



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Bruno Farias Nunes

**Automação da Criação de Bases Estruturais no Revit a partir de Suportes  
Secundários.**

Blumenau  
2025

Bruno Farias Nunes

**Automação da Criação de Bases Estruturais no Revit a partir de Suportes Secundários.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Daniel Alejandro Ponce Saldías, Dr.

Blumenau  
2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Nunes, Bruno

Automação da Criação de Bases Estruturais no Revit a partir de Suportes Secundários / Bruno Nunes ; orientador, Daniel Saldías, 2025.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Metodologia BIM. 3. SQL Server. 4. Autodesk Revit. 5. Plantas industriais de etanol. I. Saldías, Daniel. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

Bruno Farias Nunes

**Automação da Criação de Bases Estruturais no Revit a partir de Suportes Secundários.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, 12 de Dezembro de 2025.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Daniel Alejandro Ponce Saldías, Dr.  
UFSC

---

Prof. Carlos Roberto Moratelli, Dr.  
UFSC

---

Prof. Guilherme Brasil Pintarelli, Dr.  
UFSC

*Aos amigos, colegas e professores da UFSC Blumenau, cujo incentivo, companheirismo e exemplo foram fundamentais ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.*

*À memória de meus pais, Adriano e Adriana, bem como de meus avós, que constituíram o alicerce afetivo e ético desta caminhada.*

*À minha esposa Bárbara e a minha filha Betina, pelo apoio incondicional e por serem minha maior fonte de motivação e alegria.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à equipe da Aplus Engenharia pela oportunidade de desenvolver este trabalho em um ambiente profissional que valoriza a inovação e a melhoria contínua dos processos de projeto.

Registro um agradecimento especial aos colegas do time de Desenvolvimento e Inovação, pela colaboração direta nas etapas de concepção, testes e validação do add-in, pelas discussões técnicas, pela disponibilidade em compartilhar experiências e pelos constantes feedbacks que contribuíram de forma decisiva para o amadurecimento da solução aqui apresentada.

A todos os profissionais que, de maneira direta ou indireta, apoiaram a implementação e experimentação da ferramenta nos projetos da empresa, deixo meu sincero reconhecimento e gratidão.

## RESUMO

O trabalho apresenta o desenvolvimento de um add-in para o Autodesk Revit<sup>®</sup> que automatiza a criação e a atualização de bases civis associadas a suportes secundários em plantas industriais de etanol. Inserido no contexto do BIM multidisciplinar, o estudo tem como objetivo reduzir o trabalho manual e as divergências de coordenadas entre as áreas da engenharia de Tubulação, Estruturas Metálicas e Civil a partir da leitura direta de dados publicados no SQL Server pelos softwares Autodesk Plant 3D<sup>®</sup> e Autodesk Advance Steel<sup>®</sup>. A pesquisa descreve o processo vigente de criação manual de bases, identifica gargalos relacionados à sincronização de modelos, à ausência de normalização espacial, ao retrabalho e estrutura uma solução orientada a dados. A metodologia organiza o fluxo em quatro etapas integradas: o add-in lê coordenadas e identificações de suportes típicos e especiais no banco corporativo; normaliza unidades e sistemas de referência para o ambiente interno do Revit; aplica critérios geométricos de tolerância para relacionar suportes e bases; e cria ou atualiza elementos da categoria Floors com parâmetros padronizados, cores indicativas de status e geração de logs para auditoria. Os resultados apontam redução do tempo de modelagem, aumento da precisão geométrica e maior rastreabilidade entre modelos e banco de dados. Conclui-se que a automação proposta é tecnicamente viável, reforça a integração entre áreas multidisciplinares e consolida um fluxo BIM mais confiável para projetos industriais de etanol.

**Palavras-chave:** BIM; Autodesk Revit; automação de bases civis; SQL Server; plantas industriais de etanol

## ABSTRACT

This work presents the development of an add-in for Autodesk Revit<sup>®</sup> that automates the creation and updating of civil bases associated with secondary supports in ethanol industrial plants. Within the context of multidisciplinary BIM, the study aims to reduce manual work and coordinate discrepancies among the piping, steel structures, and civil engineering disciplines by directly reading data stored in SQL Server by Autodesk Plant 3D<sup>®</sup> and Autodesk Advance Steel<sup>®</sup>. The research describes the current manual process of base creation, identifies bottlenecks related to model synchronization, lack of spatial normalization, and rework, and structures a data-oriented solution. The proposed methodology organizes the workflow into four integrated stages: the add-in reads coordinates and identifiers of typical and special supports from the corporate database; normalizes units and reference systems to the Revit internal environment; applies geometric tolerance criteria to relate supports and bases; and creates or updates elements in the Floors category with standardized parameters, status-indicating colors, and log generation for auditing. The results indicate a reduction in modeling time, increased geometric accuracy, and improved traceability between models and the database. It is concluded that the proposed automation is technically feasible, strengthens integration among multidisciplinary teams, and consolidates a more reliable BIM workflow for ethanol industrial projects.

**Keywords:** BIM; Autodesk Revit; automation of civil bases; SQL Server; ethanol industrial plants.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de trabalho . . . . .	25
Figura 2 – Fluxo atual: Processo tradicional de criação do projeto. . . . .	34
Figura 3 – Fluxograma automatizado: Processo de automatização proposto (add-in)	36
Figura 4 – Fluxograma para obtenção da string de conexão do banco de dados no SQL Server . . . . .	38
Figura 5 – Consulta típica à tabela <b>SteelStructure</b> . . . . .	41
Figura 6 – Consulta à tabela <b>Equipment</b> . . . . .	42
Figura 7 – Consulta à tabela <b>EngineeringItems</b> . . . . .	42
Figura 8 – Aba Aplus personalizada na <i>Ribbon</i> do Revit . . . . .	45
Figura 9 – Painel <i>Bases</i> da aba Aplus, com os três comandos do <i>add-in</i> . . . . .	45
Figura 10 – Preencher Referências . . . . .	46
Figura 11 – Botão <i>Editar Tags Ignoradas</i> na aba Aplus da <i>Ribbon</i> . . . . .	48
Figura 12 – Janela de edição de <i>tags</i> ignoradas utilizada pelo comando <i>Editar Tags</i> <i>Ignoradas</i> . . . . .	49
Figura 13 – Botão <i>Criar Bases</i> na aba Aplus da <i>Ribbon</i> do Revit . . . . .	50
Figura 14 – Formulário <i>Criar Bases Automáticas</i> utilizado pelo comando <i>Criar Bases</i>	50
Figura 15 – Exemplo de criação automática de bases civis e preenchimento de pro- priedades . . . . .	52
Figura 16 – Tabela ADV – CENTRO DE GRAVIDADE com informações de coordenadas para suportes especiais . . . . .	53
Figura 17 – Exemplo de criação automática de bases civis para suportes especiais (SE) . . . . .	53
Figura 18 – Configuração - Criar Bases . . . . .	54
Figura 19 – Formulário de criação de bases . . . . .	55
Figura 20 – Exemplo de preenchimento de propriedades segundo o padrão adotado	56
Figura 21 – Vista lateral do void . . . . .	62
Figura 22 – Vista de cima do void . . . . .	62
Figura 24 – Base Rotacionada . . . . .	63
Figura 23 – Etapas intermediárias do cálculo de orientação a partir dos pontos de COG: (a) centroide, (b) covariância, (c) autovalor, (d) autovetor e (e) ângulo final. . . . .	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo resumido do processo de criação de bases . . . . .	57
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Interface de Programação de Aplicações (Application Programming Interface)
BIM	Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling)
CDE	Ambiente Comum de Dados (Common Data Environment)
COG	Centro de Gravidade (Center of Gravity)
DWG	Formato DWG (Drawing) – arquivo de desenho/modelagem do ecossistema AutoCAD/Plant 3D
JSON	Notação de Objetos JavaScript (JavaScript Object Notation)
NWD	Formato NWD (Navisworks Document) – arquivo de publicação “congelada” do Navisworks
NWF	Formato NWF (Navisworks File Set) – arquivo de coordenação que referencia os modelos-fonte
RVT	Formato RVT – arquivo do Autodesk Revit
SQLServer	Microsoft SQL Server (sistema gerenciador de banco de dados relacional)
XML	Linguagem de Marcação Extensível (eXtensible Markup Language)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>14</b>
1.1	SUPORTES TÍPICOS E SUPORTES ESPECIAIS . . . . .	14
1.2	PROBLEMÁTICA . . . . .	15
1.3	PROPOSTA DO TRABALHO . . . . .	16
1.4	OBJETIVO GERAL . . . . .	17
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO . . . . .	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS . . . . .</b>	<b>19</b>
2.1	O CONCEITO DE BIM E A INTEROPERABILIDADE ENTRE AS ÁREAS DA ENGENHARIA . . . . .	19
2.2	OS PRINCIPAIS SOFTWARES UTILIZADOS . . . . .	19
2.3	A DISCIPLINA DE ENGENHARIA CIVIL: BASE VERSUS FUNDA- ÇÃO . . . . .	20
<b>2.3.1</b>	<b>Representação no Autodesk Revit® . . . . .</b>	<b>20</b>
2.4	A ÁREA DA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS METÁLICAS . . . . .	21
<b>2.4.1</b>	<b>Representação no Autodesk Advance Steel . . . . .</b>	<b>21</b>
2.5	A ÁREA DA ENGENHARIA DE TUBULAÇÃO (PROCESS PIPING) . . . . .	22
<b>2.5.1</b>	<b>Representação no Autodesk Plant 3D® . . . . .</b>	<b>22</b>
2.6	AUTODESK NAVISWORKS®: COORDENAÇÃO E REVISÃO . . . . .	22
2.7	SQL SERVER: O NÚCLEO DE INTEGRAÇÃO DE DADOS . . . . .	23
2.8	INTEGRAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DA ENGENHARIA CIVIL, ES- TRUTURAS METÁLICAS E TUBULAÇÃO . . . . .	23
2.9	CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS PARA PLANTAS DE ETANOL . . . . .	24
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE: PROCESSO VIGENTE, GARGALOS, IMPACTOS E OPORTUNIDADES DE AUTOMAÇÃO . . . . .</b>	<b>25</b>
3.1	PANORAMA DO PROCESSO ATUAL . . . . .	25
<b>3.1.1</b>	<b>Boas práticas ao usar arquivos .dwg no Revit . . . . .</b>	<b>26</b>
3.2	PRINCIPAIS GARGALOS OBSERVADOS . . . . .	27
<b>3.2.1</b>	<b>Quando a área de Engenharia Civil é terceirizada . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Sincronização e versões de referência . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Unidades e sistema de coordenadas . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Produtividade e repetição de tarefas . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Comunicação manual e dependência de avisos . . . . .</b>	<b>29</b>
3.3	IMPLEMENTAÇÃO E MATURIDADE BIM . . . . .	29
<b>3.3.1</b>	<b>Implementação em construtoras e empresas de projeto de maior porte . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Implementação em micro e pequenas empresas . . . . .</b>	<b>30</b>

3.4	AUTOMAÇÃO, BIBLIOTECAS PARAMÉTRICAS E FLUXOS ORIENTADOS A DADOS EM BIM . . . . .	31
3.4.1	Bibliotecas paramétricas e objetos inteligentes . . . . .	31
3.4.2	Integração com bancos de dados, Big Data e outras tecnologias	31
3.4.3	BIM, <i>Digital Twins</i> e automação avançada . . . . .	32
3.5	IMPLICAÇÕES EM QUALIDADE, PRAZO E CUSTO . . . . .	32
3.6	SÍNTESE CRÍTICA E ATUAIS LACUNAS . . . . .	32
4	<b>METODOLOGIA PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO . . . . .</b>	<b>35</b>
4.1	VISÃO GERAL DO FLUXO . . . . .	35
4.2	VARIÁVEIS PARA COMPARAÇÃO COM A PROPOSTA . . . . .	36
4.3	ARQUITETURA DO <i>ADD-IN</i> E ORGANIZAÇÃO DO SOFTWARE	37
4.4	EXTRAÇÃO DE DADOS (SQL SERVER) . . . . .	38
4.4.1	Consultas típicas em tabelas do SQL Server . . . . .	40
4.5	TRANSFORMAÇÃO: NORMALIZAÇÃO ESPACIAL . . . . .	43
4.5.1	Unidades e origem . . . . .	43
4.6	CORRESPONDÊNCIA SUPORTE-BASE . . . . .	44
4.6.1	Distância e tolerâncias . . . . .	44
4.7	CRIAÇÃO E ATUALIZAÇÃO AUTOMATIZADA NO REVIT . . . . .	45
4.7.1	Preenchimento automático da propriedade <i>Referência</i> . . . . .	46
4.7.2	Gestão de tags ignoradas para preenchimento de referências .	48
4.7.3	Criação automática de bases para suportes típicos (ST) . . . . .	49
4.7.4	Criação de bases especiais (SE) . . . . .	52
4.7.5	Tags ignoradas para criação de bases . . . . .	54
4.7.6	Esquema de cores para auditoria visual . . . . .	54
4.8	PADRÕES DE TERMINOLOGIA E PREENCHIMENTO . . . . .	55
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>57</b>
5.1	QUADRO COMPARATIVO: PROCESSO MANUAL VS. AUTOMATIZADO . . . . .	57
5.2	INDICADORES DE DESEMPENHO E RESULTADOS ESPERADOS	58
5.2.1	Tempo de preenchimento de propriedades . . . . .	59
5.2.2	Criação automática de bases para suportes típicos e especiais	59
5.2.3	Qualidade geométrica, padronização e rastreabilidade . . . . .	60
5.3	IMPLEMENTAÇÕES ADICIONAIS . . . . .	60
5.3.1	Tratamento de bancos de dados específicos para pipe-racks . .	60
5.3.2	Faixa de altura para criação de bases de suportes típicos . . .	61
5.3.3	Bases chumbadas, <i>voids</i> automáticos e bases anguladas . . . . .	61
5.3.3.1	<i>Bases chumbadas (tags iniciando com SFC)</i> . . . . .	61
5.3.3.2	<i>Voids automáticos em bases não SFC</i> . . . . .	61
5.3.3.3	<i>Bases anguladas a partir de dados de COG</i> . . . . .	63

---

5.3.4	Robustez na interpretação de caminhos de projeto . . . . .	63
5.3.5	Suportes especiais (SE) e enriquecimento de dados . . . . .	64
5.4	IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS . . . . .	65
5.4.1	Publicação automática do modelo Revit em banco SQL Server	65
5.4.2	Verificador multidisciplinar de inconsistências . . . . .	66
5.4.3	Automatização de pesos e forças em bases civis . . . . .	66
6	CONCLUSÃO . . . . .	68
	REFERÊNCIAS . . . . .	71

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos processos de implementação de plantas industriais de produção de etanol no Brasil. Nesse contexto, a Aplus Engenharia atua de forma multidisciplinar, integrando diferentes frentes de engenharia ao longo do ciclo de projeto e implantação. As principais disciplinas envolvidas são: **tubulação** (Nayyar, 1999), **estruturas metálicas** (American Institute of Steel Construction, 2023), **cálculo hidráulico** (Idelchik, 1996; Karassik et al., 2007), **cálculo de flexibilidade (análise de tensões em tubulação)** (Peng, L.-C.; Peng, T.-L., 2009), **elétrica** e **civil**, que juntas sustentam o processo de desenvolvimento das plantas industriais.

No ambiente corporativo da Aplus, essas áreas multidisciplinares trabalham de maneira colaborativa dentro do conceito de **Building Information Modeling (BIM)**. O objetivo é garantir que todas as áreas compartilhem a mesma base de dados, evitando divergências entre modelos e assegurando compatibilidade geométrica, técnica e documental.

Nesse cenário, a integração entre os modelos tridimensionais, das estruturas que suportam e engenharias, é essencial: a tubulação depende das estruturas metálicas para suporte; estas, por sua vez, exigem o correto posicionamento das bases civis que transferem as cargas para o solo. A melhoria do processo para encontrar o ponto de convergência entre essas disciplinas — as bases civis de apoio a suportes e equipamentos — é o foco deste trabalho.

O **BIM** é uma metodologia de trabalho que centraliza as informações de projeto em um modelo digital único e inteligente. Diferente do método tradicional em 2D, o BIM permite representar a geometria, os materiais, os custos e o cronograma de uma obra dentro de um mesmo ambiente virtual, favorecendo consistência e rastreabilidade (Sacks et al., 2018; Succar, 2009).

No contexto industrial, o BIM garante que todas as áreas multidisciplinares trabalhem sobre um modelo integrado. Quando alterada uma tubulação, ela altera também a posição de um suporte, por exemplo, as áreas da engenharia de estruturas metálicas e civil recebem as atualizações automaticamente, evitando retrabalho, inconsistências e aumentando previsibilidade (Hardin; McCool, 2015; Sacks et al., 2018).

Essa abordagem colaborativa transforma o processo de projeto em uma atividade mais eficiente, precisa e controlada — permitindo antecipar conflitos, reduzir erros de coordenação e elevar a qualidade da entrega final (Sacks et al., 2018; Hardin; McCool, 2015).

### 1.1 SUPORTES TÍPICOS E SUPORTES ESPECIAIS

Em projetos industriais, as tubulações e equipamentos precisam ser sustentados por estruturas metálicas chamadas de suportes. Esses elementos são responsáveis por manter

o alinhamento, absorver vibrações e transmitir as cargas para as bases e fundações da engenharia civil.

Os suportes podem ser classificados em dois grandes grupos, de acordo com sua aplicação e repetitividade no projeto:

- **Suportes típicos (ST)** — são modelos padronizados, utilizados em diversas partes da planta. Normalmente seguem dimensões e formatos já definidos, como cavaletes, suportes em “L”, de parede ou de piso. Sua padronização permite reaproveitamento e montagem rápida, além de facilitar a automação do processo de criação e revisão.
- **Suportes especiais (SE)** — são projetados para situações específicas, como o espaço disponível, a geometria do local ou o tipo de carga que exigem soluções personalizadas. Costumam ser mais exclusivos dentro do projeto e demandam detalhamento individual.

A distinção entre suportes típicos e especiais é essencial para o fluxo automatizado proposto no presente trabalho.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Mesmo com o uso de ferramentas modernas, ainda existem desafios na integração entre as disciplinas. Na prática, as inconsistências surgem quando cada área trabalha com referenciais diferentes, o que gera desalinhamentos, retrabalhos e atrasos. Os principais problemas observados são:

1. **Diferença de unidades de medida.** O software Autodesk Revit®, usado pela área de engenharia Civil, trabalha internamente em *pés*, enquanto as áreas de engenharia de Tubulação e Metálica (no Plant 3D® e Advance Steel®) utilizam *milímetros*. Se a conversão não for feita corretamente, a base pode ser criada em uma posição incorreta — deslocada alguns milímetros ou até metros do local real. Essa diferença, embora pareça pequena, causa incompatibilidades sérias na obra.
2. **Diferença de referência espacial.** Cada software define seu próprio sistema de coordenadas (origem e rotação). No software Autodesk Revit®, esse sistema é chamado de *Ponto Base do Projeto* e representa a “origem” da área de engenharia Civil. Se esse ponto não estiver alinhado com o ponto de referência global das outras áreas da engenharia, os modelos não coincidem espacialmente. A analogia com a robótica pode ser útil: É como se cada elo de um braço robótico tivesse uma referência local atrelada à diferentes referências globais.
3. **Ausência de normalização entre áreas interdisciplinares.** As equipes de engenharia de Tubulação e de Metálica já publicam seus dados (como coordenadas) diretamente em um banco de dados corporativo (SQL Server). A equipe

de engenharia Civil, por outro lado, frequentemente precisa buscar essas informações manualmente para criar as bases no Revit®. Quando uma estrutura metálica ou linha de tubulação é movida ou ajustada, a equipe de engenharia civil deve ser informada ou refazer essa verificação manualmente — o que aumenta o risco de falhas na comunicação, divergências de posicionamento e retrabalho. Esse ciclo de retrabalho compromete a confiabilidade dos modelos e rompe o princípio de integração do BIM, afinal, o ideal é que os dados transitem automaticamente entre as disciplinas, sem depender de intervenções manuais.

