

<b>4.5. Interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i e SAP2000 v21.1.0.....</b>	<b>71</b>
4.5.1. Modelação dos elementos da estrutura metálica .....	71
4.5.2. Modelação das ligações da estrutura metálica.....	78
<b>5. Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>83</b>
<b>5.1. Considerações finais .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2. Trabalhos Futuros .....</b>	<b>85</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo A – Projeto .....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo B – Modelação .....</b>	<b>11</b>
<b>Anexo C – Resultados.....</b>	<b>22</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 – crescimento da produtividade global no setor da construção [1] .....	1
Figura 2 – influência do BIM nos projetos [5] .....	6
Figura 3 – vantagens da implementação do BIM [6].....	7
Figura 4 – adoção do BIM no mundo [7] .....	10
Figura 5 – níveis de maturidade do BIM [8] .....	11
Figura 6 – níveis de desenvolvimento do BIM [9] .....	13
Figura 7 – formatos comuns de interoperabilidade do BIM adaptado de [10].....	16
Figura 8 – comparação de formatos comuns de interoperabilidade do BIM [3] .....	19
Figura 9 – comparação do esforço para produzir e manter informações [11].....	21
Figura 10 – fluxo de trabalho Tekla Structures   Robot Structural Analysis.....	24
Figura 11 – fluxo de trabalho Revit   SAP2000.....	25
Figura 12 – inicialização do Revit 2020 .....	26
Figura 13 – inicialização do Tekla Structures 2019i .....	27
Figura 14 – inicialização do Robot Structural Analysis 2020 .....	28
Figura 15 – inicialização do SAP2000 v21.1.0 .....	30
Figura 16 – fluxograma de trabalho BIM .....	31
Figura 17 – vista isometria da nave industrial no AutoCAD 2019.....	33
Figura 18 – planta base da nave industrial no AutoCAD 2019 .....	33
Figura 19 – planta cobertura da nave industrial no AutoCAD 2019 .....	34
Figura 20 – grelha da nave industrial no Revit 2020.....	35
Figura 21 – pilares treliçados da nave industrial no Revit 2020.....	36

Figura 22 – vigas treliçadas da nave industrial no Revit 2020 .....	37
Figura 23 – madres de cobertura e fachada da nave industrial no Revit 2020.....	37
Figura 24 – vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020.....	38
Figura 25 – vista tridimensional modelo analítico da nave industrial no Revit 2020.....	39
Figura 26 – opções de exportação dos elementos no Revit 2020 .....	40
Figura 27 – vista tridimensional da nave industrial no Robot Structural Analysis 2020.....	41
Figura 28 – opções de exportação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020.....	42
Figura 29 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Revit 2020 .....	43
Figura 30 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Revit 2020 .....	43
Figura 31 – opções de exportação das conexões no Revit 2020 .....	44
Figura 32 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Robot Structural Analysis 2020 .....	44
Figura 33 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Robot Structural Analysis 2020 .....	45
Figura 34 – grelha da nave industrial no Tekla Structures 2019i .....	47
Figura 35 – pilares treliçados da nave industrial no Tekla Structures 2019i .....	48
Figura 36 – vigas treliçados da nave industrial no Tekla Structures 2019i .....	49
Figura 37 – madre de cobertura e fachada da nave industrial no Tekla Structures 2019i .....	49
Figura 38 – vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2019i.....	50
Figura 39 – opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i.....	51
Figura 40 – opções da importação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020 .....	52
Figura 41 – vista tridimensional da nave industrial no Robot Structural Analysis 2019i.....	53
Figura 42 – opções de exportação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020.....	54
Figura 43 – opções de importação dos elementos no Tekla Structures 2019i .....	54
Figura 44 – vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2020.....	55
Figura 45 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Tekla Structures 2019i .....	56

Figura 46 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Tekla Structures 2019i .....	57
Figura 47 – opções de exportação das conexões no Tekla Structures 2019i.....	58
Figura 48 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Robot Structural Analysis 2020.....	59
Figura 49 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Robot Structural Analysis 2020.....	59
Figura 50 – vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020 .....	61
Figura 51 – opções da exportação dos elementos no Revit 2020.....	62
Figura 52 – opções da importação dos elementos no SAP2000 v21.1.0.....	63
Figura 53 – vista tridimensional da nave industrial no SAP2000 v21.1.0.....	64
Figura 54 – opções de exportação dos elementos no SAP2000 v21.1.0 .....	65
Figura 55 – opções de importação dos elementos no Revit 2020.....	65
Figura 56 – vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020 .....	66
Figura 57 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Revit 2020.....	67
Figura 58 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Revit 2020.....	68
Figura 59 – opções da exportação dos elementos no Revit 2020.....	68
Figura 60 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no SAP2000 v21.1.0 .....	69
Figura 61 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no SAP2000 v21.1.0 .....	70
Figura 62 – vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2019i .....	72
Figura 63 – opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i .....	73
Figura 64 – opções da importação dos elementos no SAP2000 v21.1.0.....	74
Figura 65 – vista tridimensional da nave industrial no SAP2000 v21.1.0.....	75
Figura 66 – opções de exportação dos elementos no SAP2000 v21.1.0 .....	76
Figura 67 – opções de importação dos elementos no Tekla Structures 2019i.....	77
Figura 68 – vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Tekla Structures 2019i.....	78
Figura 69 – vista tridimensional da ligação pilar   plinto no Tekla Structures 2019i.....	79

Figura 70 - vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no Tekla Structures 2019i .....	79
Figura 71 – opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i.....	80
Figura 72 - vista tridimensional da ligação pilar   plinto no SAP2000 v21.1.0 .....	81
Figura 73 – vista tridimensional da ligação pilar   madre de fachada no SAP2000 v21.1.0.....	81
Figura 74 – planta da base AutoCAD .....	2
Figura 75 – planta da cobertura AutoCAD .....	3
Figura 76 – alçado do eixo 1 e 5 AutoCAD.....	4
Figura 77 – alçado do eixo A e D AutoCAD .....	5
Figura 78 – vista isometrica AutoCAD.....	6
Figura 79 – pormenor dos pilares AutoCAD .....	7
Figura 80 – pormenor das tesouras AutoCAD.....	8
Figura 81 – pormenor dos travamentos AutoCAD .....	9
Figura 82 – pormenores dos contaventos AutoCAD .....	10
Figura 83 – planta da base Revit.....	12
Figura 84 – planta da cobertura Revit.....	13
Figura 85 – alçado do eixo A e D Revit.....	14
Figura 86 – alçado do eixo 1 e 5 Revit.....	15
Figura 87 – vista tridimensional Revit.....	16
Figura 88 – planta da base Tekla Structures .....	17
Figura 89 – planta da cobertura Tekla Structures .....	18
Figura 90 – alçado do eixo A e D Tekla Structures .....	19
Figura 91 – alçado do eixo 1 e 5 Tekla Structures.....	20
Figura 92 – vista tridimensional Tekla Structures .....	21
Figura 93 – deformação critica Robot Structural Analysis.....	23

Figura 94 – momento crítico Robot Structural Analysis .....	24
Figura 95 – cortante crítico Robot Structural Analysis .....	25
Figura 96 – deformação crítica SAP2000.....	26
Figura 97 – momento crítico SAP2000 .....	27
Figura 98 – cortante crítico SAP2000.....	28

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo Interoperabilidade Entre Revit 2020   Robot Structural Analysis 2020.....	46
Tabela 2 – Resumo Interoperabilidade Entre Tekla Structures 2019i   Robot Structural Analysis 2020.....	60
Tabela 3 – Resumo Interoperabilidade Entre Revit 2020   SAP2000 v21.1.0.....	71
Tabela 4 – Resumo Interoperabilidade Entre Revit 2020   SAP2000 v21.1.0.....	82

## Lista de siglas e acrónimos

aecXML	Architecture Engineering Construction XML
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CDE	Common Data Environment
CEN	Comité Europeu de Normalização
CIS/2	CIMsteel Integration Standard Version 2
CT197	Comissão Técnica de Normalização BIM
DWF	Design Web Format
ERX	OpenEXR
EC1	Eurocódigo 1
EC3	Eurocódigo 3
gbXML	Green Building XML
HTML	Hypertext Markup Language
IFC	Industry Foundation Classes
IFCXML	Industry Foundation Classes XML
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IPQ	O Instituto Português da Qualidade
ISO	International Standards Organization
LOD	Level of Detail
OGC	Open Geospatial Consortium
PTPC	Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção
XML	Extensible Markup Language
XPS	XML Paper Specification
3D PDF	Portable Document Format

# 1. Introdução

## 1.1. Justificação do trabalho

Atualmente a documentação dos projetos são materializados maioritariamente em papel. Na prática, isto pode apresentar inconsistências e omissões de informação nas obras, traduzindo-se em custos adicionais e atrasos imprevistos. Um dos inconvenientes mais comuns da utilização dos meios tradicionais está relacionado com o tempo necessário para produzir a informação depois da análise, como as estimativas orçamentais, detalhes estruturais, etc. Da mesma forma, compromete a originalidade do projeto, pelo que em obra são realizadas alterações para tentar corrigir estas inconsistências.

A área da construção é um dos setores que representa uma grande parte da economia mundial, representando cerca de EUR €9 trilhões deste campo em bens e serviços. Não obstante, os últimos estudos revelam que a produtividade da construção ficou pausada nas últimas décadas em comparação com outros campos. Nos últimos 20 anos a produtividade na área da construção aumentou 1% em cada ano, enquanto a área da manufatura aumentou 3,6% cada ano, tal como é representado na Figura 1. Isso indica que há falta de processos que permitam aumentar o rendimento, em particular no setor na construção das estruturas metálicas [1].

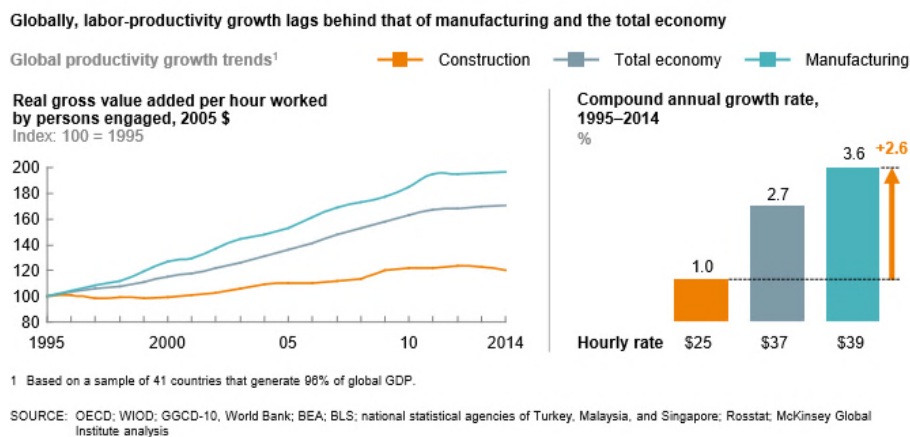


Figura 1 – Crescimento da produtividade global no setor da construção [1]

Por conseguinte, este setor precisa de uma transição para conseguir otimizar os resultados, em menos tempo e com menor custo. Os arquitetos e engenheiros projetistas desde há vários anos estão familiarizados com o uso de *softwares* para análise e dimensionamento de estruturas. Em função disso, o uso da tecnologia digital é um grande salto para melhorar a produtividade, porque em breve a utilização de BIM irá ser fundamental. O BIM é um dos desenvolvimentos mais prometedores neste campo, pois além de permitir criar um modelo tridimensional com os dados integrados, permite ainda trocar toda a informação entre todos os participantes no projeto denominada por interoperabilidade BIM. Por essa razão os arquitetos e engenheiros devem saber lidar com a rápida mudança tecnológica [2].

Em relação à capacidade de trocar a informação anterior, a capacidade de interoperabilidade BIM consiste na habilidade de transferir informação entre plataformas e criar uma representação gráfica mais precisa do produto final. Isto porque elimina a necessidade de copiar manualmente informação já criada noutras plataformas, fomentar a interação desde a fase do projeto e principalmente ajuda a encontrar melhores soluções em projetos complexos para diminuir os erros na fase da construção.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

A seguinte dissertação abordou a aplicabilidade da metodologia BIM em projetos de estruturas metálicas, focando-se na integração de vários *softwares* das empresas Autodesk, Trimble e Computers & Structures que dispõem de ferramentas para todas as áreas para desenhar, projetar, construir e administrar.

Na fase de integração dos *softwares* existem algumas limitações de comunicação entre eles, e em função disso existem duas alternativas para a interoperabilidade. A primeira é utilizar aplicativos que pertencem a diferentes empresas, e a segunda é utilizar aplicativos que pertencem à mesma *software house*. Ambas serão objeto de análise neste trabalho.

Para a aplicação prática da metodologia em questão, abordar-se-á um caso de estudo fundamentado de uma estrutura metálica modelada nos *softwares* de desenho Revit 2020 da Autodesk e Tekla Structures 2019i da Trimble, com um alto nível de detalhe. Posteriormente será exportado para o *software* de cálculo Robot Structural Analysis 2020 da Autodesk e SAP2000 v21.1.0 de Computers & Structures de forma que seja possível

integrar e verificar as adversidades próprias do processo de interoperabilidade. Assim, o principal objetivo é impulsionar a utilização da plataforma BIM, favorecendo o desenvolvimento das informações, em particular nas construções de estruturas metálicas.

A presente dissertação não procura abordar assuntos de modelação, análise estrutural e dimensionamento em detalhe, mas contudo apresenta-se no desenvolvimento desta pesquisa as limitações e soluções de interoperabilidade entre *softwares*, que tem sido um dos obstáculos de adoção desta metodologia.

### **1.3. Estrutura do trabalho**

A estrutura da dissertação é desenvolvida em 5 capítulos.

No **primeiro capítulo** exibido se faz uma introdução para fazer um enquadramento do tema a desenvolver, bem como são apresentados os objetivos a atingir.

No **segundo capítulo** é realizado uma abordagem da informação relevante para o desenvolvimento da dissertação. Principalmente irão ser tratados os principais temas acerca da dinâmica BIM na construção metálica. O assunto mais importante deste capítulo do tema refere-se com a interoperabilidade entre *softwares* utilizados neste setor.

O **terceiro capítulo** está associado ao estudo do melhor fluxo de trabalho multidisciplinar, para evitar o retrabalho e a perda de informação. Baseado na prática para aproveitar especificamente os mesmos recursos.

O **quarto capítulo** está associado ao processo de interoperabilidade dos *softwares* Revit e Tekla Structures como programas de modelação, bem como Robot Structural Analysis e SAP2000 como programas de cálculo, associado ao caso de estudo através de um modelo de estruturas metálicas preconcebido. Neste capítulo será estudado a relação que têm os *softwares* para cruzar informação entre plataformas diferentes, para logo depois permitir a compressão dos resultados.

O **quinto capítulo** é realizado uma síntese do trabalho desenvolvido, evidenciando as principais conclusões e possíveis pesquisas futuras a realizar como forma de continuação do trabalho desta dissertação.

## 2. Enquadramento Teórico

### 2.1. História do BIM

Nos anos 60 o principal propósito das áreas relacionadas com a cinematografia e jogos digitais, era desenvolver *softwares* que tivessem a capacidade de representar graficamente figuras poliédricas num modelo 3D, tendo originado o primeiro filme de computação gráfica no final desta década [3].

Em 1973 foi elaborada a primeira ferramenta para projetar figuras solidas 3D por Ian Braid da Universidade de Cambridge, Bruce Baumgart da Universidade de Stanford e Ari Requicha da Universidade de Rochester [3]. Isto motivou que outros ramos investigassem sobre modelos que permitiram a combinação destes objetos, para continuar com a modelação paramétrica.

Ao final da década dos anos 70 e inícios da década dos anos 80, aconteceu o avanço mais importante para iniciar pela primeira vez os *softwares* CAD, como RUCAPS, TriCad, Calma, GDS e *softwares* universitários baseados em pesquisas da Universidade Carnegie Mellon e da Universidade de Michigan. Foi neste instante que pela primeira vez foram realizadas conferências sobre desenhos assistidos por computador integradas em todas as áreas da engenharia [3].

Os *softwares* CAD para a modelação de sólidos eram funcionalmente poderosos, mas infelizmente não existiam computadores com a capacidade para trabalhar sem que os sobrecarregassem. Por conseguinte, a integração de gerar relatórios ou pormenores automáticos não foram desenvolvidos pela capacidade dos *hardwares*. Adicionalmente o desenho de objetos 3D já era estranho para a maioria dos projetistas pois sentiam mais a vontade a trabalhar em 2D, sobretudo, porque eram excessivamente custosos os *softwares* 3D. Contudo, as indústrias aeroespaciais e manufactureiras em termos de aplicabilidade, verificaram que independentemente dos custos associados, eram *softwares* que diminuían os erros, pelo que começaram a ser mais utilizados [4]. A maioria das empresas no setor da construção não reconheceram essas vantagens e, pelo contrário, adotaram aplicativos mais

arquitetônicos como AutoCAD e Microstation, que deu início à geração de documentos digitais da construção 2D.

## 2.2.O que não é o BIM

As empresas que estão a desenvolver programas para trabalhar tendo por base a metodologia BIM, utilizam esta palavra para descrever as virtudes de seus produtos. Assim o significado do que é BIM está sujeito ao que cada empresa oferece. Dado isso com essa ambiguidade, é mais fácil especificar o que não é considerado BIM.

Na Figura 2 é exibido o efeito do BIM para resolver os problemas de incompatibilização dos projetos.

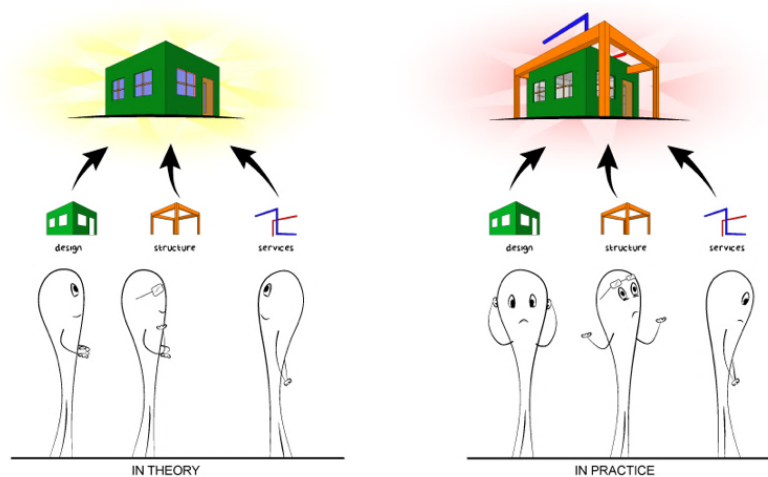


Figura 2 – Influência do BIM nos projetos [5]

### **Modelos que têm apenas características 3D, mas não permitem manobrar os objetos.**

Esses modelos permitem exclusivamente visualizar os objetos do projeto, mas não permitem manobrá-los. Funcionalmente são fantásticos para idealizar algo, mas não permitem integrar dados aos objetos.

### **Modelos sem capacidade de manipulação.**

Esses modelos permitem criar elementos, mas não deixam ajustar as suas dimensões, localização ou propriedades, porque não trabalham sob o conceito de membros paramétricos. Isso torna as modificações extremamente complicadas e graficamente os modelos apresentam erros.

**Modelos compostos por vários ficheiros CAD 2D que devem ser combinados para idealizar o projeto.**

Esses modelos precisam da capacidade de imaginação e percepção dos desenhos por aqueles envolvidos no projeto.

**Modelos que possibilitam alterações das propriedades dos objetos em uma vista e que não é capaz de reproduzir-lhas nas outras vistas.**

Esses modelos provocam erros que dificilmente são localizados no programa.

### 2.3. Vantagens do BIM

As vantagens que se esperam com a adoção da tecnologia BIM são enormes, como se pode verificar na Figura 3. Embora os modelos 2D continuem a controlar o mercado, várias empresas já adotaram o uso desta tecnologia e confirmam a veracidade de todas as vantagens.

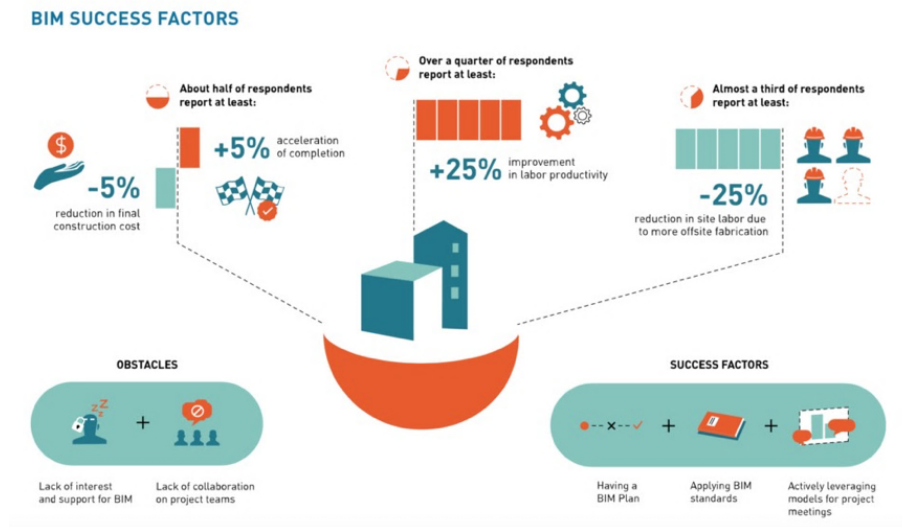


Figura 3 – Vantagens da implementação do BIM [6]

**Vantagens na análise de viabilidade do projeto.**

Principalmente antes de executar qualquer projeto é importante definir o custo e tempo que se requer para sua construção. Essas perguntas podem ser respondidas com um grau de exatidão maior que nos modelos tradicionais. Adicionalmente permite quantificar os materiais no programa, que quando vinculado com um banco de custos e produtividade, torna possível controlar os custos em qualquer etapa do projeto.

### **Maior desempenho e qualidade do projeto.**

Quando é desenvolvido esta classe de modelos, permite previamente fazer um estudo detalhado dos requisitos funcionais, sustentáveis e regulamentares do projeto. Adicionalmente é um jeito de antecipar-se as modificações que ainda estão em etapa de conceção para melhorar a qualidade do projeto. Isto é muito importante em projetos onde as exigências técnicas são muito elevadas como nos laboratórios ou hospitais, portanto é preciso pensar e simular cada pormenor.

### **Correções automáticas enquanto são realizadas alterações no projeto.**

Esta tecnologia realiza as correções automaticamente em todos os alçados quando é feita uma alteração geométrica. Para reduzir a coordenação das modificações de um projeto que de facto conduz a muitos erros construtivos.

### **Colaboração em simultâneo de todas as especialidades envolvidas no projeto.**

Este tipo de metodologia simplifica o trabalho e a coordenação de todas as disciplinas pois é possível atuar em paralelo entre si. Isto reduz significativamente a omissão de informação importante e promove soluções globais dos projetos.

### **Melhoria da eficiência energética e sustentabilidade.**

Em comparação com os modelos tradicionais, permitem vincular o modelo com ferramentas de análise energética para avaliar antecipadamente o comportamento. Isto é um avanço enorme devido ao facto de não se exigir uma análise separada ao final, acrescentando as possibilidades de modificar e melhorar o desempenho energético e de sustentabilidade.

### **Sincronização no planeamento da construção do projeto.**

Este tipo de análise permite simular o processo construtivo diário do projeto. Os encarregados da programação e gestão da obra antecipam os possíveis problemas e as oportunidades de melhoria em termos de equipamentos ou segurança. Complementarmente é possível incluir dados construtivos temporários como escoramentos, andaimes, guindastes e outros equipamentos que podem alterar o prazo de entrega da obra e, conseqüentemente os custos, minimizando o desperdício de materiais para executar cada trabalho.

### **Utilizar o modelo como base para a fabricação de peças pré-fabricadas.**

Atualmente têm-se utilizado máquinas que permitem com um maior grau de exatidão construir peças pré-fabricadas. Isto é feito através destes modelos para exportar a informação diretamente às ferramentas que controlam máquinas de corte a laser, soldadura robotizada, entre outros equipamentos que dispõem a tecnologia para automatizar a fabricação de peças pré-fabricadas.

### **Facilidade de revisão e manutenção posterior à construção.**

Um modelo que foi construído e atualizado com todas as alterações feitas durante a fase de execução, fornece uma fonte precisa de informação sobre os espaços e sistemas aplicados na obra. De forma a proporcionar um ponto de partida muito útil, com o registo de alterações ou alguma modificação posterior, ajudando a idealizar o projeto para o qual foi concebido.

## **2.4. Futuro do BIM**

A substituição das ferramentas CAD pelo BIM, no fundo implica muito mais do que simplesmente adquirir a licença. Nomeadamente pelo facto de que exige formação do pessoal e atualização dos procedimentos internos das empresas, pelo que não pode ser só uma adaptação aos procedimentos que já se têm estabelecidos.

Em termos do mercado laboral, globalmente espera-se que enquanto se procede à transição para a metodologia BIM, as empresas cada vez mais exijam profissionais com as devidas competências. Isto com o objetivo de tornar mais arquitetos e engenheiros especialistas no assunto, para desta maneira transformar este novo conceito em uso comum, assim como ocorreu nos anos 90 com a metodologia CAD [3].

Consequentemente, em vários países os concursos públicos das câmaras municipais estão a exigir a utilização das ferramentas BIM para a apresentação das propostas, para assim incentivar a utilização destes recursos [3]. Espera-se nos próximos anos modificar na totalidade a utilização das ferramentas CAD, tal como é exibido na Figura 4.



Figura 4 – Adoção do BIM no mundo [7]

Especialmente as escolas de ensino superior de engenharia e arquitetura estão atualmente a orientar os estudantes para a utilização da metodologia BIM. Devido à falta de pessoal treinado no mercado laboral, numerosas empresas estão a financiar cursos para modificar os seus procedimentos operacionais.

Nas práticas de construção sustentáveis e ecológicas, provavelmente o BIM foi o maior impulsor deste tema, visto que atualmente os modelos estavam a precisar de uma análise pormenorizada dos materiais e do comportamento energético para a certificação dos projetos. Portanto, a capacidade de avaliar automaticamente os modelos dos projetos simplificará os novos regulamentos. Por exemplo, alguns códigos já exigem que a análise energética seja feita em todos os edifícios sem exceção, para atender os padrões de consumo de energia, e, provavelmente os padrões baseados no desempenho nos anos seguintes. As primeiras ferramentas do cálculo do desempenho energético integradas à metodologia BIM já estão disponíveis, o que significa que o BIM impulsará a construção de edifícios sustentáveis e ecológicos.

Relativamente ao impacto na documentação dos projetos, tudo aponta para que ocorra uma diminuição da importância dos desenhos à medida que o assunto do cuidado ambiental se torne mais estrito, em especial pelo facto de que um dos principais temas atuais diz respeito à conservação do meio ambiente. Como resultado, a tendência é que trabalhar-se-á cada vez mais com a utilização do formato digital, que porventura irá suprimir por completo a documentação física nas obras.

A curto prazo espera-se que com a implementação do BIM, pequenas reduções poderão ocorrer em termos dos custos de construção. De facto, a adoção completa do BIM em qualquer empresa requer um mínimo de dois anos para tornar-se efetivo, e depende da substituição dos *softwares* CAD [3].

## 2.5. Níveis de Maturidade do BIM

Encontram-se vários níveis de colaboração compartilhada num projeto de construção que vão aumentando à medida que são desenvolvidos, como está ilustrado na Figura 5. Esses são conhecidos como níveis de maturidade BIM.

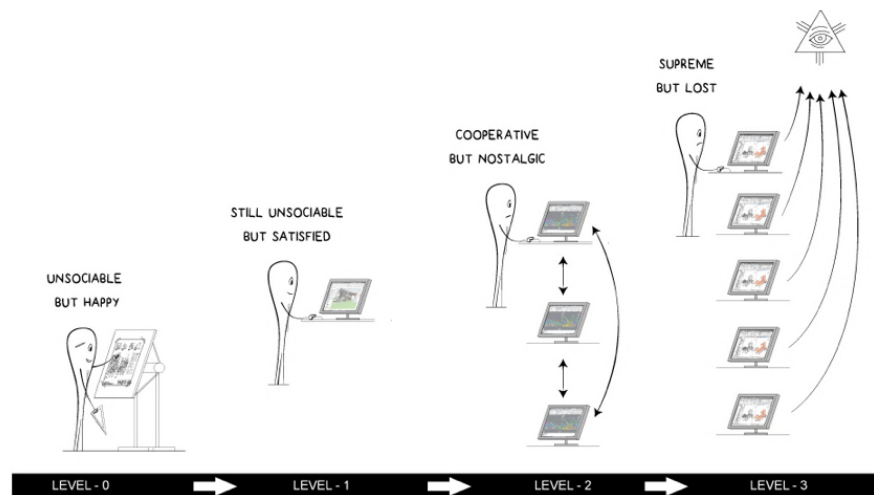


Figura 5 – Níveis de maturidade do BIM [8]

**Nível 0.** É a etapa simples do processo de geração de informações, pela razão de que nesta fase a produção e a partilha das informações ocorrem com a ajuda do papel e documentos eletrónicos não interoperáveis. Portanto, não envolve algum nível de cooperação.

Os desenhos CAD são usados durante o nível 0. Não obstante, não há compartilhamento dos modelos de informações gerados.

**Nível 1.** Atualmente um grande número de empresas está a conduzir o seu trabalho neste nível por meio de um *Common Data Environment* (CDE). Essencialmente, é um ficheiro compartilhado *online*, onde todos os dados necessários dos projetos são recolhidos e gerenciados.

Normalmente existe um responsável pela gestão do CDE, e está focado na transição de informação de CAD. Contudo, os modelos gerados não são distribuídos entre os diferentes intermediários, embora haja a presença de um ambiente comum de dados.

**Nível 2.** O principal foco de interesse neste nível é o modo na qual as informações são partilhadas entre os vários integrantes do projeto. O 4D que está relacionado com a administração do tempo e o 5D está vinculado aos cálculos dos orçamentos, são duas novas dimensões introduzidas neste nível.

O trabalho colaborativo está no centro do nível 2, visto que não há necessidade que todos os grupos envolvidos no projeto operem nos mesmos modelos de CAD. Pelo contrário, todos são livres em usar um modelo CAD distinto com a condição de trabalhar num tipo de ficheiro comum como IFC, que contém todas as informações.

Por outras palavras, traduz-se num modelo de colaboração completa entre os vários profissionais da área. Desta forma todos podem ter uma noção geral de todas as informações disponíveis e realizar modificações à vontade. Graças a isso é possível produzir um modelo BIM unificado.

**Nível 3.** O nível 3 é o objetivo final da indústria da construção, sendo observado que o seu propósito principal é a obtenção da integração total das informações num ambiente baseado na nuvem. Assim o modelo estará disponível para ser editado por qualquer pessoa que tenha algo a ver com o projeto.

Deseja-se que haja uma nova dimensão denominada 6D, relacionada com a gestão ao longo do ciclo de vida do edifício, além das outras dimensões precedentes. No momento ainda existem dúvidas sobre questões de direitos de autor e de responsabilidade.

## **2.6. Níveis de Desenvolvimento do BIM**

Os níveis de desenvolvimento de um modelo BIM também podem ser conhecidos como *Level of Detail* (LOD). Ao contrário dos níveis de maturidade, os níveis de desenvolvimento são as dimensões de detalhe que está compreendido no modelo. Deste modo, o nível de desenvolvimento é o grau em que as informações anexadas no modelo

foram analisadas e o grau em que os envolvidos no projeto podem depender das informações ao usá-lo. Resumidamente, o nível de maturidade pode-se considerar como a entrada do modelo, enquanto o nível de desenvolvimento é a saída do modelo.

Os níveis de desenvolvimento são um conjunto de especificações que fornece aos profissionais do setor da construção a capacidade de documentar e especificar o conteúdo do BIM de maneira eficaz e clara, possibilitando a comunicação entre os arquitetos e engenheiros, evitando incompatibilizações, que podem causar conflitos na fase executiva, sendo assim, garantindo uma execução mais rápida do projeto. Atualmente existem seis níveis diferentes de desenvolvimento na construção metálica, visível na Figura 6.

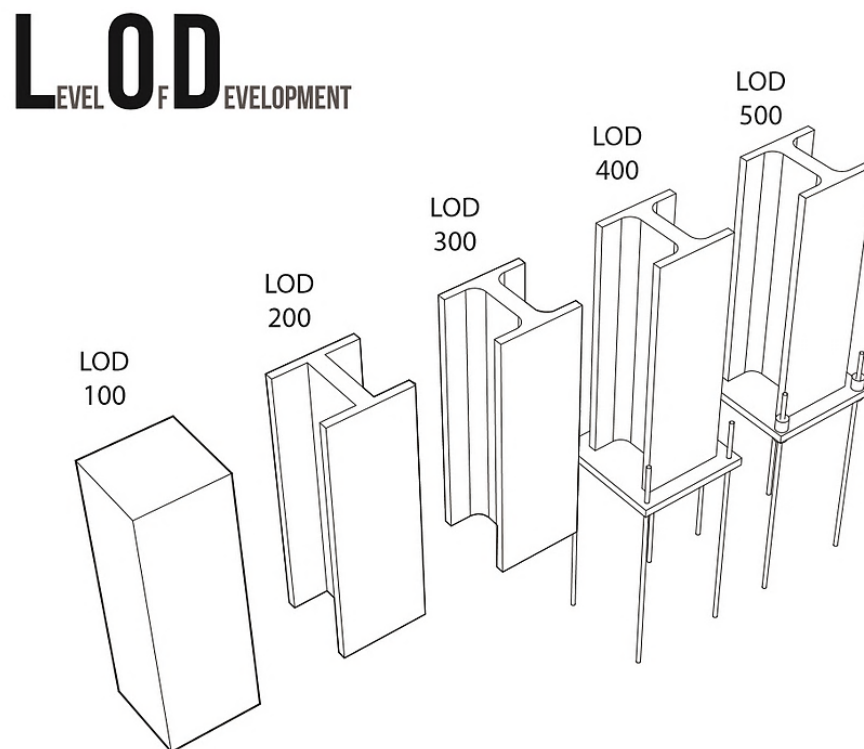


Figura 6 – Níveis de desenvolvimento do BIM [9]

**LOD 100.** Nesta fase o modelo 3D é desenvolvido para reproduzir elementos com informações ao nível básico. Consta de um modelo conceitual com parâmetros como quantidade, tamanho, localização e orientação.

**LOD 200.** Nesta fase, além de permitir definir os parâmetros anteriores, é possível anexar informações não geométricas aos elementos do modelo.

**LOD 300.** Nesta fase são definidos parâmetros prévios dos elementos mais exatos.

**LOD 400.** Nesta fase inclui detalhes da relação e conexão de um elemento com outros, ou seja, a parte gráfica e escrita.

**LOD 500.** Nesta fase os elementos do modelo contêm informações de fabricação, montagem e pormenorização precisa.

## **2.7. Interoperabilidade do BIM**

A interoperabilidade em BIM é um dos conceitos mais importantes e que garantem a utilização da metodologia BIM entre diferentes intervenientes, e entre diferentes produtores de *software*.

A interoperabilidade é o que facilita que *softwares* de diferentes fabricantes possam interagir entre si, usando uma linguagem comum e aberta para manter esta relação. Assim, a interoperabilidade tornou-se um dos assuntos mais importante nesta indústria pelo facto de que os dados de um modelo devem ser partilhados entre várias equipas envolvidas no ciclo de um projeto, com vista à utilização de plataformas diferentes.

Sob outra perspetiva, a necessidade de gerar cópias manuais cada vez que um modelo BIM muda de plataforma, inviabiliza esta troca de informação durante a fase de projeto. Como resultado, prejudica a qualidade da informação e soluções apresentadas no projeto, conduzindo a erros. Atualmente existem iniciativas que se destinam a estudar soluções para este problema.

Na prática um especialista em eficiência energética precisa realizar simulações dos projetos. Sem a interoperabilidade seria necessário que o especialista modelasse de novo o projeto inteiro do arquiteto para efetuar as análises. Pelo que claramente aumentaria significativamente o tempo de execução e a criação de erros.

No passado a interoperabilidade contava com dois formatos de troca de geometria como o DXF e o IGES. No presente os principais formatos de troca de informação no setor da construção são *Industry Foundation Classes* (IFC) para o planeamento, dimensionamento,

construção e gestão de edifícios e *CIMsteel Integration Standard Version 2 (CIS/2)* para a fabricação e engenharia de aços estruturais. Tanto o IFC como o CIS/2 reproduzem a geometria, materiais, desempenho e outras propriedades necessárias para os projetos. Outros formatos para a troca de informação são PDF 3D e DWF que permitem resolver alguns problemas de interoperabilidade dos principais formatos [10].

Até meados da década de 70 quase toda a interoperabilidade das especialidades era feita nos formatos DXF e IGES [10]. Estes formatos foram eficazes nessa época para trocar formas e geometrias, no entanto, foram surgindo modelos com informações mais complexas, como os projetos de instalações, canalização, aquecimento, arrefecimento e outros, criando a necessidade de lidar com modelos com atributos mais complexos. Assim, rapidamente estavam a precisar de uma atualização, pois cada vez mais tornavam-se inúteis estes tipos de formatos. Evidentemente que estes problemas surgiram em todo o mundo, pelo que a *International Standards Organization (ISO)* iniciou um comité técnico para desenvolver um padrão para o intercâmbio de dados de forma a consolidar as informações, visando a solução das devidas incompatibilidades, o chamado ISO 10303.

No final dos anos 70 e inícios dos anos 80 do século passado a necessidade de troca de informação entre *softwares* era evidente. Pelo que apareceram um conjunto de empresas como a Integraph, cuja função era converter arquivos de projetos para diferentes fabricantes, como por exemplo a troca de informação entre o projeto de arquitetura e o projeto de instalações. Mais tarde a NASA descobriu que estavam a gastar somas elevadas de dinheiro para traduzir a informação entre as áreas envolvidas. O representante da NASA, Robert Fulton, reuniu todos os fabricantes de *software* CAD para chegar a um acordo e estabelecer um formato de troca de informação público. Foi assim com duas empresas, Boeing e General Electric, financiadas pela NASA, que se ofereceram para juntar alguns esforços iniciais que haviam empreendido separadamente. Como resultado deu-se início ao *Initial Graphics Exchange Specification (IGES)*. Inicialmente o IGES foi um acontecimento importante neste assunto face aos fabricantes que só precisavam desenvolver unicamente dois formatos, para exportar e importar a informação dos *softwares* [11].

Seguidamente, nos inícios dos anos 90, a Autodesk iniciou uma sociedade neste setor para desenvolver um conjunto de classes em C++ que conseguissem ceder suporte ao

desenvolvimento integrado de *softwares*. Um conjunto de empresas aderiram à sociedade para dar início à Industry Alliance for Interoperability, uma sociedade sem fins lucrativos. Anos depois o nome mudou para International Alliance for Interoperability, encarregada de liderar e publicar o *Industry Foundation Class* (IFC) como um modelo de dados neutros [11].

Todos os métodos de interoperabilidade devem lidar com os problemas das versões. Pois quando um *software* é atualizado com novos recursos, pode acontecer uma falha no mecanismo de troca da informação, se não foram bem vinculadas as versões. Na Figura 7 é ilustrado a classificação dos formatos.

<b>Formatos de imagem (Matricial)</b>	
JPG, GIF, TIF, BMP, PIC, PNG, RAW, TGA, RLE	Os formatos matriciais variam em termos de compactação, número de cores possíveis por pixel, algumas compressores com alguma perda de dados.
<b>Formatos de vetores 2D</b>	
DXF, DWG, AI, CGM, EMS, IGS, WMF, DGN	Os formatos vetoriais variam quanto à compactação, larguras de linha e controle de padrão, cor, camadas e tipos de curvas suportados.
<b>Formatos de superfícies e formas 3D</b>	
3DS, WRL, STL, IGS, SAT, DXF, DWG, OBJ, DGN, PDF(3D), XGL, DWF, U3D, UPT, PTS	Os formatos de superfície e formas 3D variam de acordo com os tipos de superfícies e arestas representados, se eles representam superfícies e/ou sólidos, quaisquer propriedades materiais da forma (cor, bitmap de imagem, mapa de textura) ou informações do ponto de vista.
<b>Formatos de troca de objetos 3D</b>	
STP, EXP, CIS/2	Os formatos do modelo de dados do produto representam geometria de acordo com os tipos 2D ou 3D representado. Eles também carregam propriedades de objetos e relações entre objetos.
<b>Formatos de jogo</b>	
RWQ, X, GOF, FACT	Os formatos dos arquivos do jogo variam de acordo com os tipos de superfícies, se carregam estrutura, tipos de propriedades do material, textura e parâmetros de mapa de relevo, animação e esfolia.
<b>Formatos GIS</b>	
SHP, SHX, DBF, DEM, NED	Formatos de sistema de informação geográfica
<b>Formatos XML</b>	
AecXML, Obix, AEX, bcXML, AGCxml	Esquemas XML desenvolvidos para o intercâmbio de construção de dados. Eles variam de acordo com o informações trocadas e os fluxos de trabalho suportado.

