UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EMMANOEL ROBERTO DA SILVA NERI

METODOLOGIA BIM:

aplicação a uma residência unifamiliar

Recife

2019

EMMANOEL ROBERTO DA SILVA NERI

METODOLOGIA BIM:

aplicação a uma residência unifamiliar

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenheira Civil.

Área de concentração: Estruturas e Instalações Prediais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Araujo Regis.

Recife

2019

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

N445m Neri, Emmanoel Roberto da Silva.
Metodologia BIM: aplicação a uma residência unifamiliar / Emmanoel Roberto da Silva Neri. - 2019.
200 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Araujo Regis.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2019.
Inclui Referências, Apêndices e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Indústria AECO. 3. BIM. 4. Modelagem da Informação da Construção. 5. REVIT. 6. ROBOT. 7. NAVISWORKS. I. Regis, Paulo de Araujo. (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2019-149

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO: Emmanoel Roberto da Silva Neri

BANCA EXAMINADORA:
Orientador: Prof. Dr. Paulo de Araujo Regis
Examinador 1: Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira
Examinador 2: Prof.ª M.ª Priscilla Elisa de Azevedo Basto

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
METODOLOGIA BIM: APLICAÇÃO A UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

LOCAL: UFPE
DATA: 11/02/2019 HORÁRIO DE INÍCIO: 14:00**.**

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____(deixar 'Exame Final', quando for o caso).
1) ( ) aprovado(s) (nota > = 7,0), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.
As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).
O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0,** será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.
2) ( ) reprovado(s). (nota <3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 11 de Fevereiro de 2019

Orientador: .....
Avaliador 1: .....
Avaliador 2: .....
Candidato : .....

Dedico este trabalho a meus pais, Maria Elisabete e Manoel Claudemir Neri.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos recebidas até então. Por todas as oportunidades que apareceram em minha vida, e por me conceder toda a força e determinação necessárias para chegar até o presente momento, e discernimento para tomar as decisões corretas.

Aos meus pais, Maria Elisabete e Manoel Claudemir por todo o apoio para a realização deste trabalho, e de toda a graduação. Por todo carinho, incentivo, e dedicação de tempo para me ajudar a chegar até aqui. Agradeço à família que faz parte de todas as minhas as conquistas.

Aos amigos e parentes que sempre estiveram presentes e compartilharam do tempo de convívio sacrificado até a finalização deste trabalho. Em especial, à minha noiva Maiara Castro, e meu irmão Eduardo Swel.

Aos mestres que me transmitiram todo o conhecimento necessário para alcançar este objetivo, desde a minha infância à graduação. Em especial, ao meu orientador Paulo Regis.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade estudar a metodologia da Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling – BIM), e como esta pode agilizar os projetos da Indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), reduzindo retrabalhos, aumentando a produtividade e melhorando a apresentação dos projetos. Para tanto foi realizado um levantamento dos softwares em plataforma BIM do mercado, dentre os quais foram selecionados, REVIT, ROBOT e NAVISWORKS da AutoDesk para a aplicação em uma residência unifamiliar. Dessa forma obteve-se o domínio das ferramentas e da metodologia BIM como um todo, verificando como a modelagem paramétrica pode potencializar os projetos de arquitetura, estrutura, e instalações prediais. A análise da metodologia e dos softwares permite concluir que, uma vez dominadas as ferramentas, ainda que a implementação do BIM não aconteça de forma completa através unicamente dos softwares estudados, as mesmas são vantajosas no que diz respeito à produtividade, e à detecção de problemas de execução ainda na fase de projeto.

Palavras-chave: Indústria AECO. BIM. Modelagem da Informação da Construção. REVIT. ROBOT. NAVISWORKS.

ABSTRACT

This work aims to study the methodology of Building Information Modeling (BIM), and how this method may contribute to produce faster Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) Industry projects, reducing rework, increasing productivity and improving the presentation of projects. A survey of BIM´s softwares in the market was carried out, and the softwares REVIT, ROBOT and NAVISWORKS, from AutoDesk, were chosen for the application in a single family residence, in order to improve experience in BIM tools and methodology as a whole, verifying how the parametric modeling can improve architecture, structure, and building installations. The analysis of the methodology and softwares allows to conclude that, once the tools are improved, although BIM's implementation does not happen completely through only the studied softwares, they are advantageous to productivity, and detection of constructions problems still in the design phase.

Keywords: AECO Industry. BIM. Building Information Modeling. REVIT. ROBOT. NAVISWORKS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - BIM e o Ciclo de Vida da Edificação. 25
Figura 2 - Níveis de maturidade do BIM. 26
Figura 3 - Panorama Mundial do BIM. 28
Figura 4 - Estratégia BIM BR. 29
Figura 5 - Interoperabilidade do BIM. 30
Figura 6 - As Dimensões do BIM. 31
Figura 7 - Sistema e Elementos estruturais. 35
Figura 8 - Solicitações na flexão de placas. 51
Figura 9 - Reações nas vigas de apoio. 54
Figura 10 - Inclinação das linhas de ruptura. 55
Figura 11 - Cálculo da Reações de Apoio. 55
Figura 12 - Domínios possíveis na Flexão. 56
Figura 13 - Seção Transversal de Viga. 57
Figura 14 - Analogia de treliça de Mörsch. 58
Figura 15 - Comprimento Equivalente de Flambagem para Casos de Vinculação. 60
Figura 16 - Sapata, vista em planta. 64
Figura 17 - Sapata, vista em elevação. 65
Figura 18 - Seção Crítica para cálculo de flexão. 67
Figura 19 - Partes do Sistema Predial de Distribuição de Água 68
Figura 20 - Ábaco de Pesos, Vazões e Diâmetros 72
Figura 21 - Sistema de esgoto predial: Ramais, tubo de queda e coluna de ventilação. 76
Figura 22 - Sistema de esgoto predial: Subcoletores, coletores e caixa de inspeção. 76
Figura 23 - Prolongamento do tubo de queda ou coluna de ventilação. 80
Figura 24 - Planta do Pavimento Térreo - AutoCAD. 85
Figura 25 - Planta do Pavimento Térreo – DWG Importado no REVIT. 86
Figura 26 - Detalhe de Modelagem de Parede em software BIM. 87
Figura 27 - Modelagem Arquitetônica da Residência. 87
Figura 28 - Projeto Arquitetônico como Revit Link (Vínculo de Revit) configurado em transparência. 88
Figura 29 - Modelagem estrutural sob Link Revit. 89
Figura 30 - Configuração das propriedades físicas do concreto, segundo ABNT. 89
Figura 31 - Modelo Estrutural & Modelo Analítico respectivo. 90

Figura 32 - Modelo Estrutural, Analítico e Cargas, sobrepostos. 91
Figura 33 - Modelo estrutural da residência exportado ao Robot Structual Analysis. 93
Figura 34 - Análise da estrutura no Robot - Mapa de deflexões 94
Figura 35 - Configurações Mecânicas no REVIT MEP 95
Figura 36 - Configuração de coordenação no REVIT MEP 96
Figura 37 - Encaminhamento da Tubulação 96
Figura 38 - Sistema de Reservatório 97
Figura 39 - Software Navisworks – Sobreposição de projetos 99
Figura 40 - Integração Direta REVIT-NAVISWORKS 99
Figura 41 - Modelagem de Tubulações – Interferência com pilares 100
Figura 42 - Modelagem de Tubulações – Interferência com pilares resolvida 100
Figura 43 - Projeto hidrossanitário como Link Revit, em azul, para ajustes em arquitetura . 101
Figura 44 - Detalhe de necessidade de ajustes de tubulação na cozinha 102
Figura 45 - Detalhe de necessidade de shaft para tubulação nos banheiros 102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Level of Development (LOD) ou Nível de Desenvolvimento (ND) 32
Quadro 2 - Classes de resistência de concretos estruturais. 36
Quadro 3 - Características das Barras de aço. 36
Quadro 4 - coeficientes de ponderação. 37
Quadro 5 - coeficientes $\gamma f1. \gamma f3$. 37
Quadro 6 - coeficiente $\gamma f2$. 38
Quadro 7 - Combinações Últimas (ELU). 39
Quadro 8 - Combinações de Serviço (ELS). 40
Quadro 9 - CAA - Classes de Agressividade Ambiental. 41
Quadro 10 - Correspondência entre CAA e qualidade do concreto. 41
Quadro 11 - Correspondência entre CAA e Cobrimento Mínimo. 42
Quadro 12 - Módulo de Elasticidade do Concreto (granito como agregado graúdo). 43
Quadro 13 - Propriedades Mecânicas do Aço. 44
Quadro 14 - Coeficiente de Aderência. Fonte: NBR6118 (2014) 44
Quadro 15 - Diâmetro de Pinos de Dobramento. 45
Quadro 16 - Valores de coeficiente adicional γn para pilares. 46
Quadro 17 - Valores de coeficiente adicional γn para lajes. 47
Quadro 18 - Limites para deslocamentos. 48
Quadro 19 - Limites para deslocamentos (continuação). 49
Quadro 20 - Limites de Abertura de Fissuras (wk.). 50
Quadro 21 - coeficientes do Método de Marcos. 53
Quadro 22 - Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local 69
Quadro 23 - Consumo predial diário de água 70
Quadro 24 - Pesos relativos de acordo com o aparelho sanitário e peça de utilização 71
Quadro 25 - Resumo do ábaco de pesos e diâmetros, para soma de pesos até 100. 72
Quadro 26 - Perda de carga em conexões – Comprimento equivalente para tubo liso (PVC e cobre) 73
Quadro 27 - Perda de carga em válvulas, registros e entradas – Comprimento equivalente... 74
Quadro 28 - Modelo de planilha para rotina de cálculo 75
Quadro 29 - Dimensionamento de Ramais de Esgoto. 77
Quadro 30 - Unidade de Hunter de Contribuição (UHC) dos aparelhos sanitários e Diâmetro Nominal (DN) dos ramais de descarga. 78

Quadro 31 - UHC para aparelhos não relacionados no quadro acima. 78
Quadro 32 - Dimensionamento de Tubos de Queda. 79
Quadro 33 - Dimensionamento de subcoletores e coletor predial. 79
Quadro 34 - Distância máxima de um desconector ao tubo ventilador. 81
Quadro 35 - Dimensionamento de ramais de ventilação. 81
Quadro 36 - Dimensionamento de colunas de ventilação. 82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

1.1 Justificativa e motivação 19

1.2 Objetivos geral e específicos 19

2 REFERENCIAL TEÓRICO 21

2.1 Indústria AECO21

2.2 Prototipagem Virtual 21

2.3 Computer Aided Design – CAD 22

2.3.1 Software MicroStation 22

2.3.2 Software AutoCAD 22

2.4 Computer Aidad Engeneering - CAE 22

2.4.1 Software SAP-2000 23

2.4.2 Software Robot Structural Analysis 23

2.4.3 Software TQS 23

2.5 Engenharia Simultânea e BIM Management 24

2.6 BIM – Building Information Modeling 24

2.6.1 Panorama Atual e Previsões para o Futuro 25

2.6.1.1 O BIM no Brasil e no mundo 27

2.6.2 Interoperabilidade 29

2.6.3 As Dimensões do BIM 30

2.6.4 Level of Development (LOD) 31

2.6.5 Ferramentas BIM 32

2.6.5.1 Software ArchCAD 32

2.6.5.2 Software AECOsim 33

2.6.5.3 Software Revit 33

2.6.5.4 Software Naviswork 33

2.6.6 Link Revit 33

2.7 Estruturas de Concreto Armado 34

2.7.1 Concreto Armado 34

2.7.2 Elementos e Sistemas Estruturais. 34

2.7.3 Normalização e Parâmetros de Cálculos 35

2.7.3.1 Classificação do concreto e das barras de aço 35

2.7.3.2 Resistência de Cálculo e coeficientes de ponderação 36

2.7.3.3 Ações de cálculo e coeficientes de ponderação 37

2.7.3.4 Cargas para Cálculo 38

2.7.3.5 Combinações de cargas 38

2.7.3.6 CAA – Classe de Agressividade Ambiental 40

2.7.3.7 Propriedades Mecânicas do Concreto 42

2.7.3.8 Propriedades Mecânicas do Aço 43

2.7.3.9 Aderência e Ancoragem das armaduras 44

2.7.3.10 Limites de Dimensões 46

2.7.3.11 Deslocamentos Limites 47

2.7.3.12 Limites de Fissuras 49

2.7.4 Dimensionamento 50

2.7.4.1 Lajes 50

2.7.4.2 Vigas 55

2.7.4.3 Pilares 59

2.7.4.4 Sapatas 63

2.8 Instalações Prediais de Água Fria 67

2.8.1 Sistema de Distribuição de água aos aparelhos 67

2.8.1.1 Sistema Direto de Distribuição 67

2.8.1.2 Sistema Indireto de Distribuição 67

2.8.1.3 Sistema Misto de Distribuição 68

2.8.2 Partes Constituintes do Sistema Indireto de Distribuição. 68

2.8.3 Dimensionamento 68
2.8.3.1 Consumo diário 69
2.8.3.2 Capacidade do Reservatório 70
2.8.3.3 Vazões de utilização 70
2.8.3.4 Diâmetro das Tubulações 71
2.8.3.5 Perda de Carga 73
2.8.3.6 Pressão e Velocidade de Utilização 74
2.8.3.7 Rotina de Cálculo do Sistema 74
2.9 Instalações de Esgoto Sanitário Residencial 76
2.9.1 Ramais de Descarga e de Esgoto 77
2.9.2 Tubos de Queda 79
2.9.3 Subcoletores e Coletor Predial 79
2.9.4 Desconectores 80
2.9.5 Ventilação 80
2.9.5.1 Ramal de ventilação 81
2.9.5.2 Coluna de Ventilação 81
2.9.6 Dispositivos Complementares 82
2.9.6.1 Caixa de gordura 82
2.9.6.2 Caixas de Inspeção 83
3 MATERIAIS E MÉTODOS 84
3.1 Escolha das ferramentas BIM 84
3.2 Modelagem Arquitetônica 3D: Revit Architecture 85
3.2.1 Ambientação 85
3.2.2 Projeto da Residência Unifamiliar 85
3.2.3 Link Revit 87
3.2.4 Ferramentas Adicionais 88
3.3 Modelagem e Análise Estrutural: Revit e Robot Structural Analysis 88

3.3.1 Revit Structure 88
3.3.1.1 Material atribuído 89
3.3.1.2 Modelo Analítico 89
3.3.1.3 Cargas e Combinações 90
3.3.2 Robot Structural Analysis 91
3.3.2.1 Ambientação 91
3.3.2.2 Adequação do ROBOT às Normas Brasileiras 92
3.3.2.3 Projeto da Residência Unifamiliar 93
3.4 Projeto de Instalações Hidrossanitárias 94
3.4.1 Configurações do REVIT MEP 95
3.4.2 Encaminhamento da tubulação 96
3.4.3 Dimensionamento da tubulação de Água Fria; 96
3.4.3.1 Consumo 96
3.4.3.2 Reservatório 97
3.4.3.3 Tubulação 97
3.4.4 Dimensionamento da tubulação de Esgoto Sanitário 98
3.5 Extração de quantitativos 98
3.6 Compatibilização entre projetos: Navisworks 98
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 103
4.1 Modelagem Arquitetônica BIM 3D 103
4.2 Modelagem e Análise Estrutural 104
4.3 Projeto de Instalações Hidrossanitárias 105
4.4 Extração de documentação 106
4.5 Compatibilização 106
5 CONCLUSÕES 108
REFERÊNCIAS 109
APÊNDICE A - PLANTA BAIXA DO TÉRREO – BIM 112
APÊNDICE B - PLANTA BAIXA DO 1º PAVIMENTO - BIM 113

APÊNDICE C - PLANTA DE COBERTA - BIM 114

APÊNDICE D - CORTE LONGITUDINAL – BIM 115

APÊNDICE E - CORTE TRANSVERSAL – BIM 116

APÊNDICE F - ELEVAÇÕES - BIM 117

APÊNDICE G - PLANTAS DE ÁREA 119

APÊNDICE H - VISTAS 3D & RENDERIZAÇÕES 120

APÊNDICE I - ROBOT – RELATÓRIOS DE CÁLCULO E DIAGRAMAS 123

APÊNDICE J - ROBOT - DETALHAMENTOS AUTOMÁTICOS 127

APÊNDICE K - REVIT STRUCTURE - PLANTAS ESTRUTURAIS 129

APÊNDICE L - PROJETO HIDROSSANITÁRIO: DIMENSIONAMENTO 133

APÊNDICE M - ÁGUA FRIA: PLANTAS E CORTES 136

APÊNDICE N - ESGOTO SANITÁRIO: PLANTAS E CORTES 140

APÊNDICE O - ISOMÉTRICOS: ÁGUA FRIA & ESGOTO 144

APÊNDICE P - ISOMÉTRICO GERAL 148

APÊNDICE Q - TABELAS DE QUANTITATIVOS: ARQUITETURA 149

APÊNDICE R - TABELAS DE QUANTITATIVOS: ESTRUTURA 153

APÊNDICE S - TABELAS DE QUANTITATIVOS: HIDROSSANITÁRIO 156

APÊNDICE T - COMPATIBILIZAÇÃO – ESTRUTURA / HIDROSSANITÁRIO 158

APÊNDICE U - EXERCÍCIOS NO ROBOT – CASO 1: PÓRTICO 2D 160

APÊNDICE V - EXERCÍCIOS NO ROBOT - CASO 2: PÓRTICO 3D 164

APÊNDICE W - ADEQUAÇÃO DO ROBOT ÀS NORMAS BRASILEIRAS 182

ANEXO A - VALORES MÍNIMOS DE CARGAS VERTICAIS EM EDIFICAÇÕES 191

ANEXO B - TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGA 192

ANEXO C - TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE PILAR..... 193

ANEXO D - TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE LAJES..... 194

ANEXO E - PLANTA BAIXA DO TÉRREO - CAD 195

ANEXO F - PLANTA BAIXA DO 1º PAVIMENTO - CAD 196

ANEXO G - PLANTA DE COBERTA - CAD..... 197

ANEXO H - CORTES LONGITUDINAIS - CAD..... 198

ANEXO I - CORTES TRANSVERSAIS - CAD 199

ANEXO J - ELEVAÇÕES - CAD..... 200

1 INTRODUÇÃO

A indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), apresenta um volumoso processo de análise de informações, desenvolvimento de projetos e gestão de obras, que se mostram cada vez mais multidisciplinares, e ao mesmo tempo integrados. Por tal complexidade, este sistema apresenta dificuldades e insuficiências em muitas de suas etapas. Desde a compatibilização de projetos multidisciplinares, passando pelos desentendimentos entre projetos em papel e execuções, incompatibilidades de custos e cronogramas prescritos e realizados, até a insuficiência do gerenciamento e da manutenibilidade dos produtos finais, culminando muitas vezes em processos isolados, manufaturados e realizados em série sequencial.