Essas falhas, embora comuns em ambientes multidisciplinares, são especialmente críticas em plantas industriais complexas, como as de etanol, onde pequenas imprecisões podem gerar incompatibilidades de montagem, propagação de erros e custos adicionais. O presente trabalho busca justamente eliminar essas divergências por meio de uma solução automatizada de integração e atualização das bases civis.

### 1.3 PROPOSTA DO TRABALHO

Diante das dificuldades de integração entre as áreas de engenharia Civil, Metálica e Tubulação, este trabalho propõe o desenvolvimento de um **add-in** — um complemento de software criado para o Autodesk Revit® — capaz de automatizar o processo de criação e atualização das bases criadas pela área de engenharia civil utilizadas nos suportes secundários.

Um **add-in** (ou *plugin*) é um programa adicional que se integra a um software principal para expandir suas funcionalidades nativas. No caso do Revit®, os add-ins permitem automatizar tarefas repetitivas, criar comandos personalizados e conectar o software a fontes externas de dados, tornando o processo de projeto mais ágil e inteligente.

O funcionamento da ferramenta proposta segue um fluxo simples e direto:

- **Leitura de dados:** o add-in acessa o banco SQL Server e coleta as informações publicadas pelos softwares Autodesk Plant 3D® (Tubulação) e Autodesk Advance Steel® (Metálica), como coordenadas, identificações e parâmetros dos suportes.
- **Normalização espacial:** os dados são convertidos e ajustados para o sistema de coordenadas do Autodesk Revit®, considerando diferenças de unidade (pés para milímetros), origem e rotação do projeto (unicidade de referencial global).
- **Criação automática:** o complemento proposto localiza no modelo da engenharia civil os pontos de instalação e cria ou atualiza automaticamente as bases correspondentes, sem intervenção manual.
- **Padronização visual:** as bases são identificadas com tags (etiquetas) padronizadas, preenchidas automaticamente em campos de referência e cores que indicam o status de sincronização, facilitando a revisão e a auditoria.

Com essa automação, o fluxo de trabalho entre as diversas áreas multidisciplinares torna-se mais confiável, eliminando o retrabalho e garantindo que todos os modelos estejam sempre alinhados dentro do mesmo referencial BIM.

#### 1.4 OBJETIVO GERAL

Implementar uma nova ferramenta do tipo add-in para automatizar a criação e atualização das bases para suportes secundários da engenharia civil no Autodesk Revit® a partir das informações publicadas no SQL Server pelas áreas da engenharia de **Tubulação** (via Autodesk Plant 3D®) e **Estruturas Metálicas** (via Autodesk Advance Steel®), assegurando alinhamento geométrico e consistência de dados entre as áreas envolvidas.

#### 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Implementar no Autodesk Revit® a leitura automatizada das informações de suportes secundários (coordenadas, tags e tipos) à partir do SQL Server.
2. **Normalizar unidades e coordenadas:** garantir a compatibilidade entre os sistemas de medição e de referência espacial dos diferentes softwares, realizando corretamente a conversão entre pés e milímetros, além de aplicar a origem e a rotação do projeto para que o posicionamento das bases no Revit® corresponda exatamente à localização real dos suportes.
3. **Integrar dados multidisciplinares:** ler e consolidar, a partir do SQL Server, as informações publicadas pelo Autodesk Plant 3D® e pelo Autodesk Advance Steel®, como coordenadas e propriedades geométricas.
4. **Associar suportes secundários e bases entre os softwares Autodesk Plant 3D®, Autodesk Advance Steel® e Autodesk Revit®:** estabelecer critérios geométricos que permitam localizar o ponto de cada suporte secundário no modelo civil e criar ou atualizar automaticamente a base (estruturas da engenharia civil) correspondente, com preenchimento padronizado de parâmetros e identificação visual e respeitando tolerâncias espaciais em todos os eixos coordenados.
5. Reduzir o retrabalho e aumentar a rastreabilidade entre as diferentes áreas da engenharia envolvidas, consolidando um fluxo integrado de dados.
6. **Gerenciar casos típicos e especiais:** distinguir entre suportes típicos (**ST**) e suportes especiais (**SE**), garantindo tratamento específico para cada tipo e evitando duplicidades.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para apresentar a proposta de forma clara e sequencial, este documento está organizado em seis capítulos:

- **Capítulo 1 — Introdução:** contextualiza o problema, apresenta os objetivos e descreve o escopo do trabalho.
- **Capítulo 2 — Revisão bibliográfica:** detalha os fundamentos teóricos das disciplinas envolvidas e dos softwares utilizados, explicando conceitos de BIM, interoperabilidade e integração de dados.
- **Capítulo 3 — Estado da arte:** descreve o processo vigente, seus gargalos e limitações.
- **Capítulo 4 — Metodologia proposta:** apresenta o funcionamento do add-in e o fluxo de comunicação entre banco de dados e modelo civil.
- **Capítulo 5 — Resultados e discussões:** compara os resultados obtidos com o processo tradicional e analisa ganhos de tempo e precisão.
- **Capítulo 6 — Conclusões e trabalhos futuros:** sintetização dos resultados, comparação com os objetivos e proposta de possíveis evoluções do sistema.

Assim, o trabalho evolui desde a contextualização do problema até a apresentação prática da solução desenvolvida, consolidando uma contribuição efetiva para a integração entre disciplinas em projetos industriais.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O desenvolvimento de projetos industriais em ambiente BIM requer a integração coordenada entre diferentes disciplinas de engenharia. Cada área — Civil, Estruturas Metálicas e Tubulação — atua com objetivos e ferramentas próprias, mas todas compartilham um mesmo modelo digital e um conjunto comum de informações.

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos e tecnológicos necessários para compreender o funcionamento do fluxo proposto neste trabalho. São abordados os conceitos de BIM, os principais softwares utilizados (Plant 3D®, Advance Steel®, Revit®, Navisworks® e SQL Server), além das definições centrais de base, fundação e suporte.

A revisão bibliográfica aqui apresentada serve como sustentação para a metodologia implementada, conectando os conceitos de modelagem, banco de dados e integração multidisciplinar em projetos da indústria do etanol.

### 2.1 O CONCEITO DE BIM E A INTEROPERABILIDADE ENTRE AS ÁREAS DA ENGENHARIA

O BIM é uma metodologia que centraliza todos os dados de projeto em um modelo digital único. Esse modelo contém não apenas a geometria dos elementos, mas também informações sobre materiais, propriedades físicas, custos, cronograma e manutenção.

Diferente do fluxo tradicional em 2D, o BIM é dinâmico e colaborativo. As disciplinas compartilham o mesmo ambiente digital, e qualquer modificação feita em uma parte do modelo é automaticamente refletida nas demais. Isso garante que o projeto permaneça consistente, reduzindo o risco de erros de coordenação e retrabalhos durante a execução da obra.

No contexto de plantas industriais, a interoperabilidade entre softwares é um dos pilares do BIM. Essa comunicação entre plataformas — por exemplo, entre o Plant 3D®, o Advance Steel® e o Revit® — permite que informações geométricas e alfanuméricas (como coordenadas e identificações) circulem de forma estruturada e rastreável.

A integração entre disciplinas é especialmente crítica em ambientes industriais complexos, onde as decisões tomadas por uma equipe (como o posicionamento de uma estrutura metálica ou o redirecionamento de uma linha de tubulação) impactam diretamente outras áreas. O BIM, portanto, não é apenas uma ferramenta de modelagem 3D, mas uma filosofia de trabalho baseada na colaboração e no compartilhamento de dados confiáveis.

### 2.2 OS PRINCIPAIS SOFTWARES UTILIZADOS

O fluxo de trabalho da Aplus Engenharia é baseado em um ecossistema de softwares da **Autodesk**, todos integrados dentro da metodologia BIM. Esses softwares são:

- **Autodesk Plant 3D®** — utilizado pela engenharia de tubulação para modelar as linhas, conexões e suportes de processo em 3D, extraindo coordenadas e informações técnicas.
- **Autodesk Advance Steel®** — empregado pela equipe de engenharia de estruturas metálicas para criar *pipe-racks* (projetado para suportar e organizar tubulações, dutos e cabos em ambientes industriais), plataformas, suportes, tanques e escadas com detalhamento pronto para fabricação.
- **Autodesk Revit®** — usado pela engenharia civil para modelar as bases, lajes e fundações, assegurando o alinhamento geométrico com os suportes e equipamentos.
- **Autodesk Navisworks®** — ferramenta de integração e revisão geral dos modelos multidisciplinares, permitindo detectar interferências e simular a construção.
- **Microsoft SQL Server®** — banco de dados corporativo que centraliza as informações compartilhadas entre as disciplinas, garantindo que todas as equipes utilizem a mesma fonte de dados. Por exemplo:

Essas ferramentas operam de forma interconectada, promovendo o fluxo contínuo de dados e assegurando a integridade das informações durante todo o ciclo de projeto.

## 2.3 A DISCIPLINA DE ENGENHARIA CIVIL: BASE VERSUS FUNDAÇÃO

Na engenharia civil aplicada a plantas industriais, é essencial distinguir o conceito de base e da fundação.

A **base** é o elemento de concreto que serve como apoio imediato para suportes metálicos ou equipamentos, transferindo as cargas locais para a estrutura principal (como uma laje ou viga). Ela é o ponto de contato entre o sistema de suporte e o solo.

Já a **fundação** é o conjunto de elementos responsável por transferir essas cargas ao terreno, garantindo estabilidade e segurança. As fundações podem ser superficiais (sapatas ou blocos) ou profundas (estacas e tubulões), dependendo das características do solo e das cargas atuantes.

Em modelos BIM, essa diferenciação é importante porque as bases fazem parte do detalhamento visível e paramétrico do projeto, enquanto as fundações se relacionam à infraestrutura oculta da edificação. O foco deste trabalho está na automação da criação das bases civis, que são diretamente associadas às estruturas metálicas e aos suportes de tubulação.

### 2.3.1 Representação no Autodesk Revit®

O Autodesk Revit® é um dos principais softwares utilizados na modelagem da engenharia civil em ambientes BIM. Ele trabalha com objetos inteligentes, chamados de

famílias, que possuem parâmetros geométricos, compartilhados e de informação.

No contexto deste trabalho, as bases são modeladas como elementos da categoria **Piso(Floor)** ou como famílias estruturais específicas. Os parâmetros mais relevantes das bases são:

- **Tipo e espessura** — correspondentes à classe da base (por exemplo, 300x300x250 mm);
- **Nível e elevação** — definem a posição vertical da base no modelo, associando-a a um plano de referência (nível do projeto) e a um deslocamento (*offset*) em relação a esse plano.
- **Material e resistência** — usados para especificação e quantitativos;
- **Referência e comentários** — Propriedades das bases utilizadas como campos de identificação e rastreabilidade entre as áreas da engenharia.

Além disso, o Revit® possui sistemas de coordenadas próprios, como o *Project Base Point* (marcador de referência que define a origem das coordenadas internas do projeto) e *Survey Point* (ponto de referência do mundo real para o modelo, fornecendo contexto físico para o projeto), que precisam ser corretamente alinhados às origens de outros softwares para garantir a compatibilidade espacial. Pequenos desalinhamentos podem gerar erros de posicionamento significativos em campo.

## 2.4 A ÁREA DA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS METÁLICAS

A engenharia de estruturas metálicas é responsável pela concepção e detalhamento de *pipe-racks*, plataformas, escadas e suportes estruturais que sustentam as tubulações e equipamentos de processo.

Em plantas industriais de etanol, esses elementos desempenham papel fundamental, pois garantem que as tubulações estejam corretamente apoiadas, mantendo a segurança e a acessibilidade da instalação.

O detalhamento metálico exige precisão dimensional e padronização de conexões, chapas e ligações. Para isso, é utilizado o Autodesk Advance Steel®, que permite modelar estruturas completas em 3D, gerar desenhos de fabricação e listas de materiais automaticamente.

### 2.4.1 Representação no Autodesk Advance Steel

O Advance Steel® trabalha com objetos paramétricos de perfis, chapas e ligações, sendo capaz de gerar automaticamente:

- **Modelos 3D detalhados**, incluindo soldas e chapas de ligação;
- **Listas de materiais e arquivos de fabricação**, prontos para envio aos clientes;

- **Coordenação com outras disciplinas**, por meio da exportação de arquivos e informações relevantes, como coordenadas, pesos e centros de gravidade;
- **Publicação de dados em bancos SQL Server**, permitindo o compartilhamento com outras áreas de projeto.

Essas informações são essenciais para a automação proposta neste trabalho, pois a posição e a geometria dos suportes secundários (sejam típicos ou especiais) determinam o ponto exato onde a base civil deve ser criada no modelo.

## 2.5 A ÁREA DA ENGENHARIA DE TUBULAÇÃO (PROCESS PIPING)

A área da engenharia de tubulação é responsável pelo transporte seguro de fluidos dentro da planta industrial, conectando equipamentos, tanques e sistemas de processo.

No contexto do BIM industrial, a área da engenharia de tubulação utiliza o Autodesk Plant 3D®, software que permite o modelamento tridimensional completo de linhas, conexões, válvulas e suportes.

As informações geradas no Plant 3D® são altamente estruturadas e podem ser exportadas para bancos de dados relacionais, como o SQL Server, contendo coordenadas, tags, propriedades e referências de cada elemento modelado. Isso faz do Plant 3D® uma das principais fontes de dados do projeto.

### 2.5.1 Representação no Autodesk Plant 3D®

O Plant 3D® permite:

- Modelar todo o sistema de tubulações em 3D, com base em normas e catálogos de componentes;
- Gerar automaticamente isométricos, listas de materiais e relatórios de montagem;
- Detectar interferências com estruturas e equipamentos antes da fase de obra;
- Publicar dados diretamente em bancos SQL Server, garantindo integração com outras disciplinas;
- Distinguir entre **suportes típicos (ST)** e **suportes especiais (SE)**, cada um com suas próprias características geométricas e funcionais.

Esses dados alimentam o banco corporativo, de onde o add-in proposto no Revit® buscará as informações necessárias para criar e atualizar as bases civis automaticamente.

## 2.6 AUTODESK NAVISWORKS®: COORDENAÇÃO E REVISÃO

O Autodesk Navisworks® é utilizado como plataforma de integração entre as diferentes disciplinas. Ele permite combinar modelos de tubulação, metálica e civil em um único ambiente de visualização e revisão, possibilitando:

- A detecção de interferências e conflitos entre elementos de diferentes modelos;
- A simulação do cronograma de obra e a estimativa de custos;
- A comunicação entre equipes e clientes, por meio de arquivos leves de visualização (Extensões .NDF e .NWD);
- O controle de revisões e versões dos modelos durante o ciclo de projeto.

Embora o Navisworks® não seja o foco direto deste trabalho, ele representa a etapa final de coordenação e validação do modelo BIM integrado.

## 2.7 SQL SERVER: O NÚCLEO DE INTEGRAÇÃO DE DADOS

O Microsoft SQL Server atua como o ponto central de integração entre as disciplinas. Ele armazena e organiza informações geométricas e alfanuméricas publicadas pelos softwares Autodesk, garantindo que todos os projetistas acessem a mesma base de dados atualizada.

Na Aplus Engenharia, o SQL Server contém tabelas com coordenadas, identificações e propriedades de suportes de tubulação e estruturas metálicas. Essas informações são posteriormente lidas pelo Revit®, por meio do add-in desenvolvido neste trabalho, para a criação automatizada das bases civis.

Essa abordagem transforma o banco de dados em um verdadeiro “hub de integração BIM”, eliminando a necessidade de verificações manuais e garantindo rastreabilidade total entre os modelos das diferentes disciplinas.

## 2.8 INTEGRAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DA ENGENHARIA CIVIL, ESTRUTURAS METÁLICAS E TUBULAÇÃO

As três áreas da engenharia envolvidas neste estudo — Civil, Estruturas Metálicas e Tubulação — formam um sistema interdependente dentro do processo BIM.

A tubulação define os pontos de apoio e o trajeto das linhas; a metálica projeta as estruturas e suportes que garantem a estabilidade desses elementos; e a civil desenvolve as bases e fundações que sustentam todo o conjunto.

Quando uma área da engenharia modifica seu modelo (por exemplo, movendo um suporte ou alterando uma estrutura), as demais precisam atualizar suas informações correspondentes. Essa sincronização é essencial para manter o modelo coerente.

O trabalho proposto se insere justamente nesse ponto de convergência: a automação da criação das bases civis a partir dos dados publicados pelas áreas da engenharia de tubulação e estruturas metálicas. Essa solução elimina as barreiras manuais de integração e consolida a filosofia BIM de fluxo contínuo e colaborativo de dados.

## 2.9 CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS PARA PLANTAS DE ETANOL

Plantas industriais de etanol possuem características próprias que tornam o processo de projeto particularmente desafiador: grandes volumes de tubulações, alta densidade de equipamentos e a necessidade de coordenação entre múltiplas disciplinas em áreas compactas.

Nesse contexto, a automatização do fluxo entre as áreas da engenharia de tubulação, estruturas metálicas e civil é especialmente vantajosa. A criação de bases automáticas reduz o tempo de modelagem, garante a precisão das coordenadas e evita conflitos geométricos durante a execução.

A aplicação do BIM integrado com bancos de dados corporativos demonstra o potencial da digitalização na engenharia industrial, permitindo decisões mais rápidas, seguras e fundamentadas em dados consistentes.

### 3 ESTADO DA ARTE: PROCESSO VIGENTE, GARGALOS, IMPACTOS E OPORTUNIDADES DE AUTOMAÇÃO

Este capítulo descreve como, na prática do mercado, a criação de bases civis ainda ocorre de forma predominantemente manual, a partir de arquivos e modelos publicados pelas diferentes áreas de engenharia. Em geral, a área de Engenharia de Tubulação publica modelos no Autodesk Plant 3D® (formatos **.dwg**, extensão nativa do software) e a área de Engenharia de Estruturas Metálicas publica modelos no *Autodesk Advance Steel*® (também em **.dwg**, com objetos paramétricos próprios). Para coordenação entre todas as áreas, utiliza-se o *Autodesk Navisworks*®, que consolida modelos em arquivos **.nwd** (publicação “congelada”) ou **.nwf** (arquivo de coordenação que referencia as fontes). A área de Engenharia Civil cria e mantém o modelo **.rvt** (formato nativo do *Autodesk Revit*®) e, a partir dessas referências, posiciona manualmente as bases civis.

Na sequência, são apresentados os principais **gargalos operacionais** observados nesse fluxo — relacionados à sincronização de referências, unidades e sistemas de coordenadas, repetição de tarefas e dependência de comunicação manual — e como esses gargalos se traduzem em impactos de prazo, custo e qualidade.