**Figura 7 – Formatos comuns de interoperabilidade do BIM adaptado de [10]**

### 2.7.1. Industry Foundation Classes

O *Industry Foundation Classes* (IFC) foi desenvolvido com o objetivo de criar um formato que possibilite a troca de informação de um modelo entre diferentes plataformas BIM. Ele fundamenta-se na linguagem ISO, mas com algumas alterações menores. Embora a maioria dos esforços da ISO se tenham concentrado na troca detalhada entre as especialidades da engenharia, pensava-se que isto levaria a resultados com formatos incompatíveis. Por conseguinte, o IFC foi projetado como um formato de estrutura extensível, ou seja, o objetivo do seu desenvolvimento pretendia criar um formato com informação geral e a partir dele poderiam definir-se informações mais detalhadas. Deste modo o IFC foi idealizado para trocar informação do projeto durante todo o ciclo de vida, ou seja, a partir da viabilidade e análise, até à construção e gestão.

Uma vez que o formato do IFC for adotado por várias organizações governamentais para a verificação do projeto, ele terá um impacto cada vez mais forte na prática, tanto para os fabricantes como para os utilizadores dos *softwares* BIM, visto que impõe um nível de rigor e disciplina na geração final desses desenhos, na qual acrescentarão ainda mais valor na criação de modelos com a verificação automática dos códigos. Esse rigor também se aplica conforme a etapa em que se encontra o projeto, pois serão necessários cuidados especiais quando forem efetuadas simulações em outras plataformas.

O IFC é o único formato público, padrão universal e não patenteado. Este formato está em constante desenvolvimento e é lançada uma nova versão a cada dois anos.

### 2.7.2. Extensible Markup Language

Uma forma opcional de trocar dados é através do *Extensible Markup Language* (XML). Não é mais que uma extensão do *Hypertext Markup Language* (HTML), uma linguagem muito utilizada para enviar informação pela *web*. Este formato permite gerar *tags* personalizados pelo utilizador, porém nesta extensão existem várias formas para definir *tags* [10].

**Open Geospatial Consortium (OGC).** Define um conjunto aberto de conceitos independentes para descrever, gerir, renderizar e manipular objetos geométricos e geográficos num ambiente de programação.

**Green Building XML (gbXML).** É um esquema desenvolvido para transferir as informações necessárias para a análise energética preliminar de edifícios, zonas e equipamentos mecânicos.

**Architecture Engineering Construction XML (aecXML).** Pode representar recursos documentais de contrato como convite de propostas, solicitação de cotações, pedido de informações, requisições de mudanças e ordens de compras. Igualmente recursos de projeto como materiais, equipamentos, cálculos, programações e profissionais envolvidos.

**Industry Foundation Classes XML (IFCXML).** É um subconjunto do esquema IFC desenhado para XML que suporta catálogos de materiais e listas de quantidades.

### 2.7.3. Portable Document Format e Design Web Format

Dois formatos bastante utilizados são o *Portable Document Format* (3D PDF) e *Design Web Format* (DWF), porque suportam um fluxo de trabalho de informações publicadas e não possuem problemas de interoperabilidade suportados pelo IFC e o XML. Por outras palavras, esses formatos fornecem aos arquitetos e engenheiros do projeto uma forma de publicar o modelo com informações de construção para revisão, visualização e marcações. No entanto, não permitem a modificação das informações do modelo [10].

Esses formatos foram projetados para atender as amplas necessidades do campo da engenharia. Originalmente o PDF foi projetado para trocar documentos de texto e o DWF foi projetado para trocar dados de desenho inteligente baseado no formato *XML Paper Specification* (XPS). Embora o PDF seja um padrão ISO, os formatos DWF e 3D PDF não são padrões no âmbito BIM. Os dois formatos são distribuídos gratuitamente e existem visualizadores livres. Foram projetados para permitirem uma capacidade de impressão com alto grau de exatidão e qualidade. Ambos são altamente compressíveis para a portabilidade, em comparação com os IFC e XML. Na Figura 8 é ilustrado a comparação dos formatos.

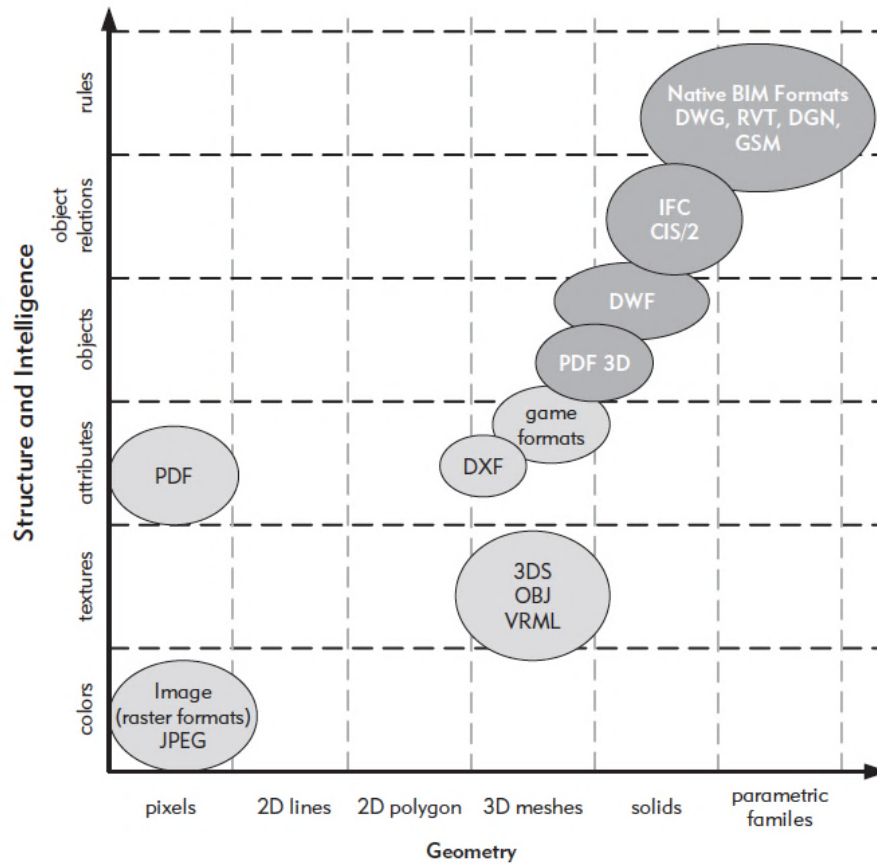


Figura 8 – Comparação de formatos comuns de interoperabilidade do BIM [3]

## 2.8.O BIM na Construção Metálica

O BIM pode-se considerar como um traço muito importante na história da construção metálica. Pelo motivo que permite a toma de decisões antecipadamente dos arquitetos e engenheiros, de uma forma mais eficiente e económica. Para evitar custos e atrasos inesperados dos fabricantes e construtores.

Experimenta-se um grande avanço na industrialização da fabricação metálica. Que ocorre a partir de novas práticas de gestão de projeto, produção e de novas tecnologias associadas à fabricação automatizada mediante a metodologia BIM. Algumas fábricas estão a adotar a fabricação de peças seguindo uma linha completa de equipas automatizadas de *Computer Numeric Control* ou Controlo Numérico Computorizado (CNC) em português, que incorporam programas BIM e sofisticados recursos de robótica. [12]

Estatisticamente, na construção 10% dos materiais são desperdiçados, 30% da construção é repetição de trabalhos, 40% do trabalho no local é improdutivo, 40% dos projetos estão

acima do orçamento e 90% dos projetos estão atrasados. Por isso, fica clara a importância na procura de soluções para a redução de custos [13].

Independentemente da ferramenta que se está a empregar, o conceito de BIM cria um ambiente de trabalho transparente, porque toda a informação encontra-se ao dispor do pessoal técnico. Hoje em dia os processos, desde a fabricação à montagem de estruturas metálicas, tornaram-se métodos automatizados, devido à iniciativa de criar novas tecnologias que melhoram a produtividade.

Em termos de aplicabilidade, evidentemente o aço é um material que se adapta a qualquer arquitetura e possibilita criar estruturas elegantes, com geometrias complexas e capaz de criar vãos com grandes comprimentos.

O aço é o principal material da construção sustentável. Seus altos graus de reciclabilidade excedem os de qualquer outro material empregado na construção. Nas últimas décadas a indústria siderúrgica diminuiu significativamente a emissão dos gases de efeito estufa, devido às preocupações ambientais relacionadas com a indústria da construção em geral. À medida que o conceito da construção verde cresce cada vez mais, todos os envolvidos reconhecem a opção da construção metálica como meio de atingir os objetivos de um projeto sustentável. Como dado particular, a maior parte do aço produzido globalmente contém em média 93% de sucata de aço reciclado. No final da vida útil de um edifício de estrutura metálica, 98% do aço pode ser reciclado novamente em novos produtos sem perda das suas propriedades físicas [14].

Graças às suas propriedades, em termos económicos a escolha deste material ajuda a reduzir os custos totais dos projetos. Principalmente os custos da fundação são mais baixos, por que das relações de resistência/peso são mais altas que as dos outros materiais. Há também poupanças de custos em horas de trabalho, em razão de que os tempos empregados para a construção são mais rápidos. Finalmente, os custos enquanto remodelações futuras são menores, porque o aço é altamente adaptável.

O uso do BIM na produção metálica pode ainda reduzir o custo total da construção entre 10% e 20%, devido à capacidade de ser projetado, fabricado e montado num tempo menor que os outros materiais [14].

De outro ponto de vista, os projetos de construção assumem vários riscos de natureza financeira, cronograma, complexidade, qualidade, clima, local, produtividade e segurança. O conceito BIM ajuda a que os empreiteiros em geral, examinem cuidadosamente todos estes riscos associados à execução do projeto.

Antigamente a área de projeto nas fábricas de estruturas metálicas empregava dias ou até semanas para produzir planos de corte, fabricação e/ou montagem de qualquer empreendimento. A chegada do BIM proporcionou ferramentas que permitem diminuir o esforço que se tinha para produzir e manter a informação dos projetos, tal como é exposto na Figura 9.

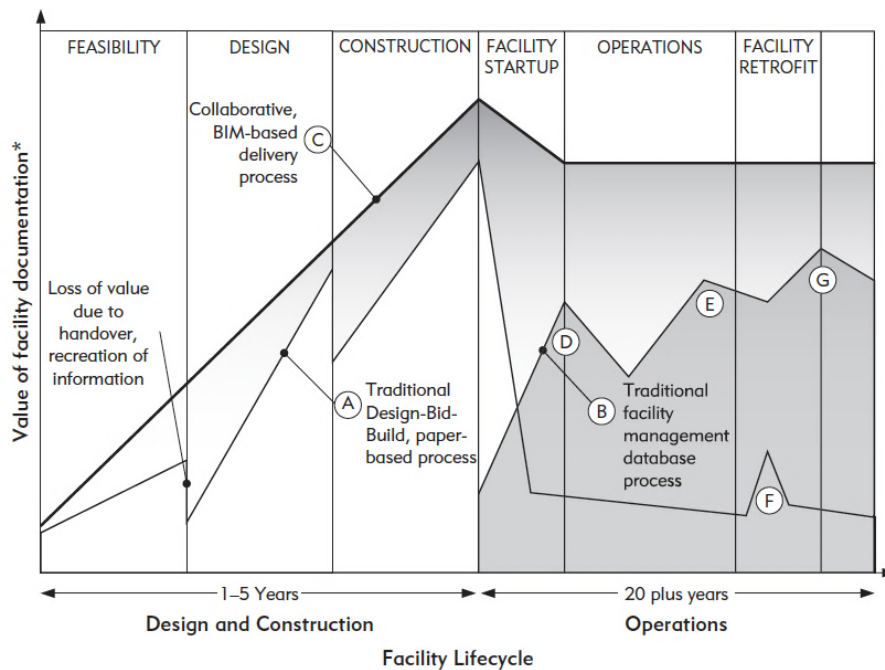


Figura 9 – Comparação do esforço para produzir e manter informações [11]

## 2.9.O BIM e a Normalização

Algumas iniciativas como a da Comissão Técnica de Normalização BIM (CT197) e da Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC) estão a cooperar com a implementação do BIM no setor da construção. A padronização em Portugal é uma oportunidade para reformar a indústria da construção e otimizar os processos próprios da troca de informação que se requerem para executar os projetos, para possibilitar uma maior competitividade no mercado internacional [15].

Há cinco anos em Portugal a normalização do BIM deu os primeiros passos. O Instituto Português da Qualidade (IPQ) está vinculado ao grupo de trabalho do Comité Europeu de Normalização (CEN) para o desenvolvimento das normas BIM, que servirá como base para a elaboração de um documento de uso nacional relacionado com este tema [16].

Em 2014 foi publicada a BS 1192-4 nos países britânicos para organizar a população em assuntos da metodologia BIM. Não obstante, em 2015 foi publicada a ISO 12006-2 que estabelece uma estrutura para a classificação dos processos construtivos e inclui muitos exemplos práticos. Esta norma tem muita importância porque fala sobre como deve ser compartilhada a informação na construção. Finalmente, em 2018 foram publicadas as normas ISO 19650-1 e ISO 19650-2 para corrigir a falta de normas acerca da metodologia BIM.

#### **2.9.1. BS 1192-4:2014**

A norma “BS 1192-4 19650-2 Produção colaborativa de informações. Parte 4: Cumprimento dos requisitos de intercâmbio de informação dos clientes usando COBie – Código de prática” é uma norma britânica que define como produzir informação de forma colaborativa, atendendo aos requisitos do COBie [17]. O COBie impulsiona uma estrutura comum para compartilhar a informação essencial ao projetista, contratante, fabricante, fornecedor, entre outros, baseado nos propósitos do cliente para facilitar as decisões e responsabilidades do negócio.

#### **2.9.2. ISO 12006-2:2015**

A norma “ISO 12006-2 Construção de edifícios – Organização da informação sobre os trabalhos de construção. Parte 2: Estrutura para classificação” é iniciada por uma introdução, definição do âmbito de trabalho e declaração de normas de referência. Os termos e definições são analisados de forma geral e também direcionados aos recursos, processos, resultados e propriedades construtivas [17]. Resumidamente, a norma aconselha algumas tabelas de classificação, para definir uma estrutura que permita o desenvolvimento de um sistema de classificação do ambiente construtivo consoante as necessidades. As recomendações são aplicáveis para todo o ciclo de vida da construção de projetos de infraestrutura ou edificações.

### **2.9.3. ISO 19650-1:2018**

A norma “ISO 19650-1 Organização e digitalização da informação sobre edifícios e trabalhos de engenharia civil, incluindo modelação da informação da construção (BIM) – Gestão da informação. Parte 1: Conceitos e princípios” recomenda a política e a teoria envolvida em todo o ciclo de vida dos ativos da construção, tanto nos requisitos de gestão como na produção da informação [17]. Basicamente, a norma é destinada a empresas, projetos e/ou todos os envolvidos na construção, para a gestão da informação dos projetos e conceber um fluxo de trabalho colaborativo ideal. As empresas trabalham cada vez mais em ambientes colaborativos, logo, isto obriga a uma normalização dos procedimentos, compreensão bilateral e condições da informação.

### **2.9.4. ISO 19650-2:2018**

A norma “ISO 19650-2 Organização e digitalização da informação sobre edifícios e trabalhos de engenharia civil, incluindo modelação da informação da construção (BIM) – Gestão da informação. Parte 2: Fase de entrega dos ativos” habilita os envolvidos no empreendimento a estabelecerem os requisitos para gestão da informação usando a metodologia BIM.

Sinteticamente, a norma analisa o processo que se deve seguir para se definirem os requisitos necessários para partilhar informação. Estabelece uns níveis para garantir que a informação fique em concordância com cada requisito e seus critérios de aceitação.

### 3. Softwares de Estudo

No contexto prático a escolha dos programas a utilizar para implementação da metodologia BIM e estabelecer o fluxo ideal de trabalho nas empresas, dependem principalmente dos custos das licenças, empregabilidade no mercado e do conhecimento instalado nas empresas.

Como primeiro exemplo, a empresa Portuguesa “Poço – Equipamentos Industriais”, especializada em projetos industriais de grande complexidade e líder na área da construção metálica, desenvolve os projetos com a metodologia BIM por um quadro técnico altamente qualificado nas várias especialidades para a modelação, cálculo, fabricação e montagem. Para tal, utilizam como fluxo de trabalho o Tekla Structures para a modelação, fabricação e montagem e o Robot Structural Analysis para o cálculo, conforme a Figura 10.

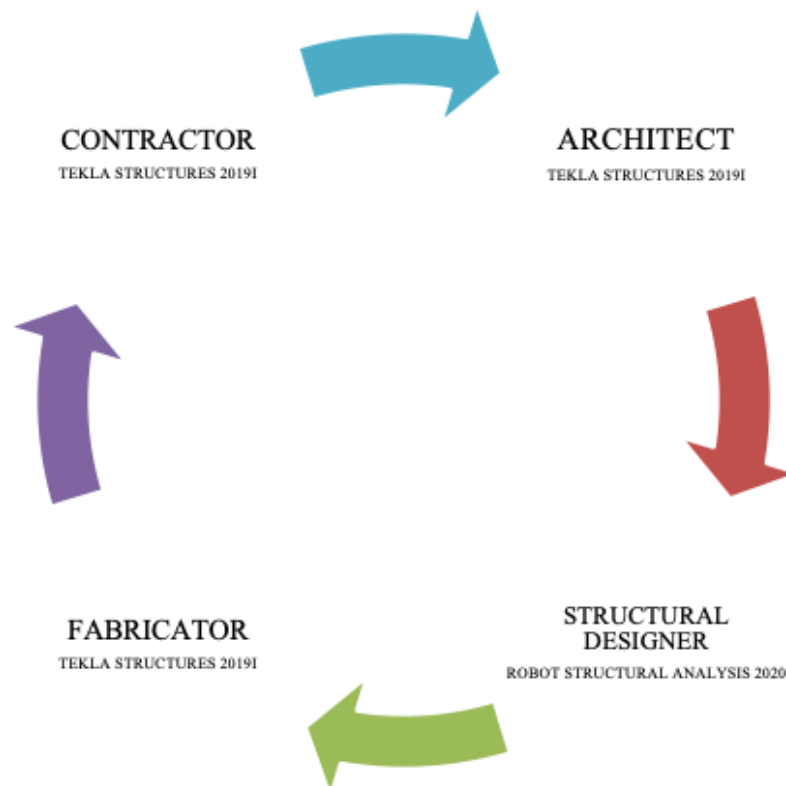


Figura 10 – Fluxo de trabalho Tekla Structures | Robot Structural Analysis

Como segundo exemplo, a empresa Colombiana Construtora Conconcreto, especializada e líder no desenvolvimento de obras de infraestrutura e edificações. Em semelhança com a anterior, desenvolve projetos com a metodologia BIM com um destacado grupo de arquitetos, engenheiros e projetistas que trabalham integralmente na modelação, cálculo, fabricação e montagem. Para atingir este objetivo, utilizam como fluxo de trabalho o Revit para a modelação, fabricação e montagem e o SAP2000 para o cálculo, conforme a Figura 11.

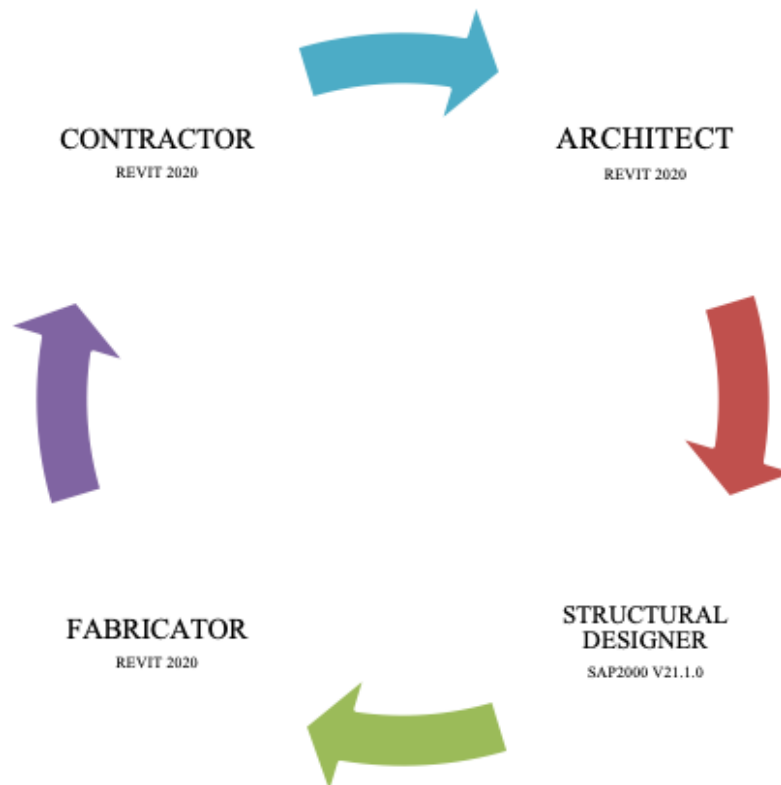


Figura 11 – Fluxo de trabalho Revit | SAP2000

Num ponto de vista de investigação, a pesquisa realizada pelo Pedro di Luccio Geraldês, denominada “Implementação da Metodologia BIM em um Gabinete de Estruturas” [18], abordou a interoperabilidade entre o Revit Structures e o Robot Structural Analysis, e Revit Structures e o SAP2000 de modo a verificar a eficiência de transferência da informação em estruturas de betão armado. Do mesmo modo, o estudo efetuado pelo Marco Romeu Baptista de Almeida designado “Tecnologia BIM Aplicada ao Projeto de Estruturas Metálicas” [19], tratou a interoperabilidade entre o Tekla Structures e o Robot Structural Analysis, e o Tekla Structures e o SAP2000 de modo a confirmar a existência de

incompatibilidade nos formatos de exportação e importação da informação em estruturas metálicas.

Assim, associado à experiência das empresas mencionadas e pesquisas anteriores, para efeitos desta dissertação foi decidido utilizar estes programas pelo sucesso que tem no mercado, para avaliar e discutir o melhor fluxo de trabalho na metodologia BIM.

### 3.1.Revit

O Revit é um programa BIM para arquitetura, urbanismo, engenharia e *design* que permite aos utilizadores projetar estruturas em 3D e possibilita visualizar os modelos em 2D. Foi desenvolvido pela empresa Charles River Software em 1997 e posteriormente a empresa Autodesk, Inc adquiriu os direitos em 2002 [20]. O *software* possui ferramentas para planejar as diferentes fases de um projeto, desde a conceção e/ou construção até a manutenção e/ou demolição.



Figura 12 – Inicialização do Revit 2020

No começo, o Revit tinha como objetivo possibilitar que os arquitetos, engenheiros e outros profissionais na construção, criassem e documentassem as estruturas mediante modelos paramétricos tridimensionais, que incluíssem as informações geométricas e não geométricas dos projetos [20].

Comparativamente com os outros programas, no Revit todos os elementos são criados usando famílias. Por outras palavras, em vez de criar uma linguagem de programação,

todas as relações, visualizações e anotações com outros componentes são capturadas pelo *software*, para que perante qualquer alteração, automaticamente ele propague essa modificação em todo o modelo para mantê-lo coerente. Auxiliariamente, como permite que a informação seja partilhada entre os vários utilizadores, se alguém faz alguma modificação, os modelos dos outros indivíduos automaticamente serão atualizados. O programa verifica no ficheiro original do projeto que os elementos não estão a ser modificados simultaneamente por vários utilizadores para não haver conflitos de incompatibilidade.

A facilidade de fazer alterações levou o Revit tornar-se um dos programas mais influentes na área.

### 3.2. Tekla Structures 2019i

O Tekla Structures é um programa BIM para a pormenorização, fabricação, montagem e *design* de todo o tipo de estruturas em 3D. Também permite criar planos automaticamente em 2D. Foi criado pela empresa Teknillinen laskenta Oy em 1966 e posteriormente a empresa Trimble, Inc adquiriu os direitos em 2011 [21]. Tal como outros *softwares*, tem ferramentas para projetar as diferentes etapas associadas ao projeto.



Figura 13 – Inicialização do Tekla Structures 2019i

No princípio o Tekla Structures tinha por objetivo promover a fácil gestão da informação na engenharia estrutural, a fim de melhorar os fluxos de trabalho entre todos os profissionais na área da construção [21].

Graças ao conceito de desenho paramétrico do programa, permitiu que a criação e modificação dos elementos fosse uma tarefa rápida e simples. Por exemplo, ao criar uma ligação de algum elemento, o programa acomoda a ligação conforme a secção do elemento vinculado. Por isso, o Tekla Structures altera automaticamente as dimensões dos elementos ligados. Além disso, possui uma opção para o controle de colisão dos elementos, que impedirá a fabricação e/ou montagem, evitando desperdícios e perdas de tempo. Complementarmente, uma vez modelada a estrutura, o programa é capaz de gerar todo o tipo de planos gerais e pormenores para a fabricação e montagem, assim como as listas de materiais e peças. Inclusive, viabiliza a criação de ficheiros em vários formatos para a troca de informação com outros programas no âmbito da engenharia e arquitetura.

As empresas na área da construção metálica utilizam bastante o Tekla Structures pela simplicidade e versatilidade do programa.

### 3.3. Robot Structures Analysis 2020

O Robot Structural Analysis é uma ferramenta avançada para análise estrutural, que permite realizar análises lineares e não lineares dos modelos de construção, pontes e outros tipos de estruturas industriais. Foi concebido pela empresa Robobat em 1985, tendo a empresa Autodesk, Inc adquirido os direitos em 2008 [22]. Nesta ferramenta pode definir uma ampla serie de análises avançadas.



Figura 14 – Inicialização do Robot Structural Analysis 2020

A finalidade do Robot Structural Analysis foi sempre a de proporcionar aos engenheiros projetistas funções avançadas de análise e simulação para estruturas grandes e complexas, assumindo uma considerável poupança de tempo e esforço [22].

O Robot Structural Analysis tornou-se um dos programas mais utilizados para a análise e dimensionamento de estruturas através do método de elementos finitos, porque o *software* permite analisar de forma profunda o comportamento não linear das estruturas, particularmente nas estruturas metálicas com métodos simplificados. O programa está projetado para que engenheiros, arquitetos e projetistas possam trabalhar eficientemente, dando resultados rápidos e com precisão. Além de que inclui os códigos próprios de cada região para a verificação da segurança dos elementos automaticamente.

O Robot Structural Analysis cresceu bastante ao nível internacional pela flexibilidade e agilidade na verificação da resistência dos elementos de qualquer estrutura.

### **3.4.SAP2000 v21.1.0**

O SAP2000 é um programa de elementos finitos, com uma interface gráfica orientada para objetos 3D, preparado para realizar de forma totalmente integrada a modelação, análise e dimensionamento dos elementos do maior e mais complexo projeto na engenharia da construção. Foi desenvolvido por Edward Wilson como tese de mestrado em 1972 e posteriormente a empresa Computers & Structures, Inc adquiriu os direitos em 1975 [23]. Este *software* é conhecido pela precisão dos resultados, velocidade de processamento, algoritmos numéricos eficientes e precisos de elementos finitos.



Figura 15 – Inicialização do SAP2000 v21.1.0

O SAP2000 é uma ferramenta de trabalho diário na prática de vários gabinetes de projeto. A versatilidade que tem para modelar estruturas, permite a sua utilização no dimensionamento de pontes, edifícios, estádios, barragens, estruturas industriais, estruturas marítimas e qualquer outro tipo de infraestrutura que precise de ser examinada e dimensionada. Relativamente às ações, é possível gerar automaticamente cargas de sismo, vento e veículos. Posteriormente realiza a verificação automaticamente das estruturas em betão armado, aço e/ou alumínio seguindo as normas presentes [23].

Permite a criação de simples modelos estáticos empregados em análises 2D, até modelos mais complexos e de grandes dimensões que requerem análises não lineares mais avançadas. O SAP2000 é uma solução eficiente e produtiva para os engenheiros na área das estruturas. O *software* segue o padrão usual, com uma interface completa, intuitiva e versátil, proporcionada por um sistema de análise inigualável e ferramentas de auxílio para projetos.

O SAP2000 tornou-se em 1974 no programa mais usado no mundo e é o *software* mais utilizado na América na atualidade.

### 3.5. Metodologia

Os fluxos de dados em um ambiente de trabalho BIM são muito elevados. Estima-se que um projeto de 6.000 m<sup>2</sup> pode pesar 170 Mb e um projeto de 100.000 m<sup>2</sup> pode chegar a pesar 2 Gb, mas estes valores variam consoante a informação que integra o projeto [24]. O volume de dados a serem tratados é imenso nos projetos de estruturas metálicas e com

tendência a crescer, pois os ficheiros incorporam cada vez mais componentes e pormenores.

Por esse motivo, a partir do momento em que se pretende trabalhar de maneira organizada e com processos definidos, é preciso criar fluxogramas. Na prática os fluxogramas se traduzem na forma mais habitual para representar o processo e certificar uma interoperabilidade idónea para reduzir a perda de informação entre *softwares*.

Principalmente o fluxograma adotado nesta dissertação, permitirá visualizar a estrutura dos processos e dará suporte ao interessado na utilização de alguma das soluções obtidas nesta investigação.

Na ausência de uma documentação descrita para utilizar como referência para estruturas metálicas, é tomado como guia a experiência interessante das empresas previamente mencionadas para a determinação do fluxograma desta dissertação, conforme a Figura 16.

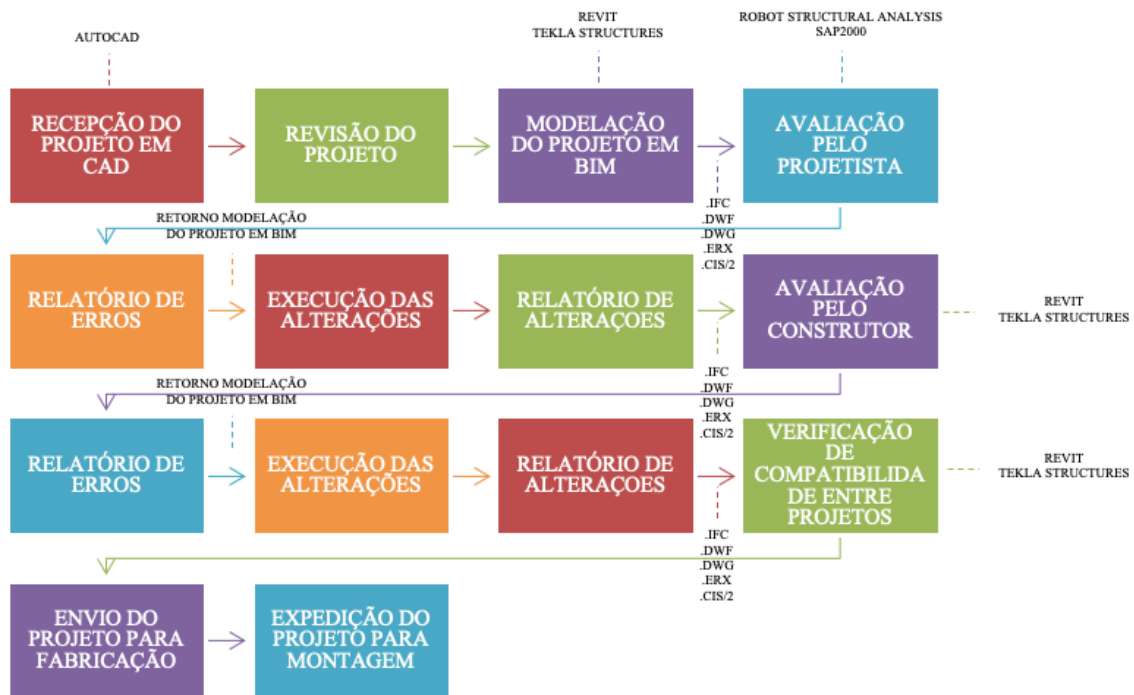


Figura 16 – Fluxograma de trabalho BIM

## 4. Aplicação a um Caso de Estudo

Independentemente da combinação dos programas a utilizar, determinou-se um conjunto de variáveis definidas em função da importância que elas têm na modelação, para avaliar se a informação foi ou não transferida. As variáveis analisadas são os materiais, as secções, as ligações, os apoios e as cargas.

Adotou-se uma estrutura metálica como referência para realizar a investigação. É de salientar que todos os programas utilizados para esta dissertação são versões educacionais e, portanto, têm algumas restrições de utilização.

Esta aplicação prática pretende testar a versatilidade dos *softwares* BIM, recorrendo aos conceitos teóricos obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, no sentido de obter resultados que conduzam a conclusões importantes.

### 4.1. Apresentação do caso de estudo

O modelo é composto por pórticos integrados entre si, com pilares treliçados, vigas treliçadas, madres e contraventos. A estrutura está projetada para ser usada como nave industrial com umas dimensões de 25,0 m de comprimento, 15,0 m de largura e 6,3 m de altura. Relativamente às secções empregadas para a elaboração destes elementos, são perfis em U, perfis em C e varões. Quanto ao material assumido para estas secções, trata-se do aço A36 que é produzido segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) A36/A36M, que equivale no Eurocódigo 3 (EC3) ao S275 que é produzido segundo a EN10025 [25]. E finalmente, no que concerne às cargas a aplicar na estrutura, foram definidas as cargas permanentes e sobrecargas superficiais uniformemente distribuídas conforme o Eurocódigo 1 (EC1) [26]. As Figura 17, Figura 18 e Figura 19 representam a distribuição estrutural efetuada.

Para realizar a investigação da capacidade e limitações de interoperabilidade, utilizaram-se os *softwares* Revit 2020, Tekla Structures 2019i, Robot Analysis Structures 2020 e SAP2000 v21.1.0.

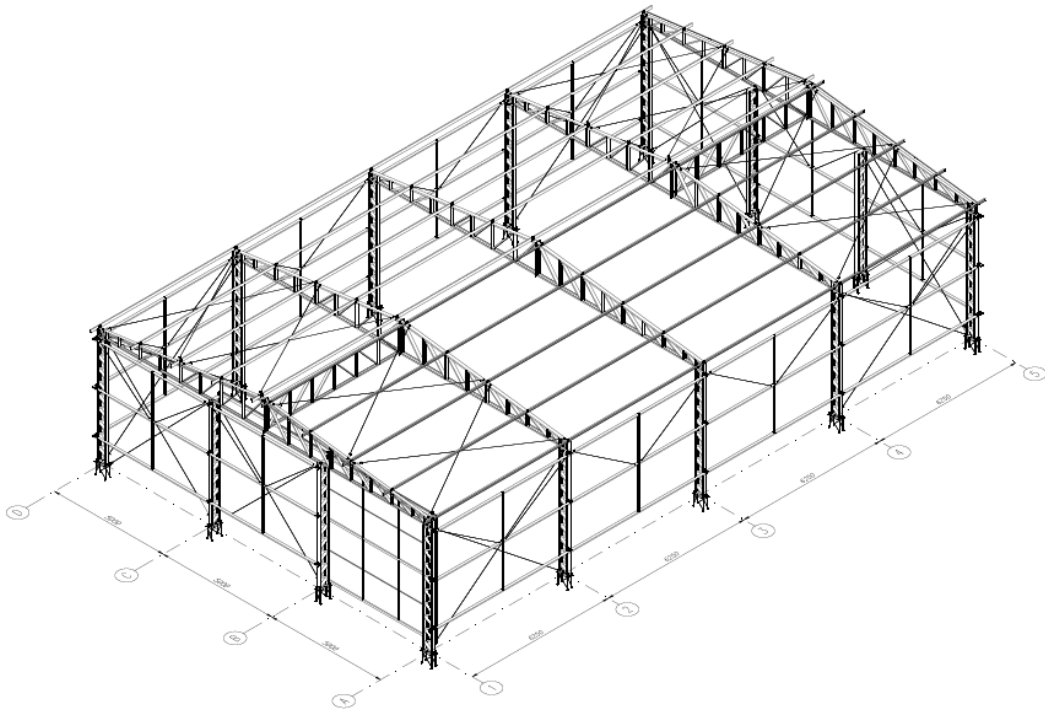


Figura 17 – Vista isometria da nave industrial no AutoCAD 2019

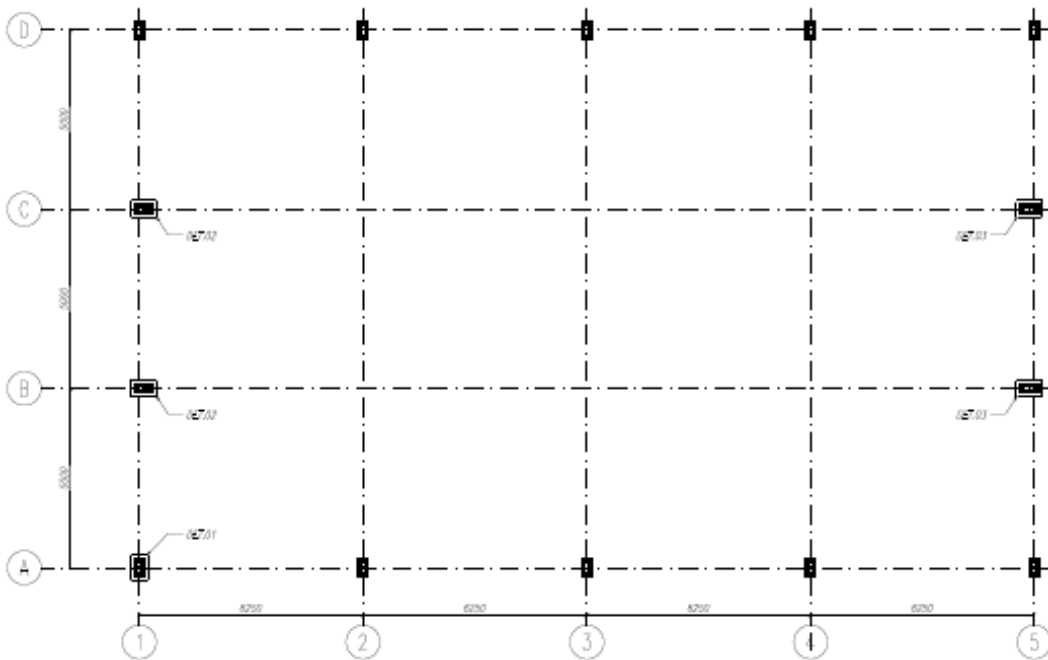


Figura 18 – Planta base da nave industrial no AutoCAD 2019

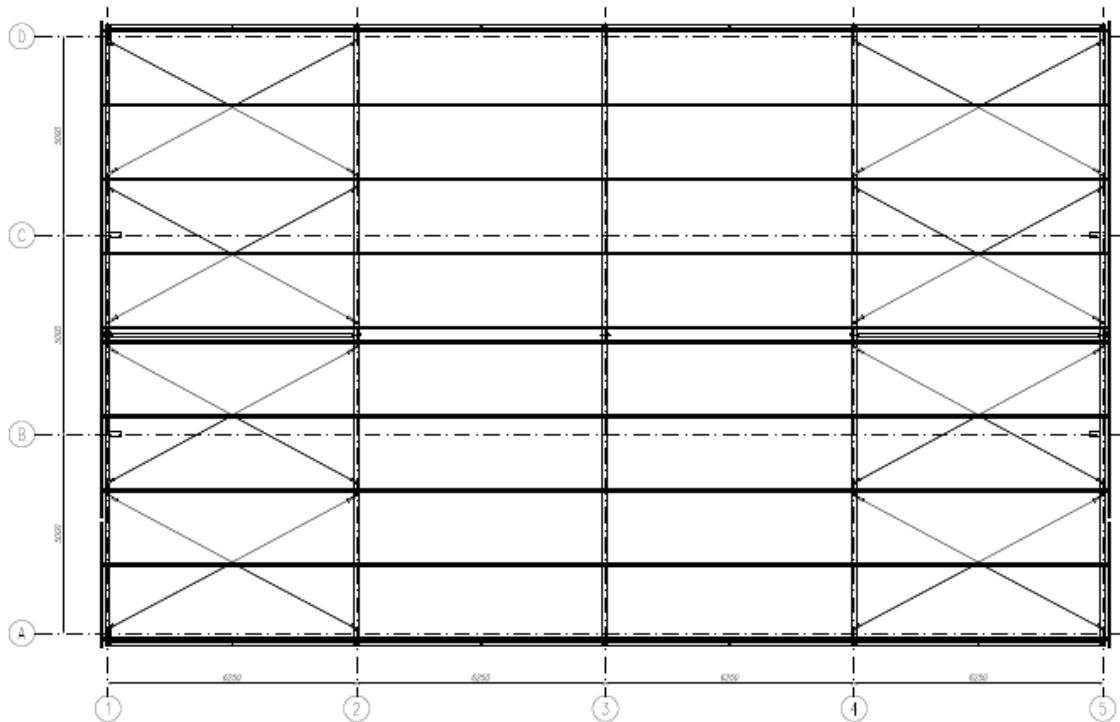


Figura 19 – Planta cobertura da nave industrial no AutoCAD 2019

## 4.2. Interoperabilidade entre Revit 2020 e Robot Structural Analysis 2020

### 4.2.1. Modelação dos elementos da estrutura metálica

Nesta fase emprega-se o Revit 2020 e o Robot Structural Analysis 2020 a fim de verificar a capacidade de interoperabilidade entre *softwares* do mesmo fabricante. Para a investigação vão-se utilizar os *links* diretos, apesar de que ambos os programas possuem outros formatos de exportação e importação dos ficheiros. Relativamente ao resultado alcançado, não só permitem visualizar os elementos com um nível de detalhe elevado, como também possibilitam a criação de plantas e pormenores para a fabricação e montagem da estrutura. Contudo para renderizar os elementos é preciso utilizar outros tipos de programas.