Assim, a utilização de ferramentas de tecnologia que permitam integrar, melhorar o fluxo de trabalho, e aprimorar o sistema da AECO como um todo, mostram-se de suma importância. Entretanto, nem todas as aplicações tecnológicas conseguem resolver os desafios. O recente uso de métodos de integração e compatibilização de plantas e documentos; e a implementação de ferramentas CAD 2D, embora tenham aumentado o intercâmbio oportuno de informações, fizeram pouco para reduzir a gravidade e a frequência de conflitos causados pelos documentos em papel (EASTMAN et al., 2014).

Nesse contexto, a aplicação da tecnologia Building Information Modeling (BIM), (Modelagem de Informação da Construção em tradução livre) traz indispensáveis vantagens ao aperfeiçoamento do processo, permitindo colocar em prática os conceitos de Engenharia Simultânea, em nuvem; prototipagem virtual e modelagem paramétrica; Computer Aided Engeneering (CAE) (engenharia assistida por computador), culminando naturalmente em melhoras como a Sustentabilidade e Lean Construction;

Com o BIM, surge ainda a possibilidade de se projetar, analisar e executar processos em mais de três dimensões, seja pela introdução do tempo (4D), análise de orçamentos (5D), estudo de eficiência energética e sustentabilidade (6D), gestão de sistemas, rastreamento e manutenabilidade (7D).

1.1 Justificativa e motivação

O surgimento e crescimento da tecnologia BIM na área de projetos da indústria da AECO é notável em escala global, e em menor velocidade, localmente. Segundo Eastman et al., (2014) algumas das tendências atuais dos processos e da tecnologia BIM são:

- Proprietários estão modificando termos contratuais, exigindo a submissão de projetos exclusivamente em plataformas BIM, a fim de fomentar o uso da tecnologia e do desenvolvimento da área de projetos;
- Novas habilidades e papeis estão sendo desenvolvidas;
- Os benefícios de prática integrada de projetos são largamente reconhecidos;
- Edifícios verdes e análises energéticas são cada vez mais comuns;
- A verificação automática de conformidade e construtibilidade utilizando modelos de edifícios virtuais e parametrizados está se tornando disponível comercialmente;
- Fabricantes de softwares estão expandindo seus escopos e fornecendo ferramentas BIM para disciplinas de projeto específicas;
- O BIM está incentivando a globalização da pré-fabricação de elementos e subsistemas, que se tornam cada vez mais complexos.

Nota-se que a projeção para o futuro é a utilização do BIM em todos os processos da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação.

No Brasil, a utilização do BIM encontra-se em fase de implantação, apenas na região Sul e em algumas poucas cidades espalhadas pelo país, encontra-se projetos grandes e frequentes realizados nesta tecnologia. Como por exemplo a Escola Internacional de Curitiba-PR e Centro Regional de Especialidades Kennedy – SC.

No âmbito local, mais especificamente, na Região Metropolitana do Recife (RMR), a implementação do BIM está ocorrendo de forma muito gradual e lenta. Há uma certa resistência quanto da transição dos modos tradicionais de projeto para a utilização da tecnologia, devido a necessidade de investimentos em treinamento e tecnologia. Entretanto, em alguns anos, as tendências supracitadas chegarão à indústria AECO da RMR e demais cidades do país.

1.2 Objetivos geral e específicos

O presente trabalho tem como objetivo geral aplicar a tecnologia BIM em um projeto residencial unifamiliar. A fim de se verificar a produtividade dos projetos criados nesta

metodologia, a interoperabilidade entre softwares BIM e a integração e compatibilização entre projetos multidisciplinares.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Aquisição de Projeto Arquitetônico real em CAD;

- Ambientação em Softwares de Tecnologia BIM;

- Modelagem de residência unifamiliar em BIM-3D;

- Modelagem e Análise estrutural em plataforma BIM, a partir do modelo 3D;

- Desenvolvimento de projeto de água fria em BIM, a partir do modelo 3D;

- Desenvolvimento de projeto de esgoto sanitário em BIM, a partir do modelo 3D;

- Extração de Quantitativos e Documentação do projeto;

- Análise de compatibilização dos projetos: Arquitetura-Estrutural-Hidrossanitáro;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a compreensão completa do exposto neste trabalho, faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos e definições que atrelados a ideologia de projetar em BIM, desde o próprio conceito de BIM, passando pelo CAD, CAE, até as ferramentas utilizadas por estes.

2.1 Indústria AECO

O sistema de serviços proveniente do trabalho dos profissionais de Arquitetura, Engenharia Civil e Construção, acabou por dar origem ao termo Indústria AEC, como forma de enfatizar que os profissionais dessas três áreas devem trabalhar de forma integrada, para que as obras e serviços possam alcançar a máxima eficiência.

Mais recentemente, nota-se que além das três áreas supracitadas, está havendo a integração de outras engenharias e também de serviços auxiliares, como por exemplo manutenção, automação residencial, e outros. A esse novo sistema integrado, atribui-se a denominação de Indústria AECO - Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação.

Esta nova maneira multidisciplinar de gerir e executar as obras e serviços, torna o trabalho cada vez mais completo, eficiente, e logo, mais complexo de gerir. Por este motivo, a indústria AECO vem desenvolvendo novos conceitos de técnica e gestão, alinhados a ferramentas computacionais específicas e correlacionadas.

2.2 Prototipagem Virtual

Segundo GRIMM (2004) a palavra protótipo deriva do grego, *prototypon*, que significa “a primeira forma”. Desta maneira, pode-se entender um protótipo como uma representação de um produto em um ou mais dimensões de interesse.

Quanto à forma de representação, os protótipos podem ser classificados como físicos e analíticos, aqueles entendem-se por elementos tangíveis, e estes por elementos intangíveis, virtuais, e são utilizados sempre que a prototipagem física é impossível, inviável ou ineficiente.

De explicitado, entende-se que o um modelo virtual de uma residência, é então um protótipo da mesma, gerado virtualmente pela inviabilidade de fazê-lo fisicamente em dimensões reais. Além de permitir facilmente modificações, antes da construção definitiva, uma vez que o propósito principal da prototipagem é reduzir riscos e incertezas, Ulrich e Eppinger (2012),

2.3 Computer Aided Design – CAD

A concepção de projetos de engenharia, quase sempre se resume em protótipos a serem posteriormente executados, esses protótipos são expressos em forma de desenho. Com o advento da computação gráfica, os projetos de engenharia passaram a ser realizados em softwares que permitem a representação geométrica espacial. Estas plataformas recebem o nome de CAD - (Computer Aided Design) ou Desenho Assistido por Computador, generalizando todo processo que utiliza técnicas de desenho e softwares específicos para executá-las.

As plataformas CAD existentes no mercado, alguns são livres e de código aberto, como o FreeCAD e o LibreCAD, outros são de licença comercial, como o AutoCAD e o MicroStation, que são hoje os mais utilizados mundialmente.

2.3.1 Software MicroStation

Desenvolvido pela Bentley Systems em 1986, o MicroStatio é um software CAD 2D/3D que é utilizado por várias empresas no mercado e com versatilidade de exportação de arquivos, podendo obter informações parametrizadas em algumas versões.

2.3.2 Software AutoCAD

Desenvolvido pela Autodesk em 1982, o AutoCad é um dos primeiros softwares CAD 2D/3D a funcionar em computadores pessoais, e é líder mundial em sistema CAD.

Nas versões mais recentes permite personalização em seu código e documentação de projetos 2D.

2.4 Computer Aidad Engeneering - CAE

Para haver a interação entre as áreas de Indústria AECO, há a necessidade de haver softwares que façam o mesmo, desta forma, surgem os CAE - Computer Aidad Engeneering (Engenharia Assistida por Computador) que correspondem aos softwares que leem os desenhos realizados nos softwares 3D e realizam nestes análises de engenharia, de solicitações estáticas, dinâmicas, e afins.

Estes softwares permitem ao projetista simular o comportamento daquela geometria às adversidades da realidade, permitindo assim o aprimoramento do mesmo. São bastante comuns na simulação de peças da Engenharia Mecânica e na análise de Estruturas na Engenharia Civil.

Estas Análises são em sua maioria realizadas através do Método dos Elementos Finitos, que discretizam o modelo em elementos menores, permitindo a realização de análises físicas e geométricas lineares e não lineares.

As plataformas CAE existentes no mercado, no seguimento da Engenharia Estrutural, por sua complexidade e necessidade de investimento, são de licença comercial, e as mais conhecidas na Engenharia Estrutural são o SAP 2000, o TQS, o Robot, e outros.

2.4.1 Software SAP-2000

Desenvolvido pela Computers and Structures, Inc. a mais de 30 anos atrás, o SAP200 é um software de análise estrutural estática e dinâmica, que permite a integração com softwares BIM, com suporte a normas de projetos de vários países, para diferentes materiais, permitindo a utilização de formas geométricas complexas e realizando análises sofisticadas e versáteis, permitindo gerar cargas automáticas de vendo, sismos, ondas, etc.

2.4.2 Software Robot Structural Analysis

Desenvolvido pela Autodesk, o Robot permite total integral com o software BIM da mesma empresa, permitindo ainda interoperabilidade 3D bidirecional com outros softwares BIM e outros softwares CAE, com interface simples e sem necessidade prévia de programação.

Neste software é possível realizar análises não lineares avançadas em Elementos Finitos, desde pórticos 2D até pontes 3D e formas complexas, com versatilidade de vários materiais e algumas normas técnicas já implantadas, com padrão no eurocode, mas com opção de ajustes.

Ainda que não seja um dos líderes do mercado de análise estrutural, vem ganhando espaço no meio, devido sua aplicabilidade às plataformas BIM.

2.4.3 Software TQS

Desenvolvido pela TQS Informática Ltda., desde 1986, o software TQS é um dos softwares mais conhecidos no meio da engenharia estrutural, permitindo análise em Elementos Finitos de estruturas de concreto estrutural. Com capacidade para interoperabilidade 3D com plataformas BIM.

Através de uma interface relativamente simples permite concepção estrutural, análise dos esforços e deformações, dimensionamento e documentação de estruturas de concreto, alvenaria estrutural e pré-moldados; permitindo ainda realizar análise da interação Solo-Estrutura.

2.5 Engenharia Simultânea e BIM Management

Segundo Balem (2015), Engenharia Simultânea - ES (Concurent Engeneering - CE), é um termo que termo do ramo administrativo que surgiu na década de 90, e engloba vários conceitos, que tem como principal objetivo reduzir o tempo de produção de um produto ou realização de serviço, através de modelos organizacionais e técnicas gerenciais que permitam executar os vários seguimentos de forma simultânea e integrada, eliminando cadeias lineares de produção, e logo reduzindo o tempo total.

Na Engenharia o Civil, a Engenharia Simultânea traduz-se pelo conceito do BIM Management, uma vez que visam reduzir tempo de revisões e retrabalhos nas fases finais do projeto, realizando projetos de forma simultânea, com revisões imediatas e mudanças ainda nas fases iniciais.

2.6 BIM – Building Information Modeling

O BIM – Building Information Modeling, ou, Modelagem da Informação da Construção, é conceituado de diversas formas por aqueles que o estuda, sendo sua ideologia apresentada por Carles M. Chuck Eastman no extinto Jornal AIA , em 1975 (Eastman et. al, 2008).

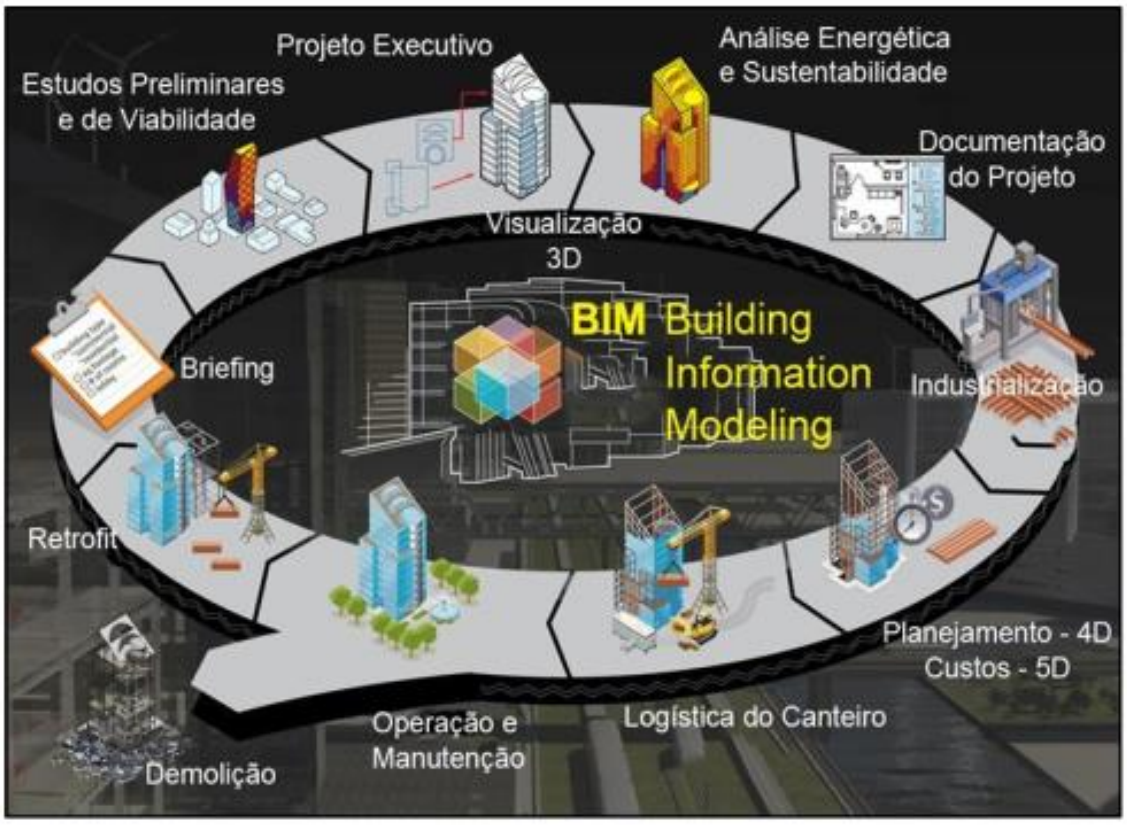
Segundo Eastman (1975), essa ideologia, até então sem a nomenclatura BIM, permitiria que os desenhos fossem mais que representações geométricas, sendo parametrizados, de forma que qualquer mudança no arranjo alteraria os desenhos futuros; qualquer tipo de análise quantitativa poderia ser ligada à descrição; quantitativos e custos poderiam ser extraídos facilmente gerando um banco de dados único.

Mas apenas após o desenvolvimento da tecnologia, quando os computadores capazes de suportar tais softwares tornaram-se acessíveis economicamente, é que o BIM veio se expandir, e o termo ganhou notoriedade final da década de 80 (ABDI, 2017).

Atualmente o BIM possui conceitos mais delimitados, segundo a National BIM Standard-United States® - NBIMS-US™ (2015), BIM “é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, serve como um recurso de conhecimento compartilhado para informações da mesma, formando uma base confiável para decisões durante todo seu ciclo de vida, definido desde a sua concepção até a demolição”

Segundo Eastman at. al (2008), BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de edifícios.

Figura 1 – BIM e o Ciclo de Vida da Edificação.



Fonte: Autodesk, adaptado Manzione (2013).