Complementarmente, o capítulo discute o **estado da arte** da implementação do BIM e da automação de processos em engenharia, com base em estudos recentes sobre adoção da metodologia, bibliotecas paramétricas, integração com bancos de dados e fluxos orientados a dados (Diniz, 2022; Oliveira; Vaz, 2024; Silva, 2023; Getuli et al., 2025; Cepa et al., 2023). Por fim, são definidos requisitos para comparação entre o processo manual e o processo automatizado proposto neste trabalho, e são evidenciadas lacunas na literatura: embora existam avanços significativos em BIM, ainda há pouca descrição de soluções que integrem, de forma automatizada e auditável, dados corporativos de suportes (Plant 3D/Advance Steel/SQL Server) à criação de bases civis no Revit em plantas industriais de etanol, reforçando o caráter inovador da abordagem proposta.

#### 3.1 PANORAMA DO PROCESSO ATUAL

No fluxo atual de mercado, a Figura 1 apresenta o processo é manual e segue a seguinte sequência:

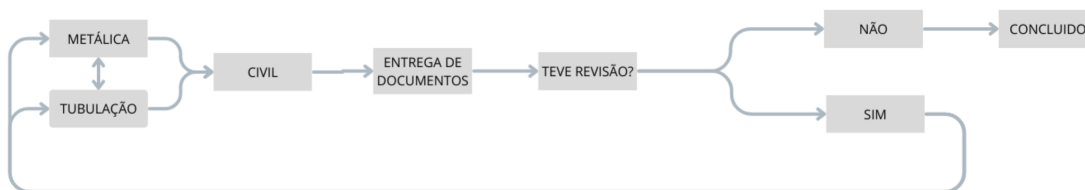


Figura 1 – Fluxo de trabalho

1. A área de Engenharia de Tubulação modela linhas, suportes e equipamentos no Autodesk Plant 3D®. O resultado técnico é um modelo em **.dwg** (formato de desenho e modelagem do ecossistema AutoCAD/Plant 3D®) e, em alguns casos, tabelas com identificações e coordenadas;
2. A área de Engenharia de Estruturas Metálicas desenvolve pipe-racks, escadas, plataformas e suportes no Autodesk Advance Steel®. O produto também é um arquivo **.dwg**;
3. Para coordenação entre *todas as áreas de engenharia*, a equipe publica um arquivo **.nwd** no Navisworks®(arquivo leve de distribuição, *snapshot* do momento da publicação) ou mantém um **.nwf** (arquivo de coordenação que referencia os **.dwg/.rvt** de origem e, ao abrir, puxa as versões mais recentes);
4. A área de Engenharia Civil linka os arquivos **.dwg** de referência provenientes dos softwares Autodesk Plant3d e Advance Steel no seu modelo **.rvt** para posicionar manualmente cada base: escolhe o tipo/espessura, define nível/elevação e aplica *voids* (rebaixos na base) quando necessário. Ao final de um *lote* de bases, exporta um **.dwg** atualizado para que as demais áreas da engenharia utilizem como referência de obra.

Esse fluxo, embora consolidado, é dependente de operações manuais de leitura, interpretação, posicionamento e conferência visual. Estudos sobre implementação do BIM em construtoras brasileiras mostram que, mesmo após a adoção da metodologia, muitos processos permanecem “semi-manuais” e sujeitos a falhas humanas, principalmente quando não há um núcleo integrador de dados ou rotinas automatizadas de sincronização entre disciplinas (Diniz; 2022; Oliveira; 2024). Em um dos estudos, por exemplo, registra-se que o BIM apresenta “*índice elevado de aceitação quanto a seu uso, proporcionando agilidade nos projetos e evitando possíveis erros*” (Oliveira; Vaz, 2024), mas também que a realidade operacional ainda é marcada por dificuldades de padronização, interoperabilidade e mudança de cultura organizacional (Diniz; 2022; Oliveira; 2024).

Em resumo, neste panorama geral de fluxo de trabalho, identificam-se os seguintes problemas principais: (a) forte dependência de procedimentos manuais; (b) elevada suscetibilidade a falhas humanas; (c) dificuldades na padronização de modelos e informações; (d) interoperabilidade limitada entre as diferentes plataformas utilizadas; e (e) necessidade de mudança da cultura organizacional para a adoção plena do BIM.

### 3.1.1 Boas práticas ao usar arquivos **.dwg** no Revit

Vincular (*linkar*) o arquivo **.dwg** ao Revit é preferível a importá-lo: o arquivo do Revit® fica mais leve, e a atualização de referência torna-se mais previsível quando um novo arquivo **.dwg** é publicado.

Além disso, boas práticas incluem:

- Padronizar unidades e ponto de inserção dos arquivos **.dwg** conforme o sistema de coordenadas do projeto, evitando deslocamentos e rotações involuntárias;
- Criar vistas específicas no Revit para trabalhar com os **.dwg** de referência, reduzindo o risco de edição indevida desses elementos;
- Utilizar templates e famílias padronizadas para as bases, garantindo consistência geométrica e de parâmetros ao longo do projeto.

Mesmo com essas práticas, a criação de bases permanece dependente de inspeção visual, leitura manual de coordenadas e preenchimento individual de parâmetros, sem aproveitamento pleno das informações estruturadas que já existem em bancos de dados corporativos, como o SQL Server utilizado neste estudo. A literatura recente aponta justamente para a importância de integrar modelos BIM a bancos de dados e outras tecnologias digitais para reduzir esse tipo de operação manual (Cepa; 2023).

## 3.2 PRINCIPAIS GARGALOS OBSERVADOS

A partir da observação do processo vigente, podem ser identificados cinco grupos principais de gargalos.

### 3.2.1 Quando a área de Engenharia Civil é terceirizada

Neste âmbito existem três grandes problemas:

1. Durante o detalhamento de tubulação no Plant 3D®, coloca-se no lugar da base um sólido 3D representativo (no arquivo **.dwg**). Depois, um pacote com arquivos **.nwd** (proveniente do software Autodesk Navisworks®) e **.dwg** (Provenientes dos softwares Autodesk Plant3d® e Advance Steel®) segue para a empresa parceira responsável por modelar o arquivo **.rvt** no *Autodesk Revit®* da área de Engenharia Civil.
2. Como essa troca é assíncrona e baseada em publicações periódicas, cada revisão traz risco de **defasagem** entre o que está nos arquivos **.dwg/.nwd** e o que está no arquivo **.rvt**, especialmente quando os arquivos são compartilhados quinzenalmente ou em ciclos semelhantes. Trabalhos que analisam a implementação do BIM em construtoras e em empresas de projeto destacam que a fragmentação contratual e a ausência de processos padronizados de interoperabilidade estão entre os principais fatores que limitam a maturidade da metodologia, resultando em conflitos de informação, retrabalho e atrasos (Diniz; 2022; Oliveira; 2024).
3. No contexto de micro e pequenas empresas de arquitetura e engenharia, problemas análogos também são observados: restrições de investimento, pouca equipe dedicada a padronização interna e baixa formalização dos fluxos de informação,

mesmo quando o BIM é adotado (Araújo; 2023). Araújo (2023), por exemplo, ressalta que, “*por definição, o BIM é aplicável a todo o ciclo de vida de um projeto*” e que seu potencial colaborativo só se concretiza plenamente quando os agentes alinham processos, responsabilidades e meios de troca de dados.

### 3.2.2 Sincronização e versões de referência

A extensão **.nwd** do software Autodesk Navisworks® é um *arquivo de publicação* compacto, excelente para distribuir e reunir todas as áreas de engenharia na revisão, mas ele é um instantâneo do estado dos modelos no momento da exportação. Já o arquivo **.nwf** guarda os links para os arquivos-fonte (.rvt/.dwg) e, ao abrir, carrega a versão mais recente de cada um.

Quando o processo de Civil (arquivo .rvt) se apoia em um arquivo **.nwd desatualizado**, é comum posicionar bases em geometrias antigas, gerando retrabalho nas rodadas seguintes. Estudos de revisão sobre BIM em infraestrutura e operação e manutenção apontam que a falta de integração contínua de dados e de uso consistente de ambientes comuns de dados (*Common Data Environment - CDE*) resulta em fluxos fragmentados e em “*processos e procedimentos que não estão ainda otimizados*” (Cepa; 2023).

### 3.2.3 Unidades e sistema de coordenadas

A área de Engenharia Civil opera, na prática, em centímetros, enquanto o Revit® trabalha internamente em **pés**; já as áreas de Engenharia de Tubulação e de Estruturas Metálicas (Plant 3D®/Advance Steel®) normalmente publicam em **milímetros**. Se a conversão (ft→mm) e o alinhamento de origem/rotação (ponto base/projeto) não forem tratados antes das comparações geométricas, surgem deslocamentos em XY e, principalmente, em Z.

Um caso frequente é comparar o topo real de apoio da base (Civil) com o centro de gravidade (COG) exportado de um suporte (Metálica): sem ajuste, a altura não confere e a base fica fora do lugar. Desafios de interoperabilidade e mapeamento de sistemas de coordenadas são recorrentes na literatura de BIM para infraestrutura, sendo apontados como barreiras importantes à implementação e ao intercâmbio de dados entre plataformas (Cepa; 2023).

### 3.2.4 Produtividade e repetição de tarefas

Criar base por base, preencher parâmetros, conferir visualmente e republicar arquivos se torna um gargalo que consome tempo e é propenso a inconsistências: duplicidades, sobreposições, espessuras incorretas e divergências entre o que está nos arquivos **.dwg** e **.rvt**. Em áreas com muitas revisões (pipe-racks densos, mudanças de equipamentos), o retrabalho é amplificado.

Estudos sobre implementação de BIM em construtoras brasileiras indicam que ganhos de produtividade surgem justamente quando tarefas repetitivas e baseadas em regras são formalizadas e automatizadas, reduzindo a dependência de operações manuais (Diniz; 2022). De modo semelhante, a literatura internacional sobre BIM e infraestrutura mostra que a integração entre modelos e bases de dados, associada a rotinas de automação, permite “*decision making based on data analysis and the optimization of available resources*” (Cepa; 2023), abrindo espaço para ganhos relevantes em prazos e custos.

### 3.2.5 Comunicação manual e dependência de avisos

Quando um suporte é movido pela área de Engenharia de Tubulação ou pela área de Engenharia de Estruturas Metálicas, alguém precisa avisar a área de Engenharia Civil por e-mail, mensagem ou reunião para que a base seja reposicionada e um novo arquivo **.nwd** seja publicado. Essa dependência de comunicação humana resulta em retrabalhos, atrasos e divergências até a revisão seguinte.

Revisões sobre a implementação do BIM destacam que, muitas vezes, o principal gargalo não é tecnológico, mas organizacional: falta padronização de processos, definição clara de responsabilidades e integração entre fluxos de informação, o que limita o uso do BIM como repositório central de dados e favorece soluções paralelas baseadas em comunicações informais (Diniz; 2022; Oliveira; 2024).

## 3.3 IMPLEMENTAÇÃO E MATURIDADE BIM

Em empresas de pequeno e grande porte, diversos estudos recentes analisam a adoção do BIM em construtoras e escritórios de engenharia, apontam um cenário de evolução gradual, porém heterogênea, em termos de maturidade. Diniz (2022) analisou a implementação do BIM em construtoras brasileiras, destacando tanto os benefícios quanto as dificuldades associadas à mudança de processos. Oliveira (2024), aponta que o BIM já apresenta “*índice elevado de aceitação quanto a seu uso, proporcionando agilidade nos projetos e evitando possíveis erros*”, mas que ainda há barreiras importantes relacionadas à capacitação e à gestão da informação.

De forma geral, essas revisões convergem em alguns pontos:

- A maior parte das empresas utiliza o BIM principalmente para **modelagem 3D** e coordenação geométrica;
- Níveis mais avançados, como tempo, custos e fluxos orientados a dados integrados a bancos corporativos ainda são pouco explorados na prática cotidiana (Diniz; 2022; Oliveira; 2024);
- Barreiras organizacionais — resistência a mudanças, falta de padronização interna, necessidade de treinamento — são frequentemente mais críticas que o custo de software e hardware (Diniz; 2022).

Essas conclusões dialogam diretamente com o problema enfrentado neste trabalho: mesmo em ambientes onde já existe infraestrutura tecnológica para BIM, processos fundamentais, como a criação de bases civis, continuam conduzidos de forma manual, sem aproveitar plenamente os dados estruturados disponíveis (Diniz; 2022; Oliveira; 2024).

### 3.3.1 Implementação em construtoras e empresas de projeto de maior porte

Estudos de caso em construtoras de médio e grande porte mostram que a implementação do BIM tende a começar por disciplinas associadas ao produto final (arquitetura, estrutura, instalações prediais), expandindo-se gradualmente para processos de planejamento, orçamento e gestão de obra (Diniz; 2022; Oliveira; 2024).

Nessas organizações, observa-se que:

- A adoção de ambientes comuns de dados (CDE) reduz conflitos entre disciplinas, desde que acompanhada de normas internas de modelagem e nomenclatura (Diniz; 2022);
- A integração entre modelos e bancos de dados corporativos ainda é, em muitos casos, limitada a exportações pontuais (planilhas, relatórios), sem fluxo bidirecional entre modelo e base de dados;
- Processos com forte componente geométrico e repetitivo — como detalhamento de armaduras, montagem de formas ou criação de elementos de apoio — são frequentemente citados como candidatos naturais à automação, ainda que nem sempre recebam prioridade nos projetos piloto de implantação.

Esse cenário reforça a pertinência de focar, neste trabalho, em um processo específico (criação de bases civis) com alto potencial de ganho operacional e forte dependência de coordenação multidisciplinar.

### 3.3.2 Implementação em micro e pequenas empresas

Trabalhos que analisam o uso do BIM em micro e pequenas empresas de arquitetura e engenharia apontam desafios adicionais, como restrições de investimento, falta de equipe dedicada para desenvolvimento de padrões internos e menor acesso a treinamento especializado (Araújo; 2023).

No estudo de caso em microempresas do Alto Sertão Alagoano, Araújo (2023) destaca que, embora o BIM seja definido como metodologia aplicável “*a todo o ciclo de vida de um projeto*” e capaz de promover um ambiente colaborativo, a adoção efetiva é dificultada por limitações de recursos humanos e organizacionais.

Embora o contexto da Aplus Engenharia seja o de uma empresa multidisciplinar de maior porte, os obstáculos identificados nesses estudos — reestruturação de processos, integração entre disciplinas e treinamento da equipe — são análogos aos encontrados quando se propõe a automatização da criação de bases civis.

### 3.4 AUTOMAÇÃO, BIBLIOTECAS PARAMÉTRICAS E FLUXOS ORIENTADOS A DADOS EM BIM

Além da implementação organizacional do BIM, a literatura recente apresenta avanços importantes em **automação de tarefas**, desenvolvimento de **bibliotecas paramétricas** e integração de modelos com **bancos de dados** e outras tecnologias digitais.

#### 3.4.1 Bibliotecas paramétricas e objetos inteligentes

Getuli et al. (2025) propõe uma metodologia paramétrica para o desenvolvimento de bibliotecas de objetos BIM voltadas ao planejamento de canteiro de obras. A abordagem define uma estrutura hierárquica de biblioteca, independente de fornecedor e adequada a diferentes regulamentações, além de um processo em *seis etapas* para criação de conteúdo informativo, geometria paramétrica e documentação. Como sintetizam os autores, trata-se de uma “*six-step process for creating informative content, parametric geometries, and documentation*”.

Os objetos resultantes incorporam parâmetros técnicos, de desempenho e de montagem que permitem o reuso sistemático em múltiplos projetos, reduzindo o retrabalho de modelagem e melhorando a consistência da informação (Getuli; 2025). Embora o foco desse trabalho esteja em elementos de canteiro, o princípio é diretamente aplicável ao contexto desta pesquisa: **bases civis para suportes** podem ser tratadas como objetos paramétricos com regras claras de posicionamento e associação a suportes, integrados a um fluxo automatizado de criação e atualização no Revit.

#### 3.4.2 Integração com bancos de dados, Big Data e outras tecnologias

Revisões recentes sobre BIM em operação, manutenção e infraestrutura de transporte mostram um aumento significativo na combinação de BIM com técnicas de automação, bancos de dados relacionais, Big Data, Internet das Coisas (IoT) e outras tecnologias digitais (Cepa; 2023). Cepa et al. (2023) observa que a implementação de BIM em diferentes fases de projeto, combinada com tecnologias como IoT, Big Data, Blockchain e GIS, constitui um dos “*Principais impulsionadores da construção inteligente*”.

Esses trabalhos indicam uma tendência clara: o modelo BIM deixa de ser apenas um repositório geométrico e passa a integrar um ecossistema de dados mais amplo, no qual bancos de dados corporativos, sensores, plataformas web e algoritmos de análise de dados interagem para suportar decisões ao longo do ciclo de vida dos ativos (Cepa; 2023).

Nesse contexto, soluções que conectam diretamente modelos BIM a bancos de dados (como o SQL Server utilizado neste TCC) e automatizam a criação de elementos a partir desses dados (como as bases civis) estão alinhadas com o estado da arte em digitalização e automação na engenharia.

### 3.4.3 BIM, *Digital Twins* e automação avançada

A mesma linha de pesquisa evidencia uma aproximação crescente entre BIM e conceitos de *Digital Twin* (gêmeo Digital), IoT e análise de dados em tempo real. Cepa et al. (2023) aponta que a integração de BIM com IoT e Big Data pode “*Automatizar as interações entre o objeto físico e o digital, criando o chamado Gêmeo Digital*”, com impactos diretos em manutenção preditiva, otimização de recursos e gestão de riscos.

Embora o escopo deste trabalho não envolva diretamente a implementação de *Digital Twins* ou monitoramento em tempo real, a automação proposta pode ser entendida como um passo intermediário: ao consolidar um fluxo robusto e auditável de dados entre diferentes disciplinas (Plant 3D/Advance Steel/SQL Server/Revit) e o modelo civil, cria-se uma base sólida para evoluções futuras em direção a ciclos de informação mais amplos e integrados.

## 3.5 IMPLICAÇÕES EM QUALIDADE, PRAZO E CUSTO

Os gargalos listados nas seções anteriores se traduzem em impactos práticos para o projeto:

- **Prazo:** aumento do tempo necessário para liberar pranchas e cortes da área de Engenharia Civil, devido à necessidade de refazer bases após cada revisão de suporte ou estrutura metálica;
- **Qualidade:** maior chance de conflito em obra (base na posição antiga, cota incorreta, ausência de reservas em elementos estruturais);
- **Custo:** horas adicionais de equipe para republicações de arquivos `.nwd/.dwg/.rvt` e revisões de correção; perda de produtividade global.

Estudos que avaliam a adoção do BIM e de soluções automatizadas sugerem que a combinação de modelagem paramétrica, integração com bancos de dados e uso de tecnologias digitais permite reduções significativas de tempo e de retrabalho em processos de modelagem repetitiva e extração de informações (Diniz; 2022; Cepa; 2023). No contexto deste TCC, propõe-se que uma solução automatizada de criação de bases civis, corretamente integrada ao banco de dados corporativo, produza ganhos mensuráveis em prazo, custo e qualidade, coerentes com os resultados observados pela literatura em contextos análogos.

## 3.6 SÍNTESE CRÍTICA E ATUAIS LACUNAS

A revisão do processo vigente e do estado da arte em BIM permite identificar alguns pontos-chave:

- A literatura demonstra que o BIM é uma metodologia consolidada para coordenação de modelos e gestão de informações, mas a implementação efetiva

em empresas de engenharia ainda é desigual, com muitos processos críticos permanecendo manuais ou semi-manuais (**Diniz; 2022; Oliveira; 2024**);

- Revisões recentes indicam que a integração entre BIM, IoT, Big Data e plataformas de Gerenciamento de instalações vem evoluindo, mas ainda encontra barreiras de interoperabilidade, padronização e qualificação de equipes (**Cepa; 2023**).