Todos os elementos da estrutura metálica foram modelados conforme as plantas e pormenores fornecidos. Seguidamente irá mostrar-se a sequência de criação do modelo.

A grelha colabora no processo de modelação, porque ajuda à localização dos elementos. Neste caso, decidiu-se por criar uma grelha que correspondesse com a colocação dos pilares da nave industrial. Como se pode ver na Figura 20.

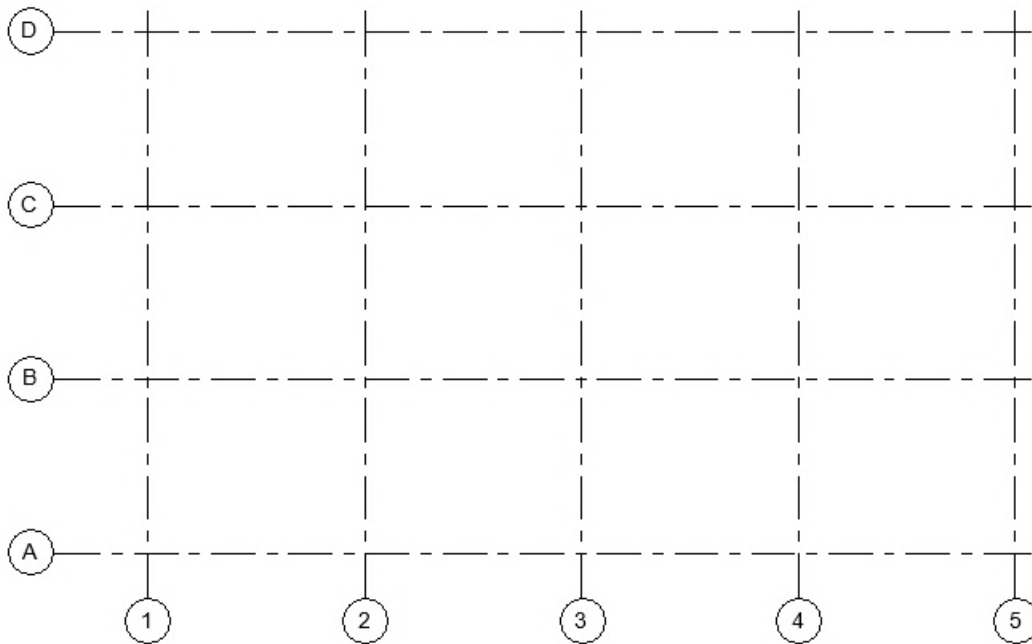


Figura 20 – Grelha da nave industrial no Revit 2020

Os pilares representam um conjunto de elementos numa posição vertical, porque são treliçados. As secções dos elementos podem ser seleccionadas na base de dados do programa ou também podem ser alteradas as informações dessa base de dados para se ajustar às necessidades.

Os elementos verticais são criados especificando a sua altura e indicando logo o seu ponto de arranque. Do mesmo modo, os elementos diagonais são produzidos especificando o ponto inicial e de seguida o ponto final. Para descomplicar a elaboração dos pilares treliçados, é possível criar grupos de elementos para copiar e colar em concordância com a posição. O resultado de modelação está exposto na Figura 21.

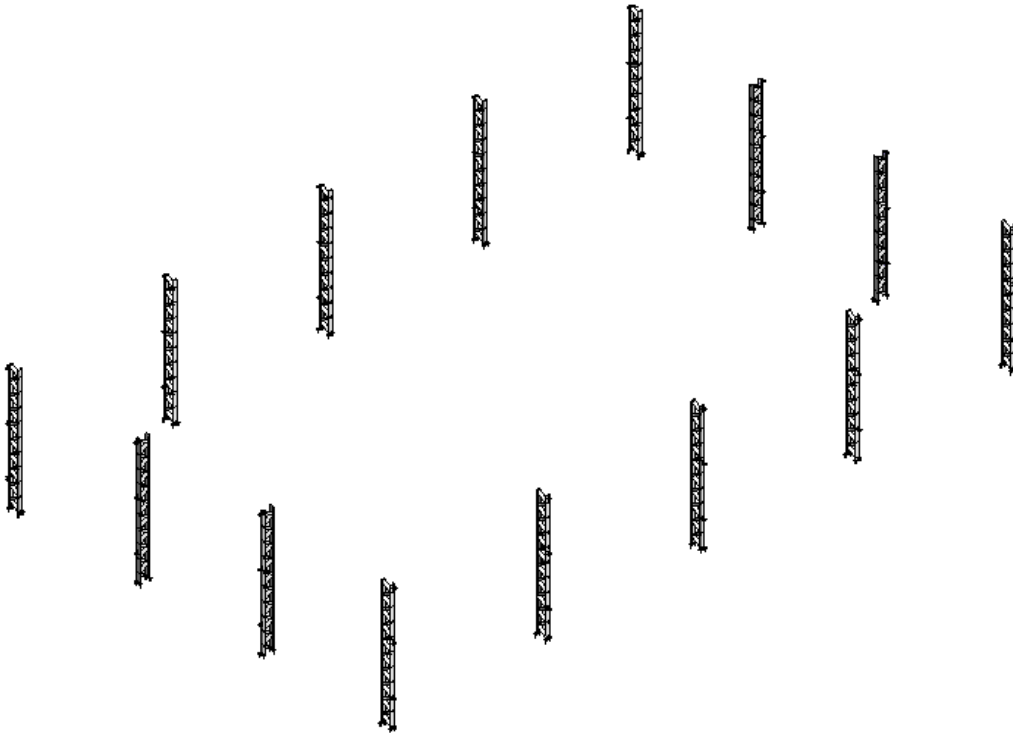
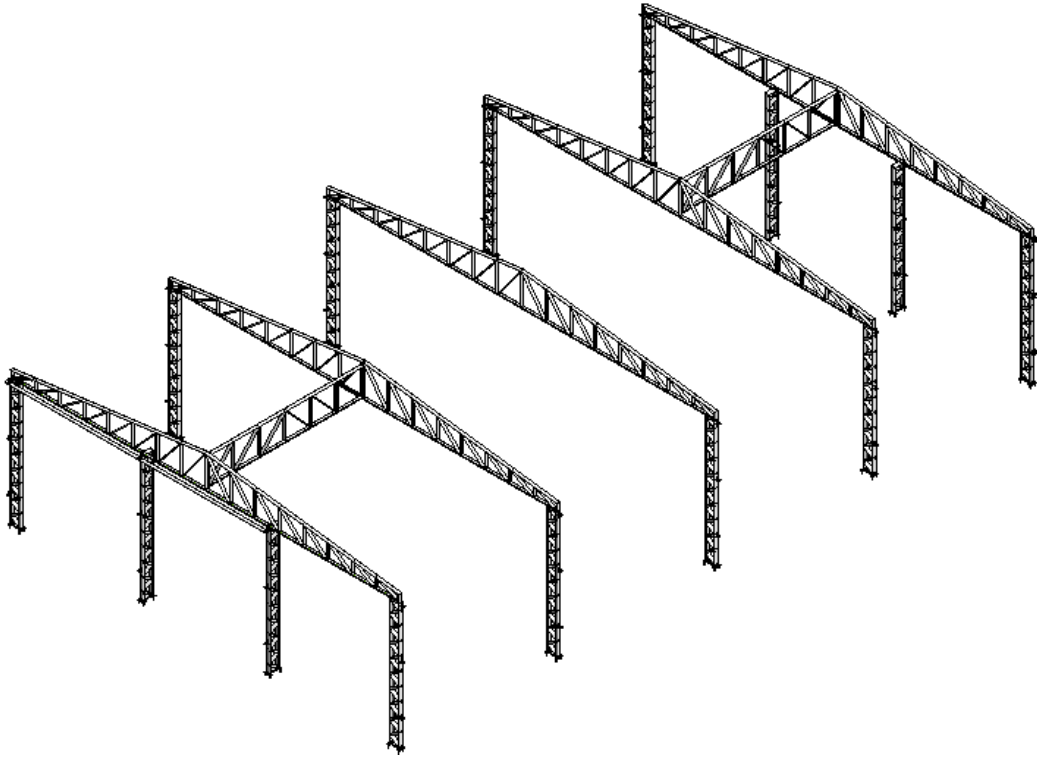


Figura 21 – Pilares treliçados da nave industrial no Revit 2020

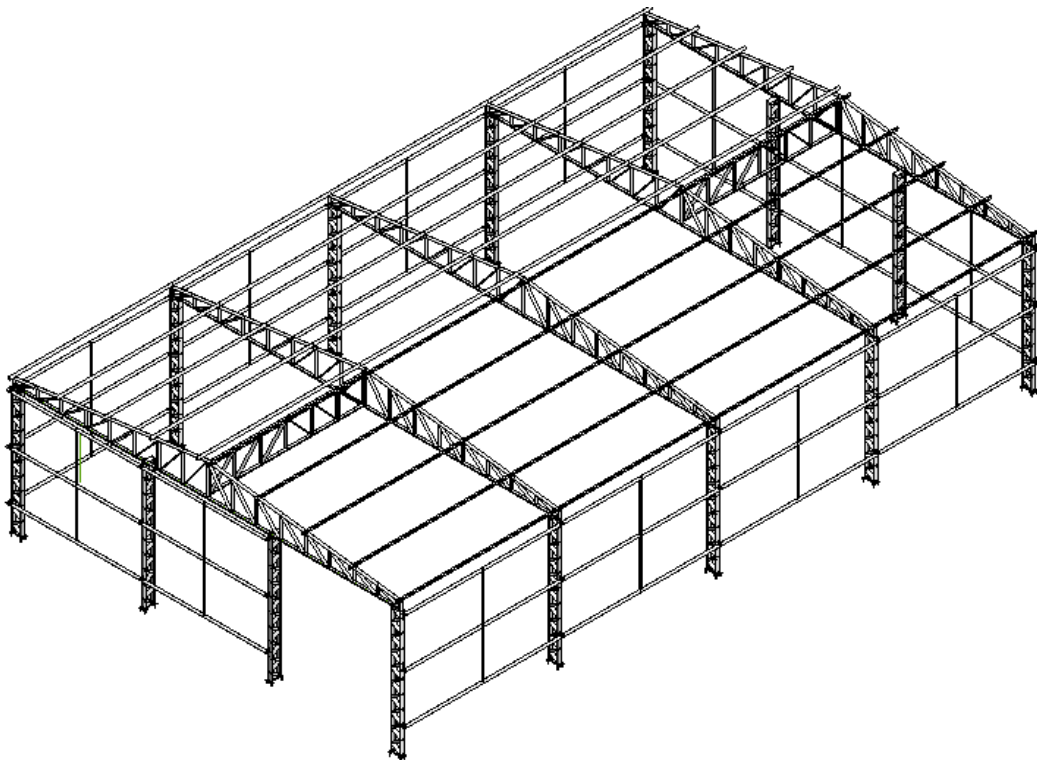
As vigas representam igualmente um conjunto de elementos numa posição fundamentalmente horizontal, dado que são treliçados. As secções dos elementos podem ser escolhidas da base de dados do programa ou, tal como nos pilares, podem ser alteradas as informações para ajustarem-se às necessidades.

Os elementos horizontais são gerados especificando o ponto inicial e de seguida o ponto final. Do mesmo modo, para facilitar a elaboração das vigas treliçadas, é possível criar grupos de elementos para copiar e colar em concordância com a posição. A Figura 22 representa a criação destes elementos.



**Figura 22 – Vigas treliçadas da nave industrial no Revit 2020**

Os elementos relacionados com as madres de cobertura e de fachada, são modelados consoante as secções do projeto como elementos viga, tal como exibido na Figura 23.



**Figura 23 – Madres de cobertura e fachada da nave industrial no Revit 2020**

Os revestimentos de cobertura e fachada não foram modelados com os recursos do programa, porque serão considerados nas cargas a aplicar na estrutura para a verificação da resistência dos elementos. A seguir apresenta a modelação completa na Figura 24.

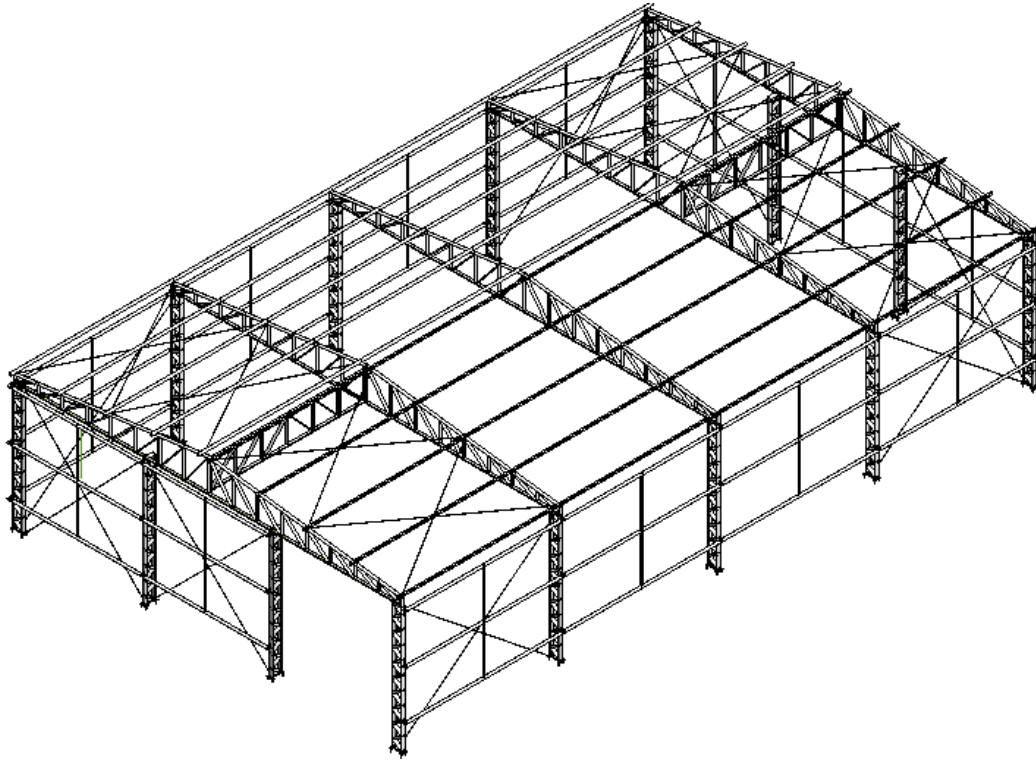


Figura 24 – Vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020

Finalmente, é fundamental conferir e realizar manualmente as alterações do modelo analítico, uma vez que o programa adota uma configuração automática. A Figura 25 apresenta esta configuração no modelo. O modelo analítico não é mais que uma representação do modelo físico que compreende todas as propriedades necessárias para realizar a análise estrutural. Neste ponto o programa permite ajustar os elementos analíticos selecionados com uma série de ferramentas mediante manipulação direta. Do mesmo modo, é possível definir as tolerâncias e critérios para comprovar a coerência do modelo analítico que o *software* automaticamente deteta.

Após a conclusão do ajuste dos elementos analíticos, é importante definir os apoios da estrutura e vínculos analíticos. Estes vínculos analíticos são elementos que conectam dois nós independentes, para simplificar e agilizar a análise estrutural do modelo. Utiliza-se em

situações particulares como por exemplo, para ligar pilares e vigas com diferenças no traçado ou criar lajes com diafragma rígido para simular o efeito da laje.

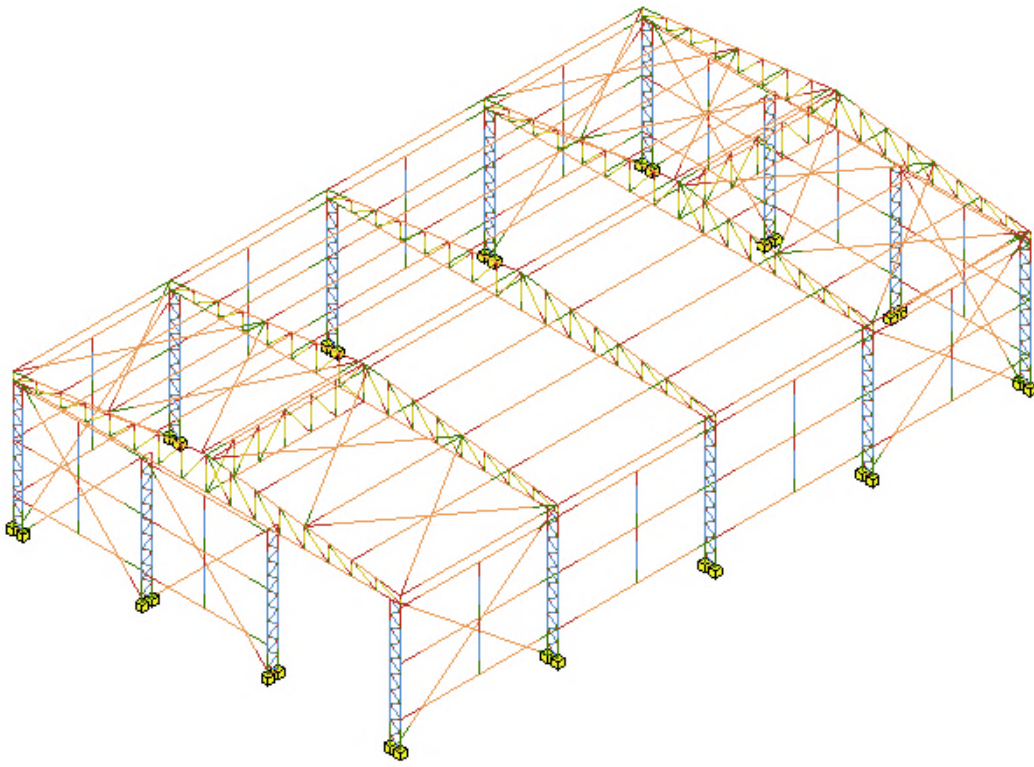
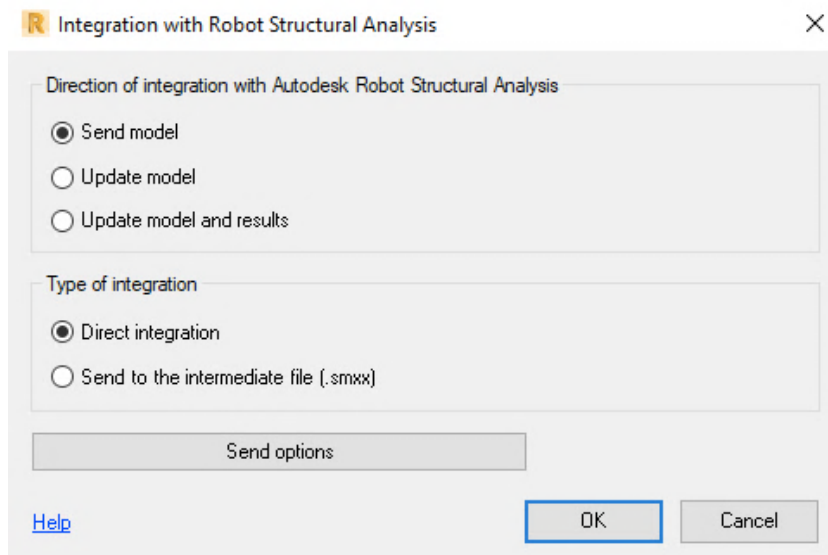


Figura 25 – Vista tridimensional modelo analítico da nave industrial no Revit 2020

Posteriormente é executado a exportação do modelo desde o Revit 2020 para o Robot Structural Analysis 2020, com algumas precauções para melhorar a transferência de informação entre *softwares*. Neste contexto, tratando-se do tipo de interoperabilidade por *links* diretos, a opção “*Send model*” permite criar um modelo novo no programa de destino ou “*Update model*” permite fazer uma atualização do modelo no programa de origem. Além disso, existem outras opções que devem ser selecionadas como “*Ignore self-weight*” para controlar as cargas aplicadas desde o Robot Structural Analysis 2020. A Figura 26 representa as opções de exportação dos elementos no Revit 2020.



**Figura 26 – Opções de exportação dos elementos no Revit 2020**

De seguida, no processo de interoperabilidade consegue deduzir-se que há uma adequada transferência da informação, em relação aos materiais, secções e apoios, conforme foram definidos no modelo analítico do Revit 2020. Para o sucesso desta operação, é de realçar a importância de conferir e realizar manualmente as alterações do modelo analítico.

Após a aplicação das cargas e combinações no Robot Structural Analysis 2020 é executado o cálculo. A Figura 27 apresenta o modelo importado para o cálculo no Robot Analysis 2020.

A verificação da resistência dos elementos apresenta algumas advertências, como a instabilidade tipo 1 quando há um elemento de valor zero na diagonal da matriz de rigidez e a instabilidade tipo 2 quando há um elemento de valor zero na diagonal da matriz de rigidez invertida, que podem ser omitidos, uma vez que as reações, os deslocamentos, os esforços e as tensões comportam-se dentro dos limites estimados.

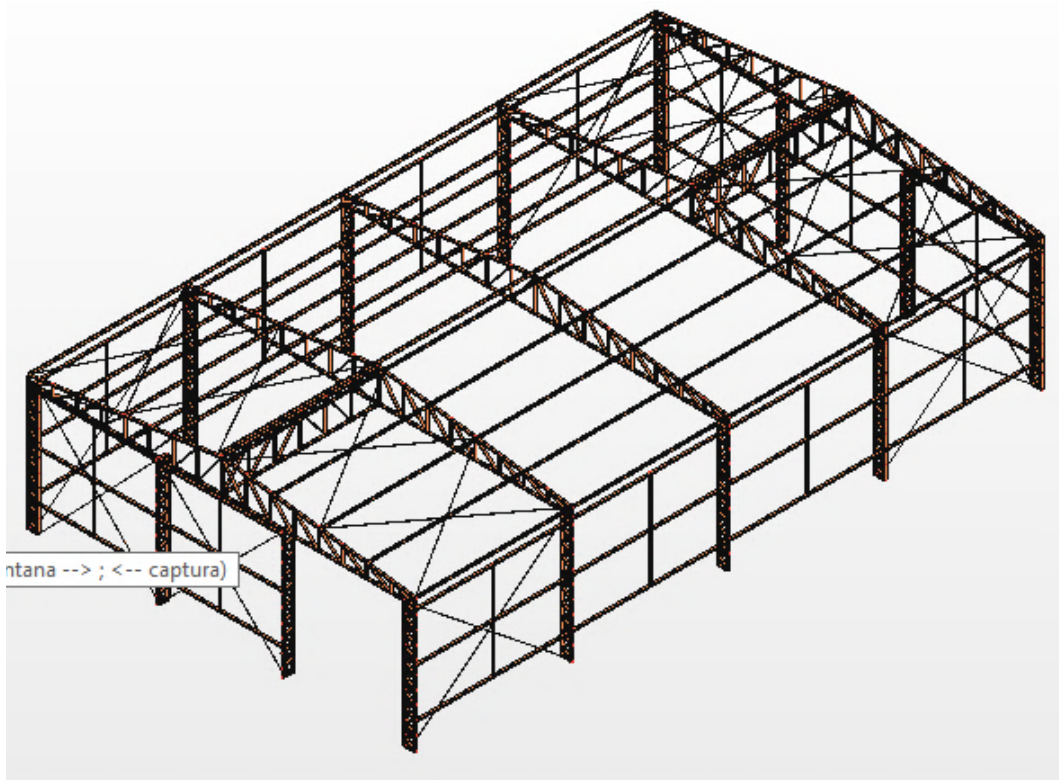


Figura 27 – Vista tridimensional da nave industrial no Robot Structural Analysis 2020

Uma vez que não foram encontrados problemas de interoperabilidades entre o programa de modelação e o programa de cálculo de elementos finitos, prossegue-se com o processo inverso para estudar se neste processo ocorrem esse tipo de problemas.

A transferência de informação pode ser efetuada de duas formas alternativas. A primeira é modificar os elementos no Revit 2020 após a não verificação da resistência e atualizar no Robot Structural Analysis 2020. E a segunda é modificar os elementos no Robot 2020 após a não verificação da resistência e atualizar no Revit 2020. Independentemente do programa de origem, deve ser selecionando nesta ocasião a opção “*Update model*”. Ambas as alternativas foram realizadas e foi verificado que há uma correta troca de informação. A Figura 28 representa as opções de exportação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020.

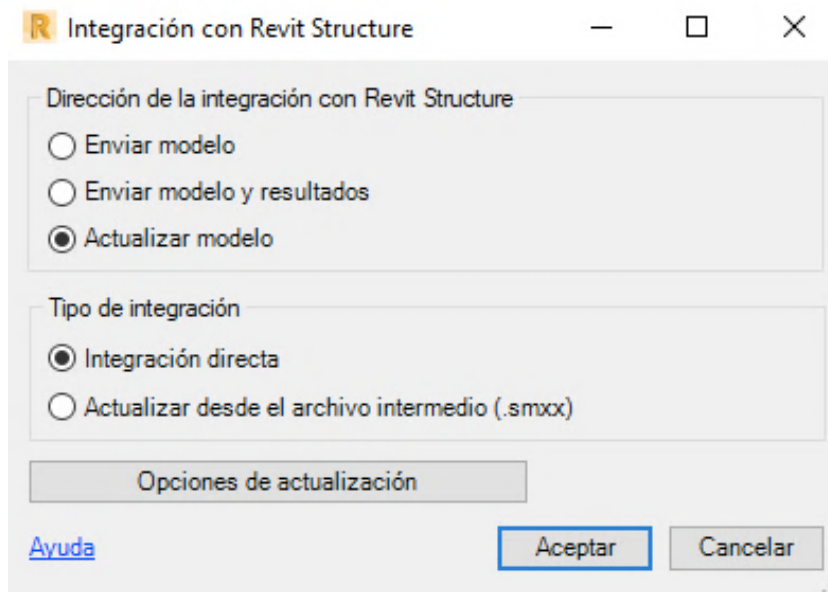


Figura 28 – Opções de exportação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020

Destaca-se que o programa Robot Structural Analysis 2020 não permite a exportação de ficheiros ao formato IFC. Como alternativa permite a exportação de ficheiros para o formato CIS/2, válido unicamente para as estruturas metálicas. No entanto, permite a importação em ambos os formatos.

#### 4.2.2. Modelação das ligações da estrutura metálica

Nesta etapa realiza-se a análise de interoperabilidade entre os *softwares* utilizados previamente, mas neste caso a avaliação é focada nas ligações dos elementos. Alguns aspetos pesam na escolha do sistema de ligação, porque pode tornar a obra mais económica ou ágil.

Do mesmo modo que é fundamental a escolha correta do material a ser empregado nos elementos, a mesma importância deve ter-se com as ligações, dado que são elas que vão determinar o sistema a ser adotado, se é soldado ou parafusado. Esta escolha depende de vários fatores, como por exemplo, as condições de montagem no local da obra, do grau de dificuldade para a fabricação da peça e da padronização das ligações para as vigas, treliças, pilares e contraventos.

Relativamente ao processo de modelação das ligações, inicia-se tendo em conta todos os elementos como pilares, vigas, madres e contraventamentos traçados já no modelo. O Revit 2020 possui um catálogo de ligações relevante, no entanto o programa não possui um

conjunto de ligações que se adaptam ao caso de estudo. Por isso, foram produzidas individualmente as chapas, parafusos, anilhas e porcas, para logo depois se criar um conjunto de ligação dos elementos. A Figura 29 e Figura 30 representam ao detalhe o conjunto destas ligações.

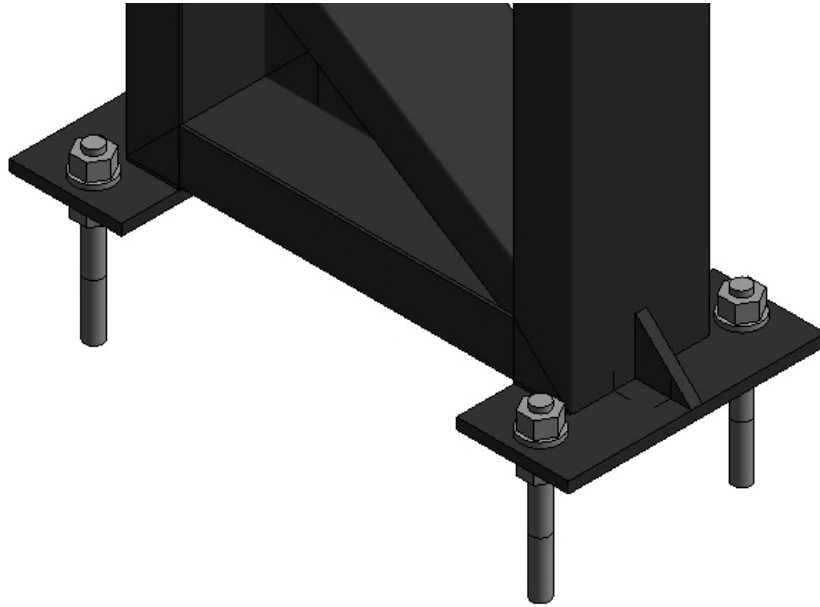


Figura 29 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Revit 2020

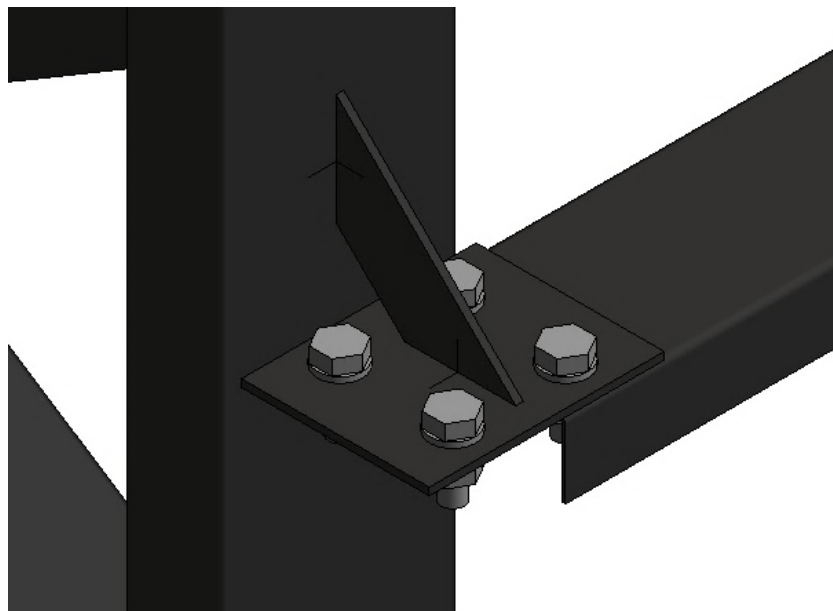
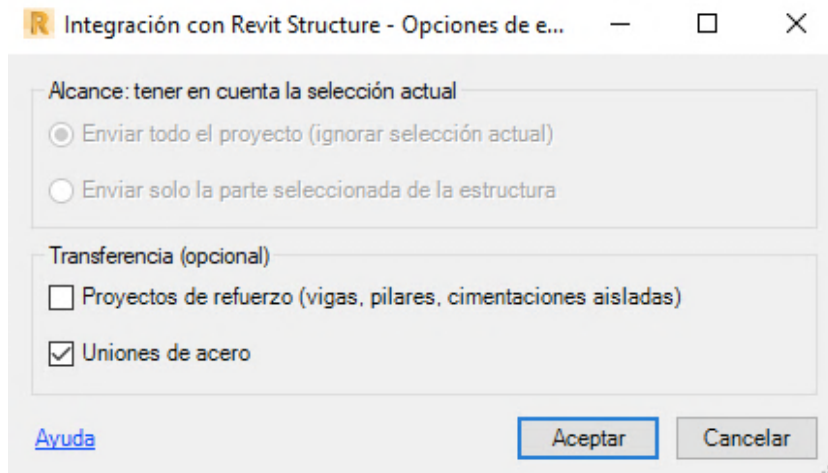


Figura 30 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Revit 2020

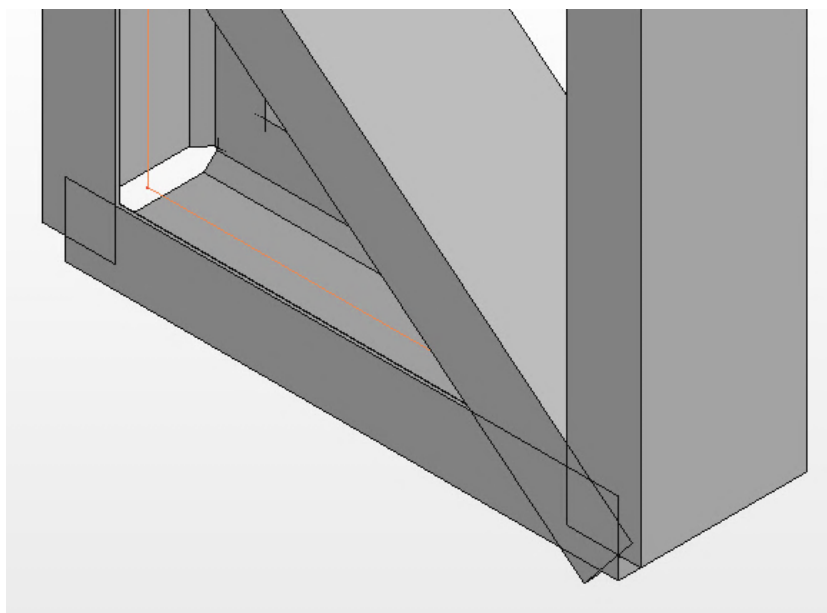
Após a modelação das ligações dos elementos, realizou-se a exportação da mesma forma que foi efetuada anteriormente, mas nesta operação tem que se seleccionar a opção “Steel

*joints*” para atualizar o modelo no Robot Structural Analysis 2020. A Figura 31 apresenta as opções de exportação das ligações no Revit 2020.

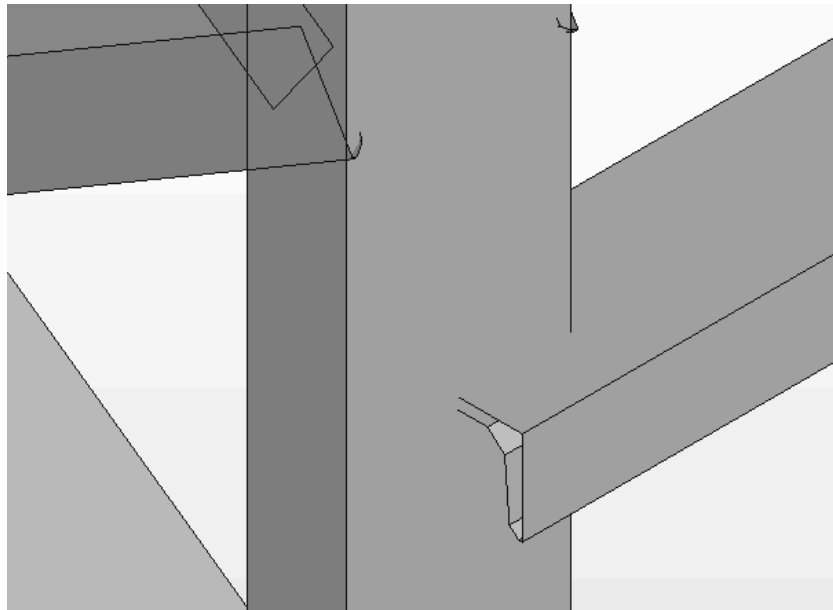


**Figura 31 – Opções de exportação das conexões no Revit 2020**

É possível verificar que a transferência de informação não aconteceu com sucesso, porque o Robot Structural Analysis 2020 não adotou as ligações definidas. Inicialmente chegou-se a pensar que o problema estava no processo de interoperabilidade, no entanto está nas limitações do programa. No Robot Structural Analysis 2020 as ligações estão mais suscetíveis a erros estruturais, pois não reconhece os componentes modelados individualmente como um conjunto da ligação. Nas Figura 32 e Figura 33 é possível visualizar a incompatibilidade das ligações no Robot Structural Analysis 2020.



**Figura 32 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Robot Structural Analysis 2020**



**Figura 33 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Robot Structural Analysis 2020**

Por outro lado, pensou-se em modelar as ligações no programa de cálculo de elementos finitos, apesar de, no que diz respeito a alterações e ajustes no catálogo de ligações que o Robot Structural Analysis 2020 possui, este é muito limitado. Convém referir que este programa calcula a ligação de forma global pelo método das componentes, determinando a capacidade resistente da ligação com base na transição dos esforços nos locais apresentados nesse método.

Consequentemente não foi possível verificar a geometria, parafusos e soldaduras das ligações no Revit 2020. A Tabela 1 apresenta o resumo de interoperabilidade entre Revit 2020 e o Robot Structural Analysis 2020.

Tabela 1 – Resumo de interoperabilidade entre Revit 2020 | Robot Structural Analysis 2020

Resumo Revit 2020   Robot Structural Analysis 2020						
Ensaio	Origem	Destino	Informação de Origem		Informação de Destino	
1	Revit 2020	Robot Structural Analysis 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
2	Robot Structural Analysis 2020	Revit 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●
3	Revit 2020	Robot Structural Analysis 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	✓	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
4	Robot Structural Analysis 2020	Revit 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●

Informação de Origem: ✓ Introduzida; × Não Introduzida  
Informação de Destino: ● Transferida; ● Parcialmente transferida; ● Não transferida; ● Sem aplicação

### 4.3. Interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i e Robot Structural Analysis 2020

#### 4.3.1. Modelação dos elementos da estrutura metálica

Neste ponto vai-se utilizar o Tekla Structures 2019i e Robot Structural Analysis 2020 para realizar a mesma verificação prévia de interoperabilidade entre os programas. Antes de tudo, a transferência da informação não vai ser possível por *links* diretos entre os *softwares* pela falta de compatibilidade entre fabricantes. Após o contato com o fabricante Trimble, foi comunicado que existe um *plug-in* criado para interagir entre estas duas plataformas. Infelizmente encontra-se unicamente na versão profissional.

Como primeira impressão do *software* de modelação, graficamente apresenta uma boa performance e produtivamente é bastante eficiente, porque o programa permite gerar plantas e pormenores automáticos para a fabricação e montagem da estrutura metálica.

Todos os elementos da estrutura metálica foram modelados conforme as plantas e pormenores fornecidos. Seguidamente irá mostrar-se a sequência de criação do modelo.

A grelha ajuda no processo de modelação visto que permite a localização dos elementos. De modo igual ao caso anterior, decidiu-se criar uma grelha que se encontrasse no eixo dos pilares da nave industrial para facilitar a colocação. Como se pode observar na Figura 34.