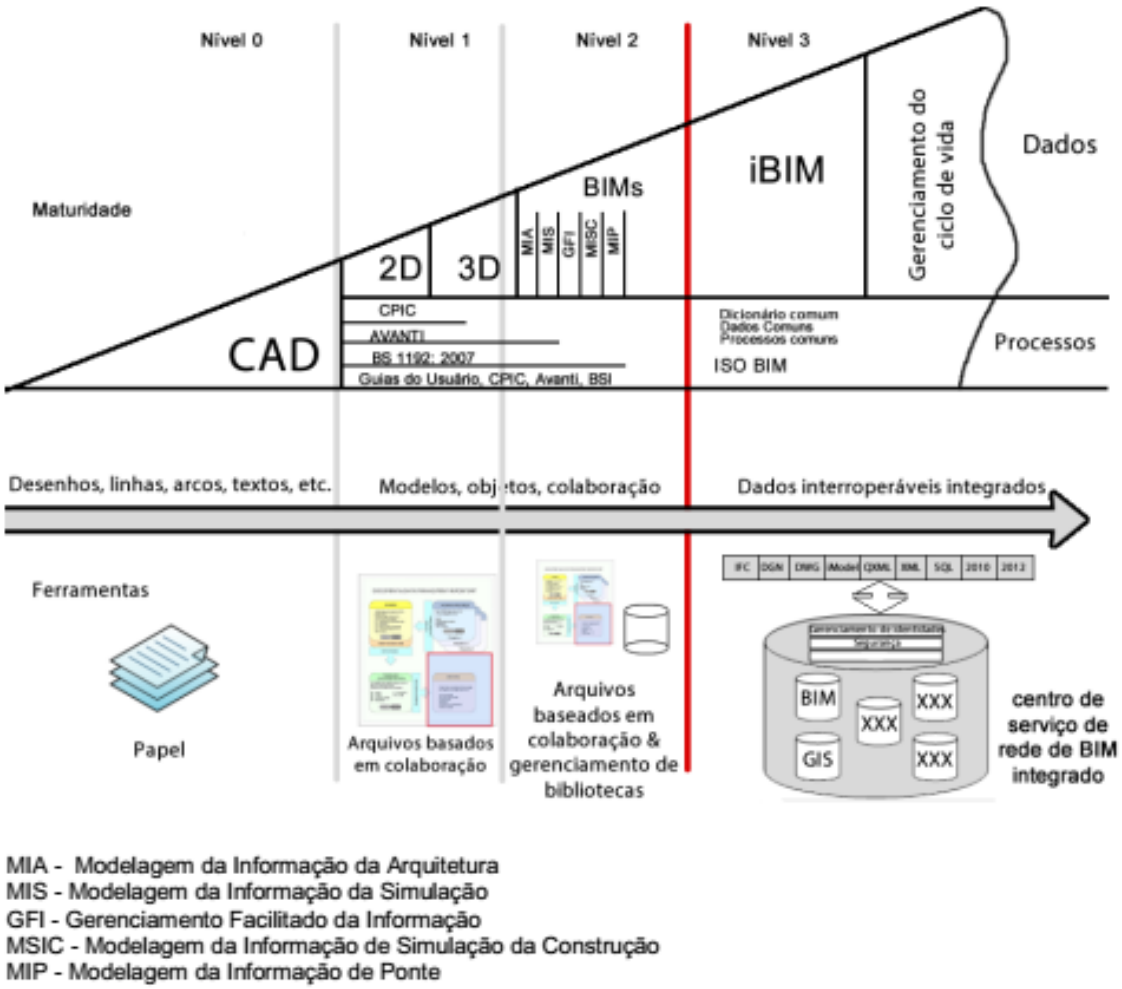
Assim, pode-se entender o BIM como sendo uma tecnologia formada por um conjunto de processos-softwares multidisciplinares, que visam produzir um protótipo virtual parametrizado em três ou mais dimensões, formando um banco de dados com interoperabilidade, que permita a comunicação, análise e extração de informação de uma construção, a fim de diminuir riscos, retrabalhos, erros e desperdícios.

Mais do que uma evolução dos sistemas CAD, o BIM acumula informações em seus desenhos, ao invés de simples linhas e formas geométricas, sendo uma poderosa tecnologia que está mudando o formato de produção tradicional e manufaturado da Indústria AECO.

2.6.1 Panorama Atual e Previsões para o Futuro

A implantação da Modelagem da Informação da Construção, não ocorre igualmente em todos os locais, e se dá de forma gradativa.

Figura 2 – Níveis de maturidade do BIM.



Fonte: Caderno de Apresentação de projetos em BIM, do Governo do Estado de Santa Catarina (2015).

Segundo Eastman (2008), espera-se que até 2020 o BIM tenha impactado a Industria AECO, e alguns impulsionadores motivarão pessoas e organizações a enfrentar os obstáculos, tais como:

Fatores econômicos tecnológicos e sociais, inclinarão a indústria AECO à globalização e *comodities*, necessitando cada vez mais do BIM;

Obstáculos técnicos, legais e de treinamento de profissionais, demandarão soluções que propiciarão o BIM;

O desenvolvimento dos softwares BIM permitirá melhor interoperabilidade, sistemas mais colaborativos, e preços mais acessíveis;

Fabricantes de produtos passarão a utilizar o BIM, a partir do banco de dados gerados nos projetos das respectivas obras, à medida que estas forem surgindo;

Regulamentação da construção, a verificação de construções por órgãos públicos e entidades de interesse passará a ocorrer automaticamente através de códigos;

Os softwares de gestão de negócios serão integrados ao BIM, os modelos se tornarão uma fonte de informações para a gestão das construtoras, levando às obras estimativas de quantidades e orçamentos cada vez melhores;

Novos profissionais surgirão, e sairão, do mercado, as habilidades em plataformas BIM ganharão notoriedade, havendo a substituição de profissões nos mais diferentes níveis hierárquicos.

2.6.1.1 O BIM no Brasil e no mundo

Devido à sua complexidade e necessidade de investimentos em treinamentos e Tecnologia de Informação, nota-se que o BIM tem tido sucesso em países bem desenvolvidos, através de políticas públicas e privadas de incentivo à adição do mesmo. Especialmente na Europa, em países como a Finlândia e Noruega, as duas maiores potências em implantação de BIM no mundo.

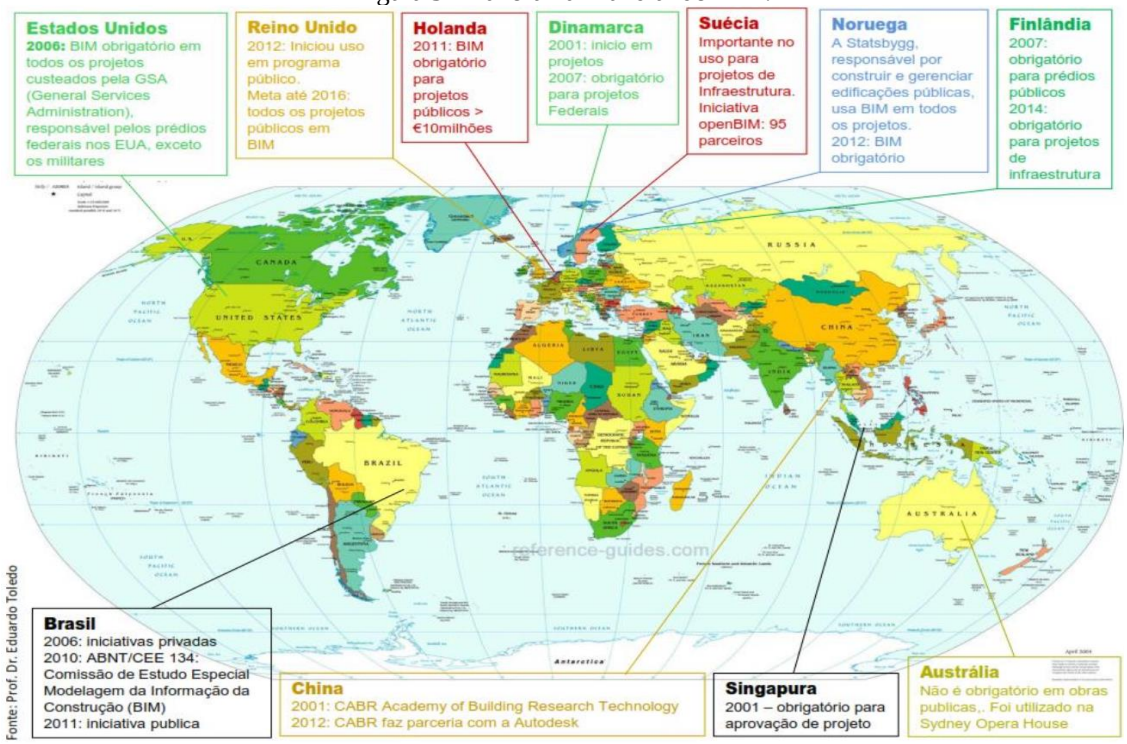
Nos Estados Unidos, por exemplo, o BIM enfrentou dificuldade devido a extensão territorial e à resistência dos construtores locais de adoção à nova tecnologia, quando deparados aos custos iniciais de investimento. (Martins et. al, 2013)

No Brasil, a Modelagem da Construção da Informação começou seus incentivos em meados de 2006 através de iniciativas privadas, e mais recentemente, em 2011, pela iniciativa pública. Entretanto, casos de insucessos ajudaram a não desenvolver a tecnologia, uma vez que a má implantação do BIM gera gastos maiores que a má implantação do CAD, devido os custos iniciais supracitados.

Entretanto, segundo Masotti (2014), a área de projetos do mercado brasileiro, é que mais tem potencial de evolução, e espera-se que o BIM venha utilizar este potencial. Em alguns estados brasileiros, por exemplo, o processo da Modelagem da Informação da Construção ocorreu de forma satisfatória, como em Santa Catarina, que decretou que até 2018 todas as obras públicas deverão ser realizadas em plataforma BIM.

Com esses casos de sucesso pontuais, e a recuperação econômica da Construção no Brasil, o BIM é visto como uma tecnologia estratégica para o crescimento sustentado do setor, (Santos, 2011).

Figura 3 – Panorama Mundial do BIM.

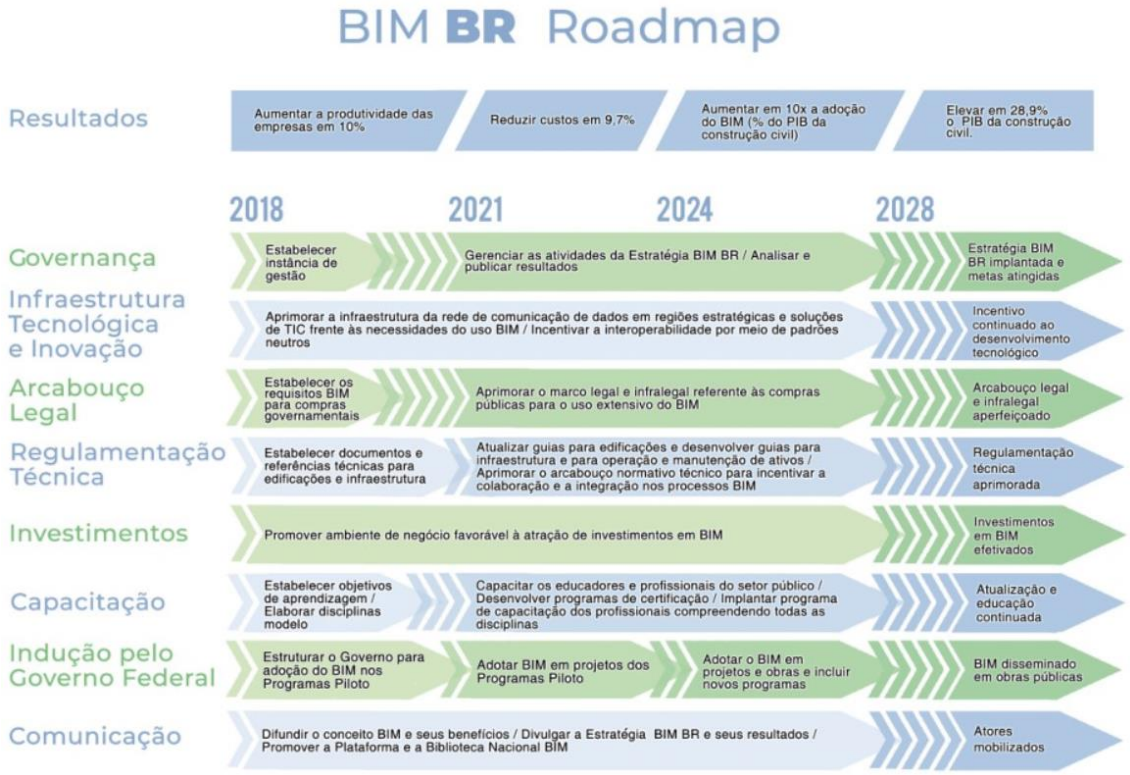


Fonte: Prof. Dr. Eduardo Toledo (2014).

Mais recentemente, em maio de 2018 o Governo Federal Brasileiro instituiu a "*Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR, com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em Building Information Modelling - BIM e sua difusão no País*", conforme Art. 1º do decreto de lei Nº 9.377, de 17/05/18.

Projeto que passa a ser gerenciado por meio do Comitê Gestor BIM, constituído de representantes multidisciplinares de vários órgãos governamentais. Dente as metas dessa Estratégia BIM BR, exalta-se o aumento da adoção do BIM em 10x até 2014, e a elevação do PIB da Construção Civil em 28,9%.

Figura 4 – Estratégia BIM BR.



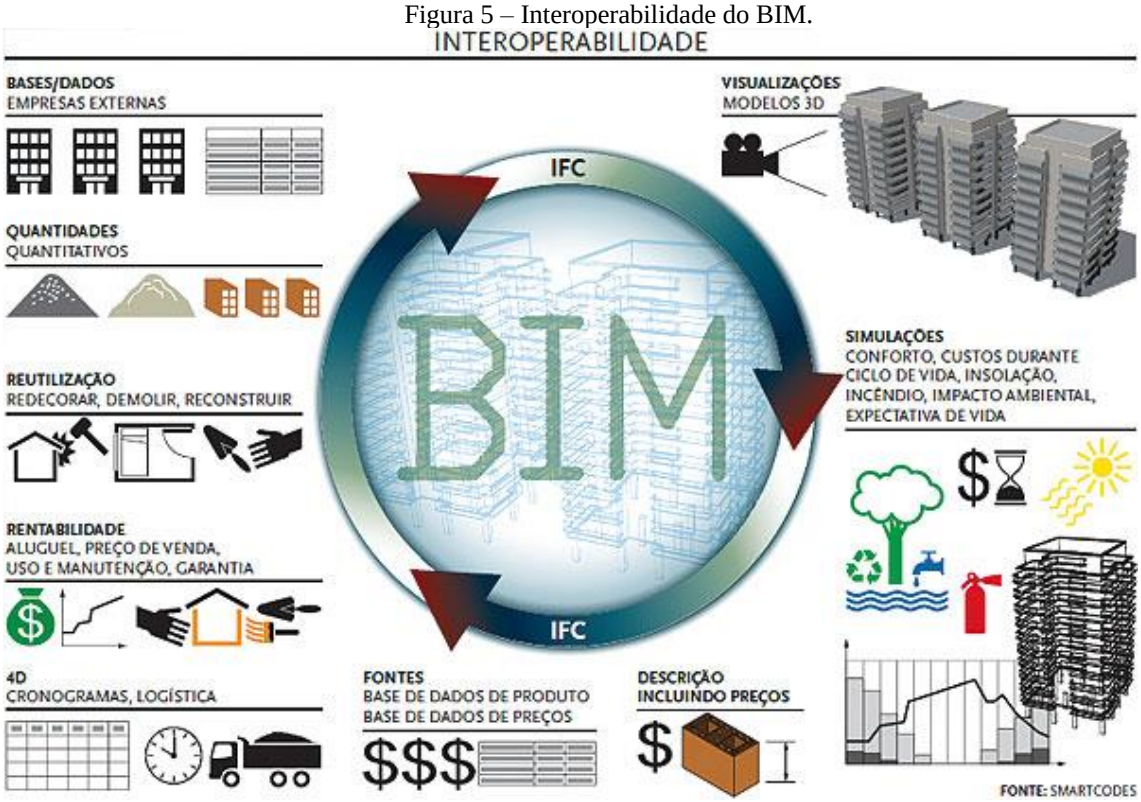
Fonte: Livreto Estratégia BIM BR. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018).

2.6.2 Interoperabilidade

Segundo Santos (2009) interoperabilidade é a habilidade de dois ou mais sistemas trocar informação e utilizá-la, é um dos pilares da Modelagem da Informação da Construção. Diante deste cenário, faz-se necessário que todas as ferramentas do BIM utilizem o mesmo formato de arquivo, permitindo exportar e importar dados. Assim, surgiu a Aliança Internacional para Interoperabilidade (IAI), atualmente chamada BuildingSMART, que institui o formato de arquivo IFC (Industry Foundation Classes) como padrão o obrigatório para todas as ferramentas BIM.

A interoperabilidade BIM está em processo de desenvolvimento contínuo, com o uso constante e surgimento de novos softwares erros foram sendo encontrados e o IFC passou por várias versões.