Poucos trabalhos descrevem em detalhe soluções que integrem de forma direta e automatizada:

- Dados de suportes e estruturas metálicas publicados em um banco de dados corporativo (como o SQL Server);
- Com a criação e atualização automática de bases civis no Revit, respeitando unidades, sistemas de coordenadas e padronização de parâmetros;
- Em um contexto real de projeto industrial com múltiplas disciplinas e elevada densidade de interferências.

Nesse sentido, a proposta deste TCC se posiciona como uma contribuição inovadora dentro do universo BIM, ao desenvolver um *add-in* para o Autodesk Revit que lê diretamente os dados de suportes secundários a partir do SQL Server, normaliza unidades e referências espaciais e cria/atualiza automaticamente as bases civis, o trabalho:

- Operacionaliza, em um caso de uso concreto, princípios discutidos pela literatura de automação, bibliotecas paramétricas e integração de BIM com bancos de dados (**Getuli; 2025; Cepa; 2023**);
- Ataca um gargalo real de integração entre disciplinas em plantas industriais;
- Oferece um fluxo auditável, passível de replicação e evolução, alinhado com tendências de digitalização e integração de dados em engenharia.

No capítulo seguinte, a Metodologia Proposta e Implementação descreve em detalhes a arquitetura da solução, o fluxo de dados entre Plant 3D, Advance Steel, SQL Server e Revit, e os mecanismos de criação e atualização automática das bases civis, permitindo comparar, de forma objetiva, o desempenho do processo automatizado com o processo manual aqui caracterizado.

Na Figura 2 está representado o fluxo de trabalho da metodologia atual, que será necessária para sua comparação com o fluxo da metodologia aqui proposta:

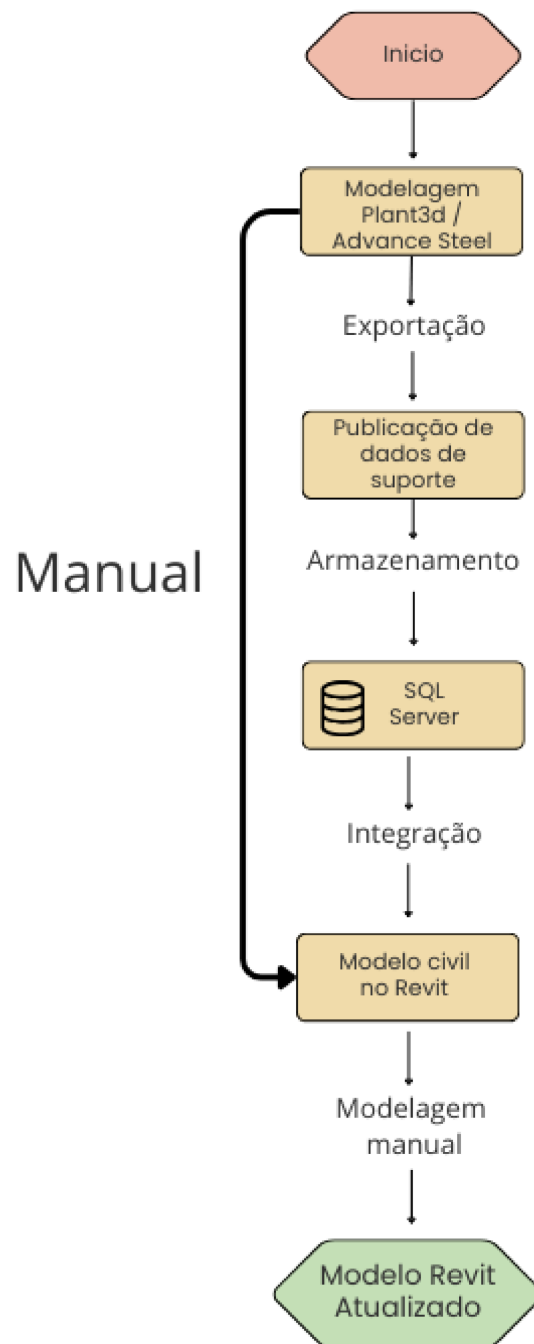


Figura 2 – Fluxo atual: Processo tradicional de criação do projeto.

## 4 METODOLOGIA PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo apresenta a metodologia proposta e a implementação do add-in desenvolvido para automatizar a criação e a atualização de bases civis no Autodesk Revit® a partir de dados de suportes secundários do Plant 3D® e do Advance Steel®, armazenados no SQL Server. Descreve-se o fluxo de trabalho em etapas de extração, transformação/-normalização espacial e correspondência com validação no modelo civil. Também são detalhados os mecanismos para garantir consistência geométrica, rastreabilidade e prevenção de duplicidades. Por fim, apresentam-se os padrões de preenchimento de parâmetros e o esquema de cores adotado para auditoria visual.

### 4.1 VISÃO GERAL DO FLUXO

A metodologia desenvolvida nesse projeto integra dados de **suportes secundários** provenientes dos softwares Plant3D® e Advance Steel®, armazenados em bancos de dados no **SQL Server**, com a modelagem realizada no software Revit® da área da engenharia civil para **criar e atualizar bases** de apoio de forma automática e auditável. O fluxo é estruturado em quatro estágios:

1. **Extração de dados do(*SQL Server*):** leitura de coordenadas e identificadores de suportes secundários típicos e especiais(ST/SE) a partir das tabelas corporativas, com detecção automática do banco de dados conforme descrito na Seção 4.4.;
2. **Transformação e normalização espacial:** Nesta etapa são realizadas as conversões de unidades (pés ↔ milímetros), a aplicação de *offsets* e da rotação global do projeto, bem como a normalização das alturas em relação aos níveis do modelo Revit®. O objetivo é unificar as referências originalmente definidas em sistemas locais de cada corpo em um único sistema de coordenadas global, garantindo consistência geométrica em todo o modelo.
3. **Correspondência (*matching*):** cálculo de distância em XY e verificação de tolerância em Z, com regras específicas para suportes secundários **ST** e **SE**, prevenção de duplicidades e priorização semântica;
4. **Criação/Validação (Revit®):** geração/atualização de bases civis (categoria **Floors**), preenchimento de parâmetros (*Referência/Comentários*) e  **sinalização por cores** para auditoria.

Considerando os quatro estágios sequenciais apresentados anteriormente, a Figura 3, ilustra de forma mais didática, por meio de um diagrama de fluxo, a implementação da solução proposta. Nesse fluxograma, o processo é organizado em quatro grandes blocos: (i) modelagem e exportação dos dados de suportes secundários nos softwares Autodesk Plant3D e Advance Steel; (ii) publicação e armazenamento desses dados no banco corpo-

rativo *SQL Server*; (iii) integração com o modelo civil no Autodesk Revit; e (iv) execução do *add-in* desenvolvido, que constitui o núcleo da automação proposta. Este *add-in* é responsável por extrair as informações do banco de dados, transformar as coordenadas para um sistema de referência global único, calcular as distâncias euclidianas necessárias à etapa de correspondência e, por fim, criar, atualizar e preencher automaticamente parâmetros pré-determinados das bases civis no modelo Revit, garantindo rastreabilidade e possibilidade de auditoria do processo.

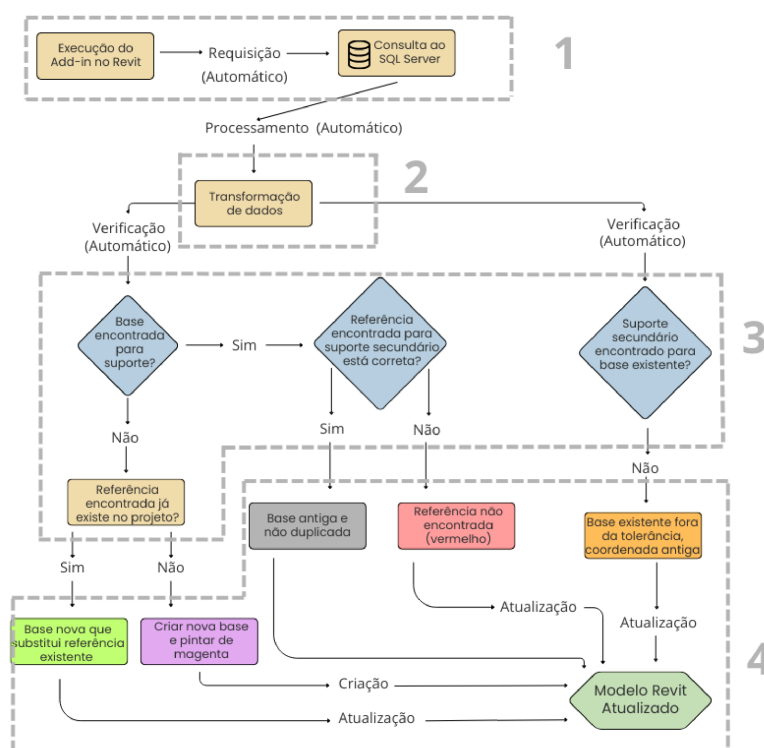


Figura 3 – Fluxograma automatizado: Processo de automatização proposto (add-in)

## 4.2 VARIÁVEIS PARA COMPARAÇÃO COM A PROPOSTA

Para avaliar a automação proposta, serão medidos os seguintes indicadores, permitindo comparação direta entre o processo manual e o processo automatizado:

1. **Tempo médio** por conjunto de bases (da leitura das referências à publicação do modelo revisado);
2. **Taxa de conflitos** após atualizações de modelo (bases em posição incorreta, ausentes ou duplicadas);
3. **Tonsistência** dos parâmetros preenchidos (uso padronizado de campos de identificação, classe de base, nível, etc.);
4. **Duplicidades/sobreposições** detectadas no modelo civil;

5. **Conformidade geométrica** nos eixos das coordenadas do projeto frente às coordenadas de origem;
6. **Percentual de bases reprocessadas por referência desatualizada** (arquivos .nwd/.dwg).

Esses indicadores estão alinhados com métricas utilizadas em estudos que avaliam a adoção de BIM e a eficácia de soluções de digitalização, que frequentemente combinam medidas de tempo, taxa de erro e consistência de dados para quantificar o impacto de novas ferramentas ou fluxos de trabalho (Diniz; 2022; Oliveira; 2024; Cepa; 2023).

#### 4.3 ARQUITETURA DO *ADD-IN* E ORGANIZAÇÃO DO SOFTWARE

O *add-in* desenvolvido neste trabalho foi implementado em C# no Visual Studio, utilizando a API do Autodesk Revit como camada de integração com o modelo civil. A arquitetura foi definida para separar responsabilidades e tornar o fluxo mais rápido e auditável, considerando que a solução envolve acesso a dados no SQL Server, transformação geométrica e criação/atualização de elementos no ambiente BIM.

A organização do código foi estruturada em módulos alinhados às etapas do processo:

- *Interface (Ribbon e formulários)*: criação da aba Aplus, registro dos comandos e apresentação das janelas de seleção/configuração (por exemplo, tipo de base e listas de *tags* ignoradas), além de validações iniciais e mensagens de execução.
- *Infraestrutura (SQL Server e arquivos)*: descoberta automática do banco por meio da leitura dos arquivos `Project.xml` e `Piping.dcf`, execução das consultas nas tabelas do Plant 3D/Advance Steel e persistência de configurações e relatórios (JSON e arquivos de *log*).
- *Processamento (regras e modelos intermediários)*: conversão de unidades, aplicação de *offsets* e rotação, normalização espacial e lógica de correspondência (distâncias, tolerâncias e prevenção de duplicidades), operando sobre estruturas internas como *Suporte*, *Equipamento* e *Base*.
- *Integração Revit (ações no modelo)*: criação e atualização de elementos na categoria Pisos, preenchimento de parâmetros (Referência/Comentários) e aplicação do esquema de cores para auditoria visual.

As rotinas que modificam o modelo são executadas por comandos do tipo *IExternalCommand* (comando externo acionado por um botão) e encapsuladas em transações, garantindo consistência do arquivo `.rvt` e permitindo *rollback* em caso de falhas. Como suporte à rastreabilidade, cada execução gera registros com data/hora, identificadores e coordenadas utilizadas, permitindo reconstituir decisões do algoritmo (criações, atualizações, exclusões por regra e casos fora de tolerância).

Dessa forma, a arquitetura reflete diretamente o fluxo metodológico do capítulo, mantendo o acoplamento com o Revit restrito às rotinas de criação/atualização e concentrando os cálculos e regras em módulos reutilizáveis.

#### 4.4 EXTRAÇÃO DE DADOS (SQL SERVER)

Nesta seção é apresentado passo a passo, como o *add-in* identifica automaticamente qual banco de dados do software Autodesk Plant3D deve ser utilizado para cada projeto, sem necessidade de configuração manual por parte do usuário.

A Figura 4 apresenta um fluxograma com as quatro etapas principais. Nas subseções seguintes, cada uma dessas partes do fluxo é detalhada individualmente.

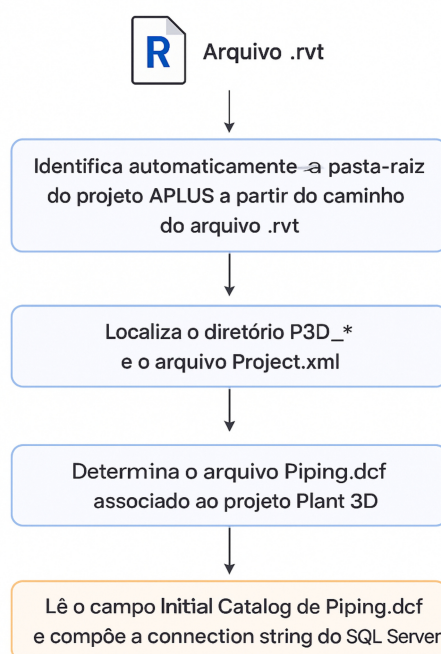


Figura 4 – Fluxograma para obtenção da string de conexão do banco de dados no SQL Server

A partir do caminho do arquivo .rvt aberto no Revit, o *add-in* navega pela estrutura de diretórios padronizada da Aplus Engenharia, localiza o arquivo `Project.xml` do Plant 3D e, a partir dele, chega ao arquivo `Piping.dcf`. É nesse arquivo `Piping.dcf` que se encontra o nome do banco de dados correto, armazenado no campo *Initial Catalog*.

Em vez de procurar diretamente por um arquivo `Piping.dcf` qualquer dentro do diretório do projeto, o *add-in* utiliza o `Project.xml` como ponto de entrada principal do projeto. Esse arquivo funciona como o descritor central do projeto Plant 3D: nele estão organizadas informações sobre a estrutura do projeto, os bancos de dados associados e os caminhos dos arquivos de configuração (incluindo os arquivos .dcf). Além disso, o

`Project.xml` está sempre localizado em uma pasta definida, dentro do padrão de diretórios adotado para cada cliente da Aplus Engenharia, o que o torna uma referência estável para o processo de descoberta automática.

Para localizar essa pasta de projeto a partir do arquivo `.rvt`, o código utiliza expressões regulares (*regex*). De forma simplificada, uma expressão regular é um padrão textual que permite reconhecer nomes de pastas que seguem um determinado formato, por exemplo `2024.123 - NomeDoProjeto`. Com esse padrão, o *add-in* consegue identificar de forma confiável qual é o diretório-raiz do projeto, localizar dentro dele o diretório `P3D_*` (diretório que contém os arquivos `Project.xml` e `Piping.dcf`) e, em seguida, o arquivo `Project.xml` correspondente.

Essa abordagem traz duas vantagens principais. Em primeiro lugar, reduz-se o risco de o sistema localizar um `Piping.dcf` incorreto em ambientes que possuem múltiplos projetos, cópias de trabalho ou arquivos de teste, pois a associação é sempre feita a partir do projeto Plant 3D correto. Em segundo lugar, evita-se a necessidade de varrer recursivamente grandes árvores de diretórios em busca do arquivo, o que simplifica o código e melhora o desempenho. Na prática, o *add-in* primeiro confirma o projeto Plant 3D adequado por meio do `Project.xml` e, somente então, lê o `Piping.dcf` desse projeto para extrair o valor do campo *Initial Catalog*, que é utilizado na montagem da string de conexão *Connection String* do SQL Server.

De forma resumida, o fluxo de descoberta e conexão funciona da seguinte maneira:

1. o *add-in* identifica automaticamente a pasta-raiz do projeto a partir do caminho do arquivo `.rvt`, utilizando expressões regulares para reconhecer o padrão do nome do projeto;
2. dentro dessa pasta-raiz, localiza o diretório `P3D_*` e, em seguida, o arquivo `Project.xml`;
3. com base na localização do `Project.xml`, determina o arquivo `Piping.dcf` associado àquele projeto Plant 3D;
4. por fim, o valor do campo *Initial Catalog* do `Piping.dcf` é lido e usado para compor a *Connection String* do SQL Server, apontando exatamente para o banco de dados do cliente correspondente ao projeto aberto.

Do ponto de vista do usuário, o procedimento é totalmente transparente: basta abrir o modelo no Revit, e o *add-in* se encarrega de identificar o projeto Plant 3D, localizar o `Piping.dcf` correto e estabelecer a conexão com o banco de dados adequado no SQL Server.

No Código 4.1, apresenta-se um exemplo do trecho do arquivo `Piping.dcf` contendo o campo *Initial Catalog*, utilizado para identificar o nome do banco de dados do projeto e compor a *Connection String* de conexão ao SQL Server.

Uma vez identificado o nome do banco de dados por meio do campo *Initial Catalog* e estabelecida a conexão com o SQL Server, o *add-in* passa para a etapa de extração

Listing 4.1 – Trecho do arquivo Piping.dcf com o campo Initial Catalog

```
<Parameter>
<Name>Initial Catalog</Name>
<Value xsi:type="xsd:string">_p3d_2024__usina_etanol__Piping</Value>
</Parameter>
```

efetiva das informações. O SQL Server, utilizado pelo Autodesk Plant 3D como sistema gerenciador de banco de dados relacional, armazena os dados de projeto em diversas tabelas com milhares de registros, referentes a diferentes áreas de projeto e tipos de elementos. Nesta etapa, o objetivo do add-in é localizar apenas algumas linhas específicas — aquelas que correspondem ao projeto e à área associados ao modelo `.rvt` em uso — e recuperar somente os campos necessários para as rotinas de automação (identificadores, coordenadas e metadados).

#### 4.4.1 Consultas típicas em tabelas do SQL Server

Após a identificação automática do banco de dados e a montagem da string de conexão, o *add-in* passa a consultar diretamente as tabelas do SQL Server utilizadas pelo Autodesk Plant 3D. O SQL Server armazena milhares de registros referentes a diferentes áreas e disciplinas do projeto, e o objetivo da aplicação é extrair apenas um conjunto reduzido de informações relevantes para automação no Revit.

De maneira geral, as consultas realizadas pelo *add-in* retornam três tipos principais de dados:

- identificadores dos elementos em colunas específicas (como *Tag*, *Support\_Number* e *PnPID*);
- coordenadas de referência espacial (campos *COG X*, *COG Y* e *COG Z*), posteriormente sincronizadas ao modelo Revit por meio da transformação espacial e do cálculo de distância euclidiana utilizado na etapa de correspondência (ver Seção 4.6);
- metadados complementares (descrição do perfil, tipo do suporte ou equipamento, entre outros).

No caso de suportes secundários e estruturas metálicas, a principal fonte de dados é a tabela `SteelStructure`. A consulta utilizada para recuperar coordenadas e identificadores é apresentada no Código 4.2.

Essa consulta filtra apenas os registros que representam suportes. Após o retorno dos dados, o *add-in* aplica filtros adicionais no próprio código, reduzindo o conjunto de milhares de registros para apenas aqueles pertencentes à área correta do projeto, à faixa vertical de interesse e ao tipo específico de suporte utilizado na automação.