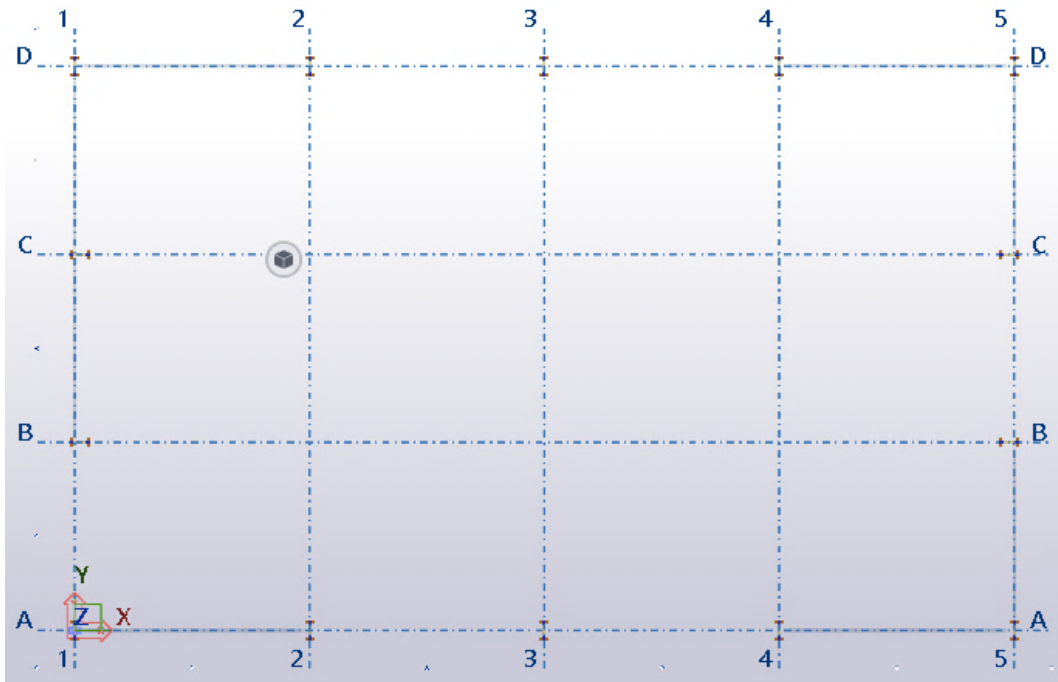


Figura 34 – Grelha da nave industrial no Tekla Structures 2019i

Os pilares por serem treliçados correspondem a um conjunto de elementos numa posição vertical. Do mesmo modo que a primeira análise, as secções dos elementos podem ser escolhidas da base de dados do *software*, ou similarmente podem ser alteradas as informações para adaptar-se às exigências.

Os elementos verticais são concebidos igualmente especificando a sua altura e indicando o seu ponto de arranque. Analogamente, os elementos diagonais são produzidos especificando o ponto inicial e o ponto final. Para simplificar a composição dos pilares treliçados, é possível gerar grupos de elementos para copiar e colar em concordância com a posição dos eixos. O resultado é representado na Figura 35.

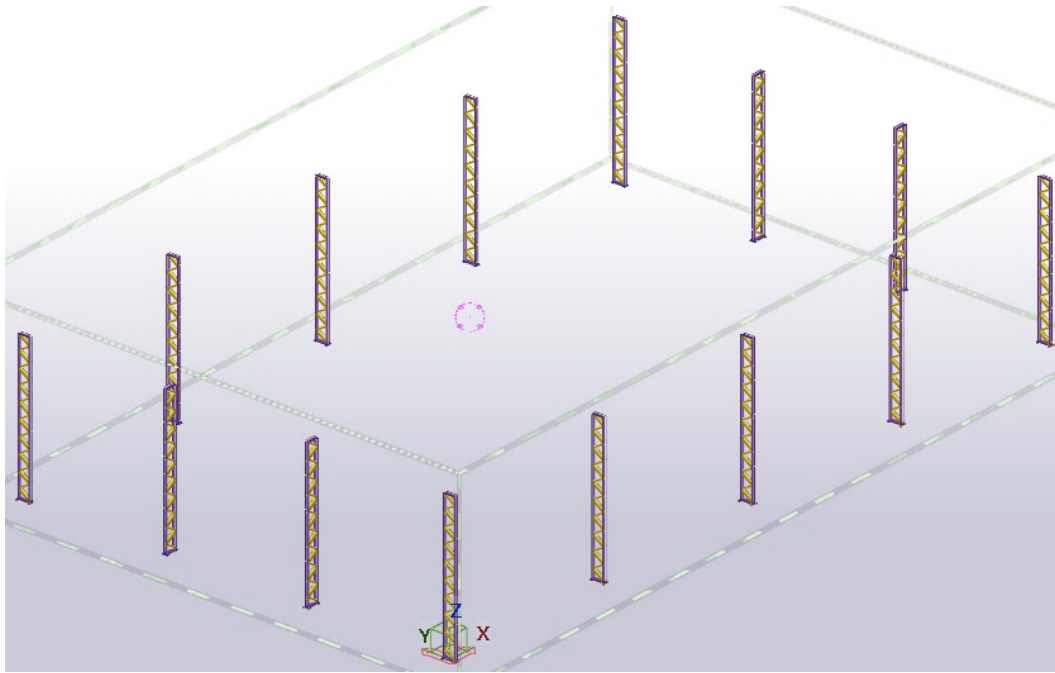


Figura 35 – Pilares treliçados da nave industrial no Tekla Structures 2019i

As vigas por serem treliçadas, correspondem identicamente a um conjunto de elementos numa posição horizontal. Do mesmo modo que a primeira análise, as secções dos elementos podem ser escolhidas da base de dados do *software*, ou também podem ser alteradas as informações para adaptarem-se às exigências.

Os elementos horizontais são concebidos igualmente especificando o ponto inicial e o ponto final. Para simplificar a elaboração das vigas treliçadas, é possível gerar grupos de elementos para copiar e colar em consonância com a posição. A Figura 36 apresenta o resultado desta fase da modelação.

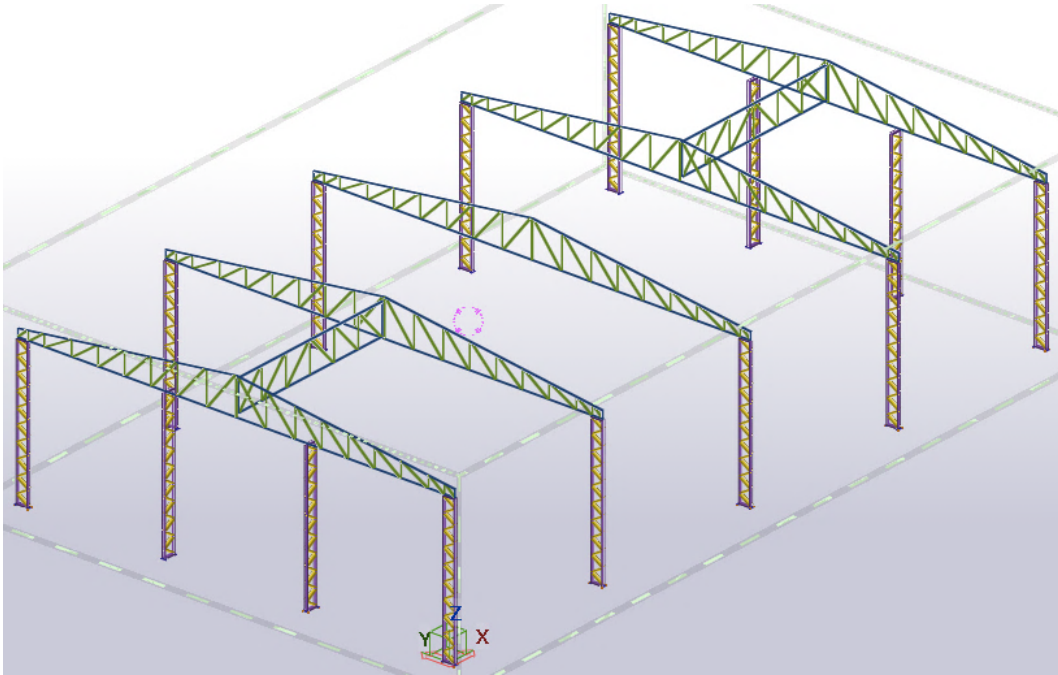


Figura 36 – Vigas treliçadas da nave industrial no Tekla Structures 2019i

Os elementos referentes às madres de cobertura e de fachada são modelados segundo as secções do projeto como elementos viga. A Figura 37 exhibe estes elementos modelados.

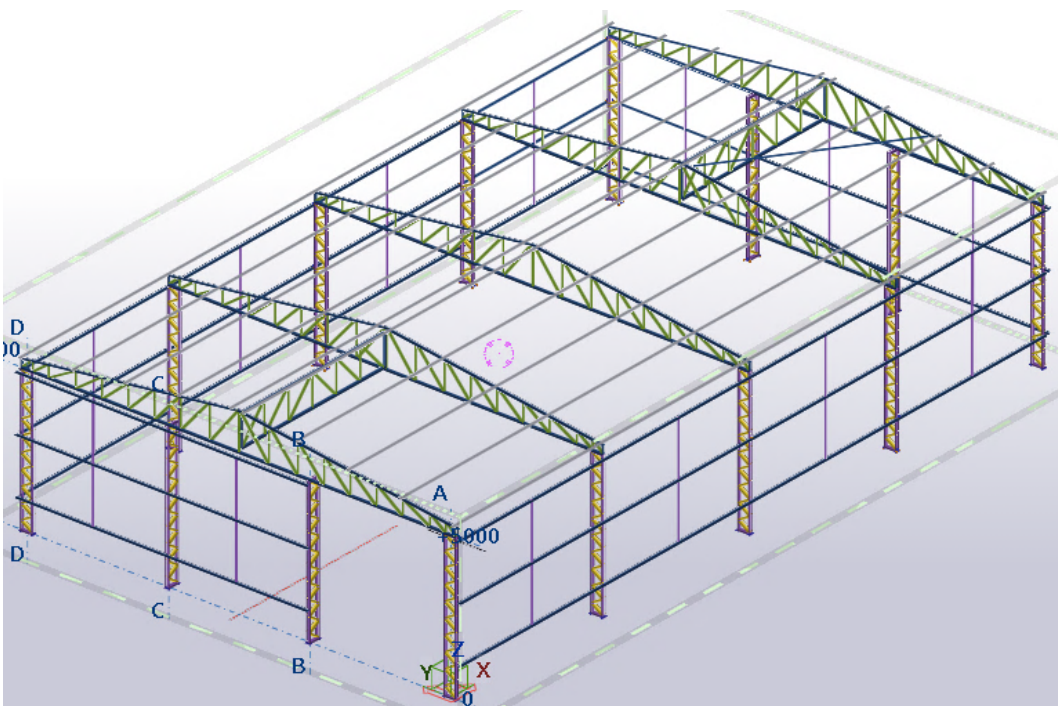


Figura 37 – Madre de cobertura e fachada da nave industrial no Tekla Structures 2019i

De igual modo, os revestimentos de cobertura e fachada não foram modelados no programa de modelação, porque serão estimados nas cargas a aplicar na estrutura para a

verificação da resistência dos elementos. A modelação dos elementos no Tekla Structures 2019i foi efetuada conforme as mesmas plantas e pormenores. A Figura 38 ilustra o resultado final.

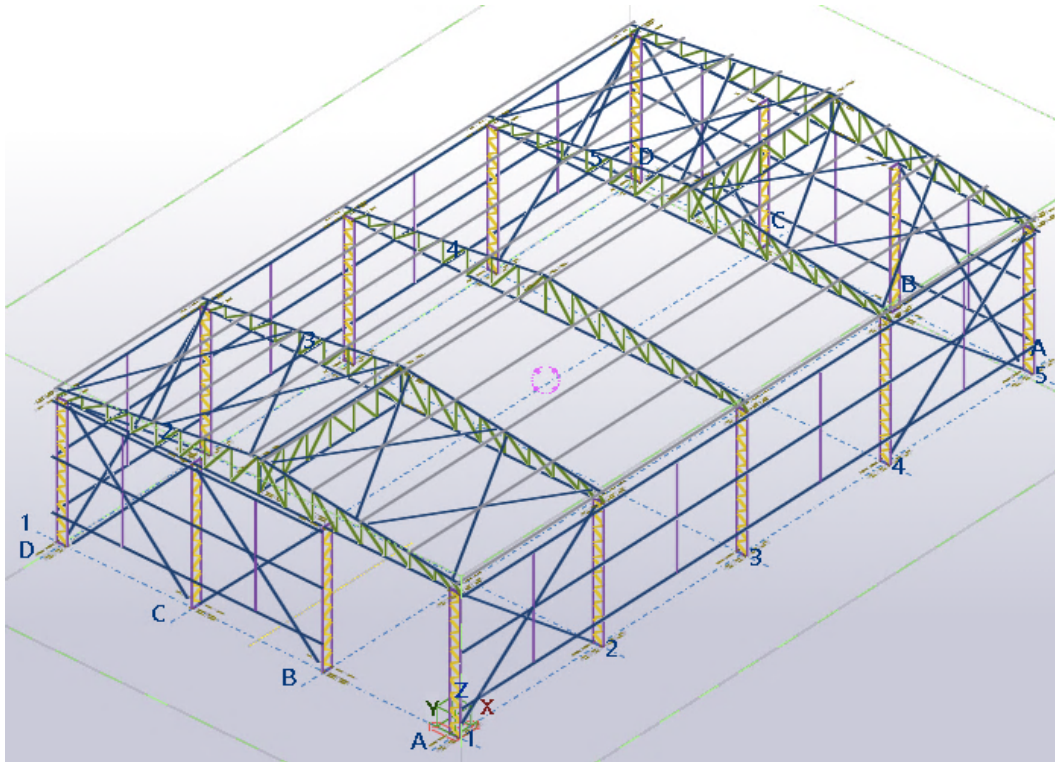


Figura 38 – Vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2019i

De seguida, é importante a verificação do modelo analítico, mas contrariamente ao Revit 2020, o *software* admite verificar e alterar manualmente o modelo analítico somente nos procedimentos de interoperabilidade por *links* diretos. Contudo, uma vez que os *links* diretos só estão disponíveis para as licenças profissionais, não é possível definir neste trabalho tolerâncias e critérios para comprovar a coerência do modelo analítico que o programa automaticamente adota para realizar a análise estrutural.

O mesmo acontece com os vínculos analíticos, pois estes tipos de ajustes só podem ser realizados depois do processo de exportação do modelo. Especialmente no Tekla Structures 2019i, os vínculos analíticos adotam automaticamente propriedades, como o tipo de perfil, material, densidade, módulo de elasticidade e coeficiente de dilatação térmica, para não permitir o movimento relativo entre os nós.

Resultante da adversidade da interoperabilidade por *links* diretos, é realizado o processo de exportação para outros formatos compatíveis em ambos programas. Em primeiro lugar, partindo do princípio de que o formato CIS/2 foi concebido para o campo das estruturas metálicas, foi esta a primeira opção para realizar a avaliação. Contudo, o processo de transferência da informação não decorre conforme se presumia, já que o *software* indica erros no programa. Em segundo lugar, e tendo em conta que o formato IFC é padrão universal no contexto de interoperabilidade, foi utilizado este formato para a análise seguinte. Apesar disso o *software* continua a apresentar falhas de transferência da informação. Finalmente, depois de se realizarem vários testes para encontrar o formato que melhor se adapta com os objetivos de interoperabilidade, chegou-se à conclusão de que os formatos DWG ou DWF são os únicos que evidenciam uma correta configuração dos elementos. A Figura 39 apresenta as opções de exportação no Tekla Structures 2019i.

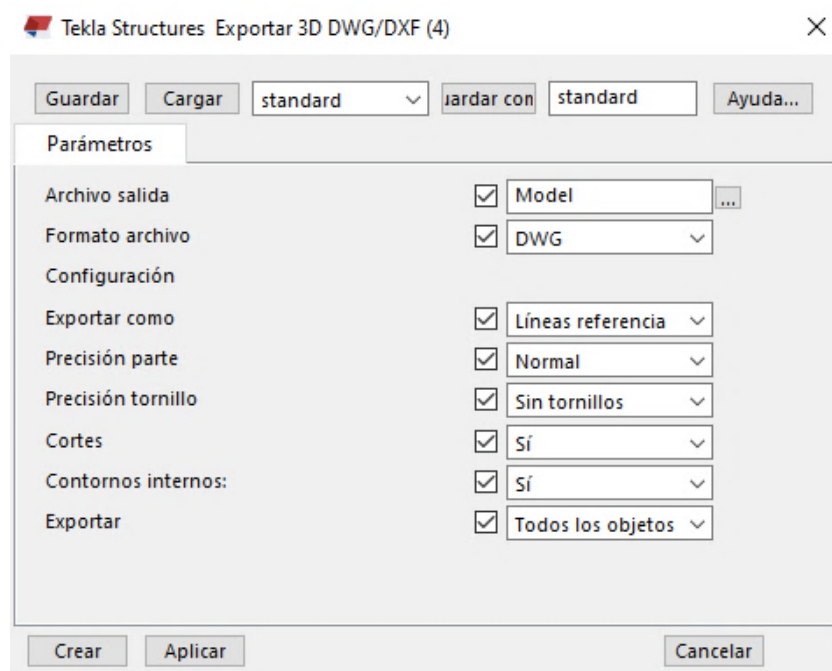


Figura 39 – Opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i

Nesta circunstância o Tekla Structures 2019i não possibilita selecionar a opção de criar ou atualizar um modelo, pelo que condiciona que o projeto seja atualizado manualmente à posterior da verificação da resistência dos elementos. Em relação à aplicação das cargas e combinações no modelo, embora seja possível no Tekla Structures 2019i, esta não é uma opção considerada interessante. Isto porque o *software* não possui os meios para aplicar cargas dinâmicas, pelo que não representa um valor acrescentado.

Seguidamente ao processo de exportação no Robot Structural Analysis 2020, e tal como foi mencionado anteriormente, o programa reconhece corretamente a localização dos elementos. No entanto, verificou-se que há problemas de interoperabilidade, porque o *software* não identifica as características das barras, como por exemplo os apoios, os materiais e as secções. Na procura da origem do problema, encontrou-se que o formato tem alguma restrição quanto à informação a exportar, porque ele adota unicamente as linhas de referência dos elementos. Na Figura 40 é possível visualizar as condições de importação do Robot Structural Analysis 2020.

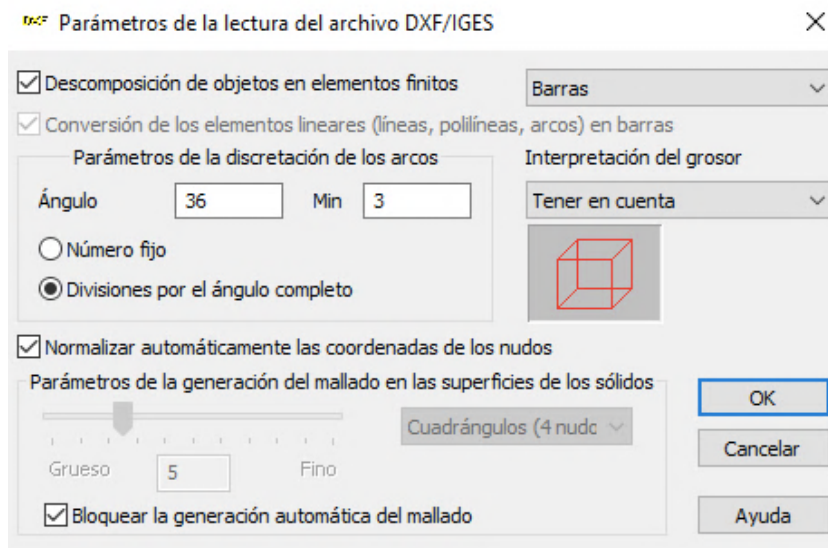


Figura 40 – Opções da importação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020

Assim, é preciso introduzir toda a informação em falta nos elementos manualmente, de modo a completar a informação necessária para executar o programa de cálculo de elementos finitos e verificar a resistência dos elementos. Contrariamente aos casos dos apoios e dos materiais, as secções devem ser elaboradas mediante a ferramenta “*Section definition*” já que o Robot Structural Analysis 2020 não dispõe destas secções do projeto.

Destaca-se que o tipo de formato a utilizar assume um papel muito importante para estudar o grau de interoperabilidade entre programas, visto que alguns formatos de exportação não são compatíveis com o *software* de destino e outros fazem a transferência da informação parcialmente. Consequentemente isto faz com que exista a necessidade de realizar cópias manuais toda as vezes que o modelo muda de plataforma, o que num projeto de grande tamanho, conduz a erros, trabalho repetido e prejudica a qualidade das soluções do projeto encontradas. A Figura 41 representa a interoperabilidade final.



**Figura 41 – Vista tridimensional da nave industrial no Robot Structural Analysis 2019i**

Logo depois é possível continuar com o mesmo processo preliminar no programa com a aplicação das cargas e combinações. O Robot Structural Analysis 2020 manifesta algumas advertências de instabilidade que podem ser ignoradas, pelo facto de que as reações, os deslocamentos, os esforços e as tensões comportam-se dentro dos limites esperados.

Uma vez que foram identificadas algumas dificuldades na transferência de informação do programa de modelação para o programa de cálculo de elementos finitos, avança-se inversamente com o processo de interoperabilidade do Robot Structural Analysis 2020 para o Tekla Structures 2019i. A Figura 42 ilustra as opções de exportação do Robot Structural Analysis 2020, a fim de verificar nesta direção se o processo consegue manter o conjunto de dados importantes do modelo.

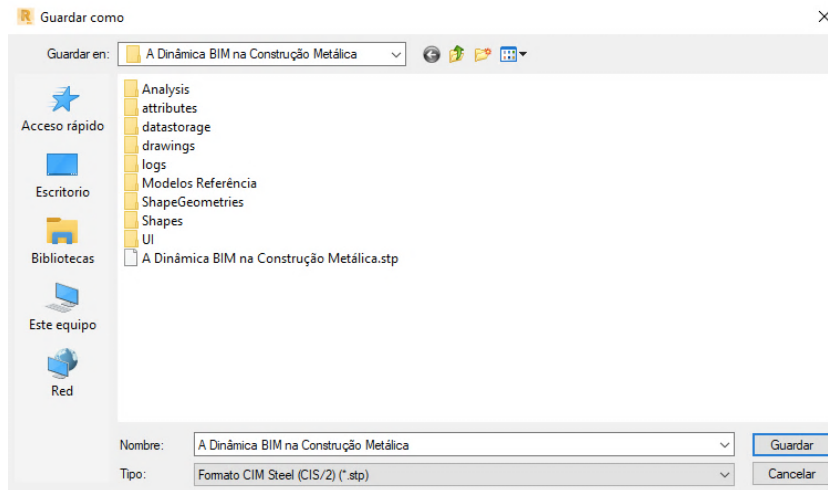


Figura 42 – Opções de exportação dos elementos no Robot Structural Analysis 2020

Inicialmente, obedecendo à mesma lógica dos inconvenientes encontrados nos formatos previamente utilizados, foi exportado o modelo nos formatos DWG e DWF. Lamentavelmente o Tekla Structures 2019i não identifica os ficheiros. Seguidamente foi utilizado o formato CIS/2, porque facilita a troca de dados entre *softwares* especialmente de estrutura metálica, conforme já mencionado anteriormente. A Figura 43 exhibe as opções de importação deste formato no Tekla Structures.

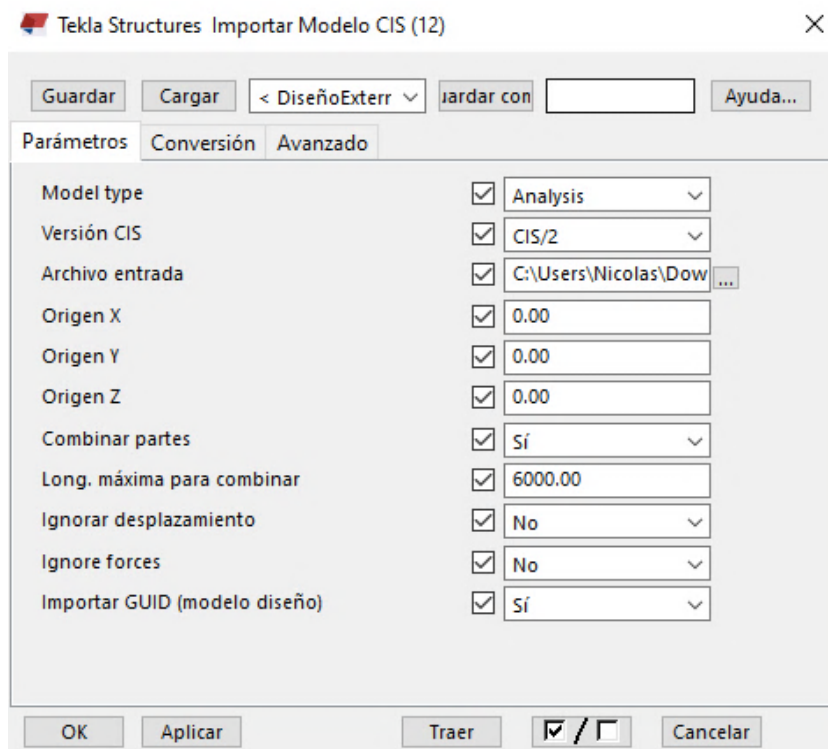


Figura 43 – Opções de importação dos elementos no Tekla Structures 2019i

Inesperadamente o programa identifica a informação quer dos materiais, quer as secções, completa sem variações. O modelo exportado do Tekla Structural Analysis 2019i assume uma sobreposição dos elementos, conforme foi construído no modelo analítico do Robot Structural Analysis 2020 para facilitar a análise da resistência dos elementos. No entanto, facilmente o *software* de modelação permite mexer os elementos para ser coerente com os planos de fabricação e montagem.

Isto confirma a importância do formato para a gestão de informação e na partilha de dados. Evidentemente quando tentou-se utilizar o formato CIS/2 anteriormente, o Robot Structural Analysis 2020 não identificava este formato como ficheiro de importação do programa de modelação, mas, ao invés, o Tekla Structures 2019i reconhece a informação proveniente do *software* de cálculo de elementos finitos. A Figura 44 representa o modelo final após a interoperabilidade.

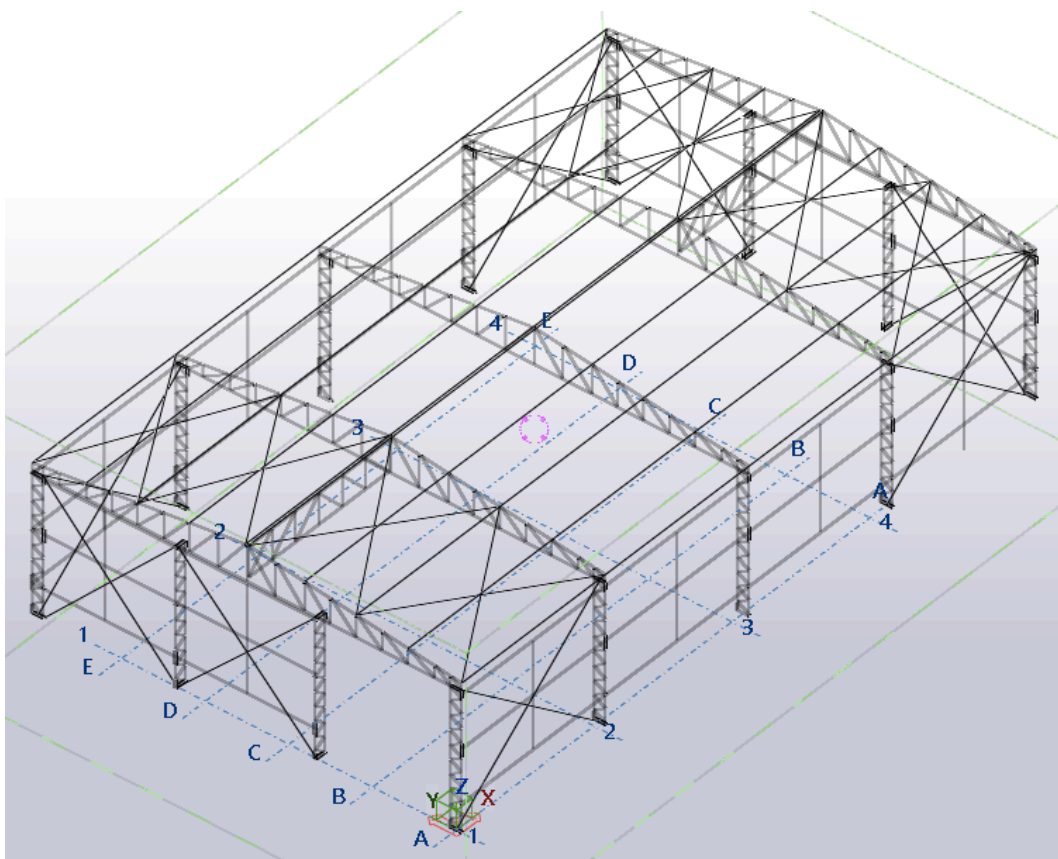


Figura 44 – Vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2020

### 4.3.2. Modelação das ligações da estrutura metálica

Neste ciclo verifica-se a análise de interoperabilidade das ligações entre os elementos nos programas utilizados antecipadamente. As ligações convêm ser estudadas com minúcia, pelo facto de que estão diretamente relacionadas com o modo de transporte, fabricação e montagem.

A escolha de um sistema ou outro de ligação, depende propriamente do acesso em obra. Tipicamente evita-se realizar soldadura em obra, porque, para além de ser pouco rentável em termos de tempo gasto, o acabamento não fica do mesmo modo do que quando é feito em fábrica, com um ambiente mais controlado.

Alusivo ao desempenho das ligações no Tekla Structures 2019i, o programa possui um catálogo muito completo em relação às ligações, isto é, uma vez que o *software* está muito focado na área da construção metálica. Para atingir o objetivo desta dissertação, as ligações são modeladas com cada uma das componentes em separado: chapas, parafusos, anilhas e porcas, de modo a formar o conjunto da ligação. Nas Figura 45 e Figura 46 exibem ao detalhe os conjuntos destas ligações.

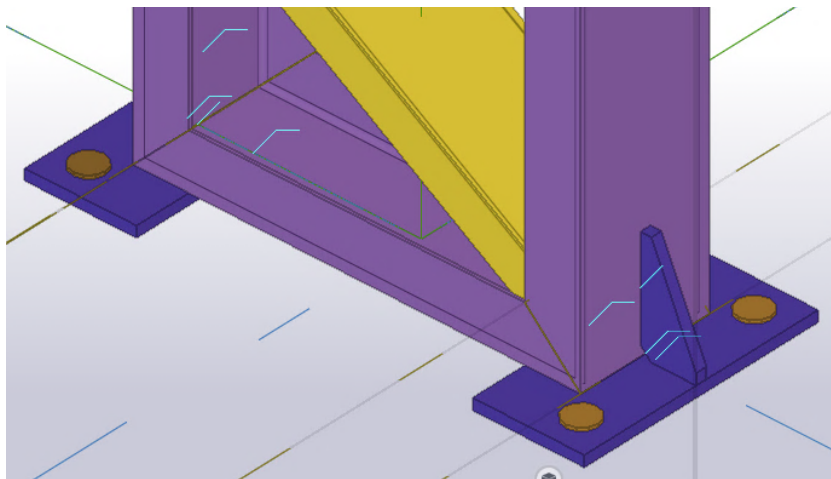
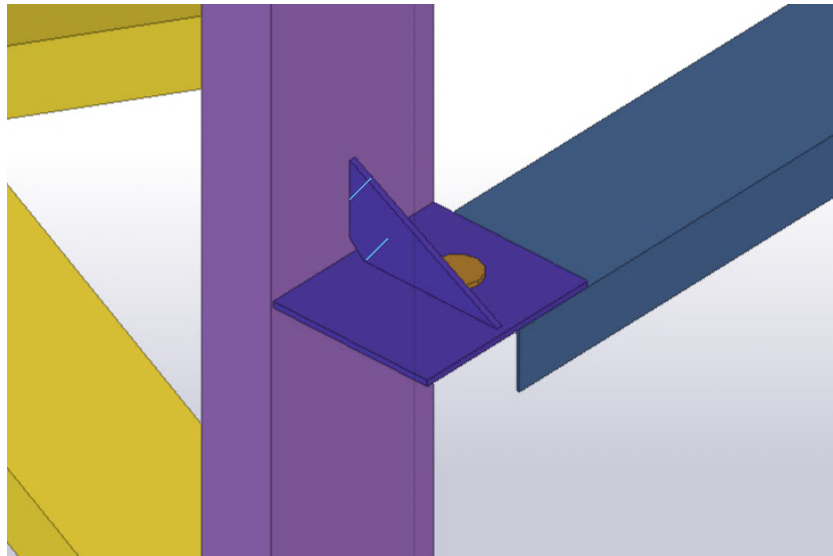


Figura 45 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Tekla Structures 2019i



**Figura 46 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Tekla Structures 2019i**

O Tekla Structures 2019i, em termos das ferramentas disponíveis para a modelação, é um programa muito simples, mas também muito eficiente, pelo que para trabalhar apresenta uma maior vantagem em comparação com o Revit 2020. Para começar, o programa é muito intuitivo pelas ferramentas que apresenta, pelo que o utilizador não precisa mais que essas opções para iniciar a modelação e, para além disso, dispõe de muitas outras opções anexas para minimizar o tempo de trabalho.

Posterior à modelação das ligações dos elementos, foi realizado a exportação utilizando os mesmos formatos DWG ou DWF utilizado no capítulo 4.3.1. A Figura 47 exhibe as opções de exportação no Tekla Structures 2019i.

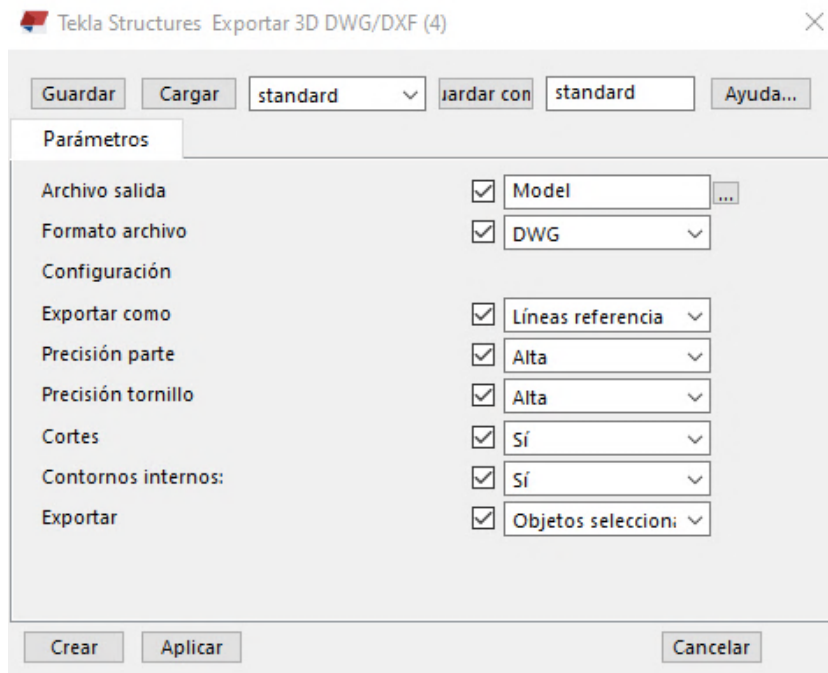


Figura 47 – Opções de exportação das conexões no Tekla Structures 2019i

Contudo, dentro da matriz de informação própria do formato, só integra as linhas de referência dos elementos. Ao executar a interoperabilidade com Robot Structural Analysis 2020, o programa adota os conjuntos de ligações como barras sem as características definidas.

Como foi referido anteriormente, chegou-se a pensar que o obstáculo estava no processo de interoperabilidade, mas encontra-se na restrição do formato, porque esta extensão não apreende a informação geométrica dos elementos, e identifica as ligações como barras e não como um conjunto de peças que garante estruturalmente a estabilidade do nó. As Figura 48 e Figura 49 verifica a incompatibilidade dos programas de interoperabilidade.

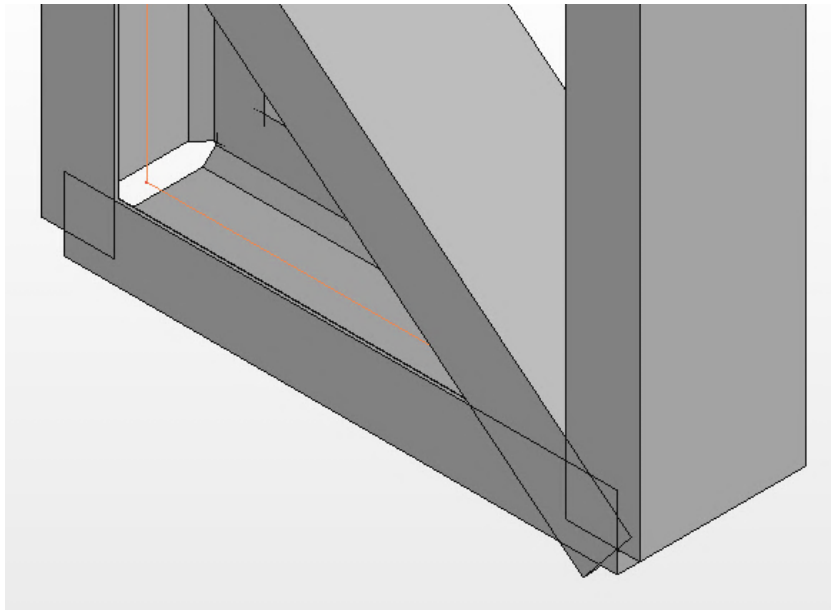


Figura 48 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Robot Structural Analysis 2020

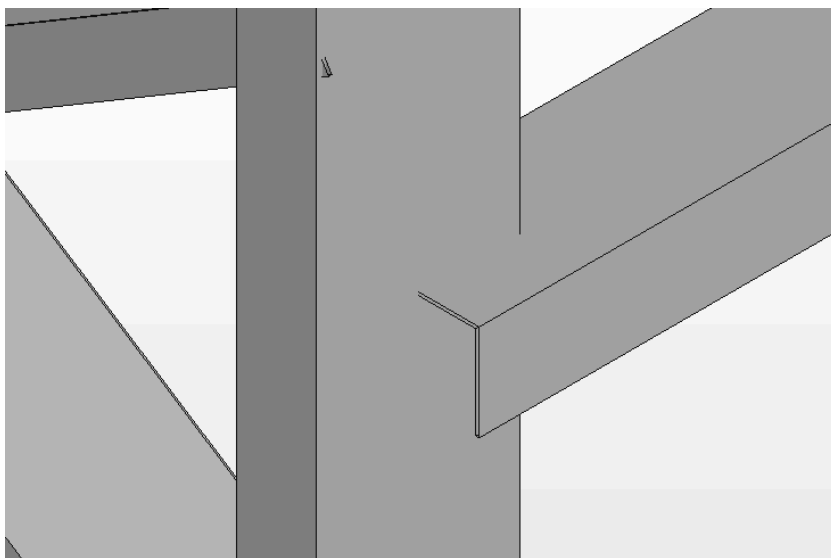


Figura 49 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Robot Structural Analysis 2020

De outro modo, foi realizado o mesmo procedimento de forma inversa. Apesar de que o objetivo ser o de comparar o nível de interoperabilidade entre os programas, alguns *softwares* têm certas restrições quanto à capacidade de modelação dos elementos com geometrias que não se encontram nos catálogos próprios. E neste enquadramento o Robot Structural Analysis 2020 possui muitas limitações para a modelação e a verificação de ligações metálicas, sejam soldadas ou aparafusadas, ou considerando um modelo de material elástico-plástico para todos os elementos.

Por fim, não foi possível verificar em termos de geometria os parafusos e as soldaduras das ligações no Tekla Structures 2019i. A Tabela 2 apresenta o resumo de interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i e o Robot Structural Analysis 2020.