Figura 5 – Interoperabilidade do BIM.



Fonte: Revista aU - Arquitetura e Urbanismo Ed.208, Editora PINI (2011).

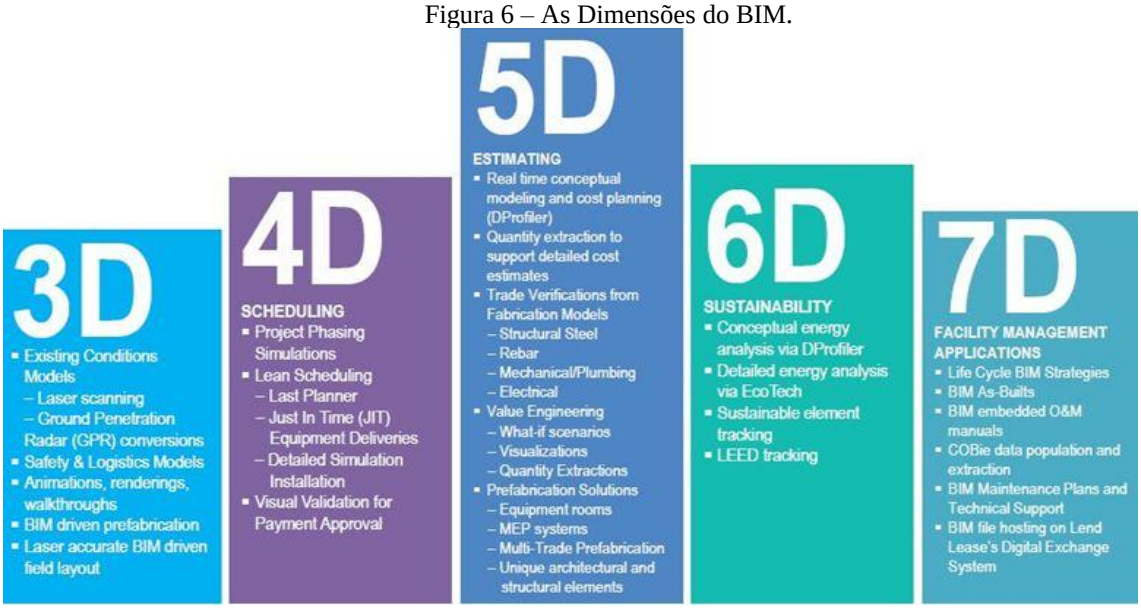
Segundo Santos (2009), por trás do IFC há os outros padrões para completar a interoperabilidade, por exemplo o IDM – Information Delivery Manual, MVC – Model View Definition e IFD – International Framework for Dictionaries, que definem qual, quando e em que linguagem a informação serão trocadas.

2.6.3 As Dimensões do BIM

Segundo Eastman at. Al (2008), o BIM, permite projetar, analisar e executar processos além das 3 Dimensões básicas do espaço, seja pela introdução do tempo (4D), análise de orçamentos (5D), estudo de eficiência energética e sustentabilidade (6D), gestão de sistemas, rastreamento e manutenabilidade (7D).

Mai recentemente, novas dimensões já estão sendo introduzidas, como a segurança das edificações (8D), e estudos recentes que definem o BIM como sistema “nD”, com dimensões ainda a serem exploradas. (Bomfim et. al, 2016).

Figura 6 – As Dimensões do BIM.



Fonte: https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d (2015).

2.6.4 Level of Development (LOD)

O Level of Development (LOD), ou em português, Nível de Desenvolvimento (ND) refere-se ao nível de definição de informações e formas no qual se deseja trabalhar no projeto, a fim de se economizar recursos computacionais ou se detalhar um modelo 3D. O LOD necessário em um projeto deve ser conhecido de todos os envolvidos, uma vez que este irá influenciar nos resultados finais de planejamento, orçamento, construção, operação e manutenção.

Dentre as diversas definições encontradas na bibliografia, o LOD pode ser definido conforme o quadro seguir.

Quadro 1 – Level of Development (LOD) ou Nível de Desenvolvimento (ND)

AIA-G202-2013	BIM Forum	SC-Caderno BIM		Descrição
		ND 0	Levantametno de dados	Levantamento de Informações, programa de necessidades. Apenas informações não gráficas.
			Programa de Necessidades	
			Estudo de Viabilidade	
LOD 100	LOD 100	ND 100	Estudo Preliminar	Estudo de volumetria da edificação. Estimativas de custos para construção.
LOD 200	LOD 200	ND 200	Anteprojeto	Elementos do Modelo genericos contendo informações aproximadas de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não-gráficas podem constar no modelo.
LOD 300	LOD 300	ND 300	Projeto Legal	Elementos do Modelo de projeto contendo informações precisas de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não-gráficas podem constar no modelo.
	LOD 350	ND 350	Projeto Básico	Coordenação de conflitos entre disciplinas. Informações não-graficas podem constar no modelo.
LOD 400	LOD 400	ND 400	Projeto Executivo	Elementos do Modelo e projeto contendo informações precisas de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Coordenação de conflitos entre disciplinas. Detalhes para fabricação, montagem e instalação. Planejamento e Orçamento do Modelo. Informações não-gráficas podem constar no modelo.
LOD 500	LOD 500	ND 500	Licitação da Obra	Elementos do Modelo de projeto preciso de acordo com a execução (As-Built) contendo quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não-gráficas podem constar no modelo.
			Contratação da Obra	
			Obra Concluída	
				Registro de atualização incorporando quaisquer alterações que ocorreram desde a entrega, incluindo dados de desempenho, condiçoes e informações necessárias para Operação e Manutenção.

Fonte: Adaptado de biminformation.blog (2017).

2.6.5 Ferramentas BIM

Segundo seu conceito, o BIM não é um software, mas uso destes para alcançar seus objetivos. Dentre as várias ferramentas BIM existentes, todas com as características supracitadas inerentes e indispensáveis à tecnologia, as mais conhecidas e utilizadas são a ArchCAD, AECOsim e o Revit.

2.6.5.1 Software ArchCAD

Desenvolvido pela Graphsoft SE, em 1982, o software ArchCAD surgiu como uma ferramenta do sistema CAD, mas em 1987, assumiu o conceito de “construção virtual”, tornando-se a primeira ferramenta BIM a funcionar em computadores pessoais (Forbes et. al, 2010).

Permite a modelagem arquitetônica, análises de engenharia e documentações paramétricas. Atualmente, o software não é o líder de mercado, mas ainda é bastante utilizado.

2.6.5.2 Software AECOsim

Desenvolvido pela Bently Systems, o AECOsim corresponde a um conjunto de softwares da empresa em uma única plataforma, que permitem a utilização do BIM em multidisciplinaridade, desde a arquitetura até a análise energética.

Assumiu o atual nome comercial em 2011, após a junção de várias ferramentas, entretanto engloba plataformas que veem sendo desenvolvidas desde meados de 1996.

2.6.5.3 Software Revit

Desenvolvido pela Autodesk, o software Revit foi concebido exclusivamente para o BIM, havendo uma clara diferenciação entre a ferramenta do sistema CAD da mesma empresa, este conceito, está em seu próprio nome, que deriva da expressão “revise immediately” (revise imediatamente), um dos pilares do BIM, correlacionados à redução de riscos e desperdícios na fase de execução.

Sendo o líder de marcado em sua área, o Revit possui, em uma única plataforma, a multidisciplinaridade entre várias áreas, MEP (Mechanical, Electrical, and Pumbling), arquitetônica, estrutural e outras. Sendo totalmente compatível com os demais softwares de plataforma BIM da mesma empresa.

2.6.5.4 Software Naviswork

Desenvolvido pela Autodesk, o software Naviswork é uma ferramenta BIM de análise de projeto. Permite a utilização de ferramentas adicionais ineficientes ou inexistentes em outros softwares, como a combinação de disciplinas, detecção de interferência entre elas, inclusão de comentários para revisões, navegação por filtros, adição de fases de construção, animações e outras.

É amplamente utilizado para a verificação de compatibilidade de projetos, e para a realização de animações 4D (geometria + tempo) ou 5D (geometria + tempo + custos).

2.6.6 Link Revit

Um Link Revit (ou Vínculo do Revit, na versão português do software), é um recurso que permite que um projeto seja realizado encima de outro projeto base, mas em arquivos diferentes, de tal forma que cada projetista pode trabalhar na sua disciplina, mas observar o projeto base.

As vantagens do Revit Link podem ser aqui enumeradas:

a) Permite que a equipe multidisciplinar trabalhe em paralelo em não em cadeia sequencial, agilizando o projeto;
b) Evita que uma equipe modifique o projeto de outra, mesmo que acidentalmente;

c) Permite trabalhar com arquivos mais leves, e não com um único projeto sobrecarregado;
d) Ainda que os arquivos sejam independentes, uma vez que é realizada uma alteração no projeto base, todos os arquivos que o utilizam como link recebem notificações, permitindo as devidas adequações.

2.7 Estruturas de Concreto Armado

2.7.1 Concreto Armado

Concreto é o material obtido pela mistura de cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. Quando em sua forma sólida, possui excelente resistência à compressão e baixa resistência à tração, cerca de 1/10 de sua resistência à compressão. Sendo ainda considerado um material frágil, por não possuir ductilidade.

Como os esforços de tração ocorrem em quase todas às estruturas, é necessário adicionar ao concreto outro material que resista à essas solicitações, é o caso das barras de aço. À união de concreto e barras de aço (armadura passiva) se dá o nome de Concreto Armado. Desde que estes trabalhem solidariamente unidos, é possível então se projetar e construir elementos estruturais de sistemas estruturais de concreto armado.

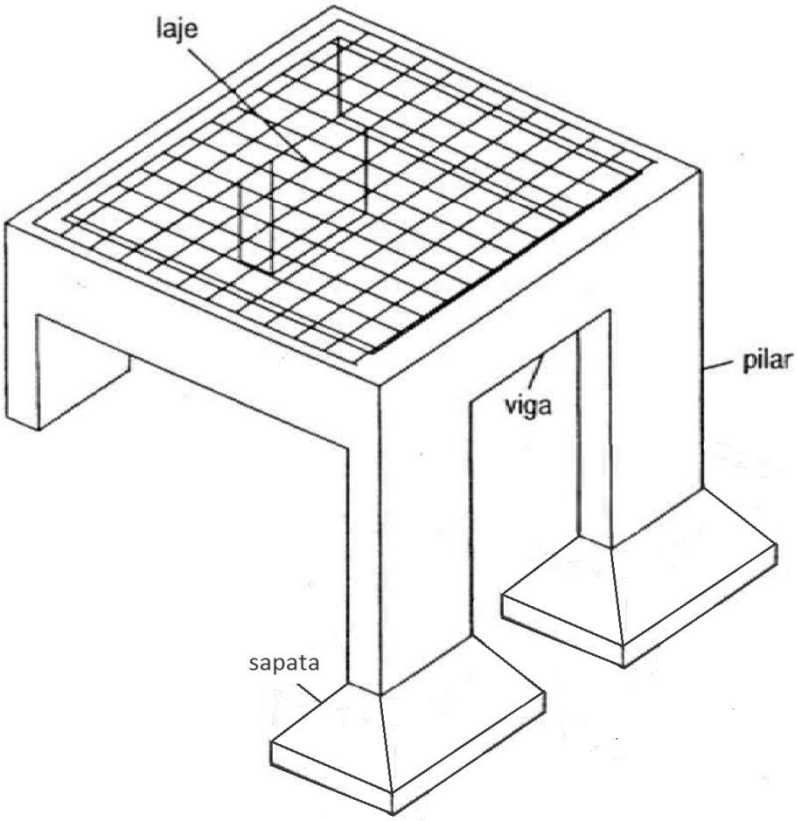
2.7.2 Elementos e Sistemas Estruturais.

Segundo CHUST (2001), cada peça de uma estrutura, que geralmente possui uma ou duas dimensões predominantes (laje, viga, pilar, sapata, etc), é chamada de elemento estrutural e são analisados conforme suas propriedades distintas. A maneira como concebemos e arranjamos estes elementos entre si, é chamado de sistema estrutural. As solicitações dos elementos estruturais (flexão, compressão, cisalhamento, etc), irão depender deste arranjo entre as peças, independente do material escolhido.

Para este trabalho será realizado um estudo no sistema estrutural de concreto armado conforme a Figura 7- *Sistema e Elementos estruturais.*

. Segundo o qual, as cargas principais são suportadas pela laje, que descarregam os esforços e seu peso próprio nas vigas, que por sua vez, possuem reação de carga e peso próprio nos pilares, estes, transmitem os esforços adicionado de seu peso próprio às fundações superficiais (sapatas) que, por fim, transferem as cargas e o seu peso próprio para o solo.

Figura 7- Sistema e Elementos estruturais.



Fonte: Adaptado de CHUST (2007).

2.7.3 Normalização e Parâmetros de Cálculos

Há algumas normas instauradas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas que discorrem sobre edificações de concreto armado. Para este trabalho, foram retirados parâmetros das normas seguintes normas vigentes de maior interesse:

- NBR6118/2014 - Projeto de estruturas de Concreto – Procedimento;
- NBR8953/2015 - Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência;
- NBR6120/1980(2000) - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR7480/2007 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação

2.7.3.1 Classificação do concreto e das barras de aço

2.7.3.1.1 Classes de Concreto

Segundo a NBR8953/2015, os concretos são classificados em classes conforme sua resistência característica (f_{ck}), entre os grupos I e II, de acordo com o Quadro 2:

Quadro 2- Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR8953 (2015).

2.7.3.1.2 Categorias de Barras de Aço

Conforme a NBR7480/2007, as barras de aço são classificadas de acordo com seus valores de escoamento característico (f_{yk}), em CA-25 ($f_{yk} = 250$MPa) e CA-50 ($f_{yk} = 500$MPa). Há ainda os fios de aço na categoria CA-60 ($f_{yk} = 600$MPa).

Para as barras, as características comerciais são dadas conforme o quadro a seguir.

Quadro 3 – Características das Barras de aço.

Diâmetro nominal mm	Massa e tolerância por unidade de compirmento		Valores Nominais	
Barras	Massa nominal [a] kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm²	Perímetro mm
6,3	0,245	± 7%	31,2	19,8
8,0	0,395	± 7%	50,3	25,1
10,0	0,617	± 6%	78,5	31,4
12,5	0,963	± 6%	122,7	39,3
16,0	1,578	± 5%	201,1	50,3
20,0	2,466	± 5%	314,2	62,8
22,0	2,984	± 4%	380,1	69,1
25,0	3,853	± 4%	490,9	78,5
32,0	6,313	± 4%	804,2	100,5
40,0	9,865	± 4%	1256,6	125,7

[a] a densidade linear da massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seçao nominal em metros quadrados por 7850kg/m³

Fonte: ABNT NBR7480 (2007).

2.7.3.2 Resistência de Cálculo e coeficientes de ponderação

Segundo a NBR6118/2014, a resistência de cálculo f_d para o concreto e o aço são:

- Resistência de cálculo do concreto, $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

- Resistência de cálculo do aço, $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

Onde, γ_c e γ_s correspondem aos valores abaixo.

Quadro 4-coeficientes de ponderação.

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de Construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,15

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.3 Ações de cálculo e coeficientes de ponderação

Segundo a NBR6118/2014, os valores das ações de cálculo F_d são obtidos através dos valores característicos multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação ($F_d = F_k . \gamma_f$).

O coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} . \gamma_{f2} . \gamma_{f3}$ é dado pela norma segundo os Quadros 5 e 6:

Quadro 5- coeficientes $\gamma_{f1} . \gamma_{f3}$.

Combinações de ações	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 [a]	1,0	1,40	1,20	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de Construção	1,3	1,0	1,20	1,00	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,00	0	1,2	0,9	0	0

onde D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.
[a] Para as cargas permanents de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

Quadro 6- coeficiente γ_{f2}.

Ações		γf2		
		ψ 0	ψ 1 [1]	ψ 2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas [2]	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas [3]	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

[1] Para os valores de ψ1 relativos às pontes e para os problemas de fadiga, ver Seção 23 da ABNT NBR6118
[2] Edifícios residenciais.
[3] Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.4 Cargas para Cálculo

As cargas atuantes nas estruturas em geral podem ser determinadas a partir dos valores tabelados ABNT NBR6120/1980 (Errata 2000). Ver ANEXO A.

2.7.3.5 Combinações de cargas

As cargas utilizadas no cálculo de estruturas são compostas pela combinação de ações com probabilidade de ocorrência simultânea. Para tal composição faz-se necessário analisar a segurança das cargas quando no Estado Limite Último de ruptura (ELU) e quando no Estado Limite de Serviço (ELS). Tais combinações são definidas pela norma segundo os quadros a seguir:

Quadro 7 - Combinações Últimas (ELU).