A Figura 5 ilustra um exemplo de resultado dessa consulta, evidenciando as colunas

Listing 4.2 – Consulta SQL à tabela `SteelStructure` para obtenção de suportes secundários

```
SELECT [COG X], [COG Y], [COG Z], [Support_Number],
       [PartSizeLongDesc], [Support_Part], [Support_Tag]
FROM [SteelStructure]
WHERE [Support_Number] IS NOT NULL;
```

Listing 4.3 – Consulta SQL às tabelas `EngineeringItems` e `Equipment` para obtenção de coordenadas e *tags*

```
SELECT eng.[COG X], eng.[COG Y], eng.[COG Z], eng.[PnPID], eq.[Tag]
FROM [database].[dbo].[EngineeringItems] eng
JOIN [database].[dbo].[Equipment] eq ON eng.PnPID = eq.PnPID
WHERE eq.[Tag] IS NOT NULL;
```

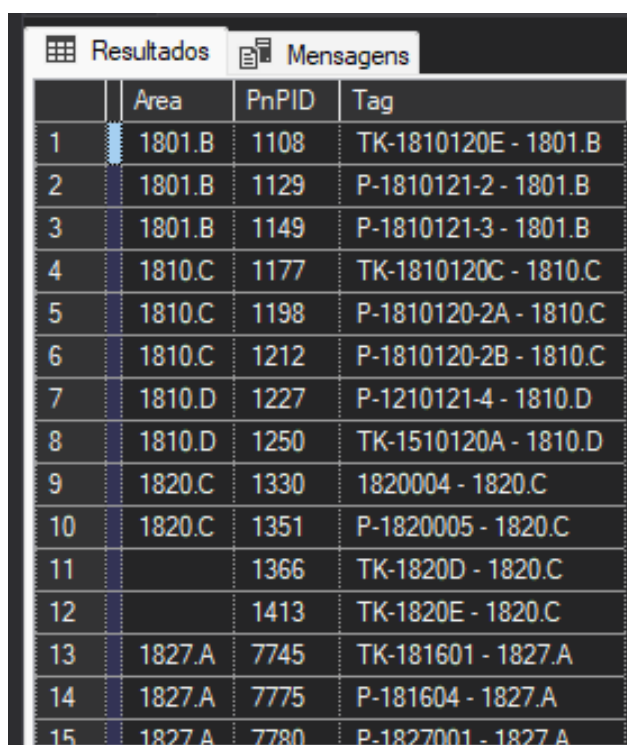
utilizadas: coordenadas COG, número do suporte, descrição do perfil e identificadores associados.

	COG X	COG Y	COG Z	PartSizeLongDesc	PnPID	Status	Support_Number
7	47763,32131	57069,013436	25774,187859	Member Perfil U 4 x 8.0 x 598.4	74309	New	101-ST-004
8	47763,326311	56844,813435	25424,187843	Member Perfil U 4 x 8.0 x 600	74311	New	101-ST-004
9	47763,32131	56620,613436	25774,187859	Member Perfil U 4 x 8.0 x 598.4	74313	New	101-ST-004
10	52362,742918	57920,147737	19398,517501	Member Perfil U 4 x 8.0 x 200	74315	New	101-ST-005
11	52362,742919	57920,152736	18793,517488	Member Perfil U 4 x 8.0 x 110...	74317	New	101-ST-005
12	44208,715311	54092,405847	21226,360905	Member Perfil W 150 x 13.0 x...	74319	New	101-ST-006
13	44609,715311	54092,405847	20613,860905	Member Perfil W 150 x 13.0 x...	74321	New	101-ST-006
14	45010,715311	54092,405847	21226,360905	Member Perfil W 150 x 13.0 x...	74323	New	101-ST-006

Figura 5 – Consulta típica à tabela `SteelStructure`

Para equipamentos, o *add-in* consulta conjuntamente as tabelas `EngineeringItems` (que contém as coordenadas) e `Equipment` (que contém as *tags* e informações de identificação). A união é realizada pelo campo *PnPID*. A consulta utilizada é apresentada no Código 4.3.

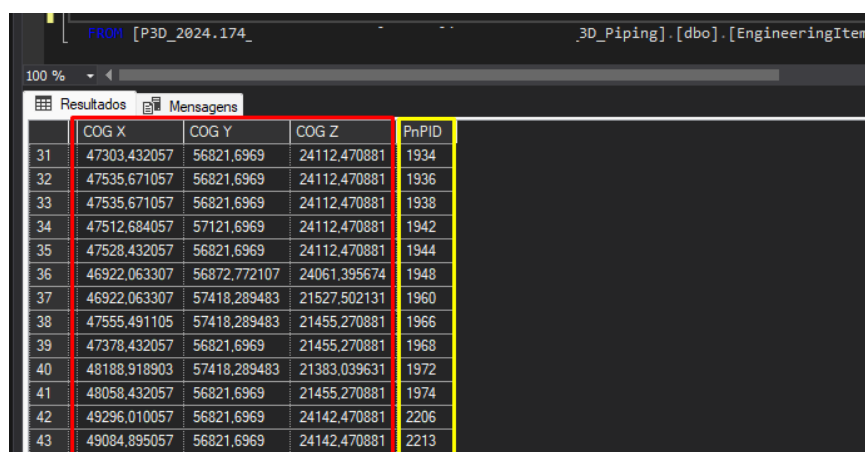
A Figura 6 apresenta um exemplo de tabela com as colunas de Área, *PnPID* e *Tag*, utilizadas para identificar cada equipamento e associá-lo ao projeto e à área correspondentes.



	Area	PnPID	Tag
1	1801.B	1108	TK-1810120E - 1801.B
2	1801.B	1129	P-1810121-2 - 1801.B
3	1801.B	1149	P-1810121-3 - 1801.B
4	1810.C	1177	TK-1810120C - 1810.C
5	1810.C	1198	P-1810120-2A - 1810.C
6	1810.C	1212	P-1810120-2B - 1810.C
7	1810.D	1227	P-1210121-4 - 1810.D
8	1810.D	1250	TK-1510120A - 1810.D
9	1820.C	1330	1820004 - 1820.C
10	1820.C	1351	P-1820005 - 1820.C
11		1366	TK-1820D - 1820.C
12		1413	TK-1820E - 1820.C
13	1827.A	7745	TK-181601 - 1827.A
14	1827.A	7775	P-181604 - 1827.A
15	1827.A	7780	P-1827001 - 1827.A

Figura 6 – Consulta à tabela Equipment

Em seguida, a Figura 7 mostra as coordenadas COG obtidas para cada equipamento na tabela `EngineeringItems`, juntamente com o campo `PnPID`, que permite relacionar cada elemento às suas coordenadas espaciais.



	COG X	COG Y	COG Z	PnPID
31	47303,432057	56821,6969	24112,470881	1934
32	47535,671057	56821,6969	24112,470881	1936
33	47535,671057	56821,6969	24112,470881	1938
34	47512,684057	57121,6969	24112,470881	1942
35	47528,432057	56821,6969	24112,470881	1944
36	46922,063307	56872,772107	24061,395674	1948
37	46922,063307	57418,289483	21527,502131	1960
38	47555,491105	57418,289483	21455,270881	1966
39	47378,432057	56821,6969	21455,270881	1968
40	48188,918903	57418,289483	21383,039631	1972
41	48058,432057	56821,6969	21455,270881	1974
42	49296,010057	56821,6969	24142,470881	2206
43	49084,895057	56821,6969	24142,470881	2213

Figura 7 – Consulta à tabela EngineeringItems

Em síntese, a etapa de consultas no SQL Server permite ao *add-in* identificar com precisão os elementos de interesse no banco de dados — extraíndo apenas algumas linhas específicas dentre milhares existentes — e recuperar os identificadores e coordenadas necessários para posicionamento automático no modelo Revit.

## 4.5 TRANSFORMAÇÃO: NORMALIZAÇÃO ESPACIAL

Após a identificação do banco de dados e a extração das informações geométricas no SQL Server, o passo seguinte consiste em transformar esses dados para o sistema de coordenadas do Revit®. Nesta etapa, o *add-in* precisa conciliar diferentes sistemas de unidades e diferentes origens de coordenadas, uma vez que as informações de posição e identificação são provenientes de outros softwares da plataforma Autodesk, em especial o Autodesk Plant 3D® e o Advance Steel®. Ambos produzem dados em milímetros, organizados em bancos de dados do SQL Server, enquanto o Revit® trabalha internamente com coordenadas em pés e com um sistema próprio de referências de projeto.

A Seção 4.4 mostrou como essas informações são lidas do SQL Server. É importante destacar que esse fluxo é *somente de leitura*: o *add-in* não altera nem grava novamente dados no banco utilizado pelo Plant 3D® ou pelo Advance Steel®. Os registros são consultados, convertidos e utilizados apenas para compor uma base de dados intermediária interna à aplicação, gerada após os cálculos de transformação espacial.

Nesta seção, são tratados os conceitos de unidades, origem e referências globais, bem como a forma como os pontos extraídos do SQL Server são normalizados para o sistema do Revit®. Em termos práticos, o objetivo é garantir que todos os suportes e equipamentos, mesmo tendo sido modelados em softwares distintos, sejam repositados em relação a uma mesma referência espacial única dentro do modelo Revit®.

### 4.5.1 Unidades e origem

A API do Revit® opera internamente em **pés**, enquanto os dados provenientes do Autodesk Plant 3D® e do Advance Steel®, obtidos via SQL Server, estão em **milímetros**. Assim, toda coordenada extraída das tabelas (campos *COG X*, *COG Y* e *COG Z*) passa por uma conversão explícita de unidades, utilizando a relação:  $1 \text{ ft} = 304,8 \text{ mm}$

Somente após essa conversão os pontos são utilizados nos cálculos geométricos dentro do Revit.

Além da diferença de unidades, existe também a necessidade de alinhar as origens de coordenadas. No Revit, esse papel é desempenhado pelo *Project Base Point* (ponto base do projeto) e pelo *Survey Point* (ponto de referência em coordenadas reais do terreno). Os dados oriundos do Plant 3D e do Advance Steel são interpretados como coordenadas em um sistema global externo; a aplicação calcula então os deslocamentos e rotações necessários para trazer cada conjunto de pontos para o sistema do projeto, referenciando todos os elementos a uma mesma origem global definida pelo par *Project Base Point / Survey Point*.

Em outras palavras, cada suporte ou equipamento extraído do SQL Server possui inicialmente coordenadas relativas ao seu próprio sistema (do Plant 3D ou do Advance Steel). Por meio das transformações de unidade e das correções de origem e rotação,

essas coordenadas são reexpressas em um único sistema de referência global dentro do modelo Revit, permitindo que todos os corpos sejam posicionados de forma consistente e comparável.

#### 4.6 CORRESPONDÊNCIA SUPORTE–BASE

Após a normalização espacial descrita na Seção anterior, todos os pontos extraídos do SQL Server (suportes e equipamentos provenientes do Autodesk Plant 3D e do Advance Steel) já se encontram no mesmo sistema de coordenadas do modelo Revit. O próximo passo do processo consiste em associar cada suporte secundário metálico à respectiva base civil modelada em concreto, garantindo que o elemento seja apoiado em um ponto estrutural coerente.

Essa etapa de correspondência é realizada inteiramente no ambiente do Revit: o *add-in* percorre as bases civis existentes no modelo, avalia sua posição e dimensões e verifica quais delas atendem aos critérios geométricos de proximidade em planta (XY) e em altura (Z) em relação ao ponto-alvo do suporte. O objetivo é evitar tanto a ausência de base (suporte “flutuando”) quanto a criação de bases duplicadas ou sobrepostas.

##### 4.6.1 Distância e tolerâncias

O algoritmo calcula, para cada suporte, a **distância euclidiana em XY** e a **diferença em Z** entre o ponto-alvo de apoio do suporte (obtido a partir das coordenadas normalizadas) e o centro da base civil candidata no Revit. Uma base civil é considerada candidata válida se estiver dentro de um raio horizontal e de uma faixa vertical pré-definidos.

De forma simplificada, o cálculo da distância em planta segue a fórmula clássica da distância euclidiana em duas dimensões:

$$d_{XY} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

onde  $\Delta x$  e  $\Delta y$  são as diferenças, em milímetros, entre as coordenadas X e Y do centro da base e do ponto-alvo do suporte. No código, esses termos são obtidos a partir das coordenadas já convertidas para milímetros:

```
dx = centroXmm - posMm.X;
dy = centroYmm - posMm.Y;
distanciaXY = Math.Sqrt(dx * dx + dy * dy);
```

A componente vertical é tratada separadamente por meio da diferença em Z:

$$\Delta Z = Z_{\text{base}} - Z_{\text{suporte}},$$

avaliada em módulo para verificar se o suporte e a base estão dentro da tolerância de altura ( $|\Delta Z| \leq \text{toleranciaZmm}$ ). Uma das bases é previamente selecionada como referência para

o eixo Z, e a tolerância adotada (da ordem de centenas de milímetros) permite absorver pequenos desvios de nível entre o modelo civil e o modelo metálico.

Em uma segunda verificação, o algoritmo também testa se já existe alguma base muito próxima ou sobreposta à base candidata, utilizando a interseção de retângulos no plano XY (construídos a partir das dimensões externas da base (*BoundingBox*)) e uma tolerância de Z mais restrita. Esse passo impede a criação de bases duplicadas ou encostadas umas às outras no mesmo nível.

Em resumo, a etapa de correspondência suporte–base combina cálculos simples de distância euclidiana, análise de tolerâncias em altura e interseção de áreas em planta para garantir que cada suporte metálico seja associado a uma base civil adequada, respeitando a coerência geométrica do projeto e evitando inconsistências no modelo final do Revit.

#### 4.7 CRIAÇÃO E ATUALIZAÇÃO AUTOMATIZADA NO REVIT

No Autodesk Revit<sup>®</sup>, os principais comandos da interface são organizados em uma barra superior denominada *Ribbon*. Essa *Ribbon* é composta por diversas abas (por exemplo, *Arquitetura*, *Estrutura*, *Sistemas*), e cada aba reúne grupos de botões relacionados a um conjunto específico de funcionalidades. A API do Revit permite criar abas e painéis personalizados, de forma que um *add-in* possa expor seus próprios comandos diretamente na barra de ferramentas do software.

Neste trabalho foi desenvolvida uma aba personalizada denominada **Aplus**. Quando o usuário seleciona a aba Aplus na *Ribbon*, é exibido um painel de comandos dedicado à automação das bases civis. A Figura 8 mostra a localização da aba Aplus na *Ribbon* do Revit.

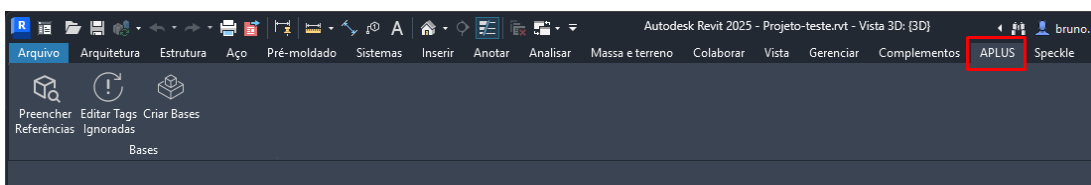


Figura 8 – Aba Aplus personalizada na *Ribbon* do Revit

Ao selecionar a aba Aplus, o usuário visualiza o painel *Bases*, que contém os três botões principais do *add-in*. A Figura 9 destaca esses três comandos.

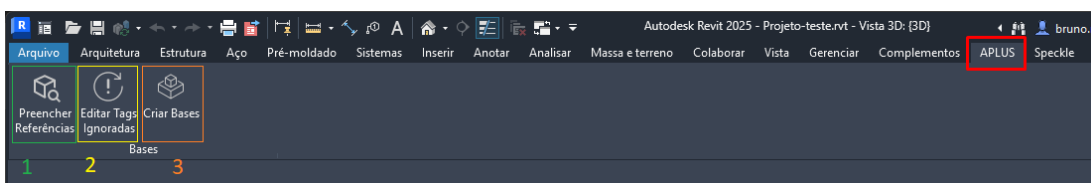


Figura 9 – Painel *Bases* da aba Aplus, com os três comandos do *add-in*

Dentro da aba Aplus, o painel *Bases* disponibiliza três botões principais, que correspondem aos comandos centrais do *add-in*:

1. **Preencher Referências** – responsável por ler as informações do banco de dados (via SQL Server), aplicar a normalização espacial e preencher os parâmetros de referência necessários em bases pré existentes;
2. **Editar Tags Ignoradas** – permite ao usuário revisar e ajustar a lista de identificadores (tags) que devem ser desconsiderados nas rotinas de preenchimento de referências, evitando a inserção de parâmetros em bases civis que não fazem parte do escopo;
3. **Criar Bases** – executa a rotina de criação e atualização dos elementos de piso na categoria **Floors** (família do Revit), gerando as bases civis propriamente ditas, com o **tipo** (espessura e material) selecionado na interface e com os **parâmetros** preenchidos automaticamente a partir dos dados normalizados.

De forma resumida, esses três comandos encapsulam todo o fluxo descrito nas seções anteriores: (i) consulta de dados no SQL Server; (ii) transformação e normalização espacial das coordenadas provenientes do Autodesk Plant 3D e do Advance Steel; e (iii) geração automática de elementos na categoria de piso, já configurados com o tipo e os parâmetros adequados para o projeto.

As subseções a seguir detalham o funcionamento de cada comando da aba Aplus e sua relação com o fluxo metodológico apresentado neste capítulo.

#### 4.7.1 Preenchimento automático da propriedade *Referência*

O comando *Preencher Referências* é acionado a partir da *Ribbon* Aplus no Revit, apresentado na Figura 10.

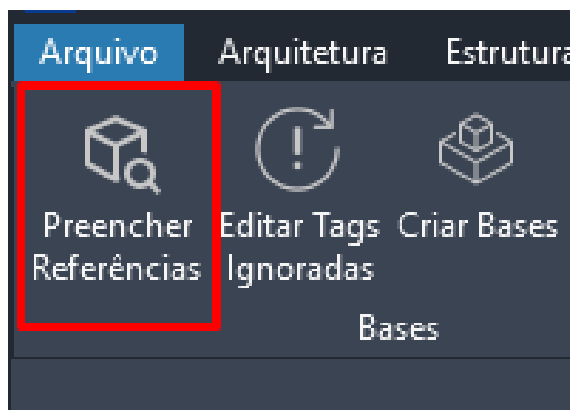


Figura 10 – Preencher Referências

Ao ser executado, o *add-in* realiza, de forma automática, os seguintes passos:

1. Conecta-se ao banco de dados corporativo no SQL Server utilizando a *ConnectionString* (String de conexão) construída a partir do arquivo *Piping.dcf*, conforme descrito na Seção 4.4.
2. A partir do caminho completo do arquivo *.rvt*, o *add-in* analisa o texto desse caminho utilizando expressões regulares (*regex*), isto é, padrões de texto que permitem localizar trechos específicos dentro de uma string. Com esse recurso, o sistema identifica o código do projeto (por exemplo, 2024.174) e também a área do projeto (por exemplo, 1801.B).

Exemplificando, considere o seguinte caminho de arquivo:

```
A:\01-Clientes\\2025.020 - Descricao-Projeto\  
Areas\14 - DESTILARIA E EVAPORACAO\Civil\Revit
```

A expressão regular é construída de forma que diferentes segmentos desse caminho sejam capturados em grupos numerados. Nessa configuração, um dos grupos captura o código do projeto (2025.020) e outro grupo captura o código da área (14). Assim, projeto e área são extraídos automaticamente do caminho do arquivo *.rvt* e utilizados como chaves de pesquisa para que, nas etapas seguintes, sejam considerados apenas os suportes e equipamentos pertencentes àquele trecho específico do empreendimento nas consultas às tabelas do banco de dados.