**Tabela 2 – Resumo interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i | Robot Structural Analysis 2020**

Resumo Tekla Structures 2019i   Robot Structural Analysis 2020						
Ensaio	Origem	Destino	Informação de Origem		Informação de Destino	
1	Tekla Structures 2019i	Robot Structural Analysis 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
2	Robot Structural Analysis 2020	Tekla Structures 2019i	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●
3	Tekla Structures 2019i	Robot Structural Analysis 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	✓	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
4	Robot Structural Analysis 2020	Tekla Structures 2019i	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●

Informação de Origem: ✓ Introduzida; × Não Introduzida  
 Informação de Destino: ● Transferida; ● Parcialmente transferida; ● Não transferida; ● Sem aplicação

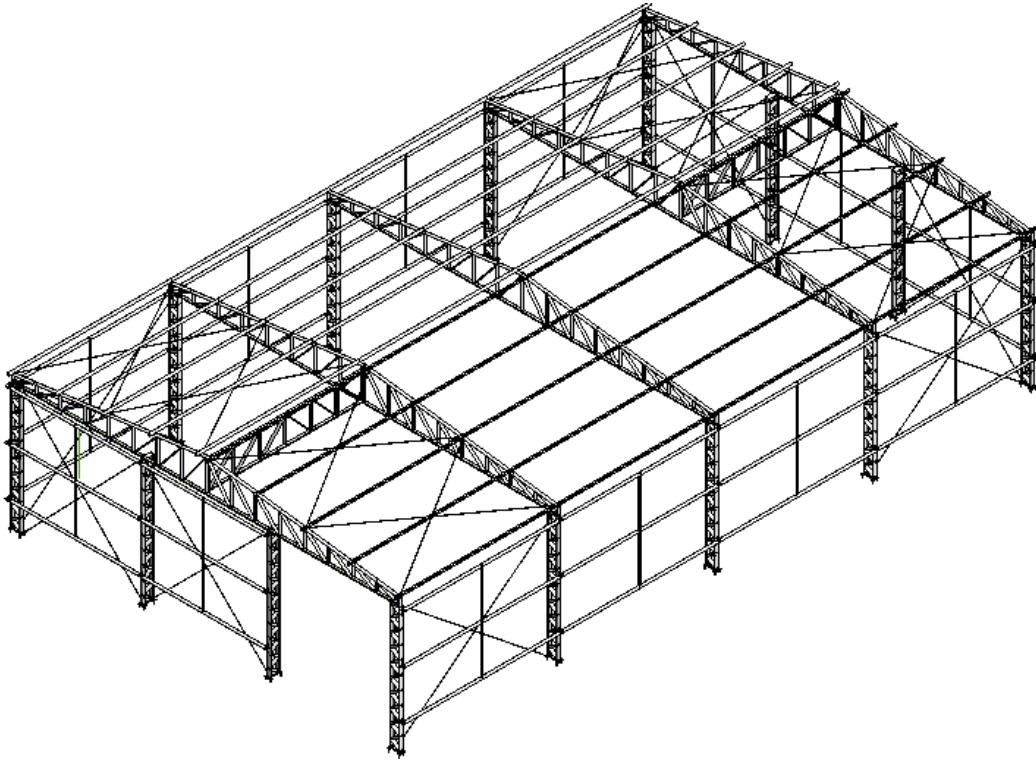
## 4.4. Interoperabilidade entre Revit 2020 e SAP2000 v21.1.0

### 4.4.1. Modelação dos elementos da estrutura metálica

Neste ponto vai-se utilizar o Revit 2020 e SAP2000 v21.1.0 para estudar o grau de interoperabilidade entre um e o outro programa. É importante evidenciar que o fabricante CSI dispõe de um *plug-in* titulado CSIXRevit para permitir a transferência da informação entre programas por *links* diretos. É uma ferramenta que promove a interoperabilidade entre as especialidades que envolve um projeto e permite a transferência da informação a outros programas além do *software* a utilizar nesta análise.

Em termos do processo de modelação dos elementos, a metodologia é exatamente igual ao processo já descrito. Tal como exhibe na Figura 50. Pelo que se optou por utilizar o modelo

anterior para fazer a transferência da informação. Apesar de se estar a utilizar o mesmo ficheiro, com provas dadas de estar bem modelado, para realizar esta etapa da dissertação é importante ter-se em conta as recomendações do manual do *plug-in* para garantir um processo ótimo.



**Figura 50 – Vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020**

Após se verificar novamente o modelo completo, é realizado a exportação dos elementos desde o Revit 2020 para o SAP2000 v21.1.0, com as adequadas considerações do manual do CSIXRevit. Este *plug-in* permite selecionar as opções “*Export to Create New*” para criar um modelo novo a partir do programa de origem ou “*Export to Update Existing*” para realizar uma atualização do modelo no programa de destino. Por outro lado, permite ter o controlo total da informação que se pretende transferir e adicionalmente têm a opção de exportar para versões inferiores à atual. A Figura 51 representa as opções de exportação dos elementos no Revit 2020.

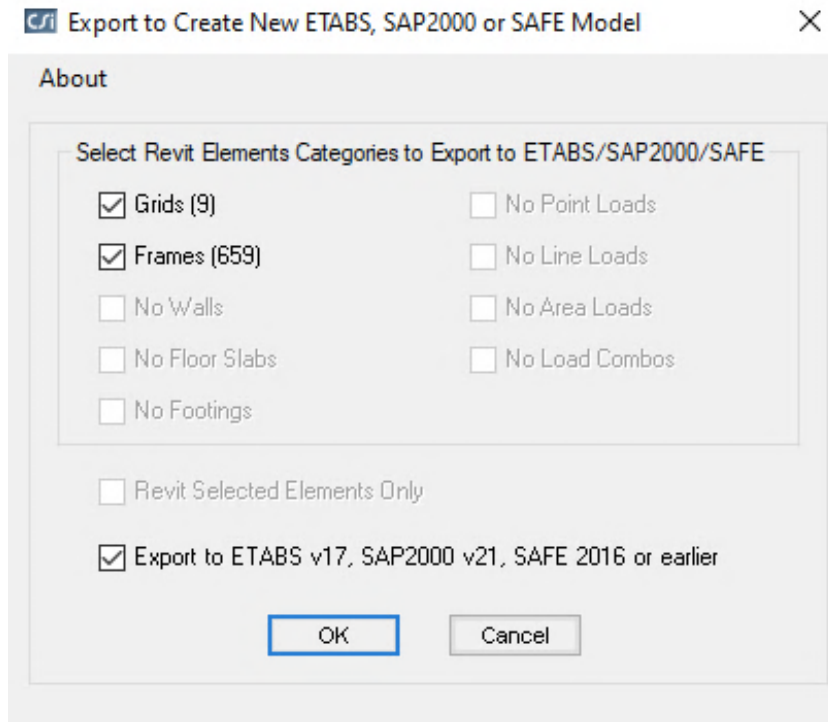


Figura 51 – Opções da exportação dos elementos no Revit 2020

Posteriormente ao processo de interoperabilidade do Revit 2020, o *plug-in* gera um ficheiro singular que não foi referido anteriormente no enquadramento teórico desta dissertação. Trata-se do formato *OpenEXR* (ERX). A Figura 52 apresenta as opções de importação dos elementos no SAP2000 v21.1.0.

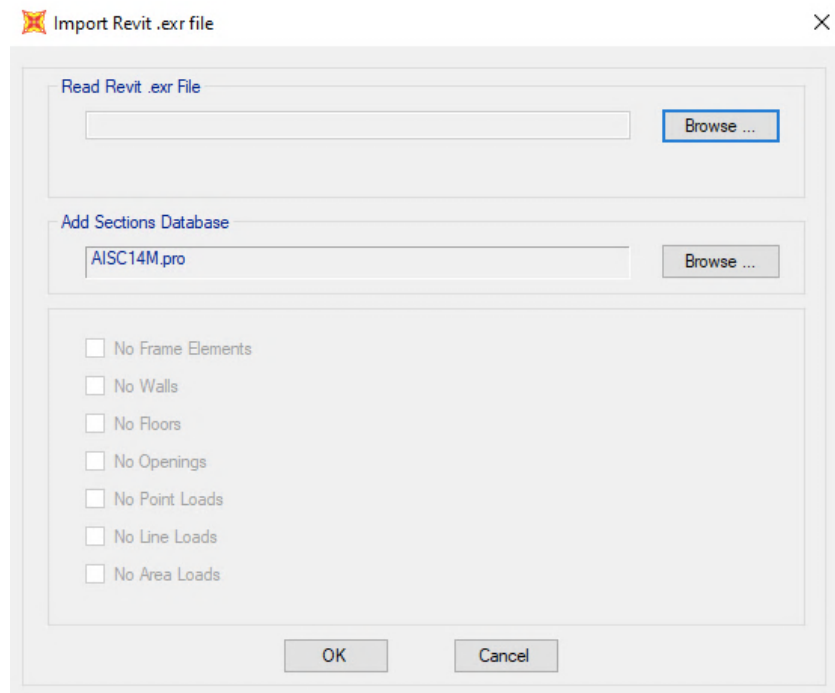
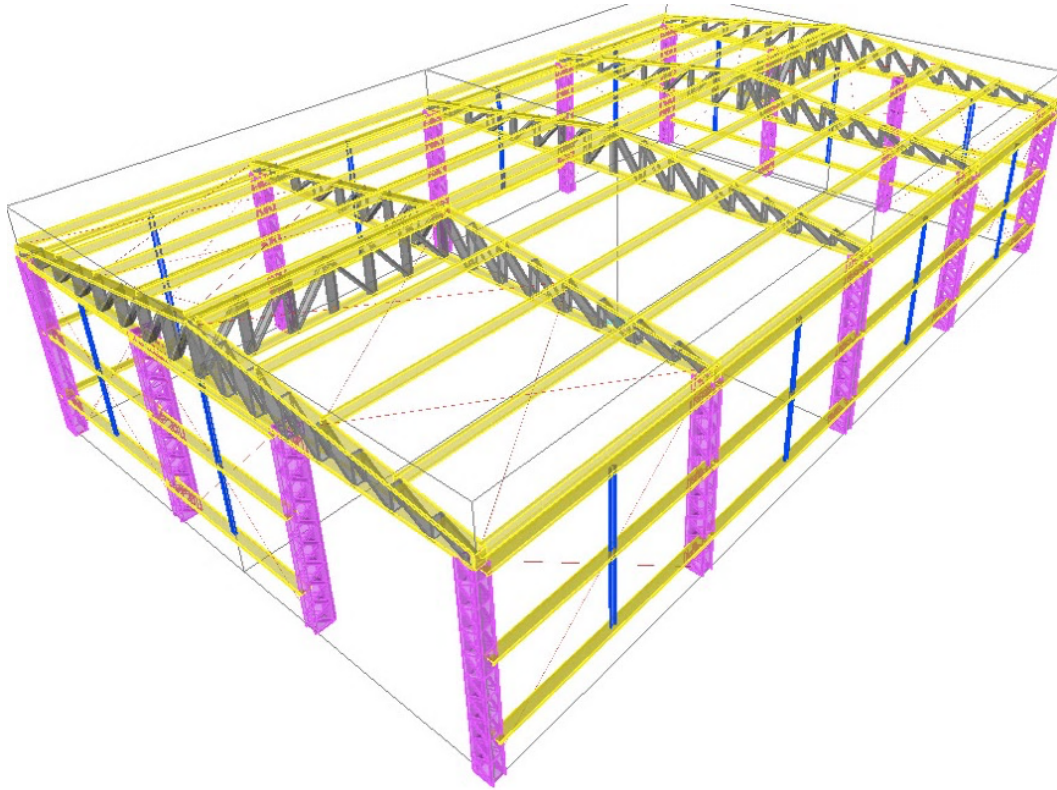


Figura 52 – Opções da importação dos elementos no SAP2000 v21.1.0

Este formato foi pensado para imagens de alto grau dinâmico, desenvolvido pelas empresas mais importantes de efeitos especiais para filmes. A interação deste *plug-in* é bidirecional, ou seja, utiliza o mesmo formato para controlar a troca de informação entre modelos sem ser relevante a proveniência. Foi desenvolvido no ano 2003 como formato multiplataforma e o seu objetivo é armazenar os dados de imagens lineares com precisão e eficiência.

Após se concluir o processo de importação no SAP2000 v21.1.0, observa-se que o programa identifica os materiais. É importante destacar que a localização dos elementos foi perfeitamente trasladada no modelo. Não obstante, ao analisar ao detalhe a informação que foi transferida, encontraram-se algumas dificuldades na importação total dos apoios e na importação parcial das secções. A Figura 53 apresenta o resultado desta fase de interoperabilidade. Investigando a origem do problema, chegou-se à conclusão que o *plug-in* não admite títulos das secções nos elementos muito grandes, daí que o manual do CSIXRevit oriente os utilizadores para alterar as denominações das secções dos elementos em etiquetas, previamente ao processo de interoperabilidade. As secções onde se encontraram esta adversidade foram apenas nos contraventamentos, mas, apesar disso, o programa continua a atribuir uma secção aleatória aos elementos.



**Figura 53 – Vista tridimensional da nave industrial no SAP2000 v21.1.0**

Contudo, para executar a análise do *software* é necessário completar a informação em falta no modelo. Assim sendo, são colocados manualmente os apoios e a secção dos contraventamentos no modelo. Logo depois é possível continuar com a aplicação das cargas e combinações, da mesma forma como foi realizado nas análises anteriores. Depois de executar a análise, o SAP2000 v21.1.0 não apresenta nenhuma advertência ou erro de cálculo.

Finalmente, após o ótimo resultado de interoperabilidade do Revit 2020 para o SAP2000 v21.1.0, avançou-se com a troca de informação de forma inversa, a fim de analisar a compatibilidade entre programas sem importar a proveniência. A Figura 54 exhibe as opções de exportação no SAP2000 v21.1.0.

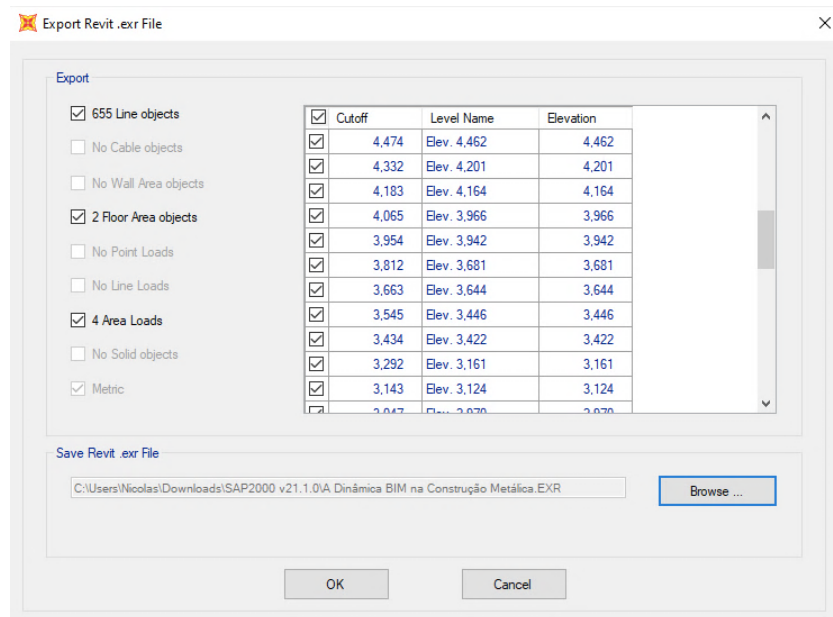


Figura 54 – Opções de exportação dos elementos no SAP2000 v21.1.0

Da mesma maneira, o processo de interoperabilidade é feito por meio do formato ERX e permite selecionar as opções “*Import to Create New*” para criar um modelo novo a partir do programa de origem, ou “*Import to Update Existing*” para realizar uma atualização do modelo no programa de destino. Na Figura 55 podem-se visualizar as opções.

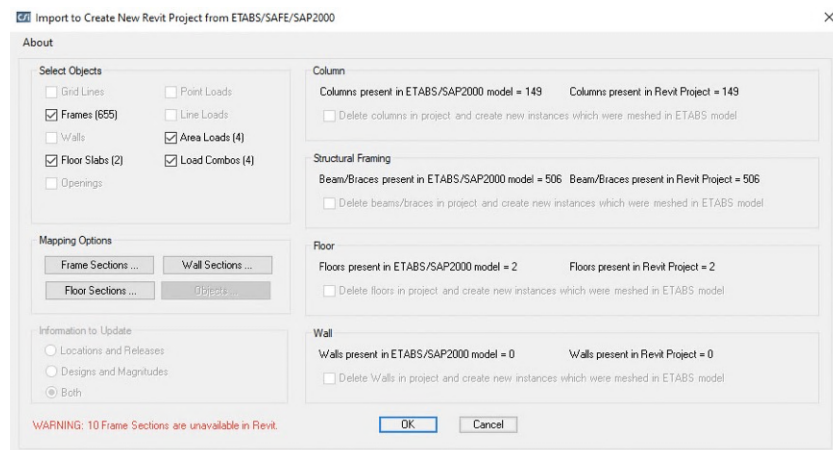


Figura 55 – Opções de importação dos elementos no Revit 2020

Percebe-se que neste processo o Revit 2020 apresenta algumas advertências associadas à informação transferida. Estudando o resultado do processo de interoperabilidade, o programa não reconhece os apoios, as secções e os materiais dos elementos. No entanto, é importante destacar que o CSIXRevit transfere a localização dos elementos e, mais

interessante, as cargas aplicadas e combinações presentes no modelo do SAP2000 v21.1.0, facto que não tinha acontecido nas análises precedentes.

Em consequência do problema anterior, o *software* assume uma secção aleatória para todos os elementos, porque há incompatibilidade nos nomes das secções. Para tal tem-se que adicionar as secções no programa antes de realizar a importação da informação. Na Figura 56 é apresentado o resultado da interoperabilidade.

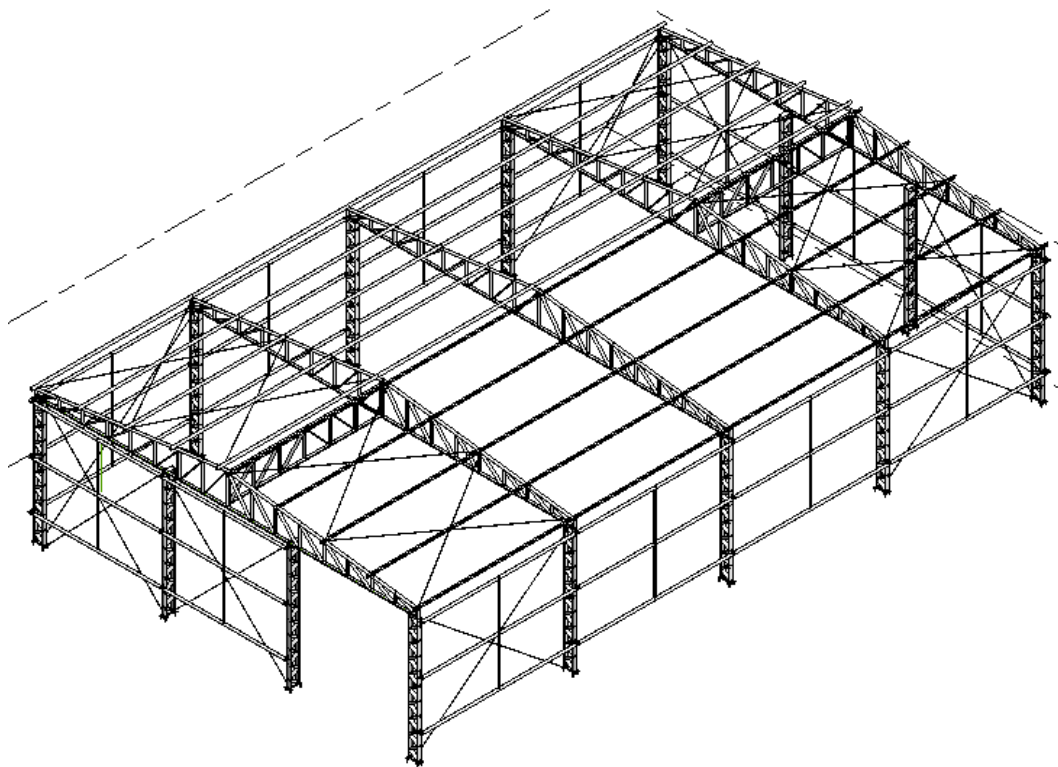


Figura 56 – Vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Revit 2020

#### 4.4.2. Modelação das ligações da estrutura metálica

Nesta fase vai-se avaliar o grau de interoperabilidade das ligações entre os programas. As ligações em peças metálicas têm como função conduzir as cargas atuantes de uma parte da estrutura para outras. Desta forma é garantida a segurança sem superar os limites de deformação toleráveis da estrutura.

O SAP2000 v21.1.0 permite realizar o dimensionamento das ligações metálicas do modelo. O programa possui uma interface muito versátil para o cálculo das ligações metálicas pré-definidas ou para a execução de verificações gerais de perfis, parafusos e soldaduras. A

capacidade de associar diretamente o modelo no SAP2000 v21.1.0 com os regulamentos atuais, permite garantir a precisão dos resultados e a eficiência do trabalho. Alusivo ao nível de definição geométrica da ligação, existem várias opções de configuração para aumentar a resistência dos elementos da ligação e otimizar o seu dimensionamento.

Quando a segurança das ligações no SAP2000 v21.1.0 não são atingidas conforme os códigos vigentes, o *software* apresenta uma mensagem com sugestões para acompanhar o dimensionamento do projetista.

Há várias opções no que concerte aos relatórios de cálculo. É possível visualizar as componentes que condicionam a resistência da ligação e todas as fórmulas regulamentares utilizadas para a verificação dos elementos. Auxiliarmente é viável exportar para o formato Word e/ou AutoCAD para levar a cabo essas alterações.

O Revit 2020 não contém no próprio catálogo ligações pré-definidas para os elementos deste caso de estudo. Portanto, tal como foi referenciado no subcapítulo 4.2.2., assumiram-se os conjuntos de ligações modelados manualmente, tal como se apresentam nas Figura 57 e Figura 58.

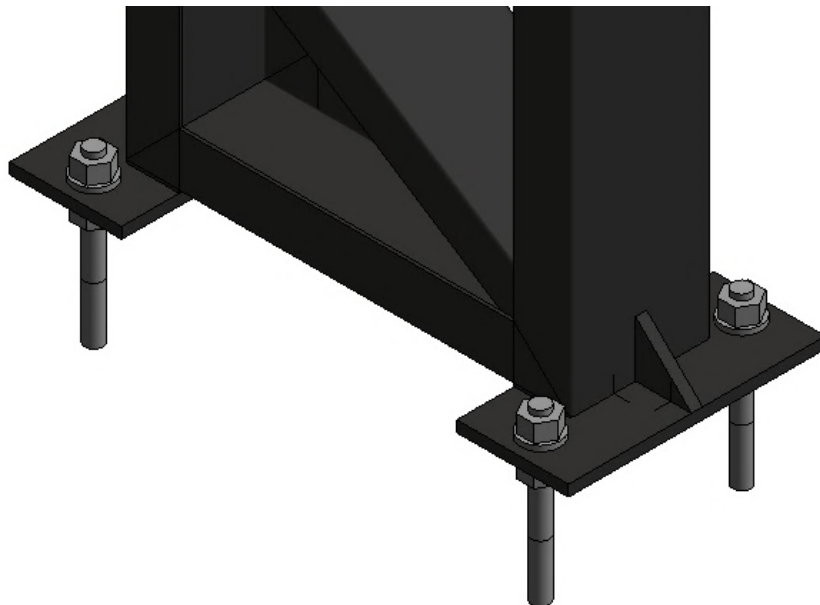


Figura 57 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Revit 2020

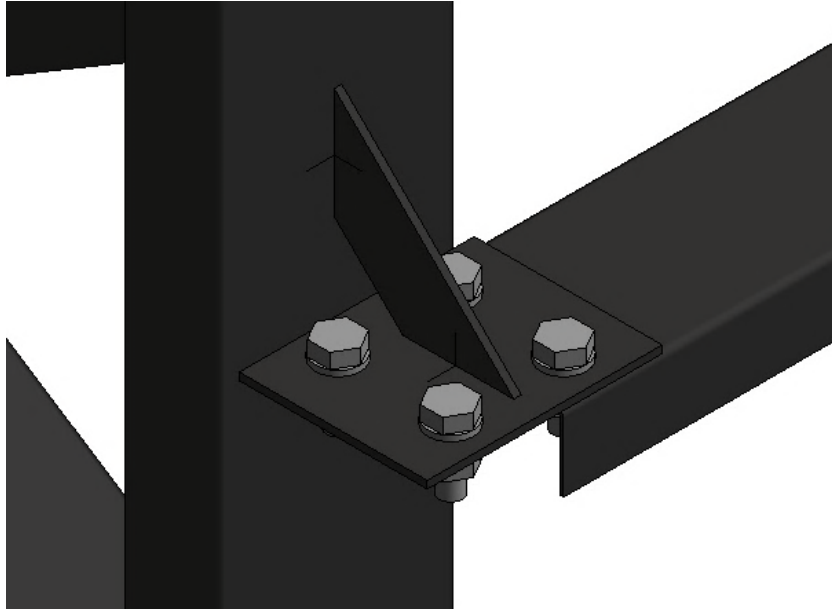


Figura 58 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Revit 2020

Logo da verificação das ligações do modelo no Revit 2020, prosseguiu-se a exportação para o SAP2000 v21.1.0. Comparativamente com os subcapítulos anteriores o CSIXRevit não disponibiliza a opção para exportar as ligações. A Figura 59 mostra o quadro de diálogo de exportação sem opções para as ligações.

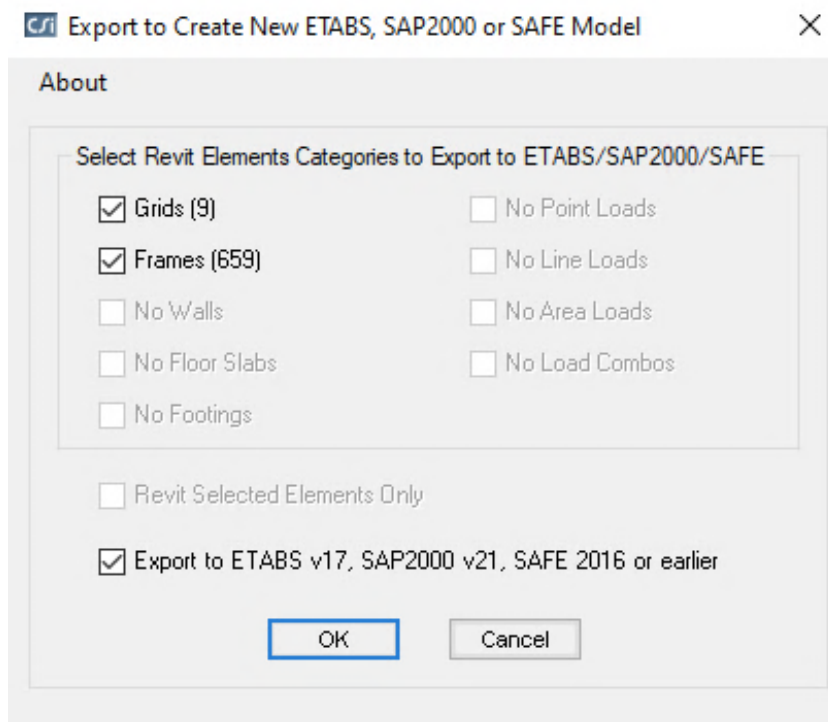
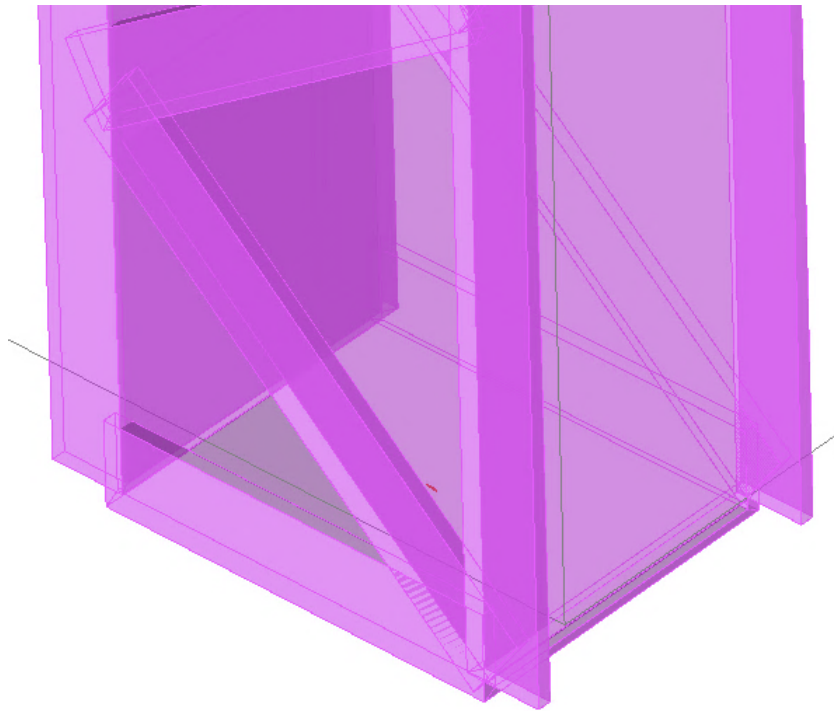


Figura 59 – Opções da exportação dos elementos no Revit 2020

Consequentemente, verifica-se facilmente que não há interoperabilidade da informação, principalmente devido a que o *plug-in* não foi concebido para a transferência das ligações metálicas, mas sim para calcular a resistência de todos os componentes que constitui o modelo e posteriormente verificar a segurança. Adicionalmente, como as ligações foram modeladas no Revit 2020 como um conjunto de peças separadas, o CSIXRevit não identifica esta informação como uma componente única. A Figura 60 e Figura 61 representam o resultado após da interoperabilidade.



**Figura 60 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no SAP2000 v21.1.0**

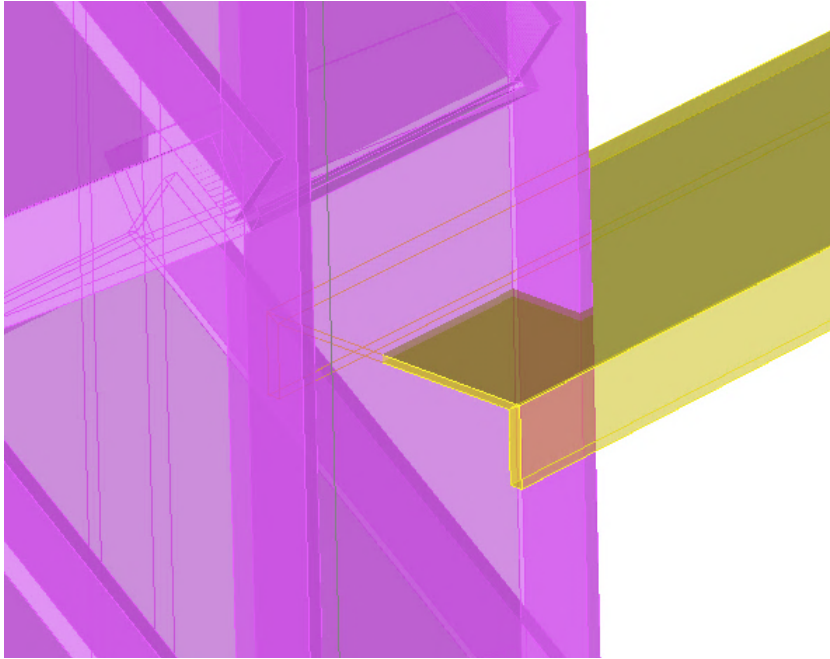


Figura 61 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no SAP2000 v21.1.0

Em contrapartida, as ligações podem ser modeladas e calculadas a partir do SAP2000 v21.1.0 como já referido. Apesar disso, o *plug-in* que viabiliza a interoperabilidade entre os programas não reconhece a informação das ligações a serem transferidas para o Revit 2020, pelo que se corrobora que o problema persiste em ambos os sentidos.

Portanto, não existe interoperabilidade em termos das ligações entre o Revit 2020 e SAP2000 v21.1.0. A Tabela 3 apresenta o resumo de interoperabilidade entre Revit 2020 e o SAP2000 v21.1.0.

Tabela 3 – Resumo interoperabilidade entre Revit 2020 | SAP2000 v21.1.0

Resumo Revit 2020   SAP2000 v21.1.0						
Ensaio	Origem	Destino	Informação de Origem		Informação de Destino	
1	Revit 2020	SAP2000 v21.1.0	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
2	SAP2000 v21.1.0	Revit 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●
3	Revit 2020	SAP2000 v21.1.0	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	✓	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
4	SAP2000 v21.1.0	Revit 2020	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●

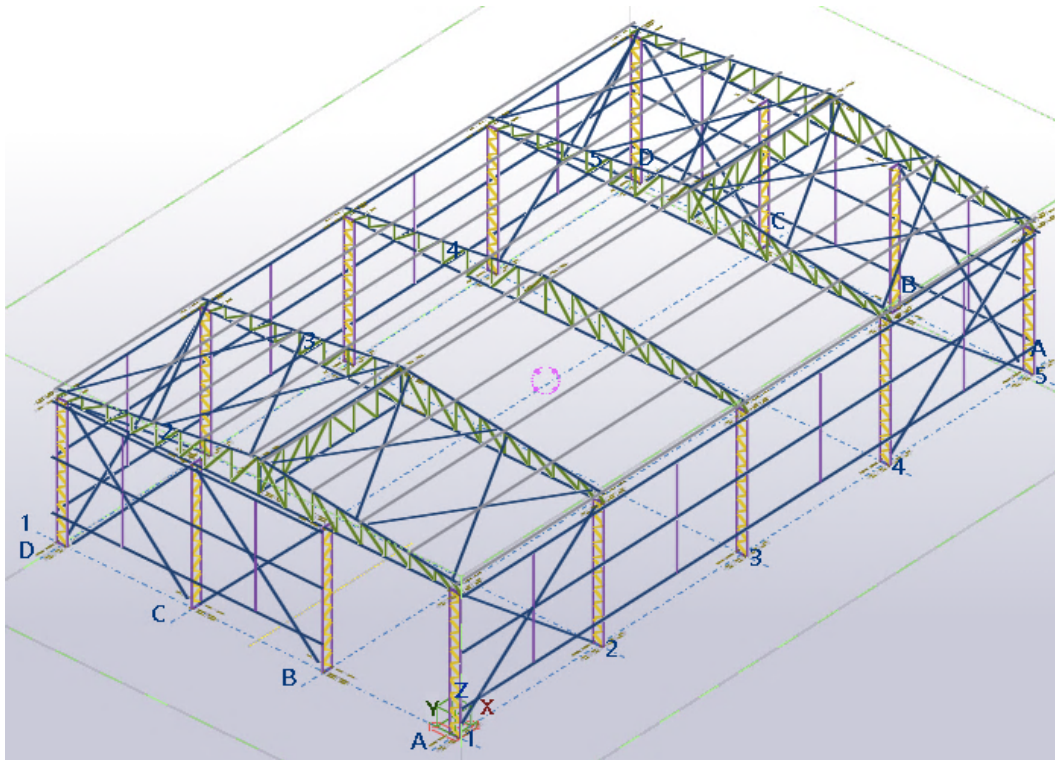
Informação de Origem: ✓ Introduzida; × Não Introduzida  
 Informação de Destino: ● Transferida; ● Parcialmente transferida; ● Não transferida; ● Sem aplicação

## 4.5. Interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i e SAP2000 v21.1.0

### 4.5.1. Modelação dos elementos da estrutura metálica

Neste ciclo vai-se utilizar o Tekla Structures 2019i e SAP2000 v21.1.10, para realizar a análise de interoperabilidade entre estes programas de autores diferentes. Cabe realçar que a empresa Trimble contém um *plug-in* para a troca da informação de forma direta. Porém, como foi dito no terceiro capítulo desta dissertação, a empresa disponibiliza o *plug-in* unicamente na versão profissional e, uma vez que se estão a utilizar licenças educativas, então não foi possível a obtenção da mesma.

A lógica do processo de modelação dos elementos no programa é a mesma que foi descrita no subcapítulo 4.3.1. Por esta razão, usa-se o mesmo modelo para realizar as interações respetivas entre programas. A Figura 62 exhibe estes elementos modelados.



**Figura 62 – Vista tridimensional da nave industrial no Tekla Structures 2019i**

Logo após se verificar novamente o modelo completo, realiza-se a interoperabilidade considerando as adversidades do Tekla Structures 2019i encontradas no subcapítulo 4.3.1. A Figura 63 exibe as opções de exportação do Tekla Structures 2019i.

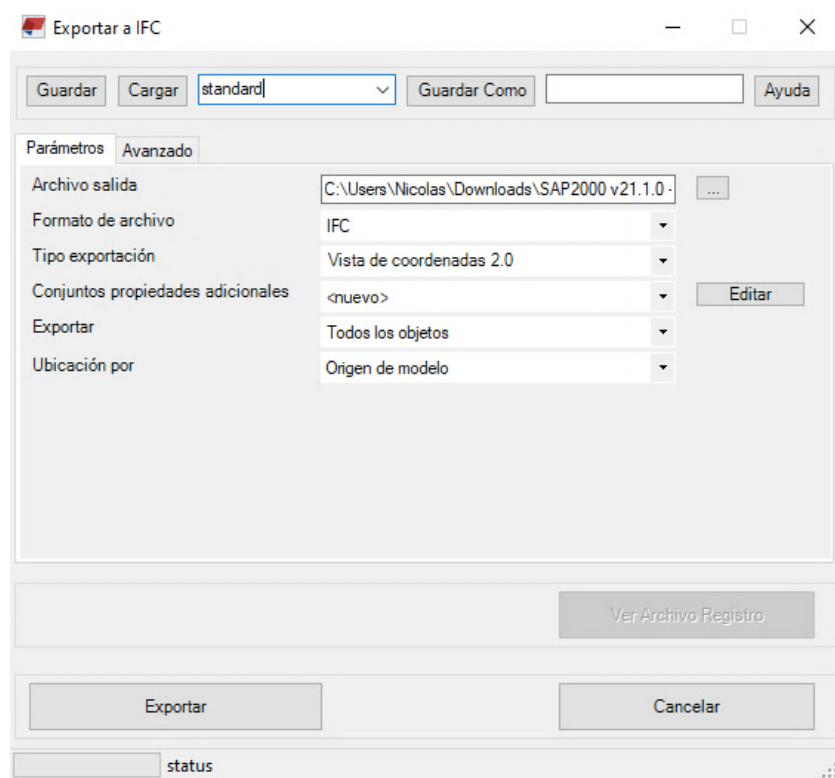


Figura 63 – Opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i

Posterior ao método de exportação, o Tekla Structures 2019i gera um ficheiro IFC para importar para o SAP2000 v21.1.0. A Figura 64 apresenta o processo de importação no SAP2000 v21.1.0.

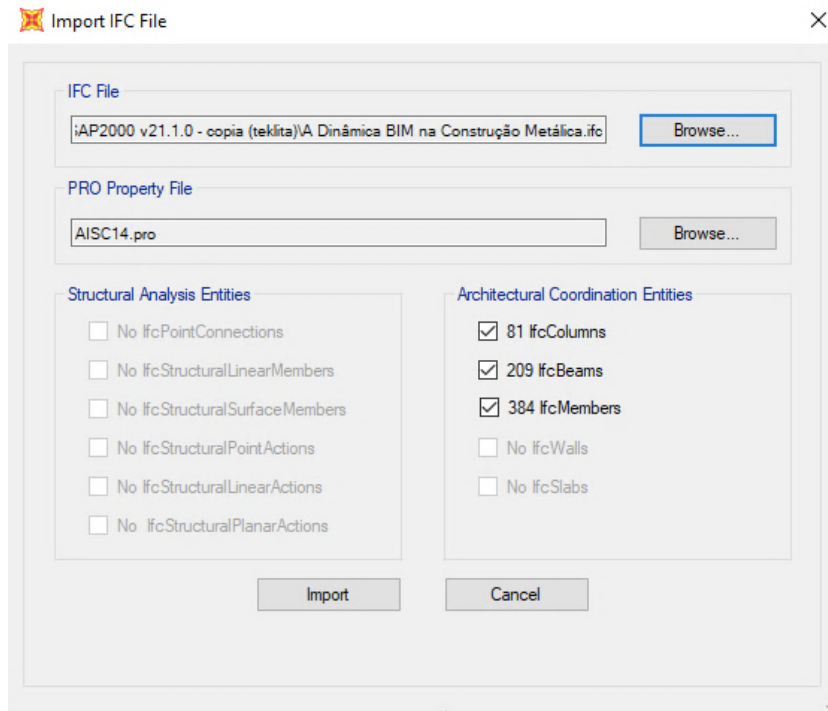


Figura 64 – Opções da importação dos elementos no SAP2000 v21.1.0

Neste contexto é feito o processo de interoperabilidade desde o Tekla Structures 2019i e o SAP2000 v21.1.0. Como primeira alternativa utiliza-se o formato CIS/2, mas o programa continua a apresentar erros. Como segunda alternativa opta-se pelo formato DWF, mas ainda assim o *software* faz a transferência da informação absoluta, salvo as secções dos elementos do modelo. Por último, usa-se o formato IFC, que apresenta uma interoperabilidade plena, com exceção de alguns elementos verticais que formam os pilares treliçados do modelo. O resultado de interoperabilidade está na Figura 65.