Combinações Últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado [a]	$Fd = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \Sigma \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores Pkmáx e Pkmín para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9 da ANBT NBR 6118.
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(Fsd) \geq S(Fnd)$ $Fsd = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $Fnd = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,mín}$; onde $Q_{nk} = Q_{1k} + \Sigma \psi_{0j} Q_{jk}$
Espaciais ou de construção [b]	$Fd = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \Sigma \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$	
Excepcionais [b]	$Fd = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \Sigma \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR6118 (2014).

onde

F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última;
F_{gk} representa as ações permanentes diretas;
$F_{\varepsilon k}$ representa as ações permanentes indiretas;
F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{qk} é a principal;
γ_g, γ_q ver Quadro 2;
Ψ_o, ver Quadro 3;
F_{sd} representa as ações estabilizantes;
F_{nd} representa as ações não estabilizantes;
G_{sk} é o valor característico da ação permanente estabilizantes;
R_d é o esforço resistente considerado estabilizante, quando houver;
G_{nk} é o valor característico da ação permanente instabilizante;
Q_{nk} é o valor característico das ações variáveis instabilizantes;
$Q_{nk} = Q_{1k} + \sum_{j=2}^{nm} \Psi_{oj} . Q_{jk}$;
Q_{1k} é o valor característico da ação variável instabilizante principal;
Ψ_{oj}, Q_{jk} são as demais ações variáveis instabilizantes, com valor reduzido;
$Q_{s,min}$ é o valor característico mínimo da ação variável estabilizante que acompanha obrigatoriamente uma ação variável instabilizante;

a No caso geral, devem ser consideradas inclusive combinações onde o efeito favorável das cargas permanentes seja reduzido pela consideração de $\gamma_g = 1{,}0$. No caso de estruturas usuais de edifícios, essas combinações que consideram $\gamma_g$reduzido (1,0) não precisam ser consideradas.

b Quando F_{q1k} ou F_{q1exc} atuarem em tempo muito pequeno ou tiverem probabilidade de ocorrência muito baixa, Ψ_{oj} pode ser substituído por Ψ_{2j}. Este pode ser o caso para ações sísmicas e situações de incêndio.

Quadro 8- Combinações de Serviço (ELS).

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma_{\psi 2j} F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal Fq1 é tomada com seu valor frequente y1Fq1k e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal Fq1 é tomada com seu valor característico Fq1k e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi 1\ F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + F_{q1k} + \Sigma \psi_{1j} F_{qjk}$
onde		
$F_{d,ser}$	é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;	
F_{q1k}	é o valor característico das ações variáveis principais diretas;	
ψ_1	é o fator de redução de combinação frequente para ELS;	
ψ_2	é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.	

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.6 CAA – Classe de Agressividade Ambiental

O ambiente ao qual o concreto é exposto, o afeta através de ações físicas e químicas não previstas nos modelos de dimensionamento. Segunda a NBR6118, a agressividade do meio pode ser classificada segundo uma das Classes de Agressividade Ambiental (CAA) apresentadas no Quadro 9.

A CAA é um parâmetro que deve ser respeitado visando-se a durabilidade das estruturas de concreto armado. Tal parâmetro pode ser correlacionado à qualidade necessária do concreto e aos cobrimentos mínimos, para que se atinja a Vida Útil de Projeto desejada.

Quadro 9 – CAA - Classes de Agressividade Ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana [a, b]	Pequeno
III	Forte	Marinha [a]	Grande
		Industrial [a, b]	
IV	Muito forte	Industrial [a, c]	Elevado
		Respingos de maré	

a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.6.1 Correspondência entre CAA e Classe do Concreto

Quadro 10 – Correspondência entre CAA e qualidade do concreto.

Concreto [a]	Tipo [b, c]	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.6.2 Correspondência entre CAA e Cobrimento Mínimo

Quadro 11 - Correspondência entre CAA e Cobrimento Mínimo.

Tipo de estrutura	**Componente ou elemento**	**Classe de agressividade ambiental**			
		I	II	III	IV [c]
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje [b]	20	25	35	45
	Viga / Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo [d]	30		40	50
Concreto protendido [a]	Laje	25	30	40	50
	Viga / Pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, da ABNT NBR6118, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm.

c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45mm.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.7 Propriedades Mecânicas do Concreto

2.7.3.7.1 Módulo de Elasticidade

Devido sua heterogeneidade, o Módulo de Elasticidade do concreto é uma grandeza de grande variabilidade, sendo necessária sua determinação através de ensaios da NBR8522 da ABNT. Na ausência dos valores de ensaio, a NBR6118/2014 permite estimá-lo através da seguinte expressão:

- Módulo de Elasticidade Inicial (E_{ci})

$E_{ci} = \alpha_E . 5600\sqrt{fck}$, para 20MPa $\leq fck \leq$ 50MPa

Onde, α_E é um coeficiente dependente do tipo de agregado graúdo:

α_E=1,2 para basalto e diabásio;

α_E=1,0 para granito e gnaisse;

α_E=0,9 para calcário;

α_E=0,7 para arenito;

- Módulo de Elasticidades Secante (Ecs)

$E_{cs} = \alpha_i . E_{ci}; onde\ \alpha_i = 0{,}8 + 0{,}2.\frac{fck}{80} \leq 1$

Para concretos com agregado de granito, α_E=1, obtêm-se o quadro a seguir.

Quadro 12 - Módulo de Elasticidade do Concreto (granito como agregado graúdo).

Classe de resistência	C20	C5	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

Para efeitos de cálculo, utiliza-se o E_{cs} nas análises elásticas de comportamento à compressão e à tração do concreto.

2.7.3.7.2 Módulo de Elasticidade Transversal ou Módulo de Cisalhamento

Considerando análises elásticas, o Módulo de Elasticidade Transversal do Concreto (G_c), será dado por:

$$G_c = \frac{E_{cs}}{2{,}4}$$

2.7.3.7.3 Coeficiente de Poisson

Nas análises elásticas, o Coeficiente de Poisson ν = 0,2.

2.7.3.7.4 Peso Específico

Segundo a NBR6118, quando a massa específica real for desconhecida, essa pode ser admitida como:

$$\rho_{concreto\ simples} = 2400 kg/m^3$$

$$\rho_{concreto\ armado} = 2500 kg/m^3$$

2.7.3.7.5 Coeficiente de dilatação térmica

Para a referida norma, o coeficiente de dilatação térmica de concreto para análise estrutural pode ser admitido igual a: $\alpha_{\Delta T} = 10^{-5}/°C$

2.7.3.8 Propriedades Mecânicas do Aço

A norma NBR7480/2007 apresenta as propriedades mecânicas genéricas do aço para uso estrutural, conforme Quadro 13. E é complementada pela a norma NBR6118, que discorre sobre algumas considerações adicionais para o uso do aço em estruturas de concreto armado, como o Módulo de Elasticidade, Peso Específico, Coeficiente de Aderência e Coeficiente de Dilatação Térmica.

Quadro 13-Propriedades Mecânicas do Aço.

Categoria	Valores mínimos de tração				Ensaio de dobramento a 180º		Aderência	
	Resistência característica de escoamento [a] f_{yk} MPa [e]	Limite de resistência [b] f_{st} MPa [f]	Alongamento após ruptura em 10ϕ[c] A %	Alongamento total da força máxima [d] A_{gt} %	Diâmetro do pino (mm)		Coeficiente de conformação superficial mínimo η	
					ϕ < 20	ϕ ≥ 20	ϕ < 10mm	ϕ ≥ 10mm
CA-25	250	1,20 f_y	18	-	2ϕ	4ϕ	1,0	1,0
CA-50	500	1,08 f_y	8	5	3ϕ	6ϕ	1,0	1,5
CA-60	600	1,05 f_y [c]	5	-	5ϕ	–	1,0	1,5

a Valor característico do limite superior de escoamento f_{yk} da ABNT NBR 6118 obtido a partir do LE ou δe da ABNT NBR ISSO 6892.
b O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou δt da ABNT NBR ISSO 6892).
c ϕ é o diâmetro nominal, conforme 3.4 da ABNT NBR 6118.
d O alongamento deve ser atendido através do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima (A_{gt}).
e Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm².
f fst mínimo de 660 MPa.

Fonte: ABNT NBR7480 (2017).

2.7.3.8.1 Módulo de Elasticidade

Considerando análises elásticas, o Módulo de Elasticidade do Aço para concreto armado é admitido igual a $E_s = 210GPa$

2.7.3.8.2 Peso Específico

Segundo a NBR6118, quando a massa específica real for desconhecida, essa pode ser admitida igual a $\rho_{aço,passivo} = 7850kg/m^3$.

2.7.3.8.3 Coeficiente de Aderência

Quadro 14 - Coeficiente de Aderência. Fonte: NBR6118 (2014)

Tipo de superfície	η_1
Lisa	1,0
Entalhada	1,4
Nervurada	2,25

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.8.4 Coeficiente de dilatação térmica

Para a referida norma, o coeficiente de dilatação térmica do aço para concreto armado é admitido igual ao do concreto, $\alpha_{\Delta T} = 10^{-5}/°C.0$

2.7.3.9 Aderência e Ancoragem das armaduras

Para que as tensões sejam passadas do concreto ao aço, e os elementos trabalhem de forma monolítica, sem escorregamento entre si, deve haver a verificação da aderência das armaduras ao concreto.

2.7.3.9.1 Resistência de Aderência

Segundo a NBR6118/2014, a resistência de aderência entre armadura e concreto é dada por:

$$f_{bd} = \eta_1 . \eta_2 . \eta_3 . f_{ctd}$$

onde, η_1 é o coeficiente de aderência (conforme 2.7.3.8.3);

$$\eta_2 = \begin{cases} 1 \; para \; situações \; de \; boa \; aderência \\ 0{,}7 \; para \; situações \; de \; má \; aderência \end{cases}$$

$$\eta_3 = \begin{cases} 1{,}0; \;\; para \; \phi < 32 \; mm \\ \frac{132-\phi}{100}; \; para \; \phi \geq 32mm \end{cases}$$

onde ϕ é o diâmetro da barra em mm.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c};$$

onde $f_{ctk,inf} = 0{,}7 . f_{ct,m}$;

$f_{ct,m} = 0{,}3 {f_{ck}}^{2/3}$, para $f_{ck} \leq 50Pa$

2.7.3.9.2 Pinos de dobramento

A fim de se realizar a ancoragem através de ganchos, a norma NBR6118 define o diâmetro de dobramento das barras, a fim de evitar o seu comprometimento estrutural.

Quadro 15 – Diâmetro de Pinos de Dobramento.

Bitola	Tipo de aço		
mm	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4ϕ	5ϕ	6ϕ
≥ 20	5ϕ	8ϕ	-

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.9.3 Comprimento de Ancoragem

É definido pela NBR6118/2014 como o comprimento reto necessário para ancorar a barra, admitindo-se uma resistência de aderência igual a f_{bd}.

$$l_{b,nec} = \alpha . l_b . \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,mín}$$

onde, $\alpha = \begin{cases} 1{,}0 \;\; para \; barras \; sem \; gancho \\ 0{,}7 \; para \; barras \; com \; gancho \end{cases}$

$$l_{b,mín} = \begin{cases} 0{,}3 . l_b \\ 10 . \phi \\ 100 \; mm \end{cases}$$

l_b é o comprimento de ancoragem básico

$$l_b = \frac{\phi}{4} \frac{f_{yb}}{f_{bd}} \geq 25\phi$$

2.7.3.10 Limites de Dimensões

A fim de verificar condições de execução e desempenho aceitável, a NBR6118/2014 estabelece limites mínimos de dimensões dos elementos estruturais.

2.7.3.10.1 Vigas

A seção transversal não deve apresentar largura menor que 12 cm. Sendo tolerado o mínimo absoluto de 10cm se comprovado a verificação de :

a) Alojamento das armaduras, respeitando os espaçamentos e cobrimentos;
b) Lançamento e vibração do concreto segundo ABNT NBR14931;

2.7.3.10.2 Pilares

A seção transversal não deve apresentar dimensão menor que 19cm. Sendo Tolerado o mínimo absoluto de 14cm, desde que se multiplique os esforços solicitantes por um coeficiente γ_n indicado no Quadro 16

Qualquer que seja a seção transversal, a área não deve ser inferior a 360cm².

Quadro 16 - Valores de coeficiente adicional γ_n para pilares.

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde

$\gamma_n = 1{,}95 - 0{,}05\,b$;

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.10.3 Lajes

Para lajes maciças de estruturas residenciais convencionais deve ser respeitado os seguintes limites de espessura:

a) coberturas não em balanço: h ≥ 7cm
b) pisos não em balanço: h ≥ 8cm
c) lajes em balanço: h ≥ 10 cm . Sendo necessário ainda multiplicar os esforços solicitantes de cálculo pelo coeficiente adicional $\gamma_n$do Quando 17.

Quadro 17 - Valores de coeficiente adicional γ_n para lajes.

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
onde	γ_n = 1,95 - 0,05h; h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).									
NOTA:	O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.									

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.11 Deslocamentos Limites

A NBR6118/2014 classifica os deslocamentos limites em quatro grupos básicos:

a) Aceitabilidade Sensorial: vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável.
b) Efeitos estruturais em serviço: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
c) Efeitos em elementos não estruturais: quando os deslocamentos estruturais ocasionam o mal funcionamento de elementos não estruturais adjacentes;
d) Efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos afetam o comportamento da estrutura, desvalidando as hipóteses de cálculo adotadas.

Os valores limites que propiciam um adequado comportamento da estrutura estão apresentas nos Quadros 18 e 19 .

Quadro 18 - Limites para deslocamentos (continua).

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	ℓ /250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	ℓ /350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	ℓ /250 [a]
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	ℓ /350 + contraflecha [b]
			Ocorrido após a construção do piso	ℓ /600
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	ℓ /500 [c] e 10 mm e $\theta = 0{,}0017$ rad [d]
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	ℓ /250 [c] e 25mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente (ψ_1=0,30)	H_1/700 e H_i/850 [e] entre pavimentos [f]
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	ℓ /400 [g] e 15 mm

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

Quadro 19 - Limites para deslocamentos (continuação).

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$\ell/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$\ell/1755$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenação	H / 400
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $\ell/350$.

c O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

d Rotação nos elementos que suportam paredes.

e H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando Hi representa o comprimento do lintel.

g O valor ℓ refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno

NOTAS

1 Todos os valores-limites de deslocamento supõem elementos de vão ℓ suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor ℓ é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11 da ABNT NBR6118.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.3.12 Limites de Fissuras

As fissuras limites que visam a adequada durabilidade da estrutura, e proteção da armadura, estão correlacionados à Classe de Agressividade Ambiental e apresentados no Quadro 20.

Quadro 20 – Limites de Abertura de Fissuras (w_k.).

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I e CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0{,}4$mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0{,}3$mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0{,}2$mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0{,}2$mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D [a]	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D [a]	Combinação frequente

a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com ap=50mm

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2 da ABNT NBR 6118

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendido, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: ABNT NBR6118 (2014).

2.7.4 Dimensionamento

Como supracitado, os esforços atuantes nos elementos estruturais são oriundos do sistema estrutural concebido. Para suportá-los, necessita-se então determinar um material e as seções transversais das peças, para que assim sejam verificados os critérios de utilização e segurança. Neste trabalho, será admitido concreto armado aplicado em seções retangulares de estruturas convencionais.

2.7.4.1 Lajes

As lajes são elementos estruturais que possuem duas dimensões preponderantes, tendo como principal esforço as flexão bidimensional, que confere certo grau de complexidade em seu dimensionamento. Para tanto, existem diversas formas de se calcular os esforços atuantes e a armadura resistente.

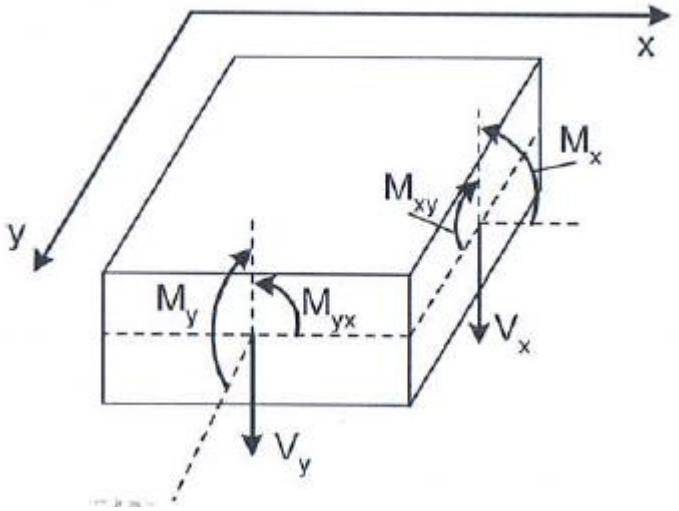
2.7.4.1.1 Hipóteses de Cálculo

Segundo J. M. de Araújo (2014), a flexão em lajes pode ser explicada pela teoria de Kirchhoff para placas finas com pequenas deflexões, que admite as seguintes hipóteses:

- O material da placa é elástico linear, homogêneo e isotrópico;
- A espessura da placa é pequena em relação às outras dimensões;
- As deflexões são pequenas em relação à espessura da placa;
- As rotações da superfície média deformada são pequenas em relação à unidade;
- Linhas retas, inicialmente normais à superfície média no estado não deformado, permanecem retas e normais à superfície média após deformações;
- As deflexões da placa são normais ao plano indeformado inicial;
- As tensões normais à superfície média são desprezíveis ($\sigma_z \cong 0$);

2.7.4.1.2 Teoria de Flexão de Placas Finas

Figura 8- Solicitações na flexão de placas.