3. Consulta as tabelas *SteelStructure*, *EngineeringItems* e *Equipment*, todas provenientes do banco de dados do Autodesk Plant 3D, bem como a tabela corporativa ADV - CENTRO DE GRAVIDADE, alimentada pelo fluxo do Autodesk Advance Steel. A partir dessas fontes, o *add-in* localiza, entre milhares de registros disponíveis, apenas as linhas que representam os elementos de interesse: suportes típicos (ST) obtidos da tabela *SteelStructure* e suportes especiais (SE), tanques (TK), bombas (P) e estruturas metálicas (EM), identificados pela combinação das tabelas *EngineeringItems*, *Equipment* e ADV - CENTRO DE GRAVIDADE.
4. Para cada registro retornado, converte as coordenadas de milímetros para pés e aplica os *offsets* de origem e rotação global do projeto, garantindo a compatibilidade com o sistema interno de coordenadas do Revit.
5. No modelo estrutural, pesquisa bases civis cuja propriedade *Referência* esteja vazia e, para cada suporte secundário candidato (com coordenadas obtidas do SQL Server), aplica o cálculo de distância euclidiana e as tolerâncias em altura descritos na Seção 4.4, a fim de identificar a referência mais adequada para associação.

6. Quando a distância em planta (XY) é inferior a 500 mm e a diferença em altura (Z) entre a parte inferior do suporte secundário e o topo da base civil está dentro da mesma tolerância de 500 mm, o parâmetro *Referência* da base é preenchido automaticamente com o identificador do suporte. Esse valor de 500 mm foi definido de forma empírica, a partir de testes sucessivos em diferentes modelos reais, até se chegar a um compromisso adequado entre robustez (capturar os referências corretas mesmo com pequenos desvios geométricos) e segurança (evitar associações indevidas com bases e referências no entorno).
7. Ao final do processamento, são gerados arquivos de registro contendo data e horário da execução, coordenadas do suporte, identificador de área e valor da referência preenchida, o que viabiliza auditoria e rastreabilidade.

Essa rotina elimina o preenchimento manual e repetitivo da propriedade *Referência*, reduz a ocorrência de erros de digitação e garante que cada base esteja associada a um suporte efetivamente existente no banco de dados.

#### 4.7.2 Gestão de tags ignoradas para preenchimento de referências

Em situações específicas, determinadas *tags* de suportes não devem ser consideradas no processo de preenchimento automático da propriedade *Referência* (por exemplo, elementos temporários, suportes de montagem ou objetos ainda em estudo). Para tratar esses casos, foi desenvolvido, neste trabalho, um módulo específico de gestão de exceções, acessado por meio do comando *Editar Tags Ignoradas* na aba *Aplus* da *Ribbon* do Revit, conforme ilustrado na Figura 11.

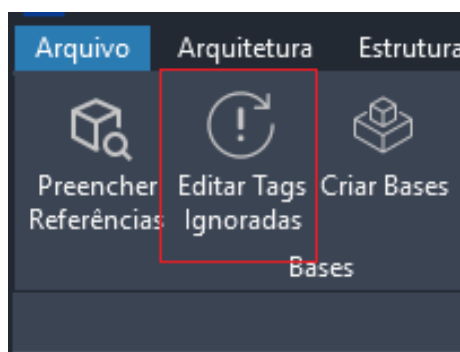


Figura 11 – Botão *Editar Tags Ignoradas* na aba *Aplus* da *Ribbon*

Ao acionar esse comando, o *add-in* abre uma interface simples de edição, desenvolvida especificamente para este projeto, que permite gerenciar a lista de *tags* a serem ignoradas, conforme ilustrado na Figura 12.

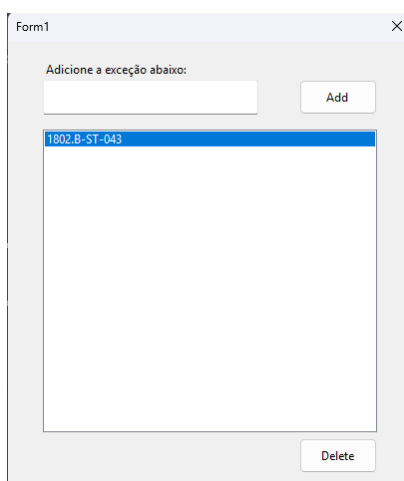


Figura 12 – Janela de edição de *tags* ignoradas utilizada pelo comando *Editar Tags Ignoradas*

Ao acioná-lo, é exibido um formulário que permite ao usuário:

- visualizar a lista atual de *tags* ignoradas;
- adicionar novas *tags* a serem desconsideradas;
- remover *tags* anteriormente cadastradas.

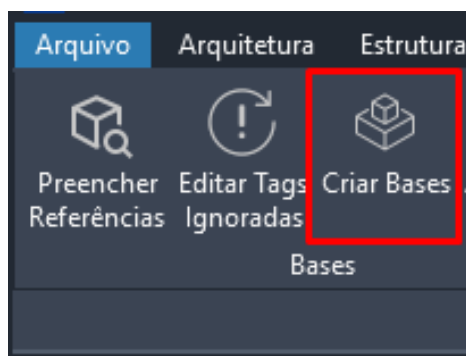
A lista é persistida em um arquivo de configuração no diretório de projeto, seguindo o padrão:

```
A:\01-Clientes\Configuração\IGNORED-REFERENCE\ignored_references.json
```

Durante a execução do comando *Preencher Referências*, qualquer suporte cujo identificador conste neste arquivo é automaticamente excluído do processamento, evitando que referências indesejadas sejam propagadas para o modelo civil.

### 4.7.3 Criação automática de bases para suportes típicos (ST)

A criação automática das bases civis associadas a suportes típicos é realizada por meio do comando *Criar Bases* na aba *Aplus* da *Ribbon* do Revit. Neste trabalho, esse comando foi desenvolvido especificamente para automatizar a geração de bases na categoria *Floors*, com espessura e material predefinidos. A Figura 13 destaca o botão *Criar Bases* no painel *Bases*.

Figura 13 – Botão *Criar Bases* na aba Aplus da *Ribbon* do Revit

Ao acionar esse comando, o *add-in* exibe o formulário *Criar Bases Automáticas*, mostrado na Figura 14. Nessa interface, o usuário seleciona, no primeiro campo, o *Tipo de Piso* que será utilizado para as bases automáticas (por exemplo, *Base – 250mm* ou *Base – 300mm*), definindo assim a espessura padrão das bases civis geradas para os suportes típicos (ST). O formulário também dispõe de controles específicos para a criação de bases associadas a suportes especiais (SE) e a estruturas metálicas (EM), bem como de uma legenda de cores para facilitar a interpretação gráfica dos resultados (bases novas, bases atualizadas, bases mantidas etc.).

Figura 14 – Formulário *Criar Bases Automáticas* utilizado pelo comando *Criar Bases*

Em seguida, o *add-in* executa a seguinte lógica:

1. Consulta as tabelas **SteelStructure** e **EngineeringItems**, ambas pertencentes ao banco de dados do Autodesk Plant 3D no SQL Server, e, utilizando as chaves de projeto e área previamente identificadas, obtém a lista de suportes típicos (ST) relevantes para a área do modelo Revit em processamento.
2. Para cada suporte retornado, converte as coordenadas de milímetros para pés e aplica os *offsets* de origem e a rotação global do projeto, de modo a alinhar os

- pontos ao sistema interno de coordenadas do Revit definido pelo *Project Base Point*, pelo *Survey Point* e pelo ângulo em relação ao norte verdadeiro.
3. Em seguida, para cada suporte típico (ST), realiza uma busca espacial no modelo estrutural verificando se existe base civil dentro de um raio de aproximadamente 500 mm no plano XY e em uma faixa de  $\pm 500$  mm em Z, de acordo com os critérios de proximidade e tolerância estabelecidos na Seção 4.4.
  4. Para cada suporte típico (ST), pesquisa no modelo a existência de uma base em um raio de 500 mm no plano XY e dentro de uma faixa de  $\pm 500$  mm em Z.
  5. Caso não seja identificada nenhuma base dentro dessa tolerância, o *add-in* cria um novo elemento da categoria `OSt_Floors` (Categoria de Piso), utilizando o tipo selecionado no formulário.
  6. A elevação superior da base civil é definida a partir da coordenada Z do suporte secundário, diminuída de metade da espessura de uma chapa metálica (informação proveniente do SQL Server), de forma a alinhar o topo da base com o ponto real de apoio do suporte secundário.
  7. São preenchidos automaticamente os parâmetros:
    - **TAG Base:** identificador sequencial interno de todas as bases do modelo civil;
    - **Referência:** Tag identificador do suporte secundário proveniente do Plant3D/AdvanceSteel (por exemplo, 301-ST-043);
    - **Comentários:** coordenadas em milímetros utilizadas para verificação, provenientes do SQL Server, no formato: |X=<mm> / Y=<mm> / Z=<mm>|.
  8. Quando já existe uma base previamente modelada com a mesma referência, porém deslocada mais que 100 mm em relação às novas coordenadas, esta base é automaticamente classificada como *fora de tolerância* e marcada para revisão.

Do ponto de vista de aplicação, cada execução do comando *Criar Bases* atua sobre uma área física específica do empreendimento, previamente identificada a partir do caminho do arquivo `.rvt` (por exemplo, áreas como *Fermentação*, *Destilaria e Evaporação*, *Mash Milling* ou *Moagem*). Para a área correspondente ao modelo aberto, o *add-in* localiza os suportes típicos relevantes no banco de dados, aplica as transformações espaciais descritas nas seções anteriores e, por fim, insere no modelo Revit as bases civis necessárias, já com o tipo adequado e com os parâmetros configurados automaticamente.

Na Figura 15 apresenta-se um exemplo de área do projeto sendo processada pelo comando *Criar Bases*. Nessa situação, diversas bases civis são geradas automaticamente no pavimento e têm seus parâmetros preenchidos no painel de propriedades à direita da tela, enquanto a representação em cores distintas facilita a identificação visual das bases

recém-criadas, das bases atualizadas e daquelas que permaneceram inalteradas após a execução da rotina.



Figura 15 – Exemplo de criação automática de bases civis e preenchimento de propriedades

Esse procedimento permite que um grande conjunto de suportes típicos tenha suas bases civis criadas em lote, com critérios geométricos objetivos e vínculo direto aos dados do banco corporativo.

#### 4.7.4 Criação de bases especiais (SE)

Os suportes especiais (SE) apresentam geometrias e condições de apoio menos padronizadas, exigindo um tratamento diferenciado em relação aos suportes típicos. Nesses casos, o *add-in* utiliza a tabela corporativa representada na Figura 16, que armazena informações consolidadas de suportes especiais (SE) e estruturas metálicas (EM), provenientes do fluxo de modelagem no Autodesk Advance Steel.

Antes da criação das bases, é realizada uma consulta a essa tabela no SQL Server para recuperar, para cada suporte especial, o *FileName* (Coluna da tabela apresentada na Figura 16), as coordenadas do centro de gravidade (*COG X*, *COG Y*, *COG Z*) e as posições de início e fim da peça (*Start X/Y/Z* e *End X/Y/Z*). Esses dados servem como base para os cálculos de posicionamento espacial descritos nas seções anteriores.

O procedimento para criação das bases civis para suportes secundários especiais é descrito a seguir:

1. Os registros de suportes especiais são relacionados no SQL Server pelas colunas *FileName* e *COG*, de forma a considerar cada conjunto estrutural como uma entidade única.
2. Para cada grupo, o algoritmo seleciona o subconjunto de pontos cujo valor de *Z* é mínimo (dentro de uma tolerância de  $\pm 100$  mm), representando a região mais baixa de apoio.

ASId	FileName	COG X	COG Y	COG Z	START X	END X	START Y	END Y	START Z	END Z	
1	7281	1001.A-SE-009	467930.277...	292295.4	5963.544	467880.277...	467980.2	292290.635	292300.1	5631.04496	5966.04496
2	7295	1001.A-SE-009	466539.155...	292247.8000...	5697.544	466534.390...	466543.9	292204.8	292290.8	5608.04496	5787.04496
3	1288	1609.E-SE-015	676635.271...	678349.9230...	10546.45	676585.271...	676685.2	678239.9	678399.9	10543.282	10549.632640935
4	7444	1001.A-SE-010	467930.277...	284895.4	5831.544	467880.277...	467980.2	284890.635	284900.1	5799.04496	5864.04496
5	7457	1001.A-SE-010	466810.655...	284847.8000...	5697.544	466805.890...	466815.4	284804.8	284890.8	5608.04496	5787.04496
6	11084	1001.A-SE-006	478235.086...	300045.4008...	13350.59	478227.146...	478243.0	299920.4	300170.4	13182.891	13518.291748761
7	9353	1001.A-SE-006	477235.750...	299997.7549...	14307.72	477230.983...	477240.5	299954.7	300040.7	14218.228	14397.22891
8	9707	1001.A-SE-006	480381.163...	299998.4000...	13003.00	480376.398...	480385.9	299956.9	300040.9	12753.488	13252.513590493
9	9532	1001.A-SE-006	478960.863...	300045.3908...	14161.37	478728.610...	479193.1	299746.3	300344.4	14155.028	14167.72891
10	9514	1001.A-SE-006	478475.278...	300045.3908...	14161.37	478243.026...	478707.5	299746.3	300344.4	14155.028	14167.72891
11	9331	1001.A-SE-006	477555.370...	300045.4	14434.62	477544.855...	477544.8	299954.4	300135.4	14424.113	14424.11331
12	11293	1001.A-SE-007	478235.086...	300045.4008...	4450.370	478227.145...	478243.0	299920.4	300170.4	4267.6704	4633.0704443848
13	10564	1001.A-SE-007	477235.551...	300045.4000...	4939.934	477270.013...	478227.1	300045.4	300045.3	5697.7289	4450.3704443848
14	10541	1001.A-SE-007	480260.494...	300002.9000...	3406.001	480255.729...	480265.2	299960.4	300045.4	3156.4885	3655.5135004938
15	1100	1001.A-SE-003	460484.831...	284895.4000...	2717.845	460484.732...	460484.9	284895.4	284895.4	2224.4564	3211.2068600000
16	10580	1001.A-SE-007	477468.849...	300092.9999...	5697.730	477464.084...	477473.6	300049.9	300135.9	5608.2307	5787.2307681266

Figura 16 – Tabela ADV – CENTRO DE GRAVIDADE com informações de coordenadas para suportes especiais

3. A partir desse conjunto de pontos, a base é criada com dimensões dinâmicas, definidas pelo usuário no formulário de criação, de modo a cobrir adequadamente a área de contato do suporte especial.
4. Tal como no caso dos suportes típicos, são preenchidos automaticamente os parâmetros *TAG Base*, *Referência* e *Comentários*, mantendo a mesma lógica de rastreabilidade e padronização.

As bases geradas para suportes especiais recebem uma coloração diferenciada no modelo, facilitando sua identificação na etapa de auditoria visual. Na Figura 17 apresenta-se um exemplo de suportes especiais (SE) com suas respectivas bases civis criadas automaticamente e destacadas em azul, o que permite ao projetista verificar de forma rápida se todos os pontos de apoio foram contemplados pela rotina.

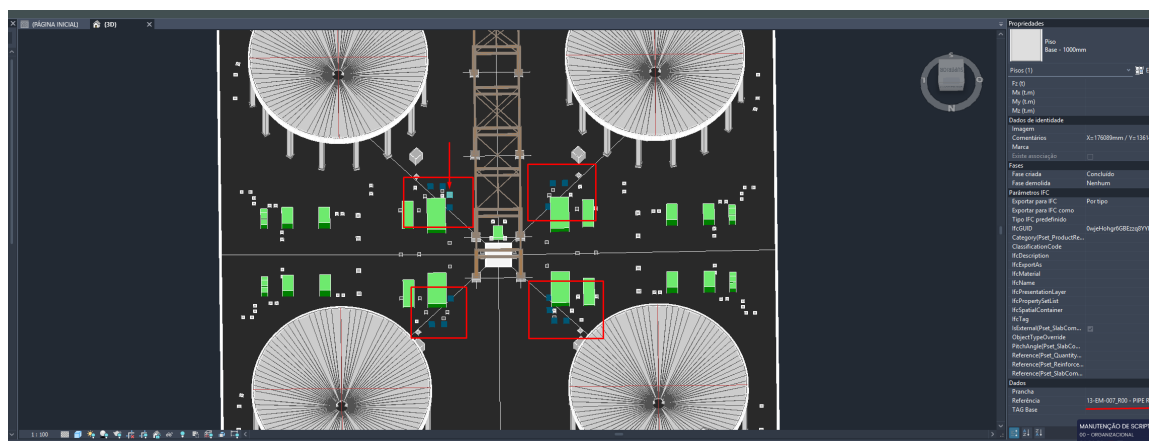


Figura 17 – Exemplo de criação automática de bases civis para suportes especiais (SE)

Na subseção a seguir, são descritos os mecanismos de controle por *tags* ignoradas especificamente aplicados à etapa de criação de bases.

#### 4.7.5 Tags ignoradas para criação de bases

Além da lista de *tags* ignoradas utilizada para o preenchimento da propriedade *Referência*, o *add-in* mantém uma lista específica de *tags* que devem ser desconsiderados na etapa de criação de bases.

Por meio do botão *Configurações* no formulário *Criar Bases*, o usuário acessa uma interface de gerenciamento que permite:

- cadastrar suportes que não devem gerar bases civis;
- visualizar a lista atual de elementos ignorados;
- remover *tags* previamente definidas.

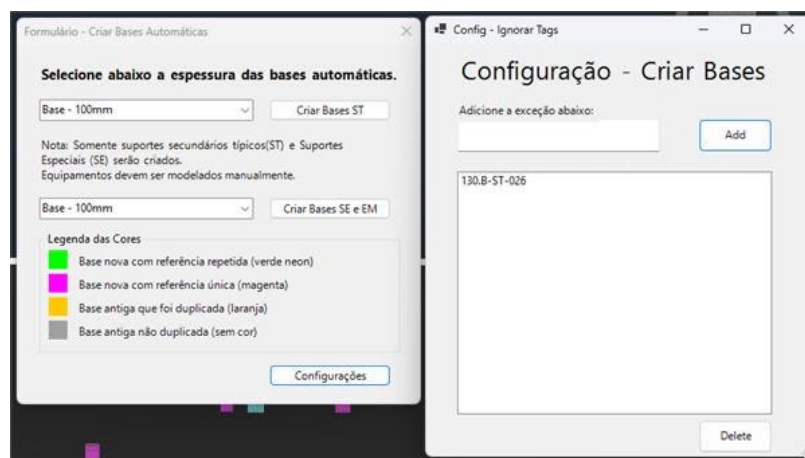


Figura 18 – Configuração - Criar Bases

Essas informações são armazenadas em um arquivo do tipo JSON na pasta de dados do Revit, por exemplo:

```
C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2025\logs\  
Criar_Bases_tags_ignorados.json
```

Durante a execução do comando *Criar Bases*, quaisquer registros cujo *Support-Number* ou *FileName* estejam presentes nesse arquivo são automaticamente excluídos do processamento.