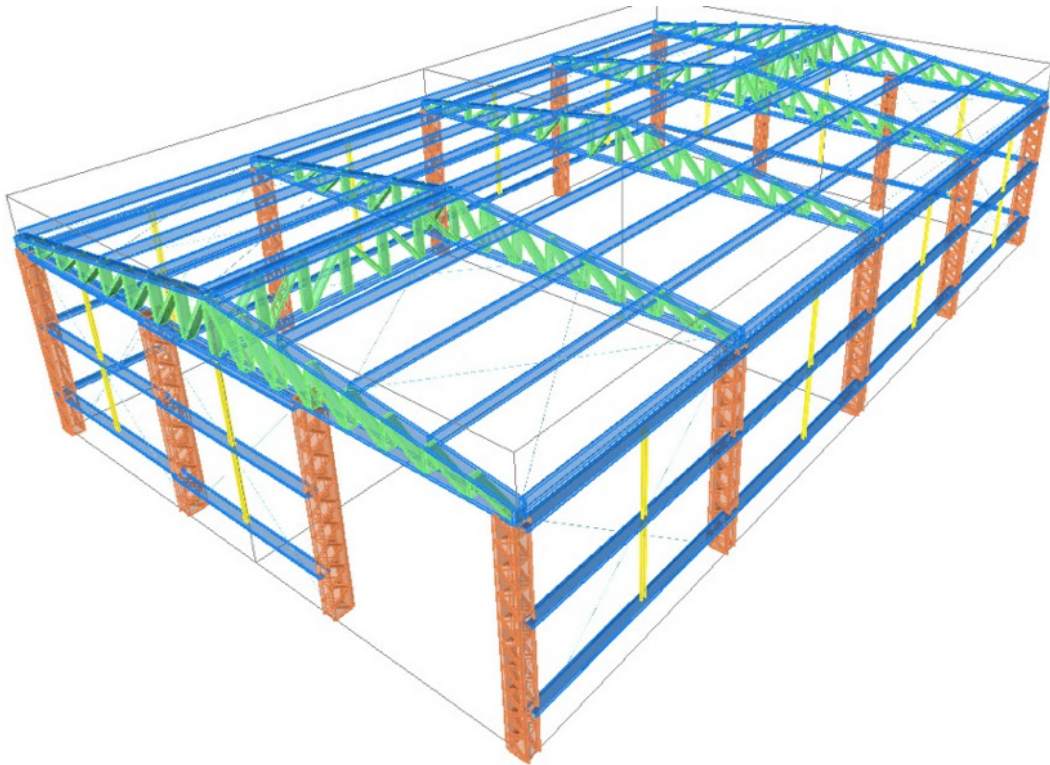
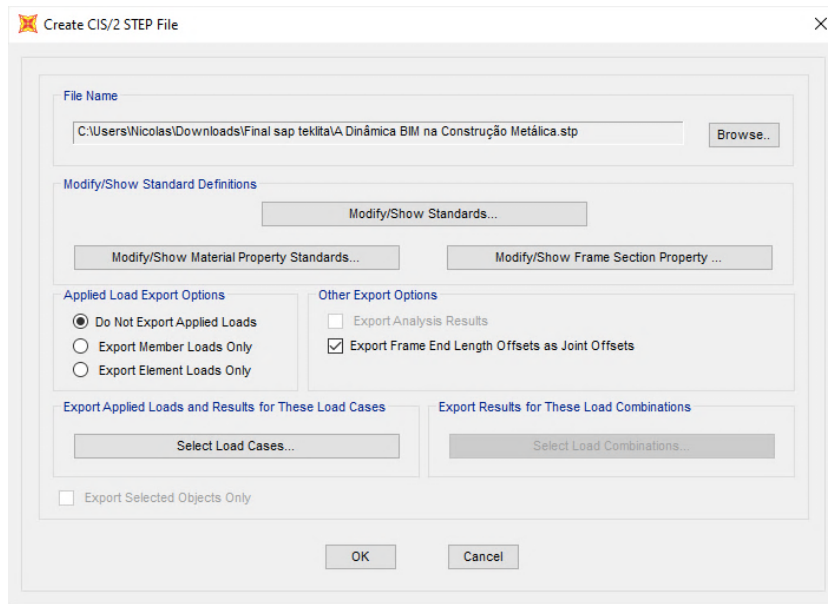


Figura 65 – Vista tridimensional da nave industrial no SAP2000 v21.1.0

Do ponto de vista prático, prioriza-se o formato IFC em alternativa ao formato DWF, uma vez que é mais simples de agregar os elementos em falta que criar novamente todas as secções dos elementos. Interessa ressaltar que, ao observar o modelo detalhadamente, verificou-se que os apoios não foram transferidos, tal como no subcapítulo 4.4.1 destas análises. Apesar disso, é informação que pode ser incluída no modelo de forma rápida antes da verificação da resistência dos elementos.

Logo depois das correções para completar a informação necessária para executar a verificação da resistência dos elementos, são aplicadas as cargas e combinações correspondentes, finalizando com sucesso a análise sem erros de cálculo no programa de elementos finitos.

Para concluir este ponto, continua-se com a interoperabilidade em sentido contrário, desta vez entre o SAP2000 v21.1.0 e o Tekla Structures 2019i, de modo a validar a interação bidirecional dos programas. A Figura 66 apresenta as opções de exportação do SAP2000 v21.1.0.



**Figura 66 – Opções de exportação dos elementos no SAP2000 v21.1.0**

Continuando com a mesma metodologia, utilizou-se como primeira opção o formato IFC. Contudo o Tekla Structures 2019i não admite este ficheiro como formato de importação, apenas como ficheiro de modelo de referência. Como segunda opção emprega-se o formato CIS/2, considerando que este formato fez a transferência da informação com sucesso na análise no subcapítulo 4.3.1. A Figura 67 evidencia o processo de interoperabilidade do Tekla Structures 2019i.

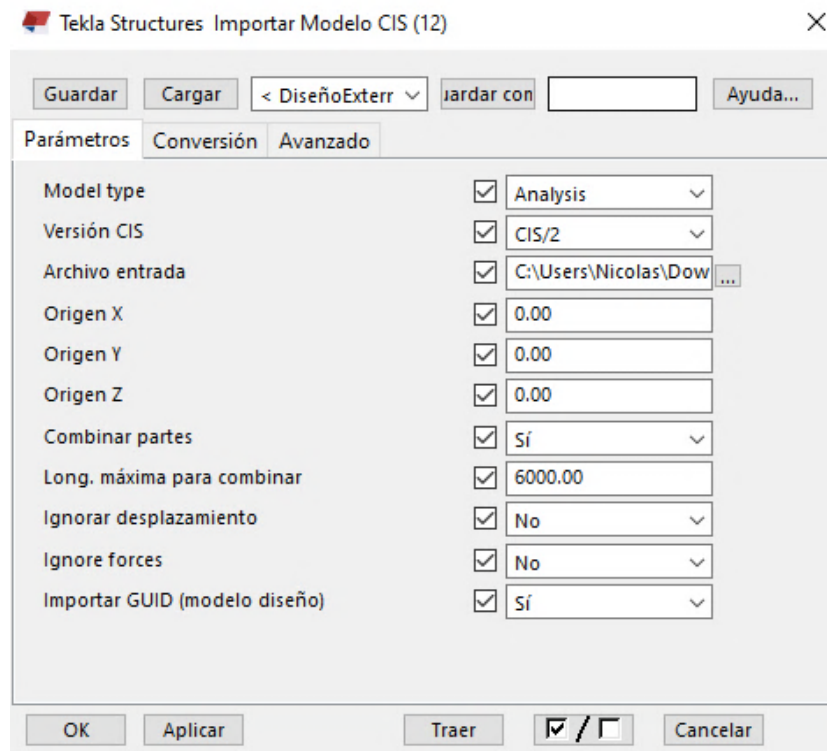


Figura 67 – Opções de importação dos elementos no Tekla Structures 2019i

Para terminar esta análise, a troca da informação para o Tekla Structures 2019i não foi como se esperava. Examinando a questão, verificou-se que as secções de todos os elementos do modelo não foram transferidas uma vez que não há compatibilidade dos catálogos de secções dos *softwares*. Portanto o programa reconhece a localização dos elementos, mas sem nenhuma propriedade. Em relação aos elementos que compõem as vigas treliçadas do modelo, de facto há um defeito no código do ficheiro de exportação ou importação, uma vez que também não se encontra esta informação. Para concluir, a Figura 68 é a vista tridimensional após da transferência.

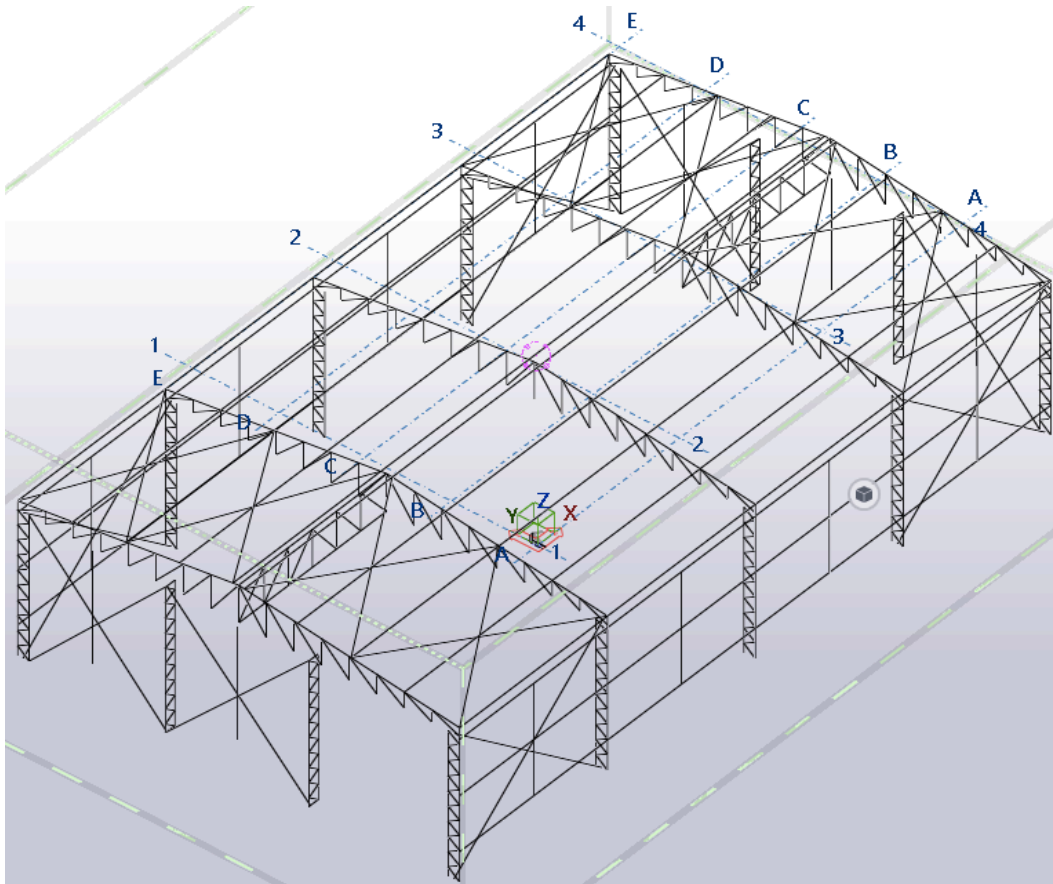


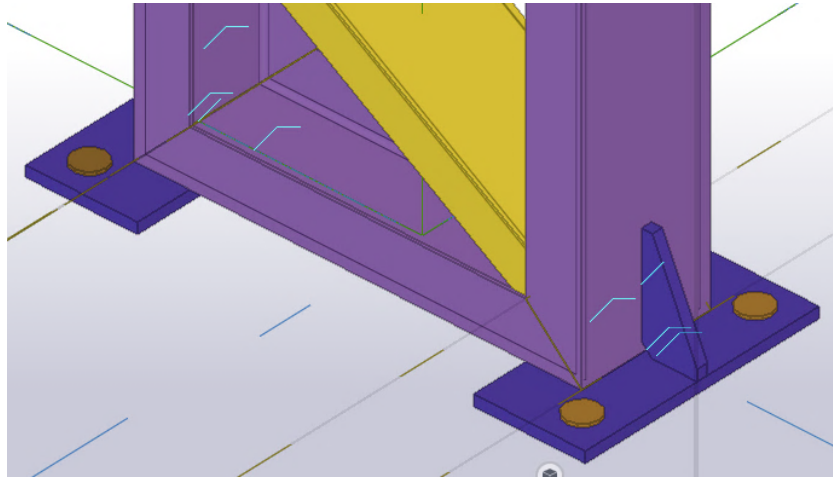
Figura 68 – Vista tridimensional modelo físico da nave industrial no Tekla Structures 2019i

#### 4.5.2. Modelação das ligações da estrutura metálica

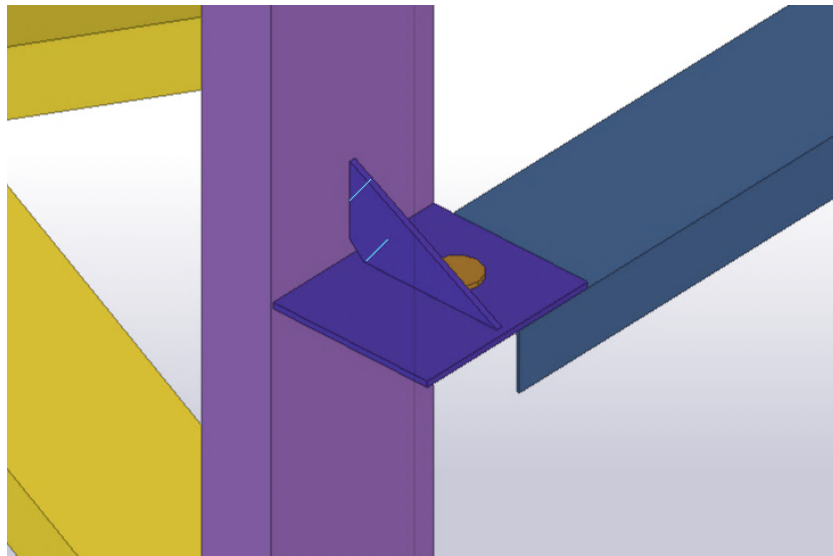
Neste ponto foi verificada a capacidade que têm os programas em causa para trocar a informação em termos das ligações dos elementos. Para completar a análise dos projetos de estruturas metálicas, é preciso a verificação das ligações já que elas cumprem com uma função vital.

Como foi referido no subcapítulo 4.5.1, o SAP2000 v21.1.0 permite fazer dimensionamentos das ligações metálicas do modelo igual ao que é possível realizar no Robot Structural Analysis 2020. Contudo em termos de aplicabilidade, ambos os programas dispõem de catálogos com poucas ligações. As Figura 69 e Figura 70 mostram um breve alcance destes programas. Assim, no caso de projetos com ligações complexas, existem outros programas especializados com um alcance ainda maior para modelar estas peças. Por outro lado, na hipótese de se terem ligações simples, o *software* tem a capacidade de verificar os componentes consoantes os códigos vigentes.

Em relação à utilidade do Tekla Structures 2019i, o programa é muito simples para alguém principiante na área. É uma plataforma com um ambiente de trabalho muito amigável, com uma capacidade de adaptabilidade de trabalho e colaboração com outras ferramentas integradas para a fabricação e gestão. O foco da plataforma com o BIM continua a aumentar, com uma fácil exportação do formato IFC, sendo facilmente compartilhado com os responsáveis ou os intervenientes no projeto



**Figura 69 – Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no Tekla Structures 2019i**



**Figura 70 - Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no Tekla Structures 2019i**

Depois da verificação das ligações do modelo no Tekla Structures 2019i, continua-se com a exportação para o SAP2000 v21.1.0. Infelizmente o formato não permite seleccionar a opção para exportar as ligações criadas no modelo. A Figura 71 apresenta as preferências para a exportação do Tekla Structures 2019i.

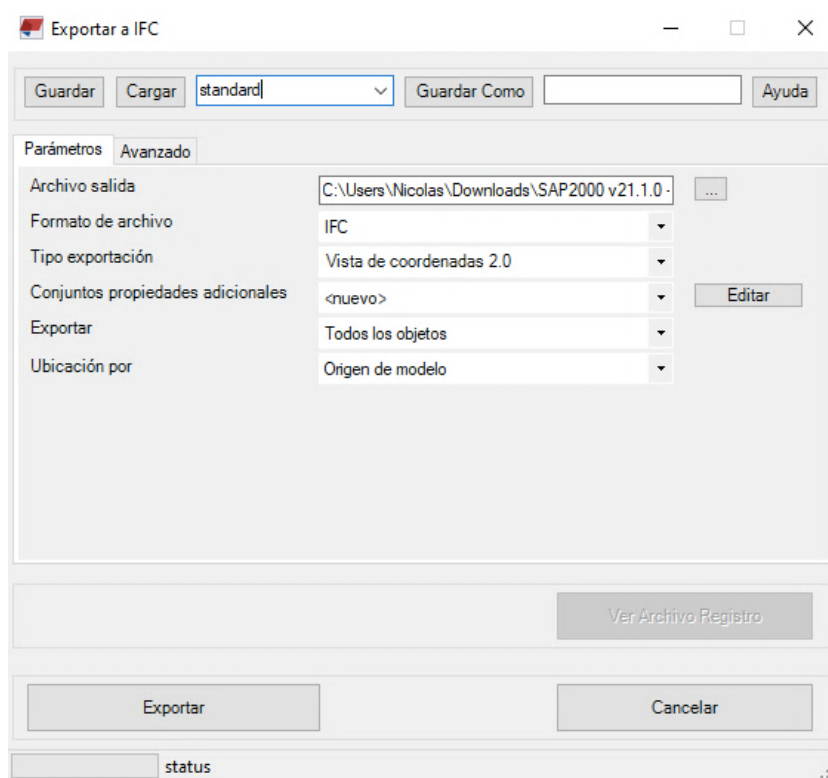


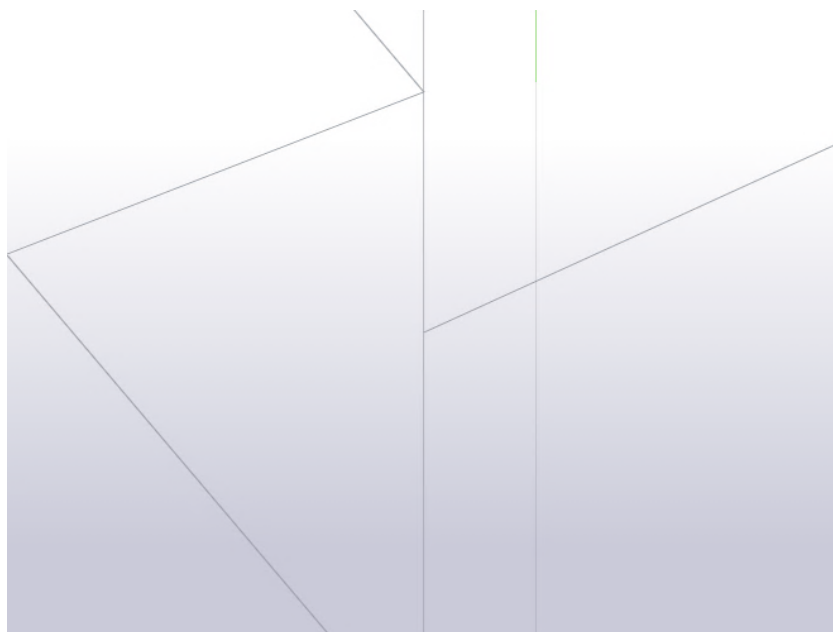
Figura 71 – Opções da exportação dos elementos no Tekla Structures 2019i

Esta operação gera um ficheiro IFC que está na génese e definição do conceito do BIM. Este ficheiro deve ser importado para o SAP2000 v21.1.0.

Após a importação, percebe-se que não há troca de informação das ligações. Especialmente desde a criação deste ficheiro IFC, nas opções não é exibida a possibilidade de confirmar a exportação das ligações. As Figura 72 e Figura 73 apresentam o produto da exportação ao SAP2000 v21.1.0.



**Figura 72 - Vista tridimensional da ligação pilar | plinto no SAP2000 v21.1.0**



**Figura 73 – Vista tridimensional da ligação pilar | madre de fachada no SAP2000 v21.1.0**

Para concluir o estudo deste subcapítulo, pode-se dizer que as questões relacionadas com a interoperabilidade das ligações são capazes de melhorar com o *plug-in* que dispõe o fabricante Trimble para licenças profissionais. Ao serem transferidas as informações por *links* diretos, estas estarão menos expostas a erros por esta metodologia.

Pode-se concluir que não existe interoperabilidade em termos das ligações entre o Tekla Structures 2019i e SAP2000 v21.1.0. A Tabela 4 apresenta o resumo de interoperabilidade entre o Tekla Structures 2019i e o SAP2000 v21.1.0.

**Tabela 4 – Resumo interoperabilidade entre Tekla Structures 2019i | SAP2000 v21.1.0**

Resumo Tekla Structures 2019i   SAP2000 v21.1.0						
Ensaio	Origem	Destino	Informação de Origem		Informação de Destino	
1	Tekla Structures 2019i	SAP2000 v21.1.0	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
2	SAP2000 v21.1.0	Tekla Structures 2019i	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●
3	Tekla Structures 2019i	SAP2000 v21.1.0	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	✓	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	×	Cargas	●
4	SAP2000 v21.1.0	Tekla Structures 2019i	Materiais	✓	Materiais	●
			Secções	✓	Secções	●
			Ligações	×	Ligações	●
			Apoios	✓	Apoios	●
			Cargas	✓	Cargas	●

Informação de Origem: ✓ Introduzida; × Não Introduzida  
 Informação de Destino: ● Transferida; ● Parcialmente transferida; ● Não transferida; ● Sem aplicação

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

### 5.1. Considerações finais

A investigação elaborada nesta dissertação possibilitou perceber os prós e contras que tem a implementação da metodologia BIM na construção metálica. De facto, a metodologia demonstra ter uma grande competência ao nível de interoperabilidade e colaboração entre os diferentes intervenientes do projeto.

Apesar de existirem algumas iniciativas internacionais com o objetivo de criarem requisitos para a aplicação do BIM nos projetos, as definições de regras de fluxo de trabalho ainda não se encontram adequadamente desenvolvidas. Existem já uma série de normas e formatos onde se reconhece a intenção de evoluir, no entanto, irá demorar alguns anos mais até se conseguirem estabelecer regras para a transferência da informação completa entre plataformas.

O caso de estudo usado nesta dissertação, é um modelo bastante utilizado para a construção metálica de pavilhões industriais, de forma a verificar a real dificuldade associada à interoperabilidade dos *softwares* BIM. Verificou-se nesta investigação um conjunto de barreiras que ainda necessitam de melhorias, de modo a tornar a interoperabilidade mais fácil e intuitiva. Assim, foi confirmado que quando a transferência da informação é feita por *links* diretos, há uma completa idoneidade da interoperabilidade e quando não existe *plug-in* que ajude a essa transferência da informação, no processo de exportação há perda significativa de informação. Por exemplo, omitem-se elementos da modelação, alteram-se as orientações dos elementos, atribuem-se novas propriedades nos componentes, entre outros aspectos.

Os objetivos propostos foram atingidos e considera-se que foram criadas bases sólidas para validar o melhor fluxo de trabalho na construção metálica.

Na primeira interoperabilidade entre Revit e Robot Structural Analysis, o facto de serem programas do mesmo fabricante, a perda da informação no processo de exportação foi mínima, uma vez que existe um *plug-in* que garante a fiabilidade dos resultados.

A segunda interoperabilidade entre Tekla Structures e Robot Structural Analysis não teve os mesmos resultados, visto que a exportação é realizada sem ajuda de um *plug-in*. Consequentemente a exportação é realizada por meio de outros formatos, com muita perda de informação. Em contrapartida é possível que esta barreira seja resolvida na versão profissional do programa Tekla Structures.

Em relação à terceira interoperabilidade entre Revit e SAP2000, o facto de ser uma transferência de informação unidirecional não representa um problema, uma vez que as alterações no programa de modelação podem ser feitas após a análise estrutural. Desta maneira, é assegurada a idoneidade dos resultados, porque as alterações após a verificação da resistência dos elementos são sempre menores e podem ser efetuadas manualmente pelo utilizador.

Na quarta interoperabilidade entre Tekla Structures e SAP2000, foram confirmadas as problemáticas identificadas em todas as análises precedentes devido às limitações destes *softwares* para a verificação das ligações, mas o problema persiste pela incompatibilidade e complexidade das secções.

De um modo geral, os problemas de exportação e importação de ficheiros em formato IFC nos programas utilizados também foram um obstáculo, dado que em geral nas interoperabilidades não serviu. Os fabricantes não têm interesse neste formato, principalmente porque têm poucos utilizadores e como alternativa desenvolvem os seus próprios formatos para a transferência da informação.

Os resultados de estudo indicam que a primeira interoperabilidade entre Revit e Robot Structural Analysis são os *softwares* que podem ajudar a melhorar quanto à aplicabilidade nas estruturas metálicas, no que se refere à fabricação e montagem. Porém é importante reconhecer que com o ritmo acelerado de desenvolvimento da tecnologia, os outros programas se adaptam cada vez mais às necessidades de seus usuários.

Conclui-se que uma condição determinante no sucesso da implementação completa da metodologia BIM em Portugal está associada com a obrigatoriedade ou o incentivo ao uso de *softwares* como os aqui apresentados. O propósito desta investigação não é fazer propaganda aos programas, mas sim mostrar no âmbito prático o melhor fluxo de trabalho para garantir resultados genuínos na área da construção metálica.

## 5.2. Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento desta dissertação surgiram dificuldades que possivelmente acontecem no quotidiano dos gabinetes de projetos que utilizam *softwares* BIM, pelo que este documento pode servir de apoio para resolver algumas questões.

Efetivamente os *softwares* estão em permanente melhoria, no entanto, percebe-se que é uma área que ainda tem muito por pesquisar. Espera-se que os problemas apresentados nesta dissertação, nomeadamente os que dizem respeito às secções e ligações do modelo, sejam corrigidos para diminuir a perda de informação no processo de interoperabilidade.

De maneira a complementar este documento, podem-se realizar estudos mais profundos das ligações metálicas nos elementos com secções fora do habitual, apresentando soluções que possibilitem corroborar seu potencial na implementação.

Como possível desenvolvimento, há também a necessidade de realizar um estudo bem fundamentado sobre *Light Steel Framing* (LSF), de preferência com *softwares* utilizados por empresas que desenvolvem projetos desta natureza, analisando seu potencial, benefícios e barreiras, visto que ainda é uma área pouco investigada e ainda existem muitas questões relacionadas com os programas de cálculo de elementos finitos.

Finalizando, a educação superior deve começar a considerar no seu plano curricular uma unidade sobre a metodologia BIM, para formar profissionais com competências e que motive a aplicação destes *softwares*.

## Bibliografia

- [1] Autodesk, [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/latam/2018/09/27/bim-en-la-construccion/>.
- [2] J. Correia, “Interoperabilidade BIM em Projetos de Estruturas,” Coimbra, 2018.
- [3] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, New Jersey, 2008.
- [4] K. P. Reddy, BIM for Building Owners and Developers, New Jersey, 2012.
- [5] M. Gerbi. [Online]. Available: <https://www.matteogerbi.com/mr-d-tail/2015/05/047-bim-building-information-modelling.html>.
- [6] SmartMarket Brief, [Online]. Available: <https://www.smartmarketbrief.com/bim-success-factors/>.
- [7] Techure, [Online]. Available: <https://techure.global/blog/portfolio/bim-management-implementation/>.
- [8] M. Gerbi. [Online]. Available: <https://www.matteogerbi.com/mr-d-tail/2015/05/048-bim-maturity-level.html>.
- [9] Protoforma, [Online]. Available: [https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/10342/que-es-bim-protoforma?ad\\_source=neufert&ad\\_medium=gallery&ad\\_name=close-gallery](https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/10342/que-es-bim-protoforma?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=close-gallery).
- [10] R. P. L. Fernandes, “Advantages and Disadvantages of BIM Platforms on Construction Site,” Porto, 2013.
- [11] J. P. d. C. Parreira, “Implementação BIM nos processos organizacionais em empresas de construção – um caso de estudo,” Lisboa, 2013.
- [12] R. L. d. Souza, “Aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos de estruturas metálicas,” Ouro Preto, 2017.
- [13] Tekla, [Online]. Available: <https://www.tekla.com/evolution/steel-fabrication.html>.
- [14] AISC, [Online]. Available: <https://www.aisc.org/why-steel/>.

- [15] M. Ribeiro, “Contributo para a Normalização BIM em Portugal,” Lisboa, 2016.
- [16] F. Almeida, “Norma BIM Portuguesa,” Coimbra, 2015.
- [17] L. Luedy, “Requisitos para Níveis de Desenvolvimento em Modelos BIM,” Lisboa, 2019.
- [18] P. d. L. Geraldes, “Implementação da Metodologia BIM em um Gabinete de Estruturas,” Porto, 2018.
- [19] M. Baptista, “Tecnologia BIM Aplicada ao Projeto de Estruturas Metálicas,” Porto, 2015.
- [20] L. Amaral. [Online]. Available: <https://arquitetoleandroamaral.com/revit/>.
- [21] Tekla, [Online]. Available: <https://www.tekla.com/us/about/about>.
- [22] BIMware, [Online]. Available: <https://bimware.com/en/company/history.html>.
- [23] DAINATEX, [Online]. Available: <https://www.dainatex.com.br/cursos/historia-do-sap-2000/>.
- [24] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial , “A Implantação de Processos BIM,” 2017. [Online]. Available: [https://mutual.com.br/wp-content/uploads/2018/01/guia-bim06\\_20171123\\_WEB.pdf](https://mutual.com.br/wp-content/uploads/2018/01/guia-bim06_20171123_WEB.pdf).
- [25] N. Europeia, “Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço,” *Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*, 2010.
- [26] N. Europa, “Eurocódigo 1 - Acções em estruturas,” *Parte 1-1: Acções gerais*, 2009.
- [27] Autodesk, [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/uma-rapida-reflexao-sobre-a-importancia-do-uso-do-bim/>.
- [28] J. N. T. D. de Sousa Novais, “Análise da Implementação do Modelo BIM no Projecto de Estruturas,” Lisboa, 2015.
- [29] W. Fleming, “BIM Modelling for Structural Analysis,” Poznan, 2016.
- [30] J. Pereira, “BIM no Projeto e Construção de Estruturas Metálicas: Estabelecimento de Manual de Implementação e Execução,” Braga, 2016.
- [31] S. Ferreira, “O Modelo IFC como Agente de Interoperabilidade,” Porto, 2013.