Fonte: J.M.de Araújo (2004).

Tal teoria pode ser sintetizada através das seguintes equações diferenciais para os esforços de momentos:

$$M_x = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)$$

$$M_y = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)$$

$$M_{xy} = M_{yx} = -(1-\nu)D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\right)$$

onde M_y, M_x, M_{xy}, M_{yx} são os momentos por unidade de comprimento na laje;

D é a rigidez à flexão da laje;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

w é a deformação da laje;

ν é o coeficiente de poisson. (A existência do coeficiente de poisson ν indica que a flexão em uma direção gera flexão na direção oposta);

De tal forma, que os valores dos cortantes seriam dados por:

$$V_x = -D\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)$$

$$V_y = -D\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)$$

As soluções destas equações seriam então dependentes das condições de contornos admitidas (tipo de apoios dos bordos da laje) e da série escolhida na resolução matemática.

2.7.4.1.3 Métodos Simplificados

A infinidade de arranjos de apoios de lajes e tipos de cargas inviabiliza a utilização da equação na prática. Como alternativa há métodos de dimensionamento simplificados que possuem admissível aproximação da solução extada, alguns desses métodos são:

a) ***Analogia da grelha equivalente***, que associa a laje dimensionada a uma grelha correspondente de malha consideravelmente pequena em relação à laje. E utilizando-se das teorias clássicas de flexão unidimensional (vistas em 2.7.4.2) analisa os momentos e cortantes nas barras fletidas pelas cargas equivalentes aplicadas à grelha, e relacionando os esforços com a espessura da malha, é possível estimar valores de solicitações à laje correspondente.

b) ***O Método de Marcos***, que simplifica a teoria das placas em soluções analíticas com coeficientes constantes para cada dupla de condições de contorno em uma faixa unidirecional da laje. Os momentos M_{xo} e M_{yo} são dados por:

$$M_{xo} = C_x M_x;\ \ M_{yo} = C_y M_y;$$

onde

$$C_x = 1 - \frac{20k_x}{3\alpha_x\lambda^2};\ C_y = 1 - \frac{20k_y\lambda^2}{3\alpha_y};$$

$$M_x = \frac{q_x {L_x}^2}{\alpha_x};\ M_y = \frac{q_y {L_y}^2}{\alpha_y};$$

onde

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x}; \qquad k_x = \frac{\beta_y\lambda^4}{(\beta_x+\beta_y\lambda^4)}; \qquad k_y = 1 - k_x; \qquad k_y = 1 - k_x$$

q_x e q_y são a parcela da carga em cada direção.

$$q_x = k_x q; \quad q_y = k_y q$$

α e β dependem das condições de contorno dos bordos das lajes, segundo uma direção (x ou y) tal que:

Quadro 21 – coeficientes do Método de Marcos.

Apoios na direção considerada	α	β
Biapoiada	8	5
Engastada apoiada	14,22	2
Biengastada	24	1

Fonte: Adaptado de J.M de Araújo (2004).

c) ***Utilização de tabelas***, que consiste na adaptação da equação de placas, ou da teoria das grelhas em coeficientes de solicitações de esforços tabelados para cada combinação de condições de contorno e carga. Há várias tabelas na literatura para o cálculo de esforços em lajes (Czerny, Hahn, Kalmanok), contudo para este trabalho consideraremos as tabelas de J. M. de Araújo (2004) (Ver ANEXO D), que são adaptações das tabelas de Kalmanok, reduzidas da equação de placas e em cujas quais, o coeficiente de Poisson é admito como $\nu = 0{,}2$, estando as tabelas portanto consoantes com a norma brasileira de concreto NBR6118.

Nestas tabelas os coeficientes de flecha (w_c), momentos (m_x, m_y, m_{xy}) e reações ($r_x e\ r_y$) retirados das tabelas, podem ser convertidos em valores aproximados de Momentos, Flechas e Reações, através das seguintes equações:

$$W_c = 0{,}001 w_c \frac{p l_i^4}{D}$$

$$M_x = 0{,}001 m_x p l_i^2;\ \ M_y = 0{,}001 m_y p l_i^2;\ \ M_{xy} = 0{,}001 m_{xy} p l_i^2$$

$$R_x = 0{,}001 r_x p l_i;\ \ R_y = 0{,}001 r_y p l_i$$

onde D é a rigidez à flexão da barra;

p é a carga na laje;

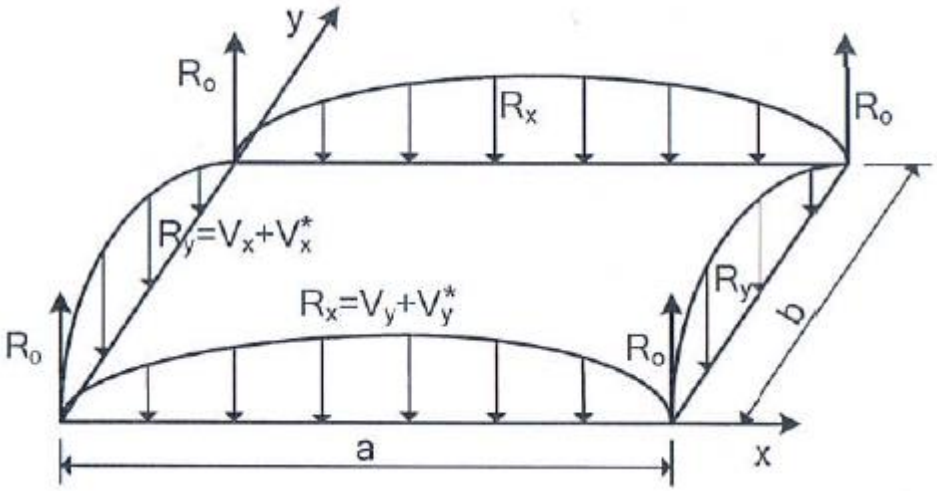
Com os esforços calculados pelo método acima, basta então utilizar as equações clássicas de flexão unidimensional para se calcular ás áreas de aço necessárias às lajes, considerando que esta é composta por faixas de uma unidade métrica de largura, conforme as equações da seção 2.7.4.2.3.

Para a armadura de canto (devido M_{xy} e M_{yx}), basta admitir uma área de aço maior ou igual à maior seção do meio da laje.

2.7.4.1.4 Reações de apoio

Segundo a teoria das placas de Kirchhoff, as reações das lajes nas vigas são dadas através de funções não lineares indefinidas nos bordos apoiados, e de cargas aplicas nas extremidades, que equilibram o momento torço através de seus binários (Figura 9).

Figura 9- Reações nas vigas de apoio.

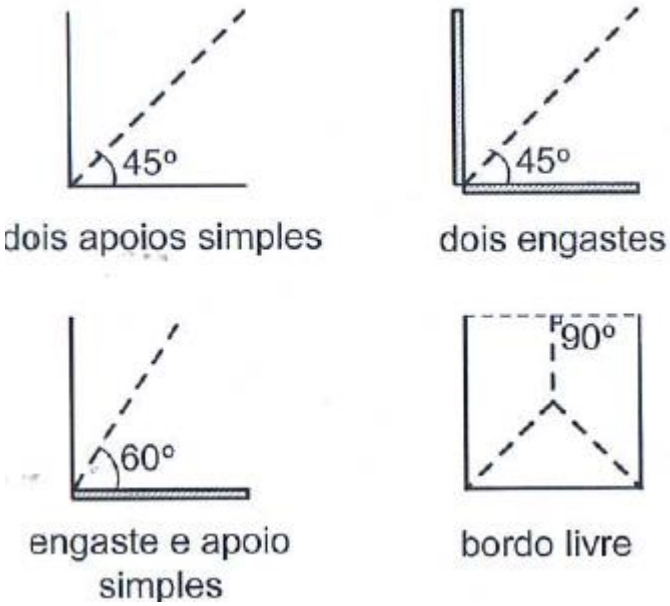


Fonte: J.M de Araújo (2004).

A fim de simplificar essas reações para o posterior cálculo das lajes, a NBR6118 apresenta a solução aproximada e satisfatória através da teoria das charneiras plásticas, ou teoria de linhas de ruptura, segundo a qual a laje tende a romper ao longo de fissuras orientadas pelos vértices em ângulos constantes, como mostrado na Figura 10.

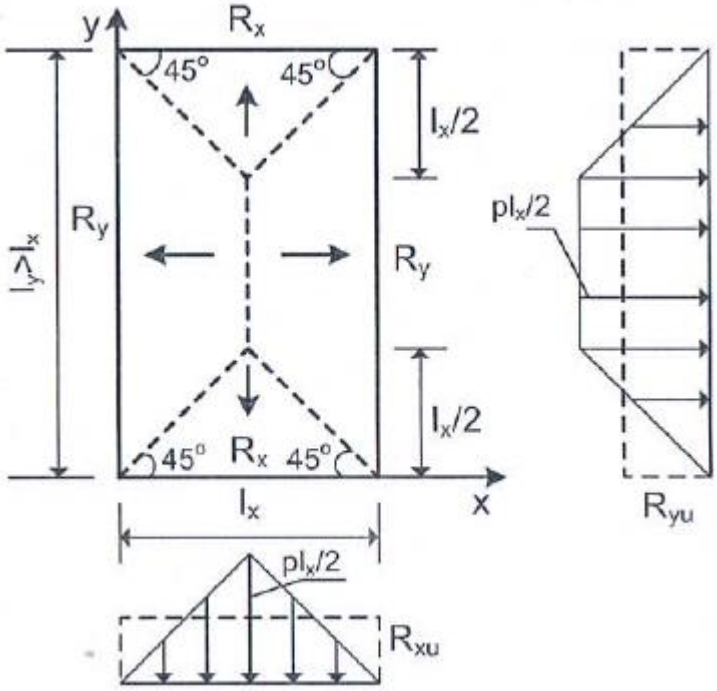
Dessa forma, é possível aproximar as reações nas vigas das bordas conforme o quinhão de carga pertencente à área dos trapézios ou triângulos formados pela interseção dessas linhas de ruptura. Admitindo-os como cargas lineares distribuídas (Figura 11).

Figura 10 – Inclinação das linhas de ruptura.



Fonte: J.M de Araújo (2004).

Figura 11 – Cálculo da Reações de Apoio.



Fonte: J.M de Araújo (2004).

2.7.4.2 Vigas

As vigas são elementos estruturais que possuem uma dimensão preponderante em relação às demais (unidimensional), e devido ao fato de serem geralmente solicitadas perpendicularmente ao eixo principal, é de sua característica sofrer esforços de flexão.

2.7.4.2.1 Hipóteses de Cálculo

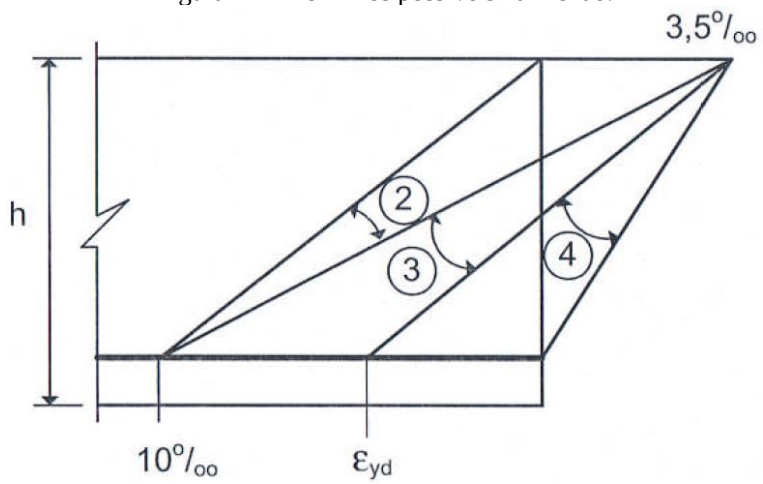
Segundo J.M de Araújo, as hipóteses para o dimensionamento de uma seção transversal de concreto armado submetida à flexão são;

- **Hipótese das seções planas:** Seções que inicialmente, antes da deformação, são planas e normais ao eixo, permanecem planas e normais ao eixo após a deformação (equivalente à hipótese de linhas planas em flexões bidimensionais em lajes, visto em 2.7.4.1);
- **Aderência Perfeita entre os matérias:** o concreto e o aço trabalham sem escorregamento relativo entre eles; a deformação em uma seção é a mesma para o concreto e o aço;
- **Concreto não sofre tração:** devido à baixa resistência à tração do concreto (como citado em 2.7.1), despreza-se totalmente a resistência à tração do mesmo, considerando que apenas as armaduras resistem aos esforços de tração.

2.7.4.2.2 Domínios de Dimensionamento à Flexão

A ruptura de uma estrutura de concreto solicitada à flexão, pode ocorrer devido o esmagamento do concreto (armadura em excesso), ou por uma excessiva deformação da armadura (armadura insuficiente).

Figura 12 – Domínios possíveis na Flexão.



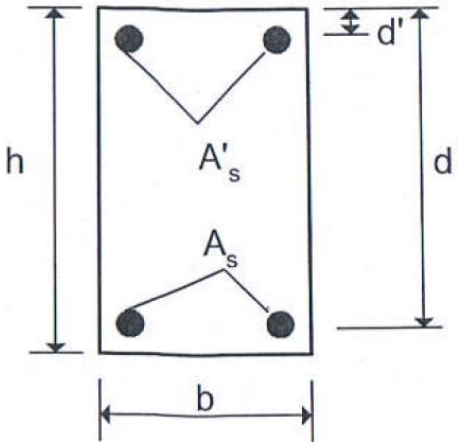
Fonte: J.M de Araújo (2004).

Na Figura 12 acima, o eixo x inferior indica a deformação (ε_y) do aço, e o eixo x superior; a deformação do concreto (ε_c). Sabendo que ε_{yd} corresponde à deformação do aço quando na tensão máxima de cálculo, ε_y = 10‰ corresponde à uma deformação excessiva da armadura, e $\varepsilon_{cu} =$ 3,5‰ corresponde à deformação última do concreto na ruptura, é possível notar que a seção fletida pode rotacionar de tal forma que os domínios 2, 3 e 4 podem ser obtidos, onde:

a) Domínio 2 – Elemento subarmado: rompem através de uma deformação excessiva sem haver esmagamento do concreto, sendo um tipo de aviso prévio do colapso.
b) Domínio 3 – Elemento normalmente armada: possuem armadura adequada, rompendo tanto por escoamento da armadura, como por esmagamento do concreto, resultando no melhor aproveitamento dos materiais. Também rompe de forma dúctil semelhante aos elementos subarmados.
c) Domínio 4 – Elemento superarmado: rompem pelo esmagamento do concreto e de forma abrupta. Por não apresentarem indícios de deformação antes da ruptura, é o tipo de ruptura mais perigosa para os usuários, devendo ser evitado.

2.7.4.2.3 Armadura longitudinal

Figura 13- Seção Transversal de Viga.



Fonte: J.M de Araújo (2004).

Conhecido o momento solicitando do elemento estrutural, e considerando um dimensionamento a fim de evitar o domínio 4, e se trabalhar nos domínios 2 e 3; uma estrutura em flexão simples, seções retangulares e concretos com resistência fck $\leq$ 35Mpa, pode-se admitir as seguintes equações de dimensionamento da área de aço da armadura (A_s).

Momento Reduzido solicitante

$$\mu = \frac{M_d}{b.d^2.f_{cd}}$$

Taxa mecânica de armadura

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$$

Taxa mecânica de armadura

$$A_s = b.d.\omega\frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Área de aço necessária

onde $f_{cd} = \alpha.\frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

b é a largura da seção;

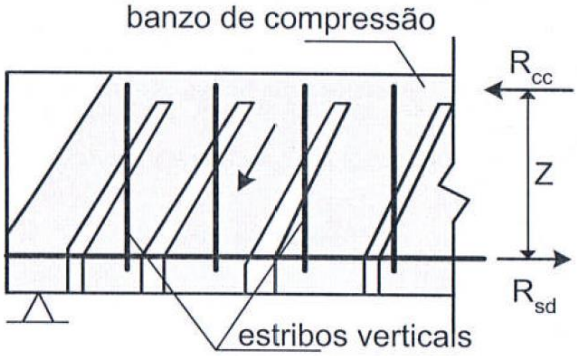
d é a altura da seção;

O dimensionamento pode ainda ser agilizado através de tabelas, segundo a qual é possível se determinar a taxa mecânica de armadura, através do momento reduzido solicitante, para vigas simplesmente armadas (armadura de tração, $\omega' = 0$) no caso específico de $f_{ck} \leq 35MPa\ e\ Aço\ CA - 50$. Sendo ainda possível se dimensionar vigas duplamente armadas (armadura de tração e compressão, $\mu > 0{,}3$) utilizando a coluna com o menor ou igual valor de δ. Onde $\delta = d'/d$ (Vide ANEXO B).

2.7.4.2.4 Armadura transversal

Para o dimensionamento da armadura transversal, considera-se o modelo das treliças de Mörsch, segundo o qual, após a fissuração o concreto passa a não obedecer as leis clássicas da Resistência dos Materiais, e os esforços cortantes, passam a ser equilibrados através da associação de bielas comprimidas de concreto e diagonais tracionadas (de aço) dentro da peça (vide figura 14). Assim, a seção deve ser dimensionada para que a tensão de compressão nas bielas não exceder a resistência do concreto, nem a tensão de tração nas diagonais exceder a resistência do aço. (J.M de Araújo, 2014).