#### 4.7.6 Esquema de cores para auditoria visual

Após a execução das rotinas de criação e atualização, o *add-in* aplica um esquema de cores às bases para apoiar a etapa de auditoria visual pelos engenheiros civis e coordenadores de projeto. O significado das cores é resumido a seguir:

- **Magenta:** base nova criada na posição atualizada do suporte.
- **Verde:** base associada a referência duplicada, indicando que mais de uma base atende ao mesmo suporte e exigindo análise do projetista.

- **Azul-claro:** base associada a suporte especial (SE).
- **Laranja:** base antiga com a mesma referência, porém fora de tolerância espacial (*offset* superior a 10 mm em relação à posição atual).
- **Cinza:** bases não afetadas pela execução corrente do *add-in*, mantidas apenas para referência histórica.
- **Vermelho:** base previamente criada no projeto sem referência preenchida e nenhuma referência encontrada pelo *add-in*.

A legenda é apresentada ao usuário no próprio formulário de criação de bases Figura 19 e pode ser replicada em pranchas e documentos de coordenação quando necessário. Esse mecanismo visual direciona a revisão para os pontos críticos, reduzindo o esforço de checagem manual em arquivos .RVT, .NWF e .NWD.

A legenda é exibida no formulário de criação e pode ser reproduzida nos documentos quando necessário.

Formulário - Criar Bases Automáticas

**Selecione abaixo a espessura das bases automáticas.**

Base - 100mm

Nota: Somente suportes secundários típicos(ST) e Suportes Especiais (SE) serão criados.  
Equipamentos devem ser modelados manualmente.

Base - 100mm

**Legenda das Cores**

- Base nova com referência repetida (verde neon)
- Base nova com referência única (magenta)
- Base antiga que foi duplicada (laranja)
- Base antiga não duplicada (sem cor)

Figura 19 – Formulário de criação de bases

#### 4.8 PADRÕES DE TERMINOLOGIA E PREENCHIMENTO

Para padronizar o uso no escritório, adota-se:

- **Propriedade *Referência*:** padrão <ÁREA>-<TIPO>-<ID>;
- **Campo *Comentários*:** X=<mm> / Y=<mm> / Z=<mm>;

- **Cores:** conforme a legenda, mantendo consistência em todas as áreas e projetos.

Na Figura 20 apresenta-se um exemplo de elemento estrutural com os parâmetros *Referência* e *Comentários* preenchidos automaticamente, bem como a aplicação do padrão de cores utilizado para facilitar a leitura e a auditoria visual do modelo.

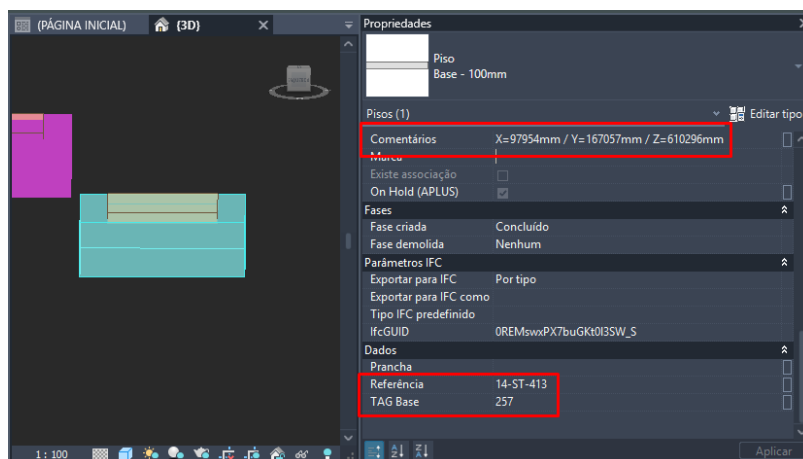


Figura 20 – Exemplo de preenchimento de propriedades segundo o padrão adotado

Os padrões de terminologia e preenchimento descritos nesta seção consolidam a forma de utilização do *add-in* no ambiente de projeto, garantindo uniformidade entre diferentes áreas e empreendimentos.

A automação não substitui verificações de **dimensionamento** e **normas** aplicáveis. É essencial manter consistência de *origens* e *unidades*, e revisar casos de geometria atípica como exemplo de casos complexos de suportes especiais(**SE**) com tolerâncias ajustadas .

No capítulo 5, são apresentados os resultados esperados com a aplicação dessa metodologia de automação no processo de modelagem e detalhamento das bases civis.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados esperados com a adoção do *add-in* desenvolvido para o Autodesk Revit<sup>®</sup>, em comparação com o processo manual descrito nos capítulos anteriores, bem como as melhorias incrementais implementadas durante a aplicação da ferramenta em diferentes projetos industriais. Na sequência, são discutidas perspectivas de evolução e implementações futuras, tanto do ponto de vista técnico (novas funcionalidades e generalizações do algoritmo) quanto organizacional (padronização de uso e consolidação do fluxo orientado a dados no contexto da APLUS).

### 5.1 QUADRO COMPARATIVO: PROCESSO MANUAL VS. AUTOMATIZADO

Antes de detalhar indicadores numéricos e casos específicos de aplicação, é relevante sintetizar, de forma qualitativa, como o processo proposto se compara ao procedimento manual atualmente utilizado no escritório. A Tabela 1 resume as principais etapas envolvidas na criação de bases civis e destaca as diferenças entre o cenário vigente e o fluxo automatizado implementado pelo *add-in*.

Tabela 1 – Comparativo resumido do processo de criação de bases

Etapa	Manual (vigente)	Automatizado (proposto)
Coleta de dados	Planilhas, comunicação e visualização de modelos	Consulta ao SQL Server
Normalização espacial	Conversões manuais e checagens visuais	Conversões sistemáticas, <i>offsets</i> e rotações aplicadas
Associação suporte-base	Inspeção visual	Cálculo de distância euclidiana em XY e regra para tolerância em Z
Parametrização	Preenchimento manual da propriedade <i>Referência</i>	Preenchimento automático e padronizado
Validação	Revisões visuais em arquivos .NWD/.NWF	Sinalização por cores (magenta/verde/laranja/azul) para revisão dirigida em arquivos .RVT/.NWD/.NWF
Rastreabilidade	Limitada nas próximas etapas do projeto	<i>Logs</i> de execução e visualização em tempo real de referências e coordenadas

Cada linha da Tabela 1 evidencia uma mudança de paradigma:

- **Coleta de dados** – no processo manual, a obtenção de informações depende de planilhas, trocas de e-mails e inspeção de modelos; no fluxo automatizado, os dados são extraídos diretamente do SQL Server, a partir das tabelas do Autodesk Plant 3D e do Advance Steel, reduzindo ruídos de comunicação e garantindo que todos trabalhem com a mesma fonte de verdade.

- **Normalização espacial** – anteriormente, a compatibilização de coordenadas entre as áreas multidisciplinares eram feitas por conversões manuais e conferências visuais. Com o *add-in*, essa etapa passa a seguir regras explícitas e automatizadas de conversão de unidades, aplicação de *offsets*, *Project Base Point*, *Survey Point* e rotações, conforme detalhado no Capítulo 4.
- **Associação suporte–base** – em vez de depender exclusivamente da inspeção visual do projetista para relacionar suportes e bases, o processo automatizado utiliza o cálculo de distância euclidiana em XY combinado com tolerâncias em Z, garantindo critérios objetivos e reproduzíveis de correspondência entre elementos.
- **Parametrização** – o preenchimento manual da propriedade *Referência* é substituído pelo preenchimento automático e padronizado, diretamente a partir das *tags* e coordenadas obtidas no banco de dados, eliminando erros de digitação e inconsistências entre áreas.
- **Validação** – as revisões deixam de ser exclusivamente visuais em arquivos .NWD/.NWF para passar a contar com um esquema de cores no próprio Revit (.RVT), orientando o revisor para situações específicas (bases novas, duplicadas, atualizadas, especiais), além de continuar compatível com revisões em .NWD/.NWF quando necessário.
- **Rastreabilidade** – enquanto no fluxo manual o histórico de decisões tende a se perder nas etapas seguintes, o processo automatizado registra horário de execução, coordenadas, referências e ações realizadas, permitindo rastrear a origem das informações e apoiar auditorias internas.

Esse quadro comparativo fornece o contexto qualitativo para os indicadores de desempenho apresentados nas seções seguintes, em especial no que se refere à redução de tempo de modelagem, à melhoria da qualidade geométrica e ao aumento da transparência do fluxo de dados.

## 5.2 INDICADORES DE DESEMPENHO E RESULTADOS ESPERADOS

A partir da metodologia proposta no Capítulo 4, que integra extração de dados no SQL Server, normalização espacial, correspondência suporte–base e criação automatizada de elementos na categoria **Floors**, a expectativa principal é a redução substancial de atividades manuais e o aumento da rastreabilidade do processo de projeto.

Os resultados esperados podem ser organizados em quatro eixos: tempo de modelagem, qualidade geométrica, padronização de parâmetros e transparência do fluxo de dados.

### 5.2.1 Tempo de preenchimento de propriedades

Em relação ao comando *Preencher Referências*, o procedimento operacional interno da Aplus estima uma expressiva redução no tempo de preenchimento das propriedades de referência, quando comparado ao processo manual de localizar, ler e digitar cada identificação.

No fluxo tradicional, o projetista deveria:

- Localizar visualmente o suporte no modelo de tubulação ou estruturas metálicas;
- Identificar o código do suporte (*tag*) em listas ou tabelas;
- Posicionar a base correspondente no modelo civil;
- Digitar manualmente a referência em um parâmetro de texto no Revit.

Com o *add-in*, esse procedimento é substituído por:

- Acionamento do comando *Preencher Referências* na aba Aplus da barra de ferramentas (Ribbon);
- Leitura automática do banco de dados, normalização das coordenadas e comparação geométrica entre suportes e bases;
- Preenchimento automático do parâmetro *Referência* sempre que a distância for inferior ao raio de tolerância definido.

Além da redução de tempo, há eliminação de erros de digitação, duplicidades e omissões, uma vez que o preenchimento é derivado diretamente das informações estruturadas no SQL Server, em vez de depender de anotações manuais.

### 5.2.2 Criação automática de bases para suportes típicos e especiais

No que se refere ao comando *Criar Bases*, a expectativa é de diminuição expressiva do esforço de modelagem civil para suportes típicos (ST) e especiais (SE). Em vez de posicionar cada base manualmente, o projetista passa a:

- Selecionar a espessura-padrão da base no formulário do *add-in*;
- Acionar a criação automática para suportes típicos (ST) e, em seguida, para suportes especiais (SE), quando aplicável;
- Revisar visualmente as bases criadas com auxílio do esquema de cores e dos parâmetros preenchidos.

A criação automática considera:

- A conversão das coordenadas publicadas no banco de dados para o sistema interno do Revit (pés), respeitando o *Project Base Point*, o *Survey Point* e a rotação do projeto;
- A aplicação de tolerâncias em *XY* e *Z* para evitar duplicidades de bases e inconsistências de altura;

- O preenchimento automático de parâmetros como *TAG Base*, *Referência* e *Comentários*, contendo coordenadas em milímetros para rastreabilidade.

Nos cenários de teste interno, observou-se que a criação de um conjunto de bases para dezenas ou centenas de suportes passa a ser realizada em poucos minutos, contra horas de trabalho no processo manual, especialmente em *pipe-racks* densos e áreas com grande concentração de suportes.

### 5.2.3 Qualidade geométrica, padronização e rastreabilidade

O uso de cores padronizadas para auditoria visual (magenta para bases novas, verde para referências duplicadas, azul claro para suportes especiais, laranja para bases antigas em conflito) facilita significativamente a identificação de situações críticas sem necessidade de filtros complexos ou revisões manuais exaustivas no modelo.

Adicionalmente:

- As bases são criadas exatamente na posição dos suportes, respeitando o sistema de coordenadas global descrito na metodologia, o que reduz deslocamentos não intencionais.
- O preenchimento sistemático de parâmetros facilita a emissão de quantitativos, a comunicação com outras disciplinas e a rastreabilidade de decisões de projeto.
- A geração de registro com horário, coordenadas e operações executadas fornece trilhas de auditoria para controle de qualidade interno e suporte à manutenção da solução.

## 5.3 IMPLEMENTAÇÕES ADICIONAIS

Ao longo da utilização da ferramenta em diferentes empreendimentos industriais, foram identificados problemas específicos de modelagem e integração que motivaram ajustes incrementais no *add-in*. Esses ajustes, além de resolverem casos pontuais, consolidam a robustez da solução para projetos futuros.

### 5.3.1 Tratamento de bancos de dados específicos para pipe-racks

Um primeiro problema observado foi a ausência de preenchimento automático de referências em suportes típicos associados a pipe-racks cujo modelo estava vinculado a um banco de dados distinto do padrão. O código original assumia uma convenção única para o nome do banco, não contemplando esse cenário.

Para mitigar o problema, foi implementada uma condicional dinâmica que inspeciona o nome do arquivo de origem: sempre que o *FileName* contiver a expressão “*Pipe Rack*”, o *add-in* normaliza o identificador do banco de dados para incluir o sufixo correspondente, garantindo que a conexão seja estabelecida com o banco correto. Como resultado,

suportes típicos localizados em pipe-racks passam a ser tratados de maneira transparente, sem necessidade de parametrizações manuais adicionais.

### 5.3.2 Faixa de altura para criação de bases de suportes típicos

Em um dos projetos analisados, a presença de chapas e elementos de ligação parafusados na estrutura metálica levou o algoritmo a identificar falsos positivos na tabela `SteelStructure`, resultando na criação indevida de bases em níveis elevados.

A correção implementada consiste em solicitar ao usuário, ao acionar o comando de criação de bases para suportes típicos, a seleção prévia de uma base ou piso existente como referência. A partir dessa seleção, o código constrói um intervalo de  $\pm 1$  m em torno da cota de referência e restringe a criação de novas bases a esse *range*. Pontos fora da faixa são descartados automaticamente.

Esse mecanismo:

- reduz a ocorrência de bases em níveis incorretos;
- permite segmentar a criação de bases por nível de piso;
- simplifica a operação em projetos com múltiplos patamares ou desníveis significativos, bastando repetir o comando para cada nível relevante.

### 5.3.3 Bases chumbadas, *voids* automáticos e bases anguladas

Atendendo a demandas da equipe de engenharia civil, foram incorporadas novas funcionalidades direcionadas ao tratamento de situações construtivas específicas:

#### 5.3.3.1 Bases chumbadas (*tags* iniciando com *SFC*)

Para suportes cuja *Support\_Tag* (Coluna do SQL Server) inicia com *SFC*, o sistema passa a interpretar essas peças como bases chumbadas. Em vez de centralizar a base no meio da chapa, o algoritmo:

1. identifica a espessura total da chapa associada ao suporte;
2. subtrai essa espessura da coordenada *Z* obtida no SQL;
3. posiciona o topo da base na cota resultante, alinhando-o ao nível real de apoio no concreto.

Esse recuo automático em *Z* evita que a base seja posicionada acima do encontrado em campo, compatibilizando a geometria do modelo com a solução construtiva adotada.

#### 5.3.3.2 Voids automáticos em bases não *SFC*

Para bases associadas a suportes que não possuem *SFC* em sua tag, o *add-in* passa a gerar automaticamente um *void* (rebaixo) paramétrico com as seguintes características:

- posicionado no topo da base;

- recuo de 50 mm para dentro e 50 mm para fora no eixo  $Z$ ;
- dimensões em  $X$  e  $Y$  reduzidas em 50 mm em cada lado em relação às dimensões da base.

As Figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, a vista lateral e a vista superior do *void* gerado automaticamente.

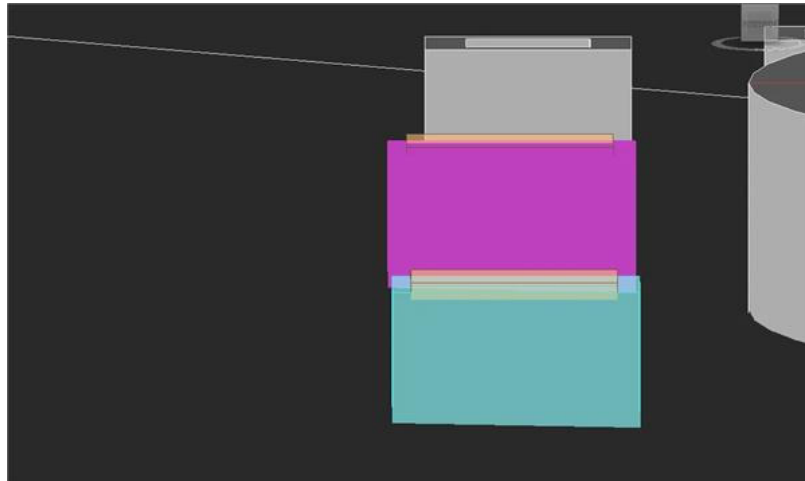


Figura 21 – Vista lateral do void

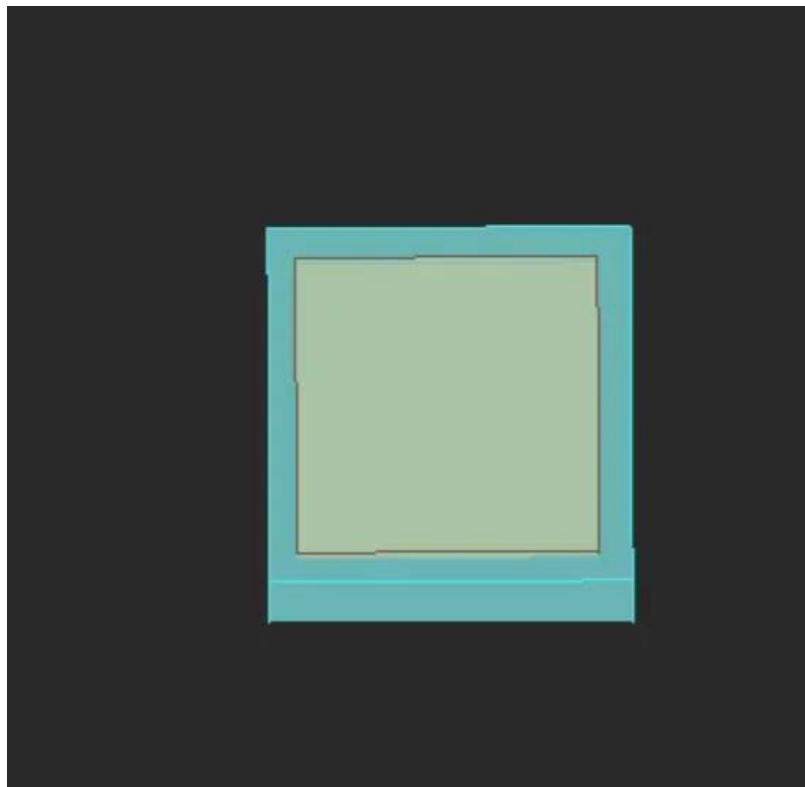


Figura 22 – Vista de cima do void

Essa padronização da geometria do *void* simplifica a modelagem de chumbadores e inserts, além de reduzir o risco de divergências entre modelos de disciplinas distintas.

### 5.3.3.3 Bases anguladas a partir de dados de COG

Para lidar com suportes orientados em ângulos variados no plano  $XY$ , foi implementado um algoritmo de cálculo de rotação de bases a partir dos centros de gravidade ( $COG$ ) publicados no banco de dados. O procedimento segue as etapas:

- filtro das peças associadas a um suporte específico;
- seleção de dois ou mais pontos distintos ( $COG_x, COG_y$ );
- cálculo do vetor direcional médio entre esses pontos;
- obtenção do ângulo pelo operador  $\text{atan2}(\Delta y, \Delta x)$ ;
- refinamento via análise da matriz de covariância e de seu autovetor principal, que indica a direção de maior variação dos pontos;
- aplicação da rotação calculada à base correspondente no Revit.