## **Anexos**

### **Anexo A – Projeto**

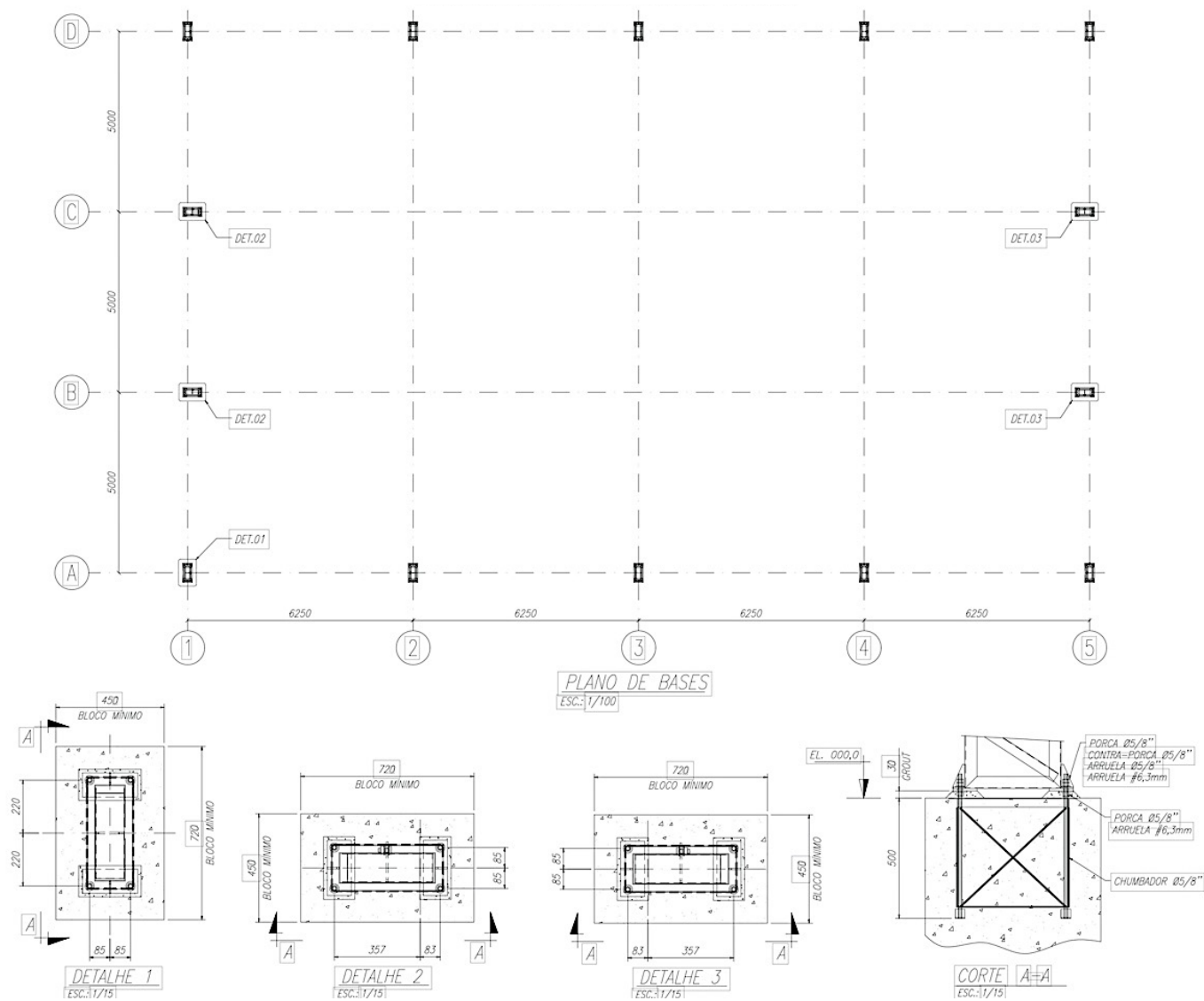


Figura 74 – Planta da base AutoCAD

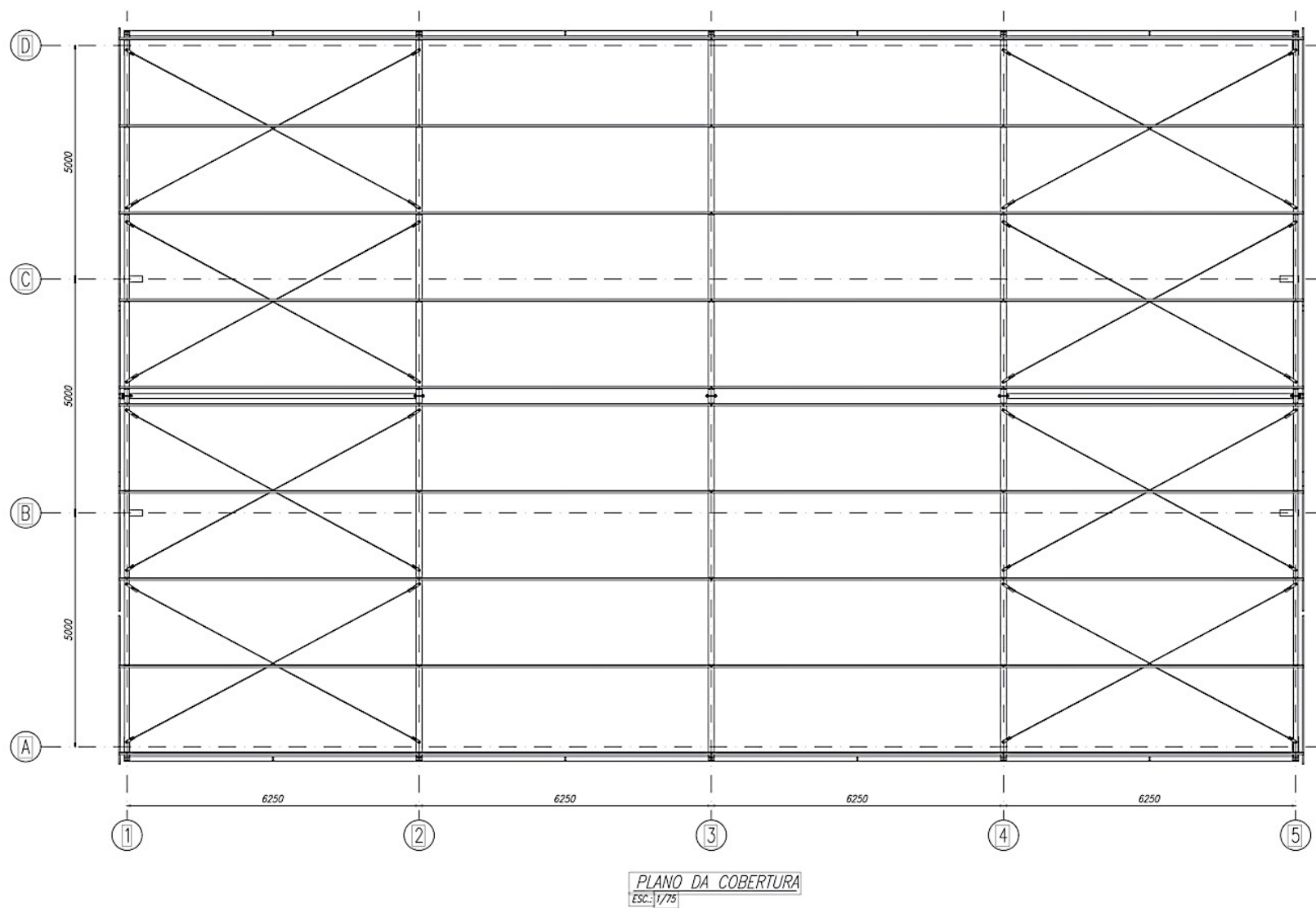


Figura 75 – Planta da cobertura AutoCAD

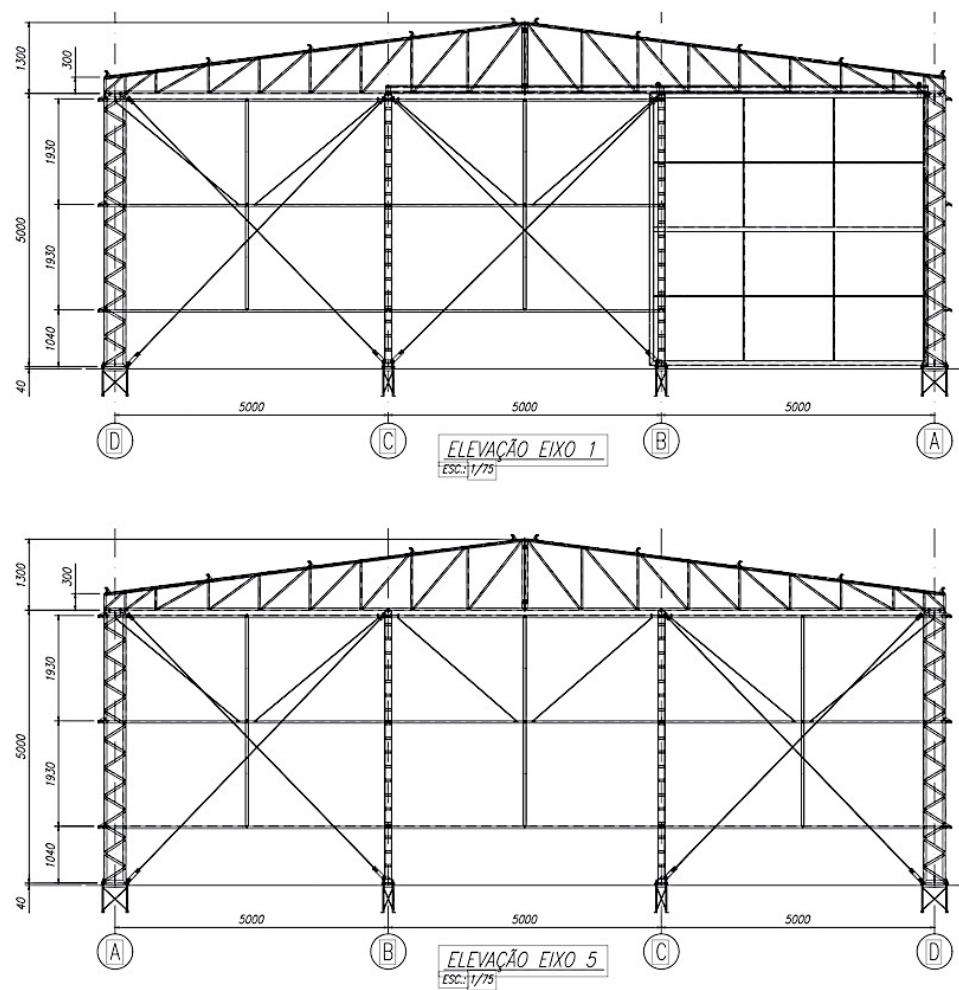


Figura 76 – Alçado do eixo 1 e 5 AutoCAD

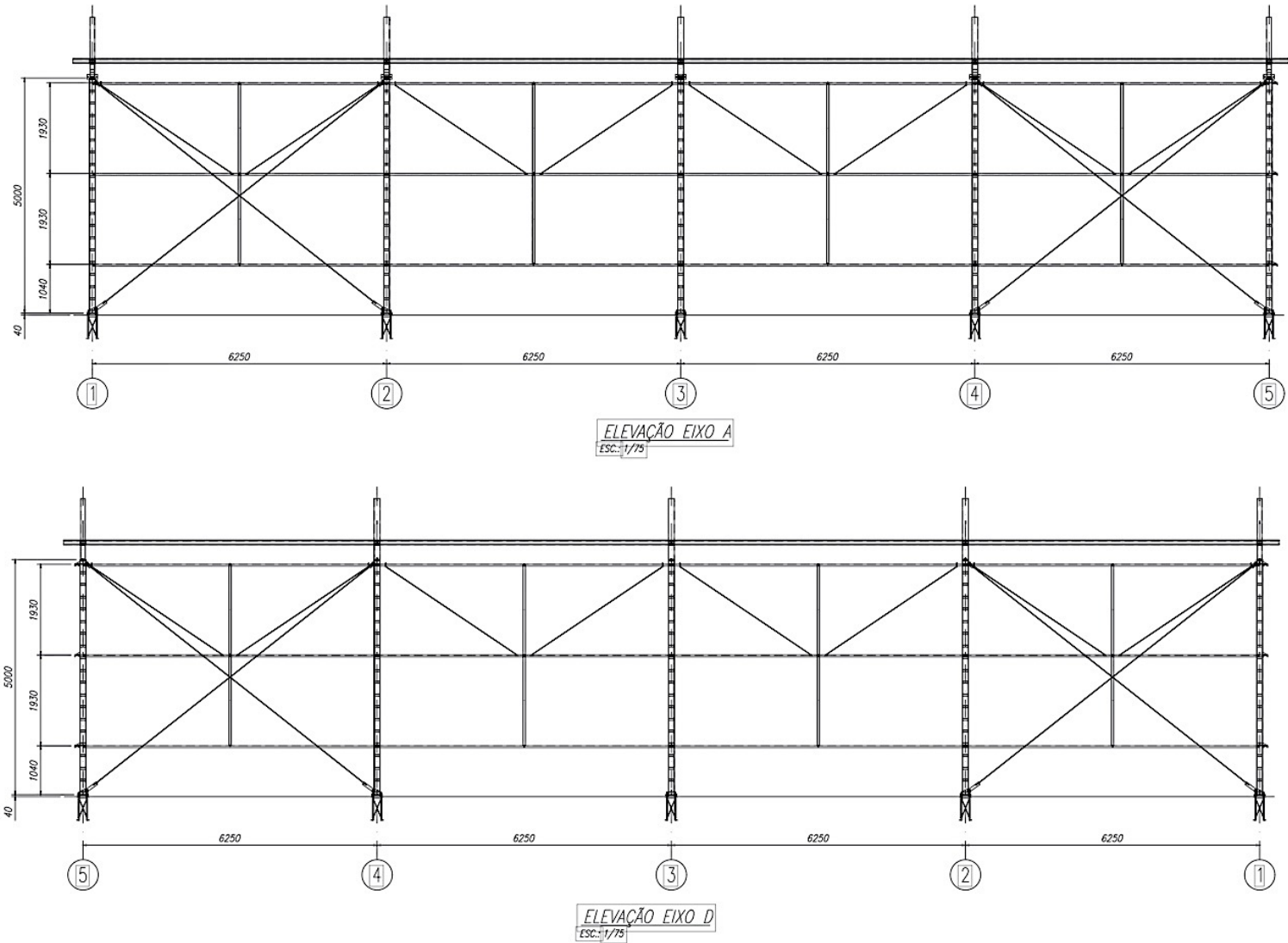


Figura 77 – Alçado do eixo A e D AutoCAD

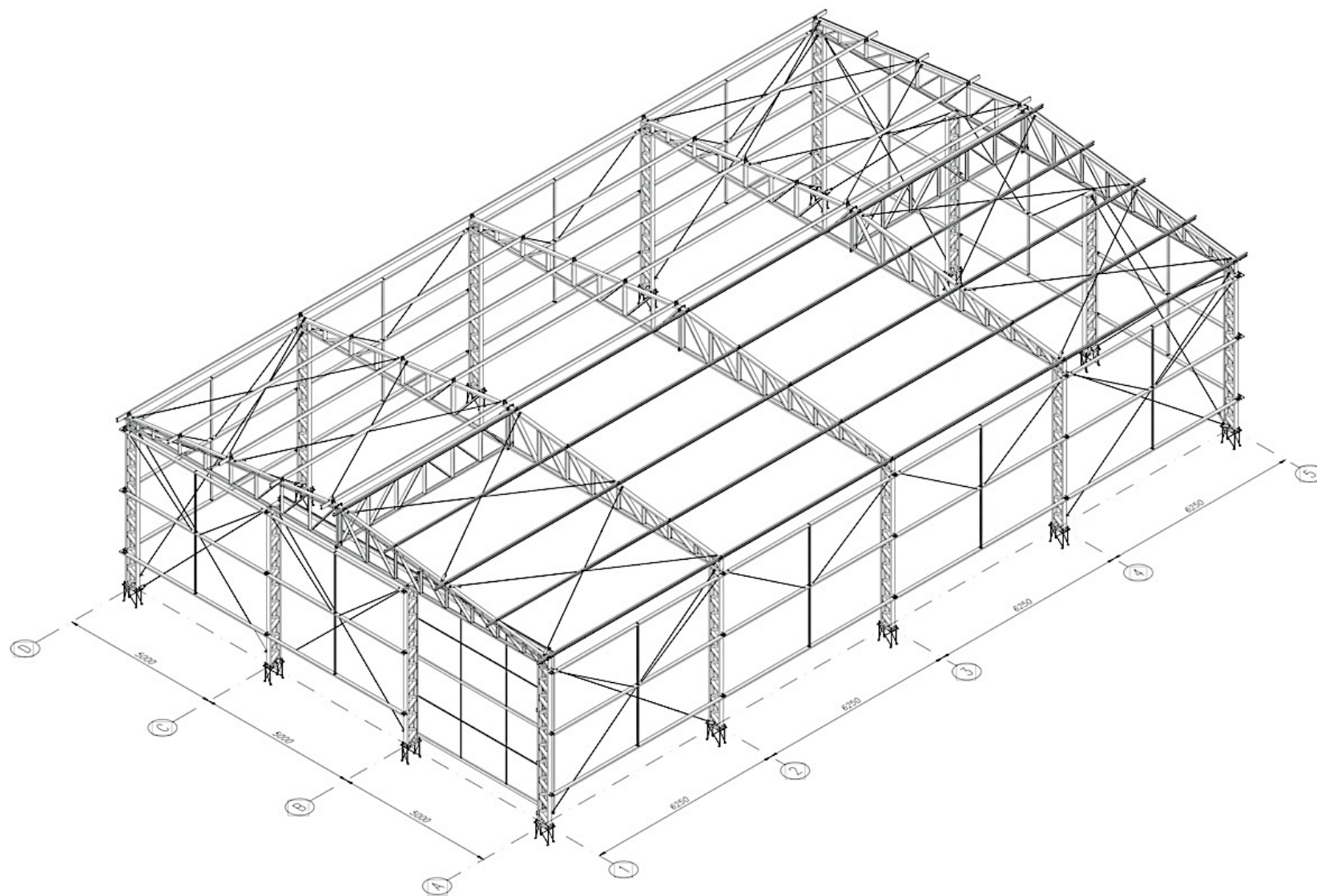


Figura 78 – Vista isométrica AutoCAD

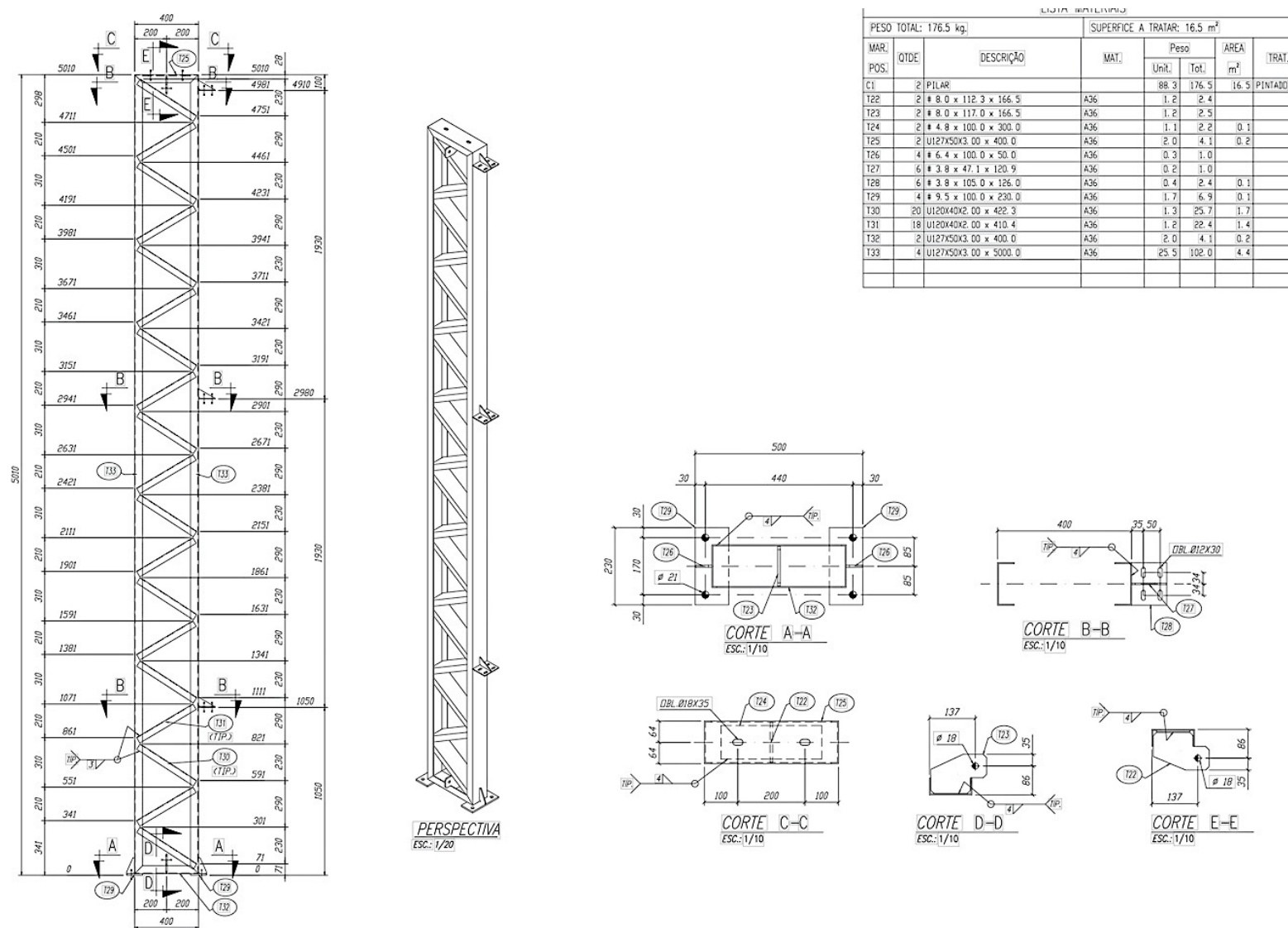


Figura 79 – Pormenor dos pilares AutoCAD

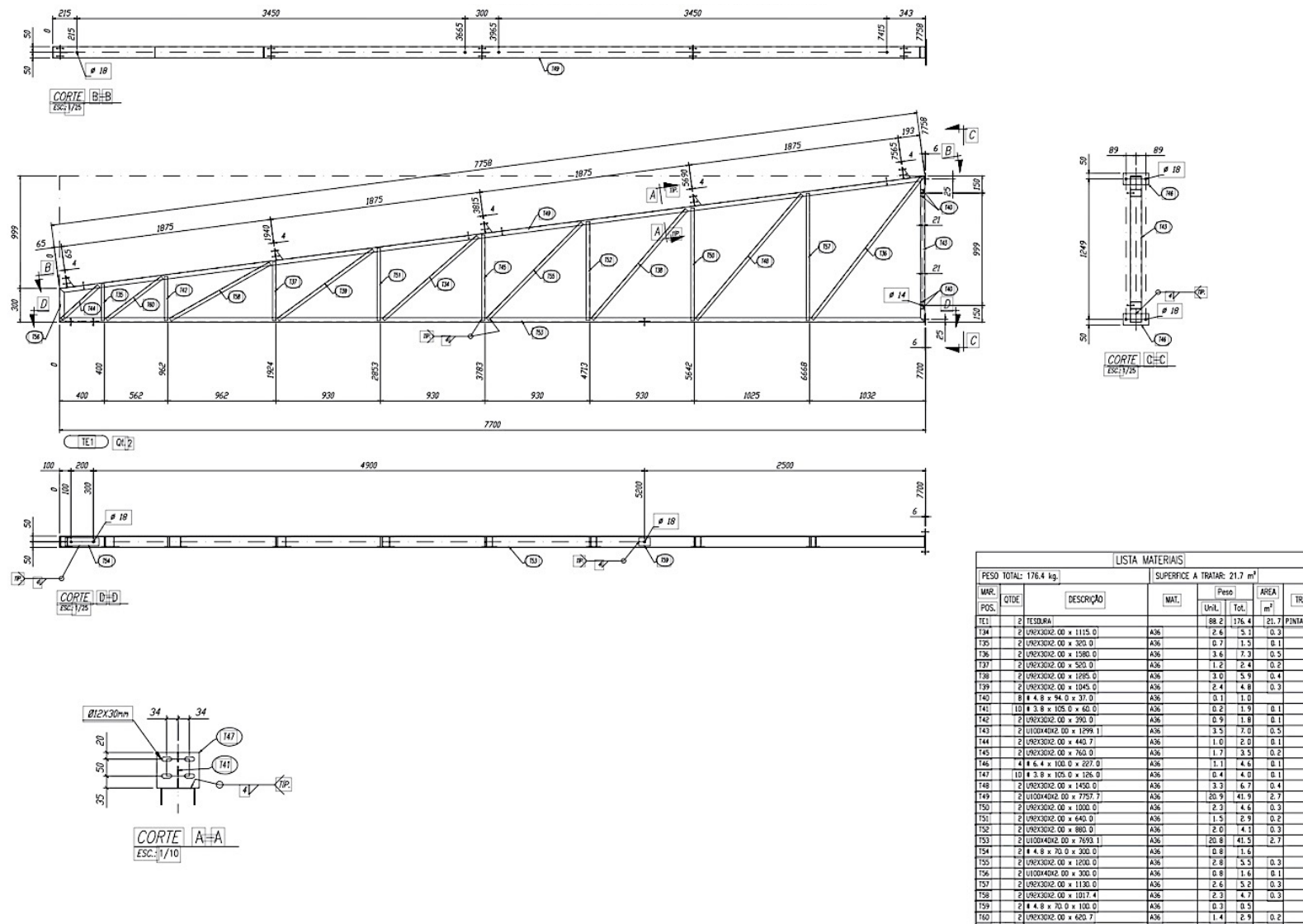


Figura 80 – Pormenor das tesouras AutoCAD

MAR. POS.		QTD.	DESCRIÇÃO	MAT.	Peso		ÁREA	TRAT.
					Unit.	Tot.	m <sup>2</sup>	
PESO TOTAL: 144.7 kg.					SUPERFÍCIE A TRATAR: 18.3 m <sup>2</sup>			
VT1					72.3	144.7	18.3	PINTADO
T107	10	U92X30X2.00 x 1080.0	A36	2.5	24.8	1.6		
T108	10	U92X30X2.00 x 1420.0	A36	3.3	32.7	2.1		
T109	8	# 6.4 x 60.0 x 115.0	A36	0.3	2.8	0.1		
T110	4	U100X40X2.00 x 1099.0	A36	3.0	11.9	0.8		
T111	4	U100X40X2.00 x 6122.3	A36	16.5	66.1	4.3		
T112	2	U92X30X2.00 x 1400.0	A36	3.2	6.4	0.4		

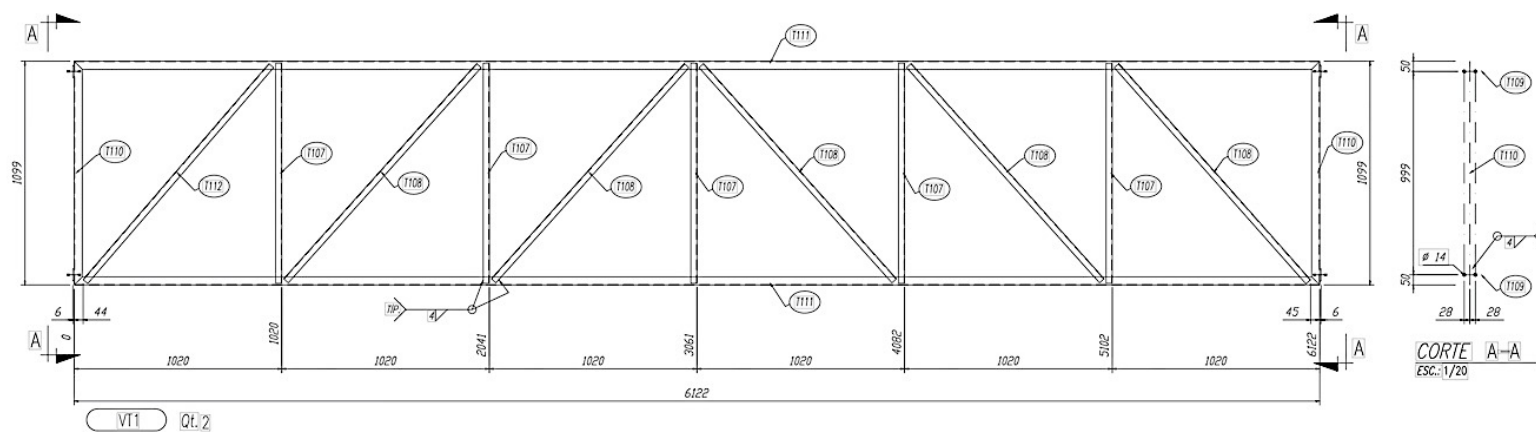
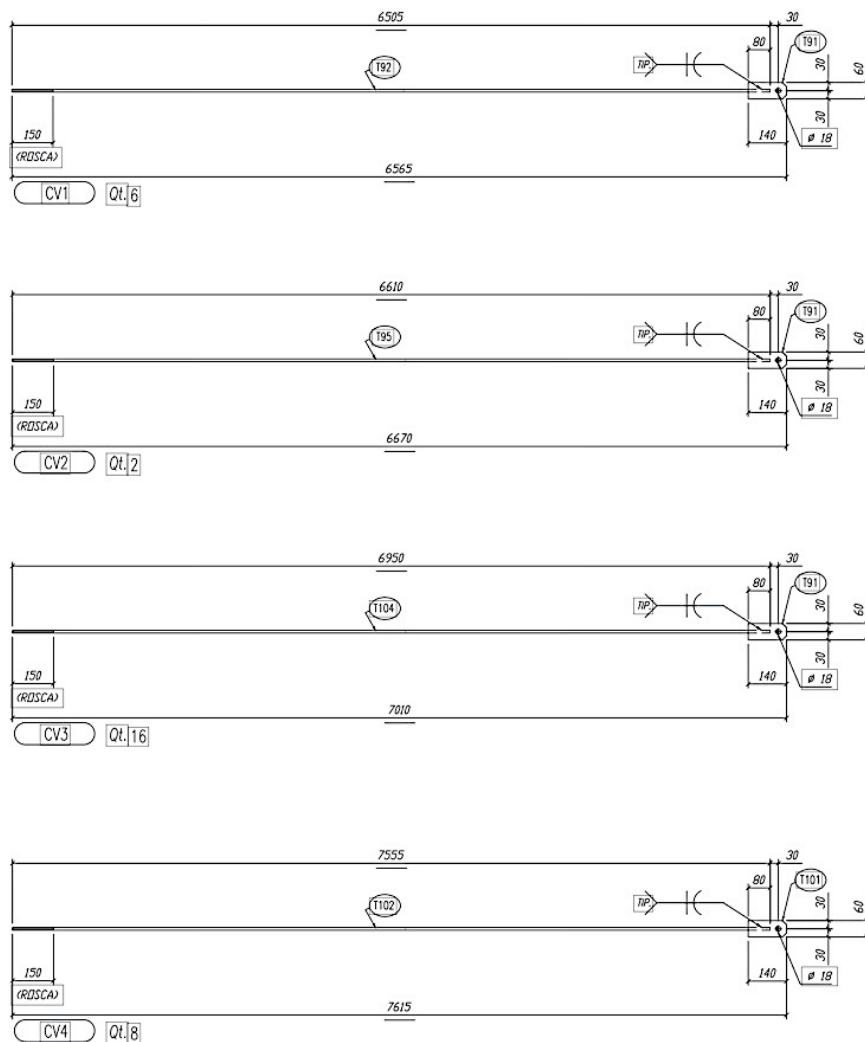


Figura 81 – Pormenor dos travamentos AutoCAD



MAR.		PESO TOTAL: 187.6 kg.		SUPERFICIE A TRATAR: 9.0 m <sup>2</sup>		
POS.	QTD	DESCRIÇÃO	MAT.	Unit.	Tot.	TRAT.
CV1	6	CONTRAVENTO		4.4	26.6	1.3 PINTADO
T91	6	# 8.0 x 60.0 x 140.0	A36	0.5	3.2	
T92	6	FE3/8" x 6505.0	A36	3.9	23.4	0.2
CV2	2	CONTRAVENTO		4.5	9.0	0.4 PINTADO
T91	2	# 8.0 x 60.0 x 140.0	A36	0.5	1.1	
T95	2	FE3/8" x 6610.0	A36	4.0	7.9	0.2
CV3	16	CONTRAVENTO		4.7	75.1	3.6 PINTADO
T104	16	FE3/8" x 6950.0	A36	4.2	66.7	0.2
T91	16	# 8.0 x 60.0 x 140.0	A36	0.5	8.4	
CV4	8	CONTRAVENTO		5.1	40.5	2.0 PINTADO
T101	8	# 8.0 x 60.0 x 140.0	A36	0.5	4.2	
T102	8	FE3/8" x 7555.0	A36	4.5	36.2	0.2
SC1	32	SUORTE DE CONTRAVENTO		1.1	36.5	1.7 PINTADO
T122	32	# 3.0 x 54.0 x 74.0	A36	0.1	3.0	
T123	32	L300X60X6.35 x 60.0	A36	1.0	33.5	