Figura 14 – Analogia de treliça de Mörsch.



Fonte: J.M de Araújo (2004).

Assim, como a tensão convencional solicitante de cisalhamento é dada por:

$$\tau_{sd} = \frac{V_d}{b.d}$$

A tensão limite última resistente das bielas de compressão é dada por:

$$\tau_{rd,c} = 0{,}27\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) fcd;$$

E a tensão limite última resistente das diagonais de tração é dada por:

$$\tau_{rd,s} = 0{,}9\tau_d + \tau_c;$$

Onde τ_d é a parcela absorvida pela armadura transversal desejada.

τ_c é a parcela de tensão absorvida por mecanismos complementares à treliça

$\tau_c = 0{,}09.(fck)^{\frac{2}{3}}$, para $f_{ck} \leq 50MPa$ e $\gamma_c = 1{,}4$ (NBR6118)

Para que a ruptura não ocorra, basta então que a tensão solicitante seja menor que ambas tensões resistentes:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd,c} \text{ e } \tau_{sd} \leq \tau_{rd,s}(\tau_d)$$

Uma vez determinado τ_d, a armadura necessária será:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{\tau_d}{b.d^2.f_d}$$

Onde s, é o espaçamento entre as armaduras.

2.7.4.3 Pilares

Os pilares são elementos estruturais que possuem uma dimensão preponderante em relação às outras, si diferem das vigas por serem geralmente estruturas verticais, cujo característico é a compressão axial, sofrendo ainda esforços de momento.

2.7.4.3.1 Estabilidade de Pilares

Segundo a teoria clássica de resistência dos materiais, se uma barra é continuamente comprimida axialmente em seu reto, e a barra se deforma lateralmente, de modo que, devido à flecha em uma seção transversal qualquer, afastada de uma distância infinitesimal do eixo da barra, surgem momentos adicionais à barra, que crescem junto com a carga. Este fenômeno é conhecido como flambagem (J.M de Araújo,2014). E pode ser dado pela equação diferencial de flambagem, a seguir:

$$EI\frac{d^4w}{dx^4} + P\frac{d^2w}{dx^2} = q$$

onde E é o Módulo de Elasticidade do material;

I é o Momento de Inércia da Seção;

w é o deslocamento da flambagem;

P é a carga axial aplicada (crescente no tempo);

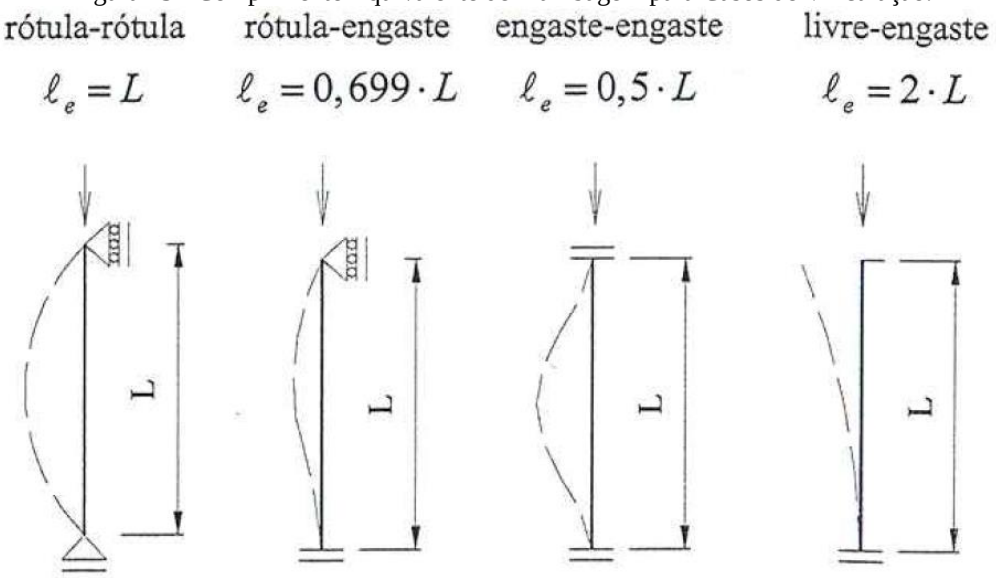
q são as prováveis cargas laterais;

Os momentos adicionais resultantes da flambagem são chamados de “momentos de segunda ordem”, e os deslocamentos crescentes culminam na instabilidade da barra, ao atingir-se a “carga crítica de flambagem”, dada por:

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 EI}{{l_e}^2}$$

Onde, l_e é o comprimento de flambagem, que depende das condições de contorno da equação diferencial de flambagem, segundo Figura 15.

Figura 15 - Comprimento Equivalente de Flambagem para Casos de Vinculação.



Fonte: CHUST (2009).

Para a NBR6118/, em pilares de concreto com nós fixos, é suficiente fazer

$$l_e \leq \begin{cases} l_0 + h \\ l \end{cases}$$

onde l_0 é a distância entre as faces internas;

h é a altura da seção transversal do pilar;

l é a distância entre eixos do elemento;

Analisando os termos das equações é possível notar que a carga crítica diminui o aumento do comprimento ou a redução da seção da barra. Um índice que avalia estas duas grandes, permitindo associação à facilidade de flambagem de um pilar, é o índice de esbeltez, γ.

$$\gamma = \frac{l_e}{i}$$

Onde, i é o raio de giração, dado por:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}};$$

2.7.4.3.2 Hipóteses de cálculo

Segundo J.M de Araújo, a equação diferencial de flambagem não é totalmente aplicável à pilares de concreto armado, devido a não linearidade e heterogeneidade do concreto, além do fato da existência de momentos iniciais e possíveis engastamentos parciais. Para tanto algumas

considerações devem ser feitas para que se simplifique o dimensionamento. Aqui, também são aplicáveis as hipóteses vistas em 2.7.4.2.1.

2.7.4.3.3 Excentricidades

Se uma força normal é aplicada no centro geométrico de um pilar, diz-se que este sofre compressão centrada ou simples; caso esta força seja aplicada a uma certa distância do seu centro geométrico, há uma flexão (composta se a força estiver no eixo de simetria, ou oblíqua se estiver em um ponto qualquer da seção). A essa distância entre a aplicação da força e o centro geométrico da seção, atribui-se o nome de Excentricidade (CHUST, 2009).

De uma maneira geral, as excentricidades podem ser divididas em:

- Excentricidade inicial (e_1): é aquela proveniente de um momento fletor aplicado ao pilar, como todo momento é formado por uma força e uma excentricidade, basta reduzir o momento e a força normal à excentricidade correspondente.

$$e_1 = \frac{M}{N}$$

- Excentricidade geométrica ou de forma (e_g): é a excentricidade devido ao posicionamento do eixo do pilar, em relação ao eixo da viga. Havendo portanto uma excentricidade real na aplicação da reação da viga no pilar.
- Excentricidade acidental (e_a): é a excentricidade que pode surgir devido as imperfeições locais das construções, como desaprumo de pilares. É dado pela NBR6118 por:

  - $e_a = \theta_1 . \frac{l}{2}$

  onde, θ_1é o desaprumo de um elemento vertical contínuo;
- Excentricidade inicial mínima ($e_{1,mín}$): é uma excentricidade acidental oriunda das imperfeições geométricas, de materiais, e das incertezas da aplicação das reações. Como o nome sugere, sempre existirá, ainda que não haja nenhuma outra excentricidade considerada. Para estruturas reticuladas adicionais é definida pela NBR6118 como:

$$e_{1,mín} = (0{,}015 + 0{,}03h)$$

  Onde, h é a altura da peça.
- Excentricidade de segunda ordem (e_2): é a excentricidade atribuída ao pilar para reproduzir o efeito da flambagem, calculado pela NBR6118 através do método do pilar padrão com curvatura aproximada, como:

$$e_2 = \frac{l_e^2 . 0{,}005}{10. h(\nu + 0{,}5)}$$

onde, ν é o adimensional do esforço normal reduzido,

$$\nu = \frac{N_d}{A_c . f_{cd}}$$

e, N_d é o esforço normal de cálculo,

A_c é a área de concreto da seção transversal do pilar,

- Excentricidade de fluência ou suplementar (e_{cc}): é a excentricidade devido a fluência do concreto, sendo necessária apenas em pilares esbeltos (índice de esbeltes, $\lambda > 90$).

2.7.4.3.4 Solicitações Cálculo - (Md, Nd)

Considerando então o exposto pela NBR6118 para excentricidades e estabilidade de pilares, a norma supracitada faz algumas considerações para o esforço M_d (momento de cálculo).

Conhecidos o par (N_k, M_k) e majorados pelos coeficientes de segurança para a obtenção de (N_d , M_{dA}) . Deve-se utilizar as excentricidades para o cálculo de $M_{d,tot}$.

Ainda que não haja momento aplicado (M_{dA}=0) e que a carga seja no eixo do pilar ($e_i = 0$; $e_g = 0$), há a excentricidade inicial mínima, de tal forma que se considera um momento inicial mínimo, dado por $M_{1d,mín} = e_{1,mín}. N_d$, ou seja.

$$M_{1d,mín} = (0{,}015 + 0{,}03h). N_d$$

Se $M_{dA} \neq 0$. Assume-se M_{dA}^{ef} = maior $\{M_{dA}, M_{1d,mín}\}$

É necessário ainda, verificar os efeitos locais de 2ª ordem oriundos da flambagem, para tanto a NBR6118 considera o índice de esbelteza, tal que:

Se $\lambda \leq \lambda_1$, despreza-se os efeitos de 2ª ordem, e $M_{d,tot} = M_{dA}^{ef}$.

Se $\lambda > \lambda_1$, considera-se os efeitos de 2ª ordem, e $M_{d,tot} = \alpha_b M_{dA}^{ef} + N_d . e_2$

onde,

$$\lambda_1 = \begin{cases} \dfrac{25 + 12.5\left(\dfrac{e_1}{h}\right)}{\alpha_b} \\ com\ 35 \leq \lambda_1 \leq 90 \end{cases}$$

$$\alpha_b = \begin{cases} 1; & se\ M_{dA} \leq M_{1,d,min} \\ 0{,}6 + 0.4\dfrac{M_B}{M_A} \geq 0.4; & se\ M_{dA} > M_{1,d,min} \end{cases}$$

Sendo, M_B e $M_{A,}$ os momentos iniciais nas extremidades do pilar. Adotando o maior valor absoluto para M_A, e para M_B o sinal positivo se tracionar a mesma face que M_A, e negativo, caso contrário.

Após obtenção do par de solicitações de cálculo ($N_d, M_{d,tot}$). É possível verificar se uma seção pré-definida com n camadas de armaduras e quantidade definida de barras por camada, resiste aos esforços solicitantes de cálculo. Esta verificação pode ser realizada a cada elemento a ser calculado, ou pode-se facilitar o processo através do uso de diagramas de interação ou tabelas de dimensionamento.

2.7.4.3.5 Tabelas de dimensionamento

Nesta obra será apresentado o método das tabelas de dimensionamento de J.M de Araújo (2014). (Vide ANEXO C) Para o emprego das mesmas, faz-se necessário, além do par de solicitações de cálculo ($N_d, M_{d,tot}$), determinar os seguintes parâmetros:

- ν: adimensional do esforço normal reduzido,

$$\nu = \frac{N_d}{h.b.\sigma_{cd}}$$

- μ: adimensional do esforço de momento reduzido,

$$\mu = \frac{M_{d,tot}}{b.h^2.\sigma_{cd}}$$

com, σ_{cd} = 0,85f_{cd}

- δ: parâmetro que indica a relação entre a altura da peça e a posição da camada de armadura.

Com esses parâmetros de entrada é possível determinar nas tabelas (ou nos diagramas de interação) a taxa de aço ω necessária, e com esta, a área de aço (A_s):

$$A_s = \frac{\omega.b.h.\sigma_{cd}}{f_{yd}}$$

2.7.4.4 Sapatas

Segundo a NBR6122/10, fundações superficiais (ou rasas ou diretas) são aquelas cujo esforço é transmitido ao terreno pelas pressões sob a base da fundação, e, sua profundidade em relação ao terreno não é maior do que o dobro da dimensão da fundação. Neste grupo de fundações se encontram, entre outros, as sapatas, cujos esforços preponderantes são de flexão.

2.7.4.4.1 Tensão do solo

Para o dimensionamento da tensão admissível do solo para efeito de cálculo, há várias metodologias entre os autores da bibliografia, uma das mais consagradas, devido sua

praticidade, corresponde à estimativa através do ensaio de resistência à penetração (SPT). (HACHICH, W. et al, 1998).

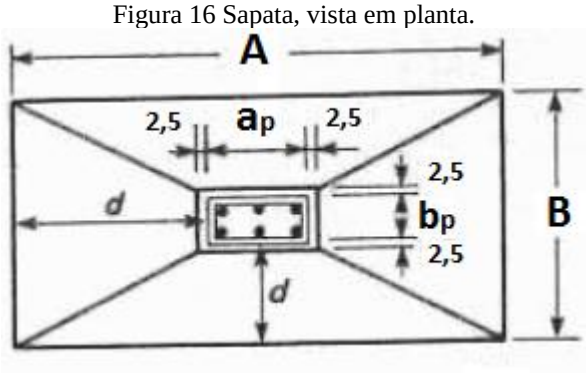
$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT,med}}{50}\ (MPa) = \ 2N\ (tf/m^2)\ ,\ \text{para } 5 \leq N_{SPT,med} \leq 20$$

onde,

$N_{SPT,med}$: média da resistência SPT no bulbo de tensões da sapata, ou seja, da cota de assentamento até 2x(lado da sapata).

2.7.4.4.2 Dimensionamento Geométrico em planta

Figura 16 Sapata, vista em planta.



Fonte: Alonso (1983).

Para o dimensionamento em planta baixa é necessário que a área seja suficiente para distribuir a tensão solicitante e o peso próprio da sapata. Como esta última parcela é ainda desconhecida durante o dimensionamento, é conveniente admitir o peso próprio da sapata como 10% da carga característica. (Alonso, 1983).

$$\sigma_{adm} \geq \frac{N_k + PP}{S}$$

onde, PP ≅ 0,1N_k

S é a área da base da Sapata.

Segundo o mesmo autor, admitindo uma sapata retangular, e uma vez conhecida sua área, a seção mais eficiente será aquela que atender as seguintes recomendações (Ver Figura 16):

a) Os centros de gravidade da sapata e do pilar devem coincidir;
b) Todas as dimensões devem ser superiores a 60cm;
c) A relação entre os lados A e B, deve menor ou igual a 2,5 ($\frac{A}{B} \leq 2{,}5$);
d) A e B devem ser escolhidos tal que os balanços da sapata em relação à face do pilar, sejam iguais nas duas direções.

Do exposto em d), a forma da sapata fica condiciona à forma do pilar, tal que, se:

- Pilar Quadrado, é fácil verificar que:

$$A = B = \sqrt{\frac{1{,}1N_k}{Área}}$$

- Pilar Retangular com lados diferentes:

$$B - A = b_p - a_p$$

$$S = B.A \geq \frac{1{,}1N_k}{\sigma_{adm}}$$

Reescrevendo,

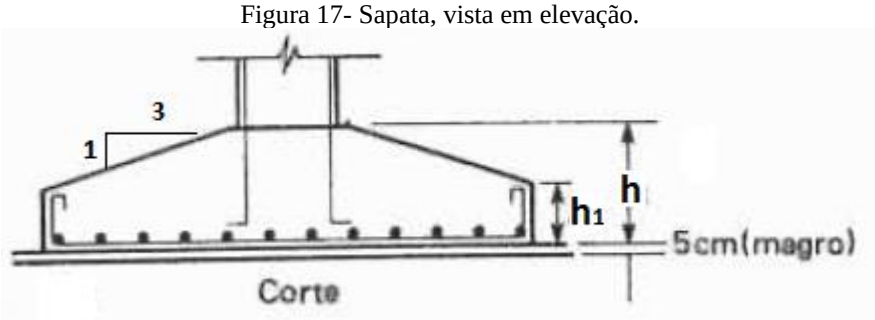
$$A = \frac{a_p - b_p}{2} + \sqrt{\frac{(a_p - b_p)^2}{4} + S}$$

$$B = \frac{S}{A}$$

Para A > B.

2.7.4.4.3 Dimensionamento Geométrico em elevação

Figura 17- Sapata, vista em elevação.



Fonte: Alonso (1983).

Segundo Alonso (1983), e a BNR6118/14, o dimensionamento em elevação consiste em determinar h, h_1, tal que:

$$h \geq \begin{cases} \dfrac{A - a_p}{3} \\ 1{,}44\sqrt{\dfrac{1{,}1N_k}{0{,}85\dfrac{fck}{1{,}96}}} \\ 0{,}7l_b + c \end{cases}$$

onde, l_b: é o comprimento de ancoragem, dado na norma NBR6118

$$l_b = \frac{\emptyset}{1{,}35}\left(\frac{f_{yd}}{(f_{ck})^{\frac{2}{3}}}\right);$$

c é o cobrimento

$$h_1 \geq \begin{cases} 15\ cm \\ 0{,}4h \\ h - \left(\dfrac{A - a_p}{6}\right) \end{cases}$$

2.7.4.4.4 Verificação do Peso Próprio e Tensão Real

Após dimensionamento realizado, é necessário verificar se o peso próprio estimado inicialmente (PP $\cong 0{,}1N_k$) condiz com a tensão admissível.