As etapas intermediárias do cálculo são ilustradas no quadro de subfiguras apresentado na Figura 23.

Na Figura 24, apresenta-se o resultado da aplicação do ângulo calculado, com a base civil rotacionada para refletir a orientação do suporte no plano  $XY$ .



Figura 24 – Base Rotacionada

Com isso, as bases passam a refletir a orientação real dos suportes, evitando situações em que a base permanece ortogonal enquanto o suporte metálico está rotacionado.

### 5.3.4 Robustez na interpretação de caminhos de projeto

Outro aprimoramento relevante foi a flexibilização da lógica de leitura de caminhos de projeto para obtenção dos arquivos `Project.xml` e `Piping.dcf`. Em alguns empreendimentos, a convenção de nomes de pastas incluía combinações de números, pontos e hifens sem espaços intermediários, o que quebrava a rotina original de navegação entre diretórios.

O código foi ajustado para:

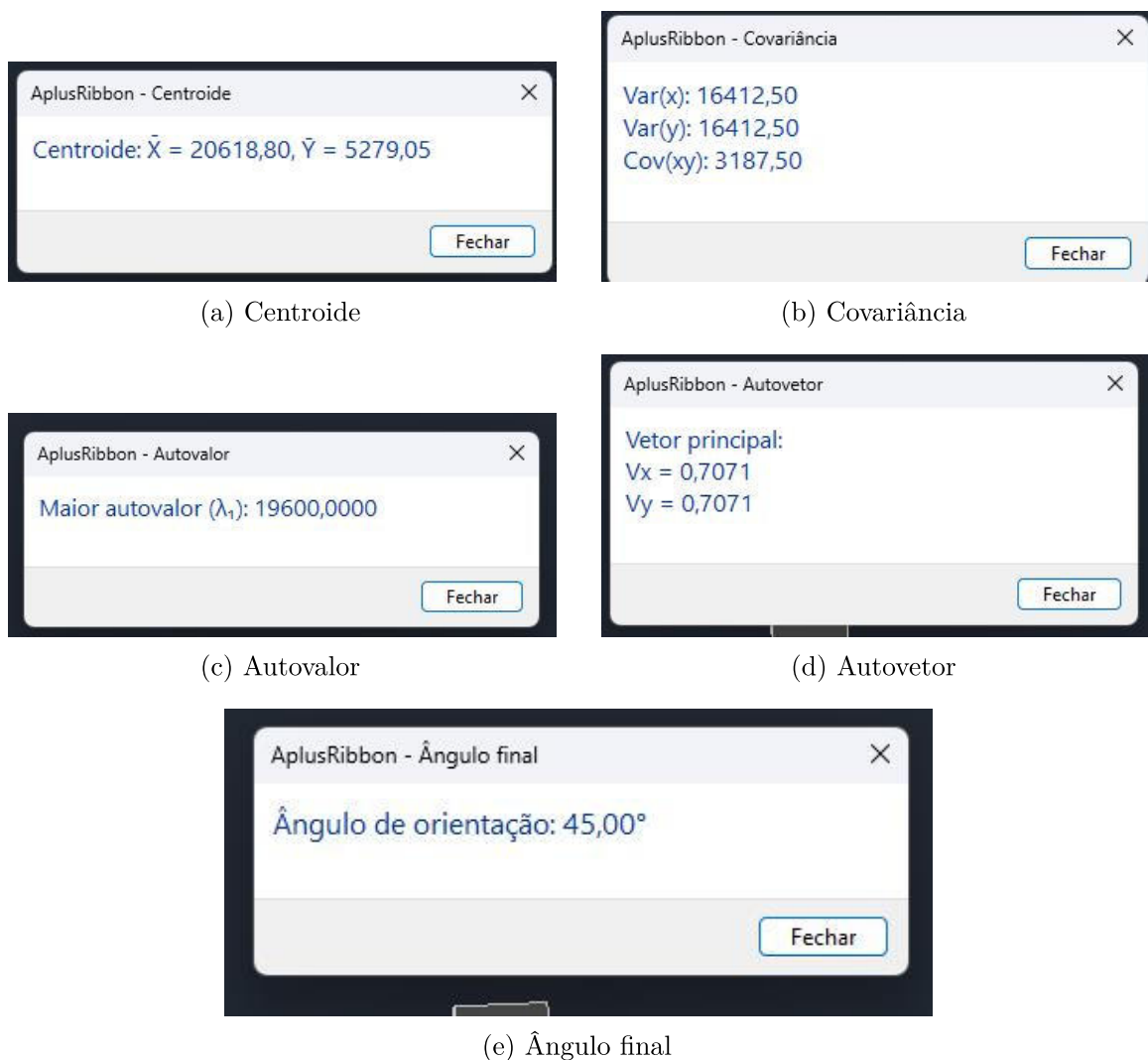


Figura 23 – Etapas intermediárias do cálculo de orientação a partir dos pontos de COG: (a) centroide, (b) covariância, (c) autovalor, (d) autovetor e (e) ângulo final.

- tratar hifens e pontos de forma mais genérica, sem depender de espaços;
- percorrer a estrutura de diretórios com regras de busca mais robustas;
- localizar os arquivos de configuração mesmo em cenários de nomeação menos padronizados.

Essa melhoria reduz a necessidade de intervenção manual e aumenta a transportabilidade do *add-in* entre diferentes estruturas de projeto.

### 5.3.5 Suportes especiais (SE) e enriquecimento de dados

No caso dos suportes especiais (SE), foram identificadas duas frentes de aprimoramento:

1. Em determinados modelos, a rotina de *setar atributos* responsável por popular o banco de dados não havia sido executada, resultando em lacunas de informação

para alguns suportes. Esse problema motivou uma revisão do fluxo de publicação de dados, garantindo que o banco seja devidamente atualizado antes da execução do *add-in*.

2. Foram adicionadas novas colunas ao banco para armazenar descrição, data da última atualização e usuário responsável, ampliando a rastreabilidade de cada elemento.

Além disso, o comando de criação de bases para SE passou a operar de forma análoga à correção descrita para suportes típicos: o usuário seleciona uma base de referência no modelo, e o algoritmo limita a criação de novas bases a um intervalo de  $\pm 1$  m em relação à altura selecionada. Dessa forma, eliminam-se as chamadas “bases voando”, isto é, bases criadas em níveis incompatíveis com o contexto construtivo.

## 5.4 IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS

Embora os resultados esperados e as melhorias já implementadas demonstrem o potencial da solução para reduzir retrabalho, aumentar a qualidade geométrica e fortalecer a integração entre as áreas multidisciplinares, ainda há oportunidades relevantes de evolução.

As principais frentes de trabalho futuro incluem:

### 5.4.1 Publicação automática do modelo Revit em banco SQL Server

O Revit armazena internamente seus dados em cada arquivo *.rvt*, em uma estrutura de banco de dados proprietária. Tomando como referência o *plug-in* nativo da *Revit DBLink*, que expõe até 256 tabelas padrão da Autodesk, está sendo desenvolvida uma solução específica para a Aplus que:

- recria, no SQL Server, apenas as tabelas e colunas relevantes para o contexto multidisciplinar da Aplus, otimizando de forma significativa o desempenho das rotinas automáticas de exportação e importação de dados do projeto, de modo que o processo se torne praticamente transparente para os projetistas;
- estrutura um banco de dados por projeto Aplus, permitindo que informações de engenharia civil, elétrica e PPCI/hidrossanitário sejam consolidadas em um repositório único;
- padroniza o esquema de dados de forma que cada disciplina tenha acesso apenas aos campos significativos para suas análises, sem o excesso de atributos genéricos presentes no modelo completo.

A visão de longo prazo é que esse banco de dados por projeto seja a base para um ambiente conectado em tempo quase real, no qual as equipes possam consumir informações

diretamente a partir do modelo, sem depender de exportações manuais ou relatórios intermediários.

#### 5.4.2 Verificador multidisciplinar de inconsistências

Outra linha de desenvolvimento consiste na criação de um verificador de erros similar ao já existente em outras ferramentas de projeto, mas orientado ao ecossistema Revit e aos *plug-ins* internos da Aplus. O objetivo é monitorar:

- propriedades e parâmetros obrigatórios não preenchidos ou preenchidos de forma incoerente;
- inconsistências na comunicação entre os *add-ins* (por exemplo, bases criadas sem referência válida, suportes sem base associada, parâmetros de ligação ausentes);
- divergências entre o que está registrado no banco de dados corporativo e o que está efetivamente modelado no Revit.

Esse verificador deve operar sobre o banco de dados SQL Server descrito na subseção anterior, permitindo a geração de relatórios de não conformidade, *dashboards* de qualidade e alertas para as equipes responsáveis. A tendência é que, com o amadurecimento desse recurso, erros hoje identificados apenas em revisões manuais possam ser detectados automaticamente ainda nas fases iniciais do projeto.

#### 5.4.3 Automatização de pesos e forças em bases civis

Por fim, está em desenvolvimento uma camada adicional de automação voltada ao cálculo de pesos e forças atuantes sobre as bases civis. Hoje, grande parte dessas informações é obtida manualmente pelas disciplinas envolvidas, a partir de dimensionamentos, catálogos e planilhas específicas.

A proposta é que:

- os pesos de tubulações, tanques, bombas, suportes primários e secundários, chapas, parafusos e demais elementos sejam calculados com base em propriedades geométricas e materiais registradas no modelo e enviadas automaticamente para o banco de dados;
- o peso total suportado por cada base seja consolidado e gravado em parâmetros específicos do padrão Aplus de qualidade;
- as forças atuantes (verticais e, quando aplicável, horizontais) sejam automaticamente compiladas em tabelas específicas, hoje preenchidas manualmente pelas equipes.

Essas informações são essenciais para aumento de performance das áreas da engenharia, uma vez que permitem:

- acelerar verificações de capacidade de carga das bases;

- reduzir inconsistências entre modelos de cálculo e modelos BIM;
- criar relatórios padronizados de cargas e esforços diretamente a partir do banco de dados do projeto.

Em síntese, o capítulo evidencia que a ferramenta proposta não apenas atende aos objetivos de reduzir retrabalho e padronizar a criação de bases civis, como também se mostra um núcleo flexível para evolução contínua de processos orientados a dados em projetos industriais, alinhado às diretrizes de implementação BIM discutidas ao longo deste trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido partiu de uma problemática clara, apresentada no Capítulo 1, no contexto de plantas industriais de etanol e de processos BIM multidisciplinares: a criação e atualização das bases civis para suportes secundários ainda é, em grande parte, realizada de forma manual, sujeita a falhas de coordenação entre as áreas da engenharia de Tubulação, Estruturas Metálicas e Civil, com impactos diretos em prazo, custo e qualidade. Diante desse cenário, definiu-se como objetivo geral implementar uma nova ferramenta do tipo *add-in* para automatizar a criação e a atualização das bases para suportes secundários da engenharia civil no Autodesk Revit<sup>®</sup>, a partir das informações publicadas no SQL Server pelas áreas da engenharia de Tubulação (via Autodesk Plant 3D<sup>®</sup>) e Estruturas Metálicas (via Autodesk Advance Steel<sup>®</sup>), assegurando alinhamento geométrico e consistência de dados entre as áreas envolvidas.

A metodologia proposta e detalhada no Capítulo 4 estruturou esse objetivo em um fluxo em quatro estágios: extração de dados de suportes secundários no SQL Server; transformação e normalização espacial (conversão de unidades, aplicação de origem e rotação do projeto); correspondência geométrica suporte-base com critérios objetivos de tolerância em planta e em altura; e, por fim, criação e validação automatizada de elementos da categoria *Floors* no Revit. Esse fluxo foi encapsulado em uma *Ribbon* específica do *add-in*, com comandos orientados a tarefas — *Preencher Referências*, *Editar Tags Ignoradas* e *Criar Bases* — que materializam, do ponto de vista de desenvolvimento de software, uma arquitetura de integração em camadas entre o banco de dados corporativo e o BIM.

Em relação aos objetivos específicos apresentados na Seção 1.8, todos foram contemplados de forma consistente. A leitura automatizada de coordenadas, *tags* e tipos de suportes a partir do SQL Server foi implementada com detecção dinâmica do banco por meio dos arquivos *project.xml* e *Piping.dcf*. A normalização de unidades e sistemas de referência espacial foi tratada explicitamente, considerando a conversão milímetros ↔ pés e a aplicação do *Project Base Point*, *Survey Point* e rotação global do projeto no Revit<sup>®</sup>, garantindo que o posicionamento das bases corresponda à localização real dos suportes. A integração multidisciplinar foi consolidada a partir de consultas a tabelas específicas de suportes e estruturas, permitindo associar suportes típicos (ST) e especiais (SE) às bases civis por meio de regras geométricas claras e tolerâncias no eixo das coordenadas. Por fim, o fluxo automatizado contribuiu diretamente para reduzir retrabalho e aumentar a rastreabilidade entre as disciplinas, ao padronizar parâmetros e registrar *logs* de execução.

Do ponto de vista de desempenho, os indicadores definidos e discutidos no Capítulo 5, a partir da metodologia descrita no Capítulo 4, evidenciam ganhos significativos. Para o preenchimento de propriedades de referência, estima-se uma redução de aproximadamente 90% no tempo gasto em comparação ao fluxo manual, além da eliminação de erros de digitação, duplicidades e omissões, uma vez que os valores passam a ser derivados

diretamente das informações estruturadas no SQL Server. Na criação de bases, conjuntos com dezenas ou centenas de suportes passam a ser tratados em minutos, em vez de horas, com critérios automáticos de prevenção de duplicidades, controle de faixa de altura e tratamento diferenciado para suportes típicos e especiais. O uso de um esquema de cores para auditoria visual, combinado com *logs* detalhados de execução, eleva a qualidade geométrica, a padronização de parâmetros e a rastreabilidade das decisões de projeto, atendendo às metas de redução de retrabalho e aumento da transparência do fluxo de dados.

Ao relacionar a solução proposta com o estado da arte discutido no Capítulo 3, observa-se que o *add-in* desenvolvido ocupa uma lacuna importante: poucos trabalhos descritos na literatura tratam, de forma tão direta e auditável, a integração entre dados de suportes e estruturas metálicas publicados em um banco de dados corporativo e a criação automática de bases civis no Revit em um contexto real de plantas industriais com alta densidade de interferências. Este TCC operacionaliza, em um caso de uso concreto, conceitos de bibliotecas paramétricas, fluxos orientados a dados e integração BIM, aproximando a prática diária de projeto de um modelo mais próximo de gêmeos digitais e de ambientes comuns de dados (*Common Data Environment* — CDE) efetivamente conectados.

Naturalmente, a solução apresenta limitações que foram apontadas ao longo do capítulo 4 e 5. O desempenho do *add-in* depende diretamente da qualidade e da completude dos dados publicados no SQL Server; lacunas de preenchimento, atrasos na atualização ou convenções de nomenclatura inconsistentes impactam a robustez do fluxo automatizado. A lógica implementada foi calibrada com base em um padrão específico de organização de projetos e estruturas de diretórios, o que significa que adaptações podem ser necessárias em outros contextos empresariais, com diferentes convenções de arquivos e bancos. Além disso, os resultados apresentados possuem caráter predominantemente operacional e comparativo, sem constituir ainda uma análise estatística ampla em múltiplos empreendimentos, o que abre espaço para estudos futuros de validação em larga escala.

As frentes de evolução descritas na Seção 5.3 reforçam o potencial da abordagem. A publicação automática do modelo Revit em um banco SQL Server por projeto tende a consolidar um repositório multidisciplinar único, no qual as áreas da engenharia civil, elétrica e PPCI/hidrossanitário possam consumir e alimentar dados em tempo quase real. A criação de um verificador multidisciplinar de inconsistências, operando sobre esse banco, permitirá automatizar a detecção de erros hoje identificados apenas em revisões manuais, gerando relatórios de não conformidade e indicadores de qualidade. Por fim, a automatização do cálculo e consolidação de pesos e forças atuantes sobre as bases civis deverá integrar ainda mais os modelos de cálculo estrutural ao ambiente BIM, fortalecendo o elo entre modelagem geométrica, dimensionamento e tomada de decisão em engenharia.

Sob a perspectiva da Engenharia de Controle e Automação, o desenvolvimento deste *add-in* representa a aplicação prática de princípios típicos da área em um domínio

de engenharia civil e BIM: definição de arquiteturas em camadas, integração de sistemas heterogêneos, automação de rotinas repetitivas, tratamento de exceções e tolerâncias, rastreabilidade por *logs* e *feedback* automático com base em dados estruturados. Do ponto de vista de desenvolvimento de software, a solução demonstra que é possível transformar um fluxo historicamente baseado em arquivos e inspeções visuais em um processo orientado a dados, replicável e auditável, contribuindo de forma concreta para a digitalização de processos na indústria de projetos.

Em síntese, o trabalho atinge o objetivo de demonstrar que a automação da criação de bases estruturais no Revit a partir de suportes secundários não é apenas tecnicamente viável, mas também desejável do ponto de vista operacional e estratégico. A solução proposta reduz retrabalho, aumenta a qualidade geométrica, padroniza parâmetros e fortalece a integração entre disciplinas em plantas industriais de etanol. Ao mesmo tempo, estabelece uma base sólida para evoluções futuras em direção a fluxos BIM verdadeiramente integrados, aproximando o ambiente de projeto da visão de sistemas ciberfísicos e gêmeos digitais que orienta a transformação digital na engenharia contemporânea.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Steel Construction Manual**. 16. ed. [S.l.]: AISC, 2023. ISBN 9781564241160.

CEPA, Jorge Jerez; PAVÓN, Rubén M.; ALBERTI, Marcos G.; CICCONE, Angelo; ASPRONE, Domenico. A Review on the Implementation of the BIM Methodology in the Operation, Maintenance and Transport Infrastructure. **Applied Sciences**, v. 13, n. 5, p. 3176, 2023.

DINIZ, Amanda Moreira. **Análise de implementação de BIM em construtoras no Brasil: uma revisão bibliográfica**. 2022. Monografia (Especialização em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GETULI, Gianluca; VENTURA, Francesca; ANGELIS, Alessandra De; CIRIBINI, Angelo. A parametric design methodology for developing BIM object libraries. **Automation in Construction**, v. 159, p. 105155, 2025.

HARDIN, Brad; MCCOOL, Dave. **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**. 2. ed. [S.l.]: Wiley, 2015. ISBN 9781118942765.

IDELCHIK, I. E. **Handbook of Hydraulic Resistance**. 3. ed. [S.l.]: Begell House, 1996. ISBN 9781567000740.

KARASSIK, Igor J.; MESSINA, Joseph P.; COOPER, Paul; HEALD, Charles C. **Pump Handbook**. 4. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2007. ISBN 9780071460446.

NAYYAR, Mohinder L. (ed.). **Piping Handbook**. 7. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1999. ISBN 9780071500166.

OLIVEIRA, Wadylla Lopes; VAZ, Jeily Gomes. Evaluation of the use of BIM methodology in engineering and architecture offices. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 10, n. 1, 2024.

PENG, Liang-Chuan; PENG, Tsen-Loong. **Pipe Stress Engineering**. [S.l.]: ASME Press, 2009. ISBN 9780791802854.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles; LEE, Ghang; TEICHOLZ, Paul. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2018. ISBN 9781119287537.

SILVA, Josiclécio Araújo. **O uso da metodologia BIM em microempresas de Arquitetura e Engenharia Civil: estudo de caso no alto sertão alagoano**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

---

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.