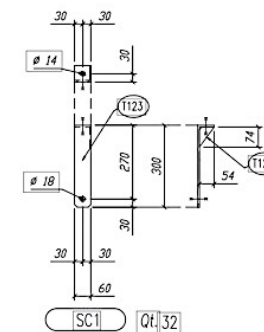


Figura 82 – Pormenores dos contraventos AutoCAD

## **Anexo B – Modelação**

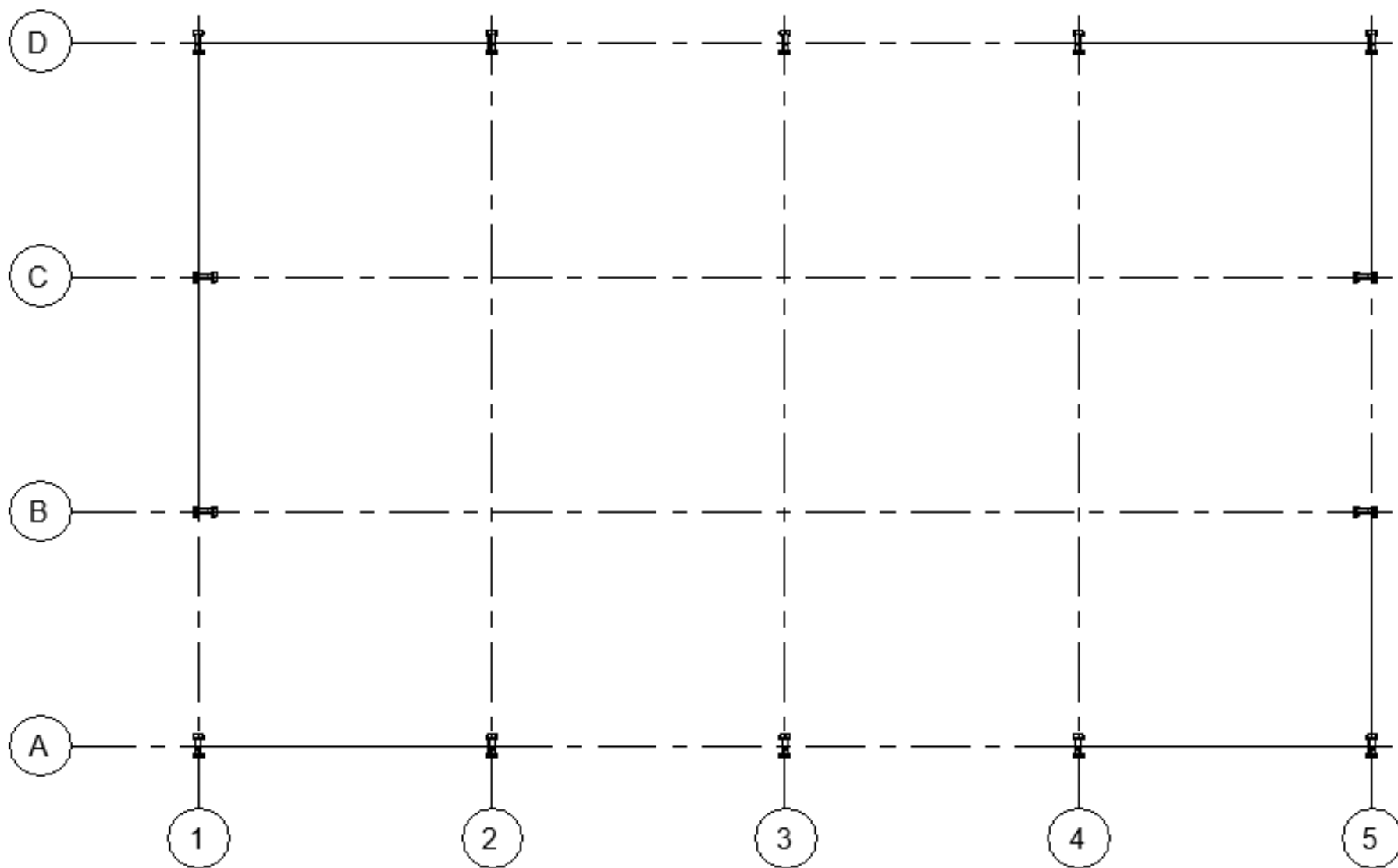


Figura 83 – Planta da base Revit

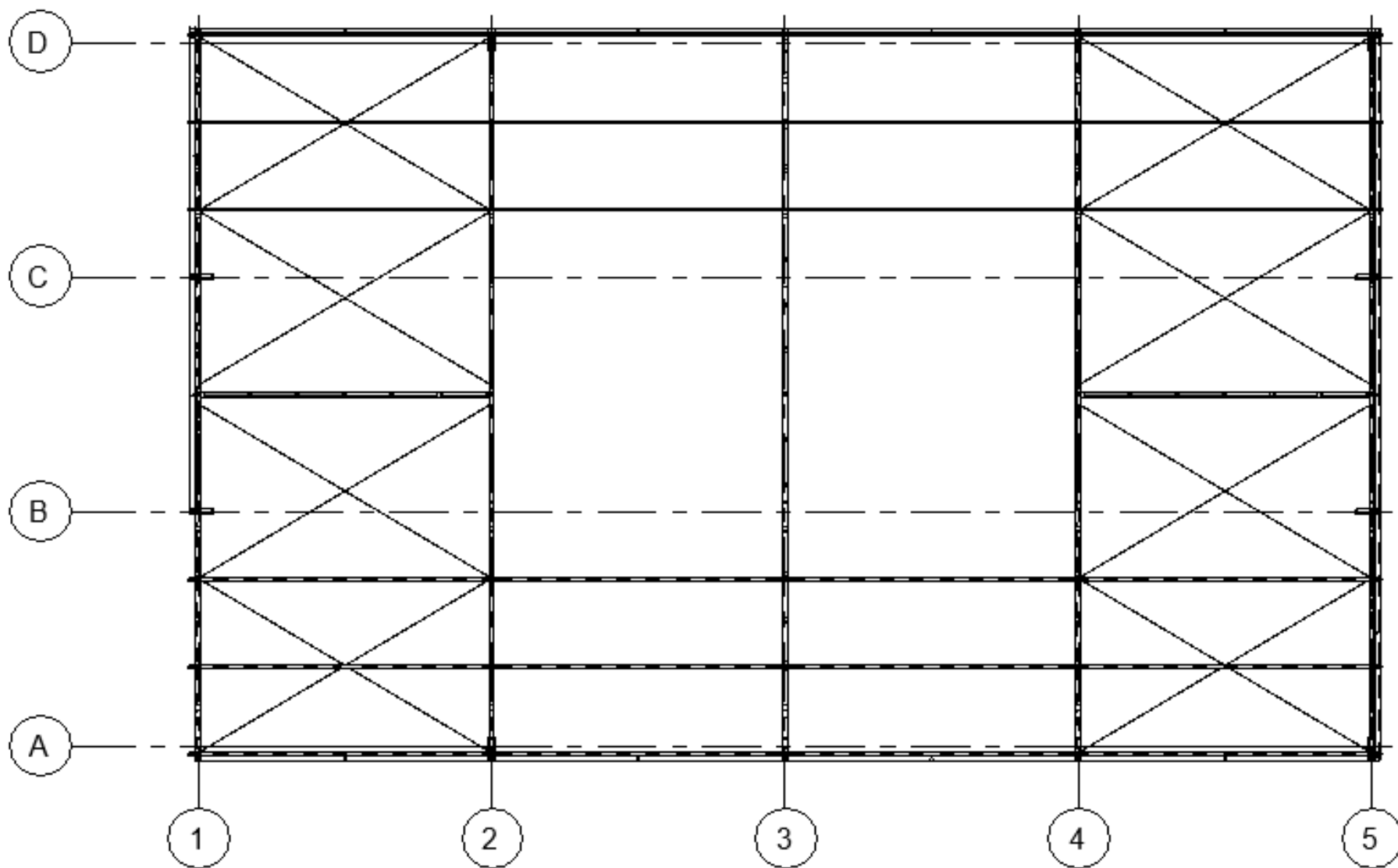


Figura 84 – Planta da cobertura Revit

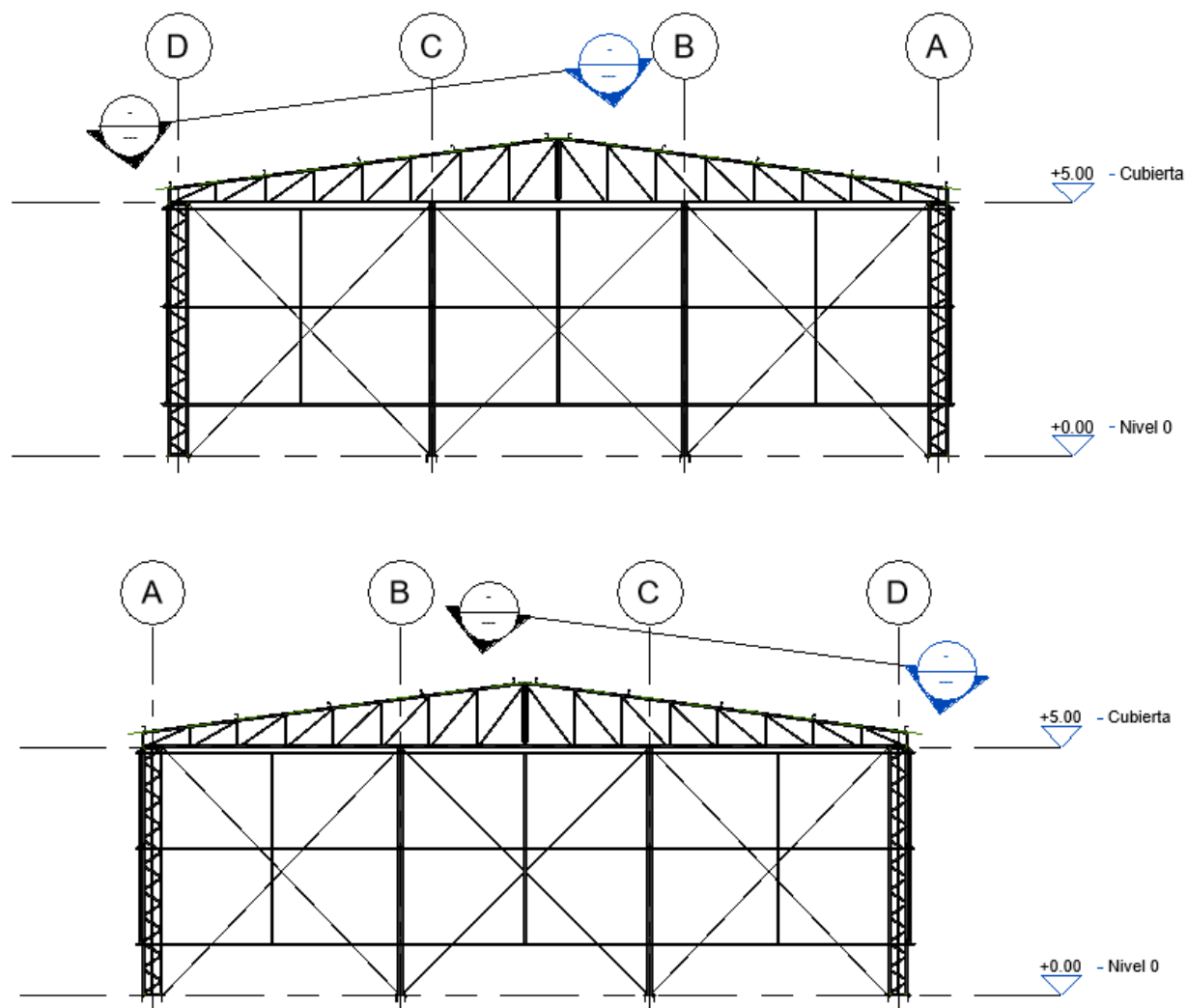


Figura 85 – Alçado do eixo A e D Revit

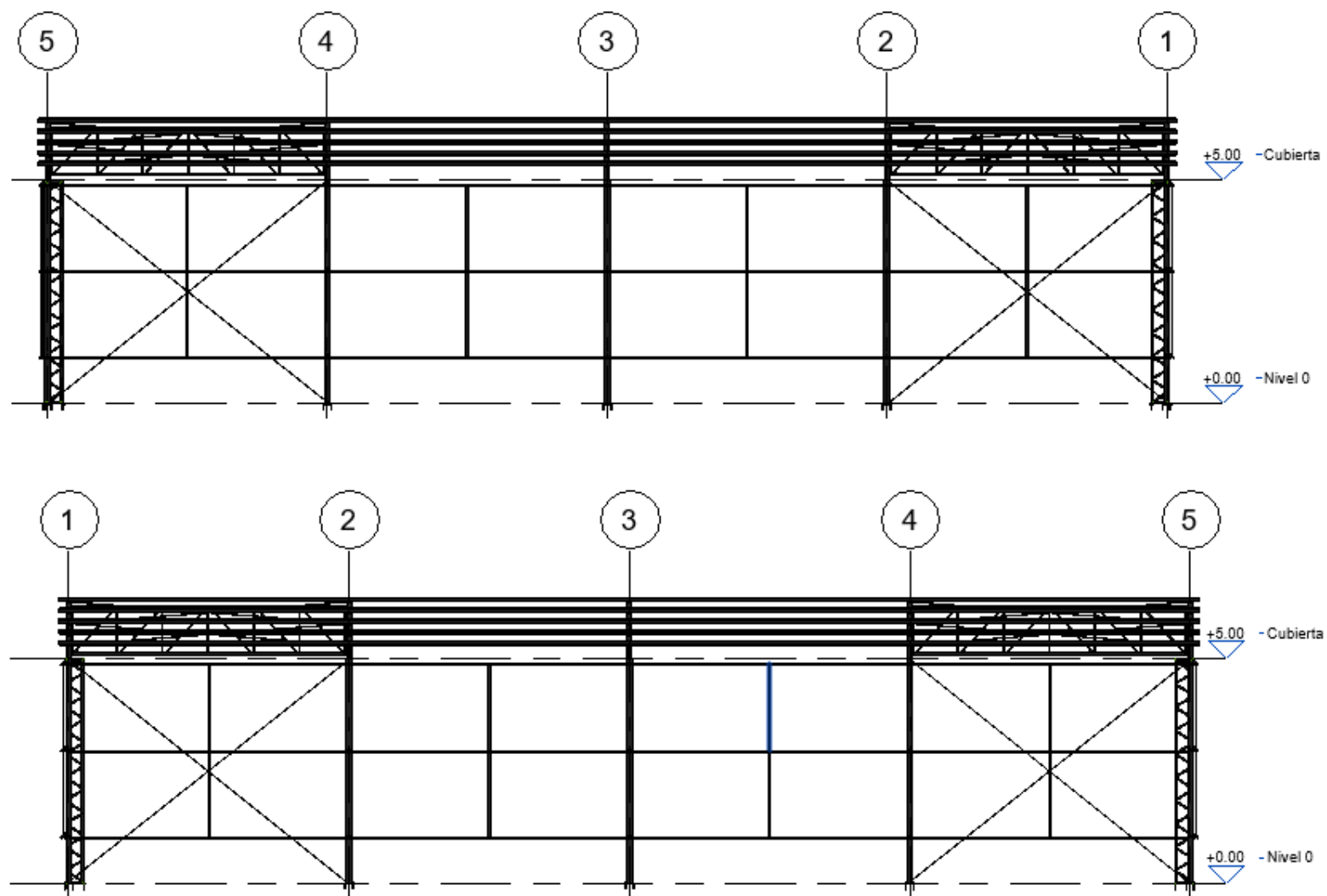


Figura 86 – Alçado do eixo 1 e 5 Revit

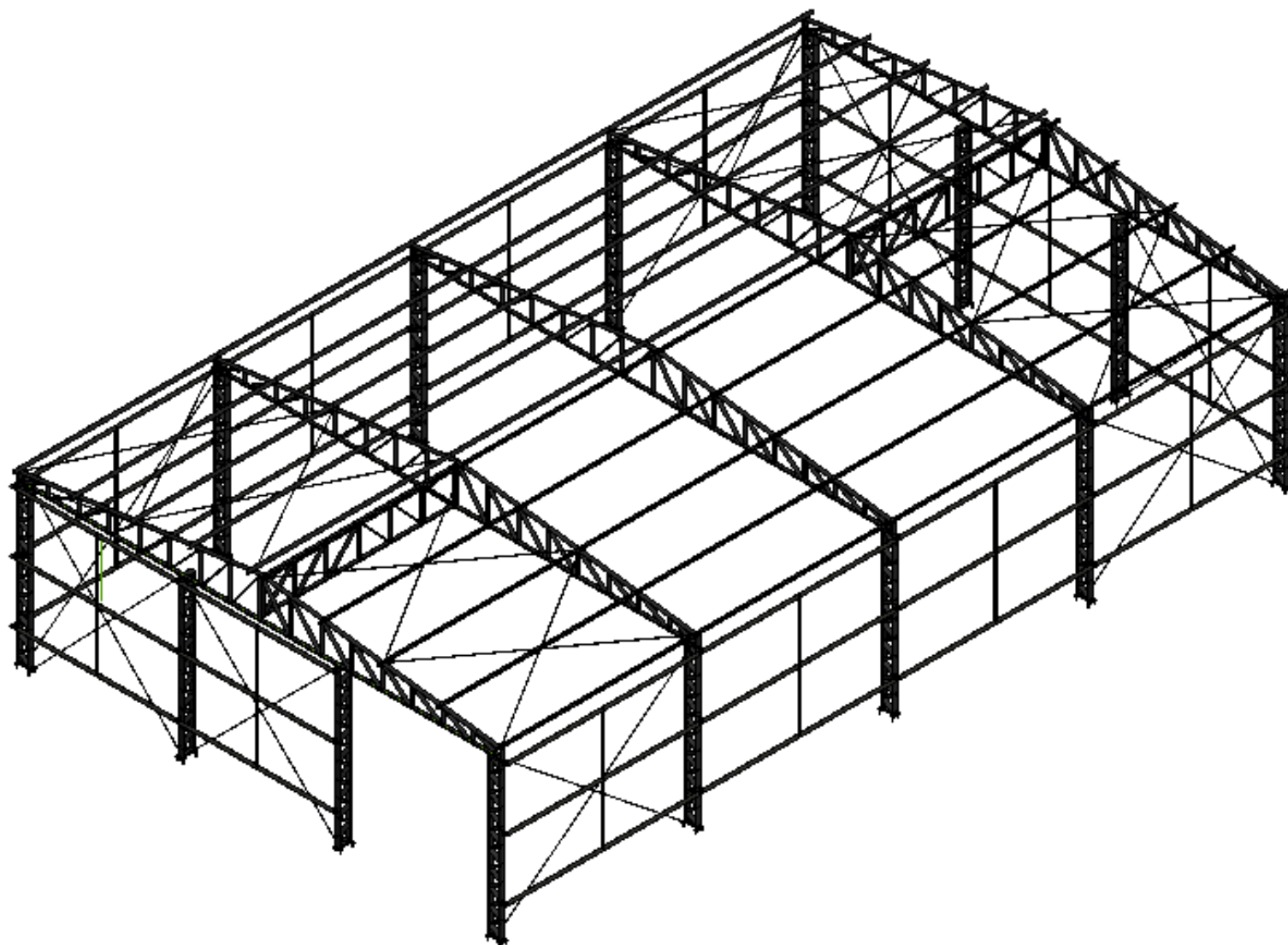


Figura 87 – Vista tridimensional Revit

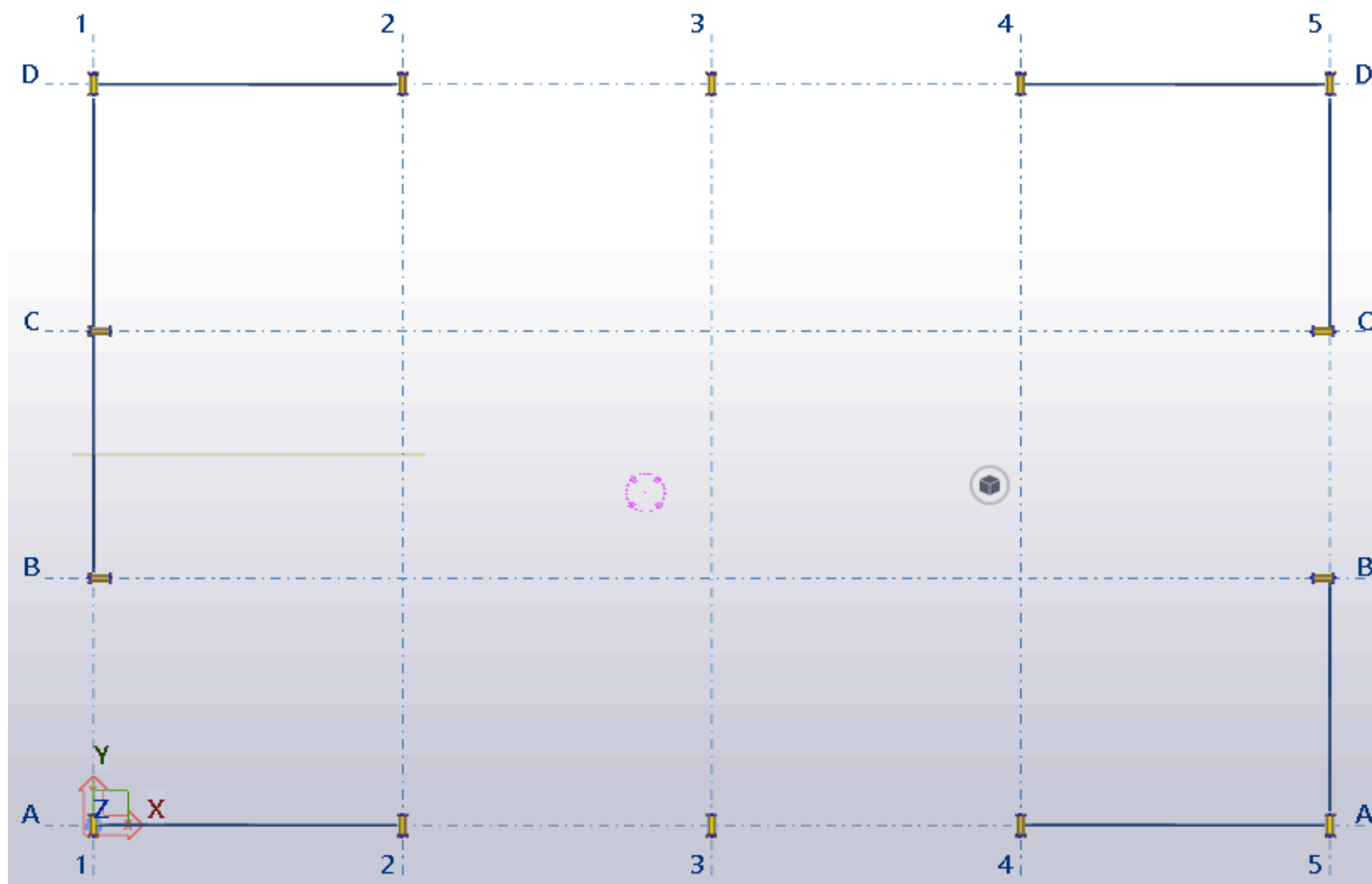


Figura 88 – Planta da base Tekla Structures

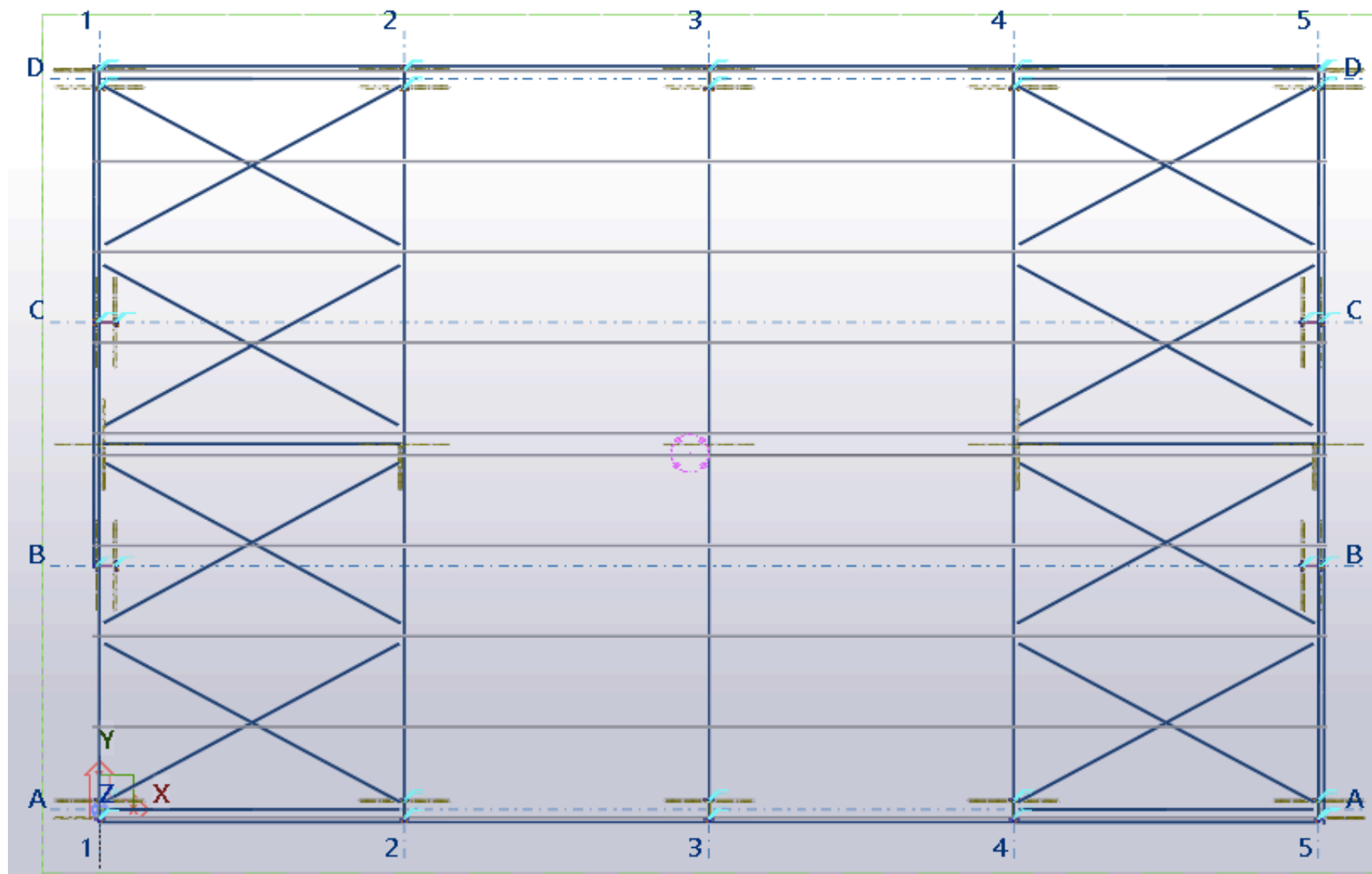


Figura 89 – Planta da cobertura Tekla Structures

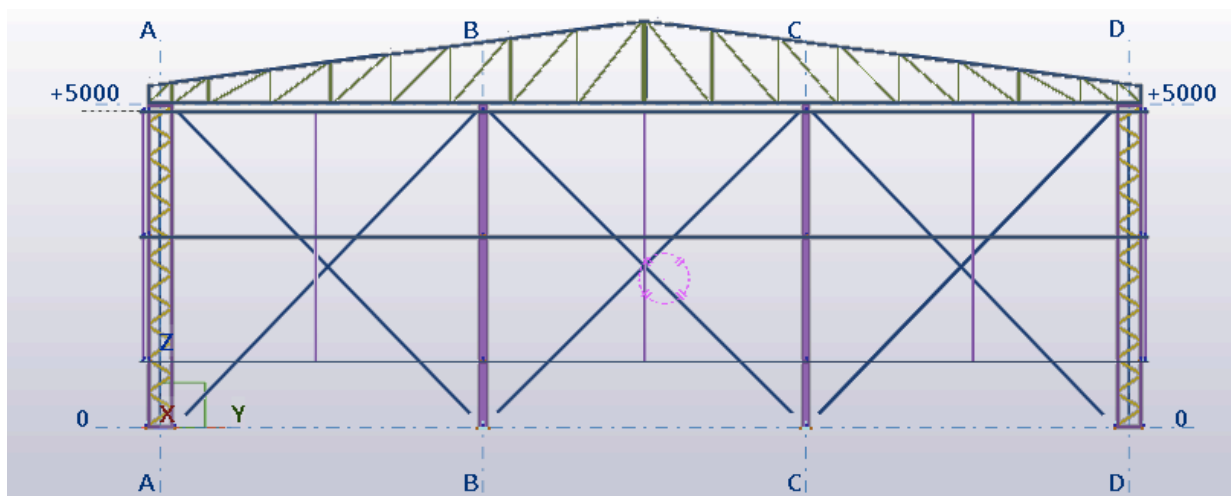
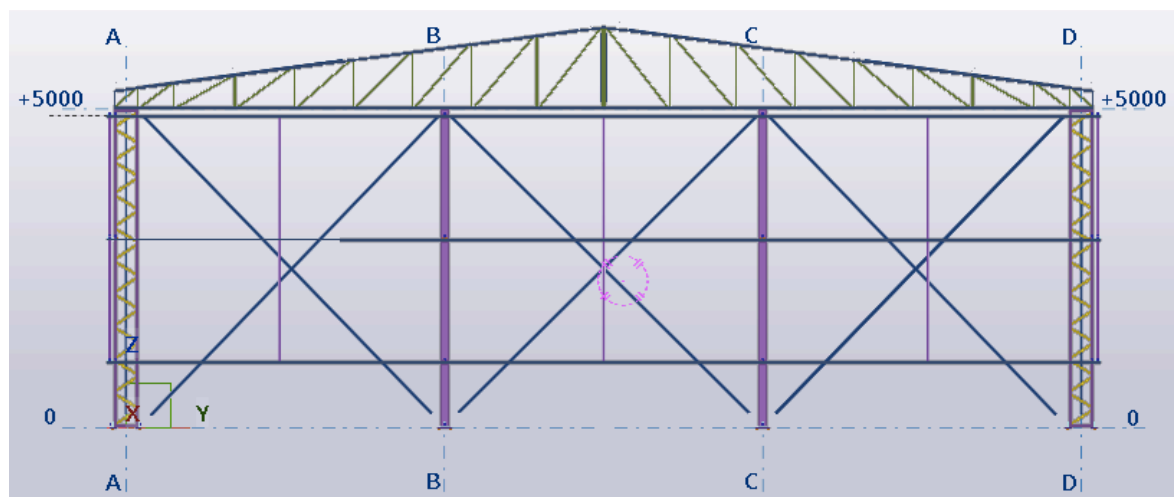


Figura 90 – Alçados dos eixos A e D Tekla Structures

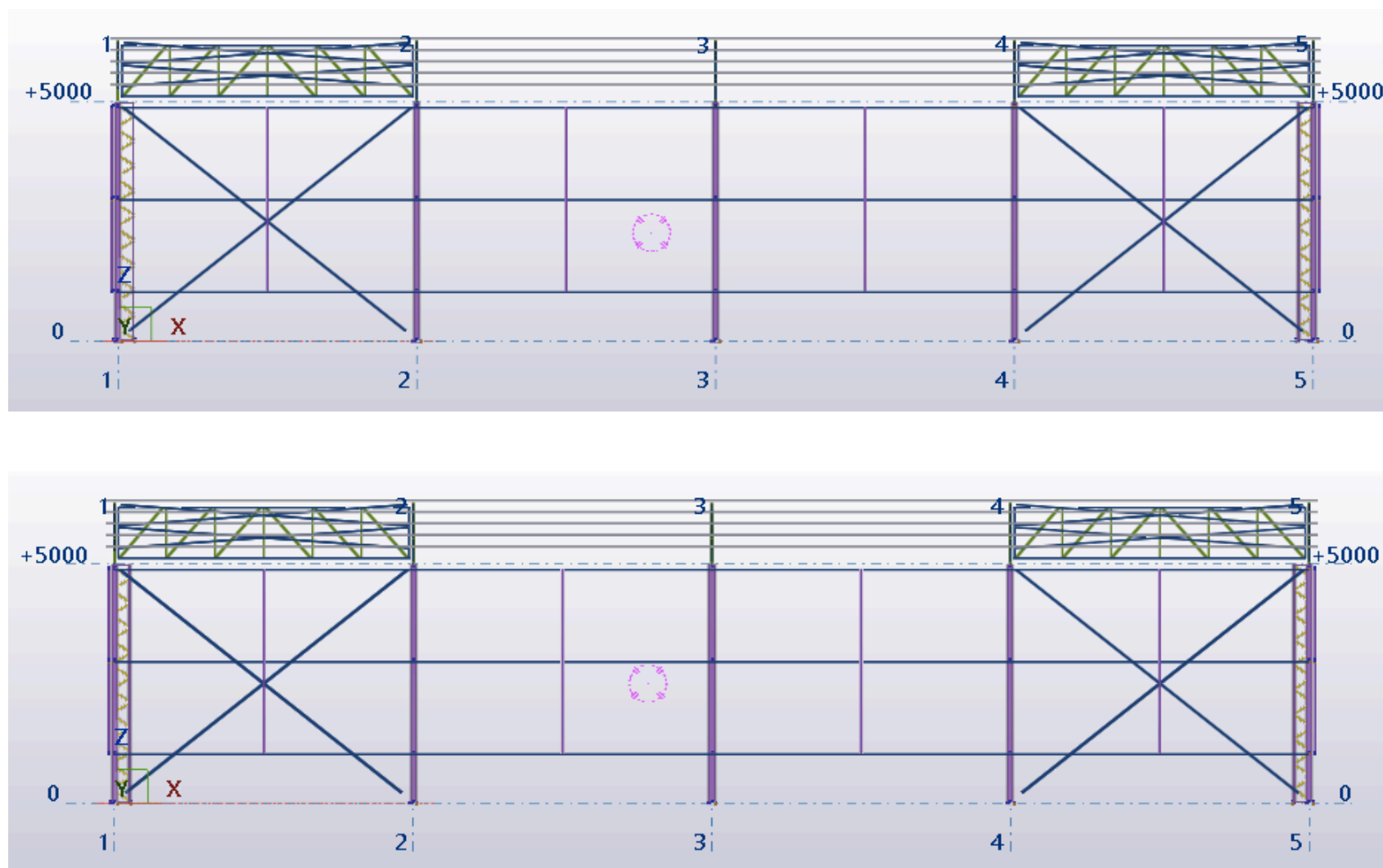


Figura 91 – Alçados dos eixos 1 e 5 Tekla Structures

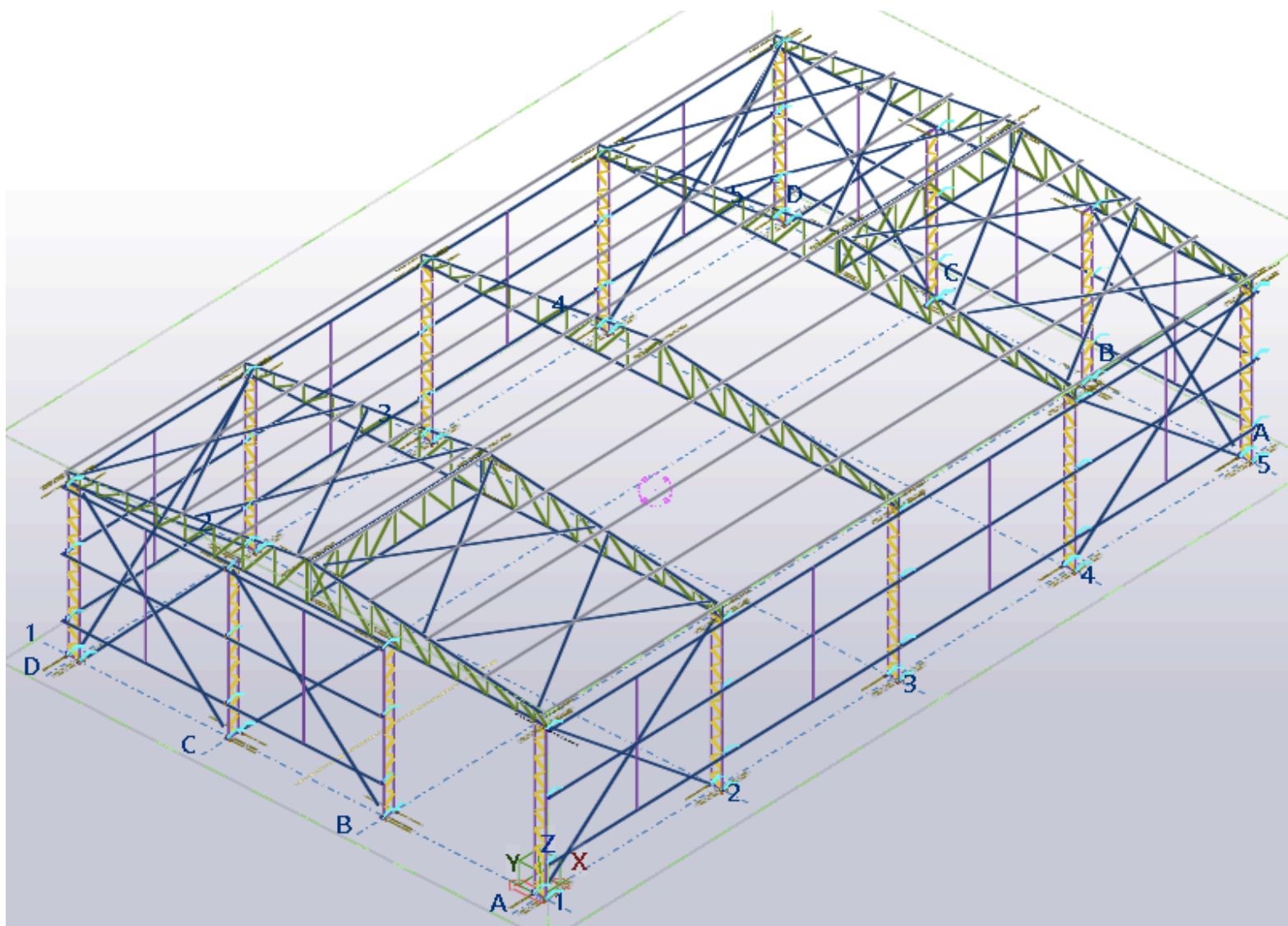


Figura 92 – Vista tridimensional Tekla Structures

## **Anexo C – Resultados**

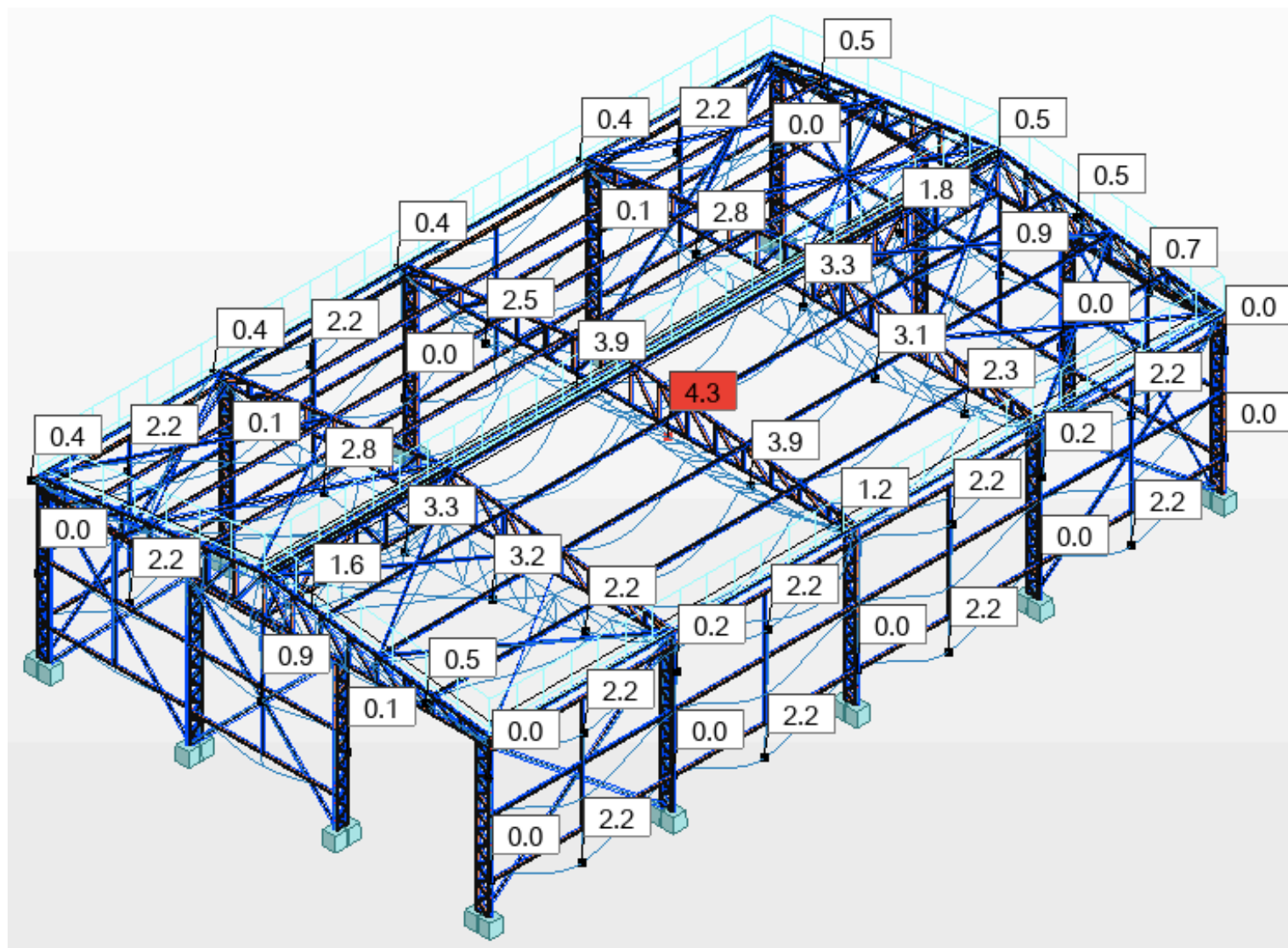


Figura 93 – Deformação crítica Robot Structural Analysis



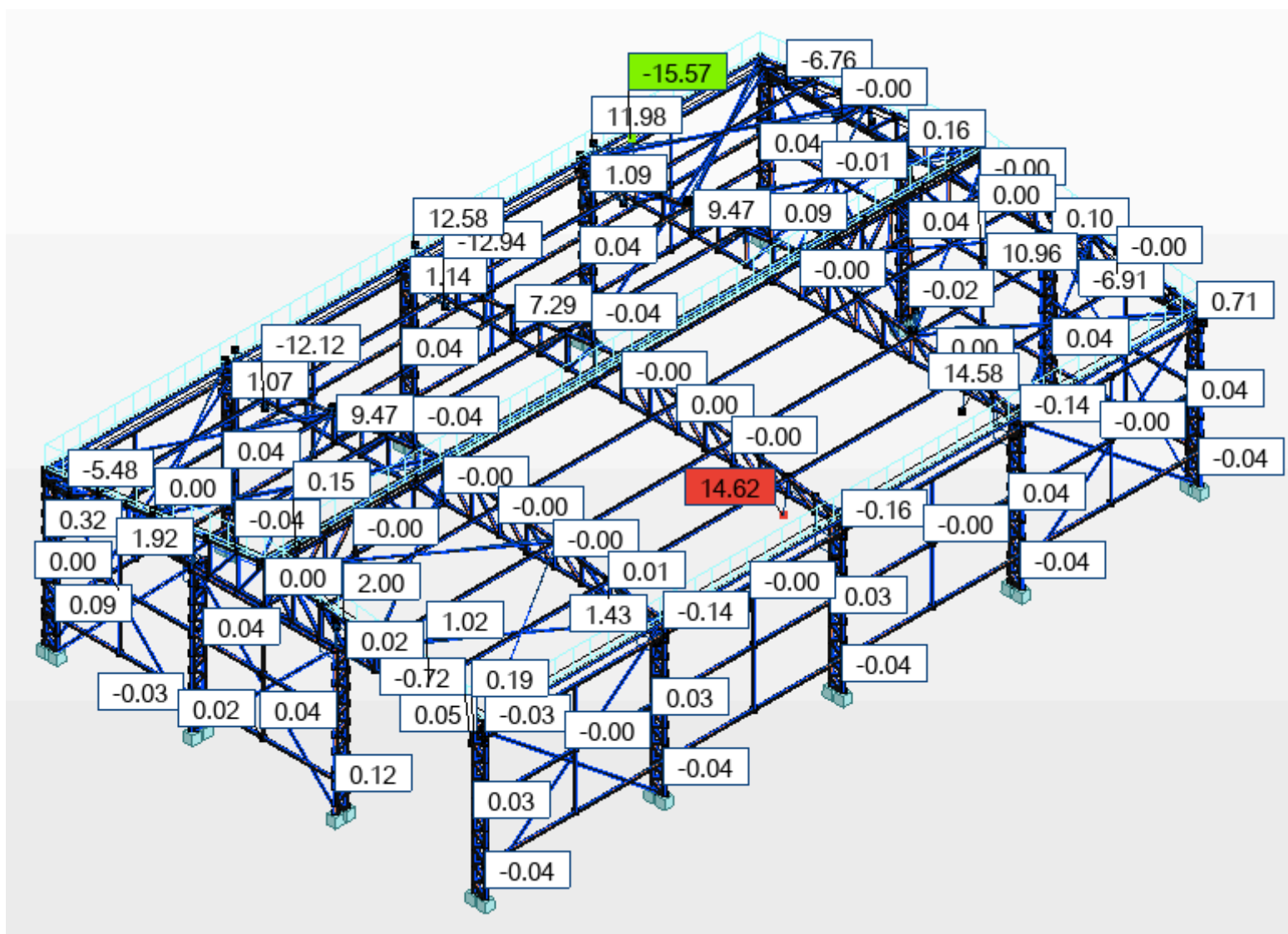


Figura 95 – Esforço transverso crítico Robot Structural Analysis

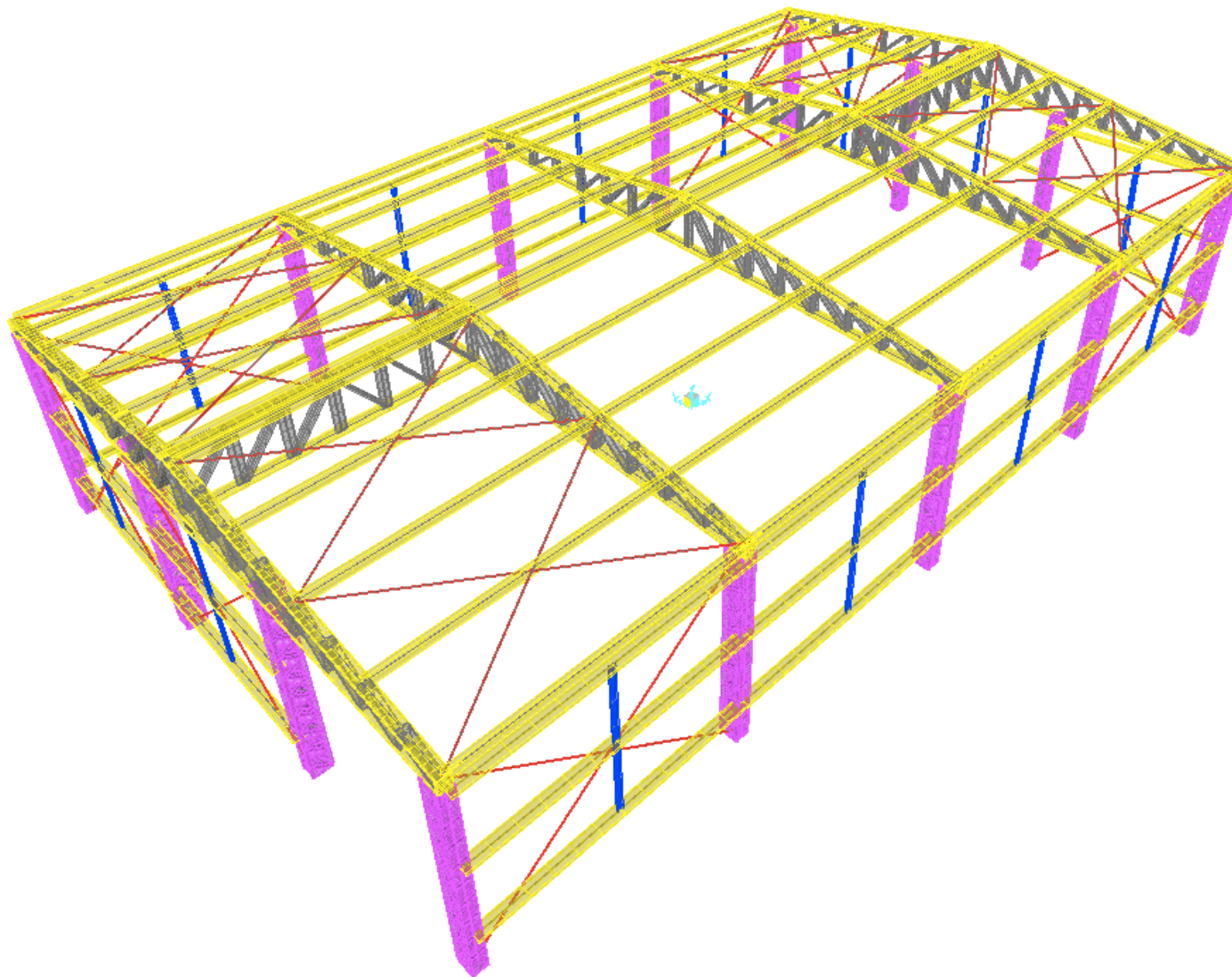


Figura 96 – Deformação crítica SAP2000

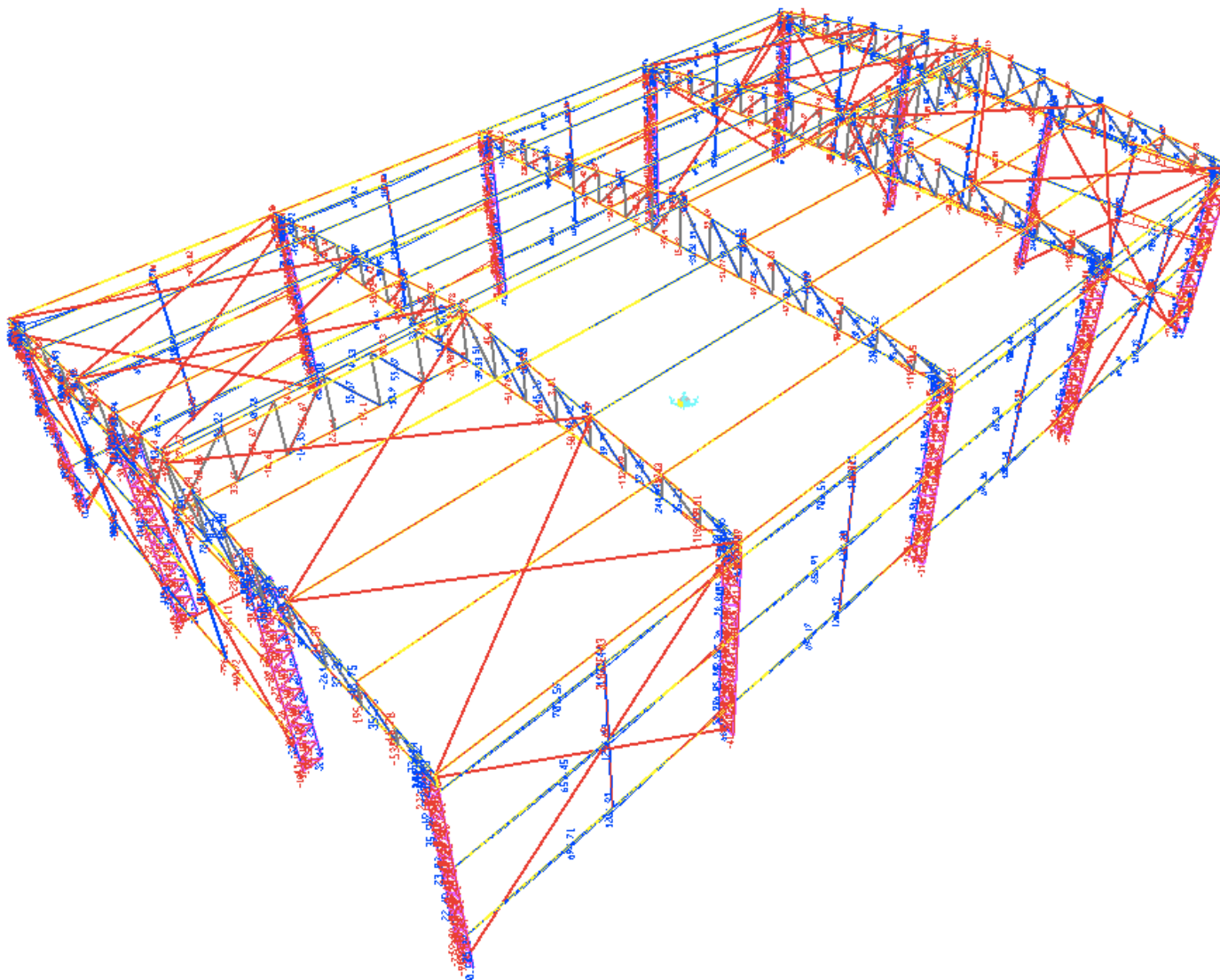


Figura 97 – Momento crítico SAP2000

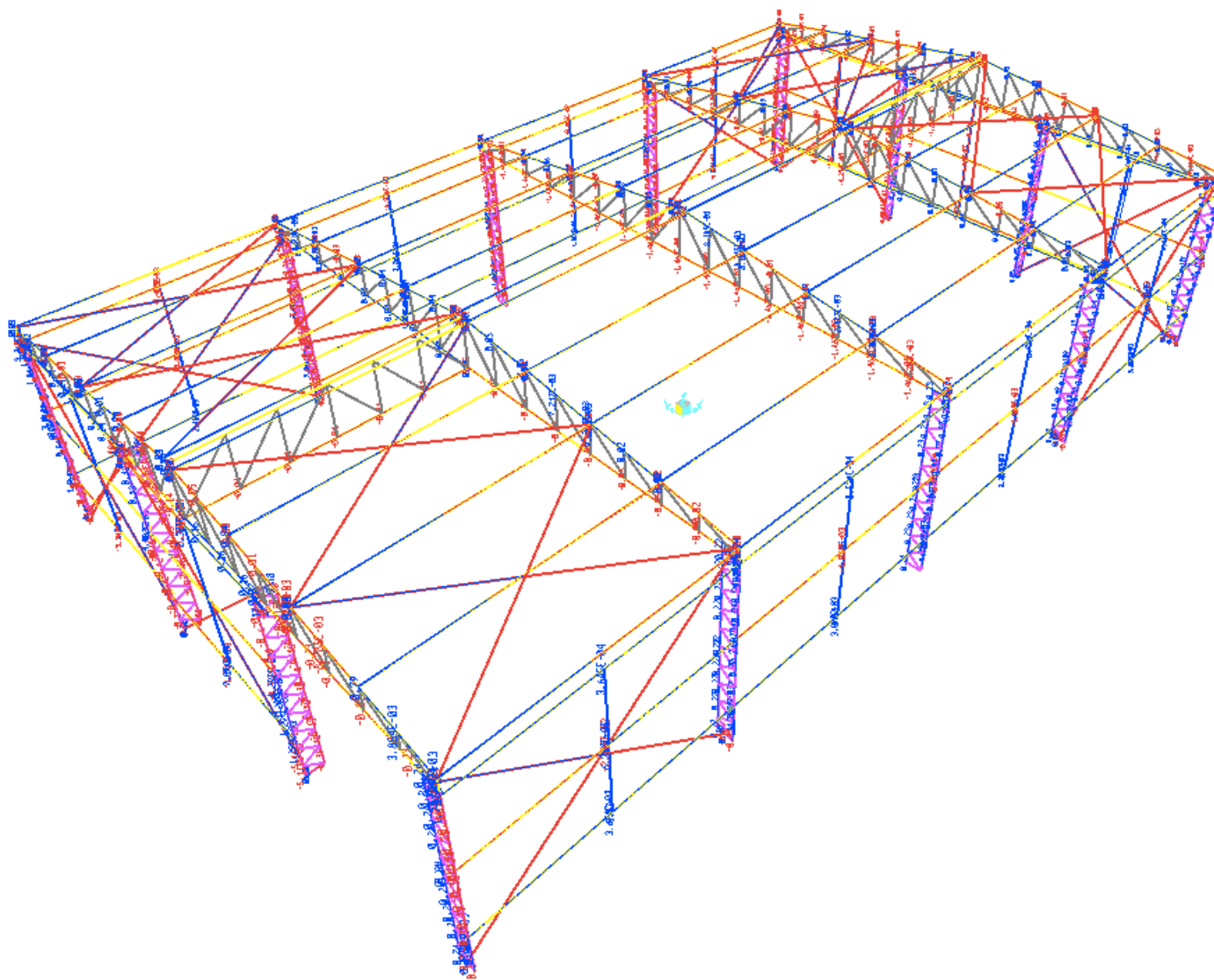


Figura 98 – Esforço transverso crítico SAP2000