Através do volume do tronco de pirâmide da sapata:

$$V_2 = \frac{(h - h')}{3}\ (A.B + \ a_p.b_p + \sqrt{A.B.a_p.b_p})$$

Do volume do paralelepípedo correspondente na base:

$$V_1 = A.B.h'$$

E da densidade do concreto definida por 25.10^{-2}MN/m^3, e possível verificar o Peso Próprio:

$$PP\ (MN) = \frac{0{,}025MN}{m^3}(V_1 + V_2)$$

E recalcular o valor real da tensão solicitante do solo:

$$\frac{N_k + PP}{A.B} = \ \sigma_{real}\ \leq \sigma_{adm}$$

Caso, $\sigma_{real}\ \geq \sigma_{adm}$, aumenta-se o valor de A e/ou B e se realiza novo dimensionamento.

2.7.4.4.5 Verificação de punção

Segundo a NBR6118, a verificação à punção das sapatas é realizada considerando o comportamento da mesma como uma laje, e analisando o cisalhamento em duas superfícies críticas, tais que a tensão de cisalhamento solicitante, deve ser menor ou igual que à resistente, $\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2}$. Dadas por:

$$\tau_{Rd2} = 0{,}27\alpha_v.f_{cd}$$

$$\tau_{sd} = \frac{N_d}{U_o.d}$$

onde,:

$N_d = 1{,}4.N_k$; $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1{,}4}$; $d = h - c$; $\alpha_v = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$

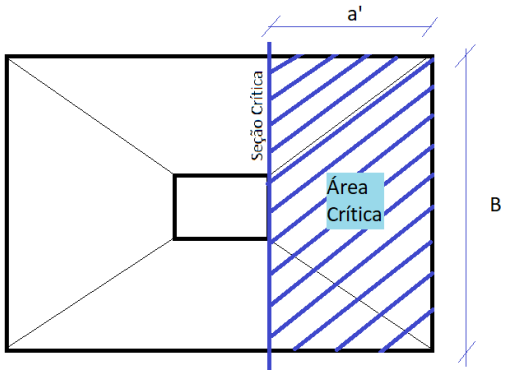
$U_0 = perímetro\ crítico\ do\ pilar = 2(a_p + b_p)$

Caso, $\tau_{sd} \geq \tau_{Rd2}$, deve-se aumentar h, e se realizar novo dimensionamento.

2.7.4.4.6 Dimensionamento à Flexão

Conforme Alonso (1983), o Momento Crítico para realização do dimensionamento da área de aço à flexão deve ser realizado na seção crítica da face do pilar, conforme a seguir:

Figura 18 – Seção Crítica para cálculo de flexão.



Fonte: O Autor (2019).

O momento crítico será dado na seção crítica, correspondendo à:

$$M_{crit} = (Área\ Crítica).(tensão\ de\ cálculo).(distância\ à\ face\ do\ pilar)$$

$$M_{crit} = a'.B.\sigma_{sd}.\frac{a'}{2}$$

2.8 Instalações Prediais de Água Fria

2.8.1 Sistema de Distribuição de água aos aparelhos

Segundo Macintyre (1990), a distribuição de água fria da rede pública de abastecimento até os pontos de utilização da residência podem ser realizada de três formas.

2.8.1.1 Sistema Direto de Distribuição

A rede interna de distribuição da edificação é diretamente ligada ao distribuidor público, sem necessidade de reservatório. Para tanto, a distribuição pública deve ser contínua, abundante e com pressão suficiente.

2.8.1.2 Sistema Indireto de Distribuição

Devido a pouca pressão e/ou descontinuidade no abastecimento público, utiliza-se reservatórios para suprir tais necessidades, e a partir deste é que se faz a distribuição.

Caso a pressão da rede pública seja suficiente para levar a água ao reservatório superior, não se necessita de bombeamento. Esse subtipo de sistema é chamado de Sistema Indireto sem bombeamento.

Caso a pressão seja insuficiente, é necessário utilização do sistema de bombeamento de água ao reservatório superior. É o chamado Sistema Indireto com bombeamento.

2.8.1.3 Sistema Misto de Distribuição

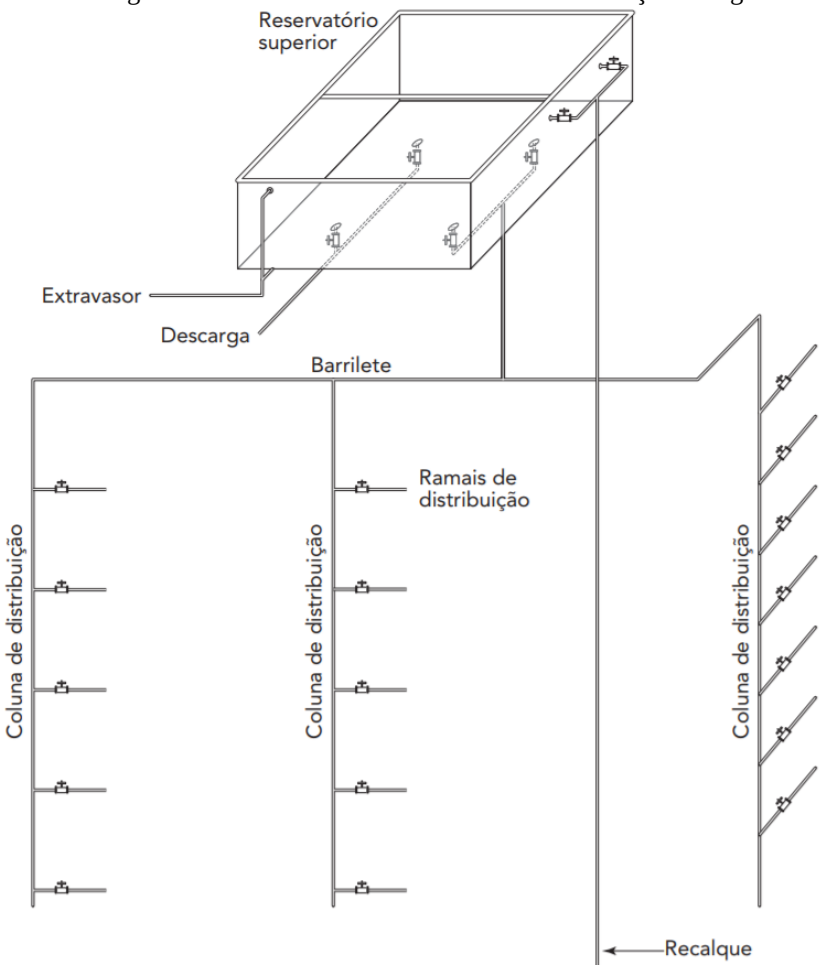
Quando alguns pontos de utilização são abastecidos por reservatórios, e outros pontos são abastecidos diretamente pelo distribuidor público, utilizando ao mesmo tempo o sistema direto e indireto de distribuição, chama-se Sistema Misto.

O Sistema Misto pode ainda ser dito da utilização não simultânea, mas alternada, do reservatório e rede pública, como acontece em algumas indústrias como medida de segurança.

2.8.2 Partes Constituintes do Sistema Indireto de Distribuição.

Como nesse trabalho se discorrerá sobre o Sistema de Distribuição Indireto, excetuando-se o sistema de bombeamento, apresenta-se aqui as nomenclaturas de suas partes, conforme figura a seguir.

Figura 19 - Partes do Sistema Predial de Distribuição de Água



Fonte: adaptado de Carvalho Junior (2014)

2.8.3 Dimensionamento

O dimensionamento aqui apresentado é baseado na norma brasileira NBR5626/1998 da ABNT. Sendo demonstrado o sistema a partir da distribuição do reservatório superior.

2.8.3.1 Consumo diário

O Consumo diário é estimado através do consumo per capita de habitantes, multiplicado pelo consumo diário de cada habitante, conforme equação a seguir.

$$Cd = P.q$$

onde P é a população que ocupará a edificação (hab)

q é o consumo per capita (l/dia.hab)

Segundo a NBR5626/1998, tais valores devem ser observados segundo a concessionária local.

Neste trabalho, serão utilizados os valores estimados, conforme quadros a seguir.

Quadro 22 – Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local

Natureza do local	Taxa de ocupação
Residências e apartamentos	Duas pessoas por dormitório
Bancos	Uma pessoa por 5,00 m² de área
Escritórios	Uma pessoa por 6,00 m² de área
Lojas (pavimento térreo)	Uma pessoa por 2,50 m² de área
Lojas (pavimento superior)	Uma pessoa por 5,00 m² de área
Shopping centers	Uma pessoa por 5,00 m² de área
Museus e bibliotecas	Uma pessoa por 5,50 m² de área
Salões de hotéis	Uma pessoa por 5,50 m² de área
Restaurantes	Uma pessoa por 1,40 m² de área
Teatro, cinemas e auditórios	Uma cadeira para cada 0,70 m² de área

Fonte: Carvalho Junior (2014).

Quadro 23 – Consumo predial diário de água

Tipo do prédio	Unidade	Consumo l/dia
1. Serviço doméstico		
Apartamentos em geral	*per capita*	200 a 250
	por qto. de empregada	200
Residências	*per capita*	250
Residências populares e rurais	*per capita*	120 a 150
Alojamentos provisórios de obra	*per capita*	80
Apartamento de zelador		600 a 1.000
2. Serviço público		
Edifícios de escritórios e comerciais	por ocupante efetivo	50 a 80
Escolas, internatos	*per capita*	150
Escolas, externatos	*per capita*	50
Escolas, semi-internatos	*per capita*	100
Hospitais e casas de saúde	por leito	250
Hotéis com coz. e lavanderia	por hóspede	250 a 350
Hotéis sem coz. e lavanderia	por hóspede	120
Lavanderias	por kg de roupa seca	30
Quartéis	por soldado	150
Cavalariças	por cavalo	100
Restaurantes	por refeição	25
Mercados	por m^2 de área	5
Garagens e postos de serviços para automóveis	por automóvel	100 a 150
	por caminhão	200
Rega de jardins	por m^2 de área	1,5
Cinemas, teatros	por lugar	2
Igrejas	por lugar	2
Ambulatórios	*per capita*	25
Creches	*per capita*	50
3. Serviço industrial		
Fábricas (uso pessoal)	por operário	70 a 80
Fábricas com restaurante	por operário	100
Usinas de leite	por litro de leite	5
Matadouros	por animal abatido (de grande porte)	300
Matadouros	Idem de pequeno porte	150
4. Piscinas (domiciliares) — lâmina d'água de 2 cm, por dia		

Fonte: Macintyre (1990).

2.8.3.2 Capacidade do Reservatório

Segundo a NBR5626/1998, os reservatórios devem ser suficiente para abastecer o edifício por, no mínimo, 24 horas de consumo normal, sendo um mínimo de 500 litros para edificações de pequeno porte. E um volume máximo garanta o consumo normal de 72 horas, a fim de que se garanta a potabilidade da água parada.

Deve-se ainda prever um adicional de reserva de incêndio, segundo normas locais do corpo de bombeiros, podendo este ser desconsiderado em caso de residência familiar.

2.8.3.3 Vazões de utilização

A vazões da tubulação do sistema são dimensionadas conforme os pesos de utilização das peças sanitárias indicados na norma (Quadro 24).

$$Q = 0{,}3\sqrt{\Sigma P}$$

onde Q é a vazão na tubulação considerada (l/s);

ΣP é a soma dos pesos relativos de todas as peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada;

Quadro 24 - Pesos relativos de acordo com o aparelho sanitário e peça de utilização

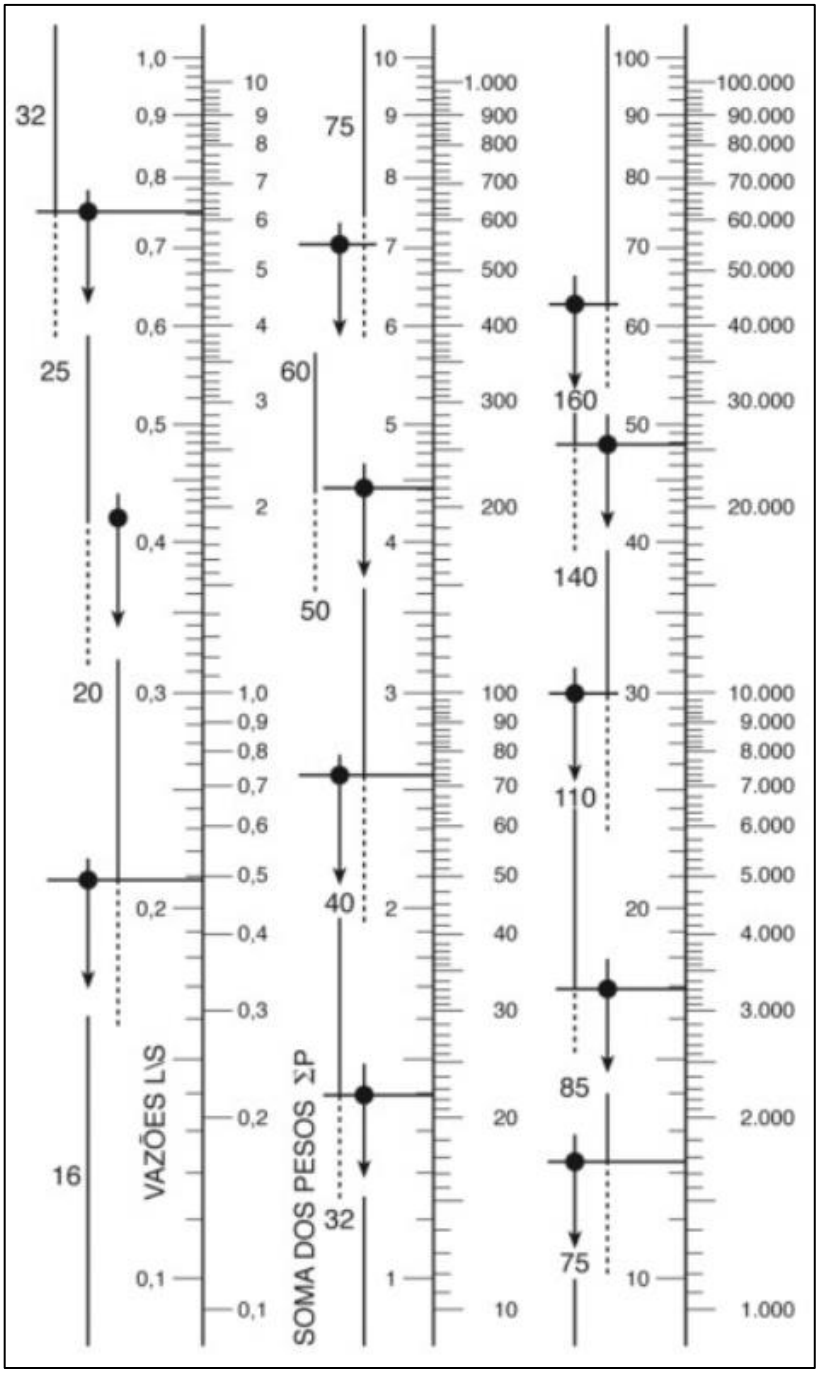
Aparelho Sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto (L/s)	Peso relativo
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,70	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebedouro		Registro de pressão	0,10	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,10	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20	0,4
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30	1,0
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,10	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20	0,4

Fonte: ABNT NBR5626 (1998).

2.8.3.4 Diâmetro das Tubulações

Segundo Carvalho Junior (2014), o diâmetro das tubulações de abastecimento podem ser correlacionados com o somatório dos pesos das mesmas (conforme item anterior), através do ábaco de pesos, vazões e diâmetros a seguir.

Figura 20 – Ábaco de Pesos, Vazões e Diâmetros



Fonte: Carvalho Junior (2014).

Para edificações de pequeno porte, o ábaco pode ser simplificado através do quadro a seguir:

Quadro 25 – Resumo do ábaco de pesos e diâmetros, para soma de pesos até 100.

Soma dos pesos	0	⟺	1,1	⟺	3,5	⟺	18	⟺	44	⟺	100
ø Soldável (mm)		20 mm		25 mm		32 mm		40 mm		50 mm	
ø Roscável (pol.)		1/2″		3/4″		1″		1.1/4″		1.1/2″	

Fonte: Carvalho Junior (2014).

2.8.3.5 Perda de Carga

Segundo a teoria do escoamento de fluidos, estes gastam energia potencial para se deslocar de um ponto a outro. Para as instalações de água, este gasto de energia é chamado de carga hidráulica, a diferença de carga hidráulica necessária para o deslocamento de um ponto a outro é denominada de Perda de Carga (Macintyre, 1990).

A Perda de Carga surge em função da rugosidade contínua das tubulações (Perda de Carga Distribuída) e das descontinuidades pontuais no fluxo devido às conexões e registros (Perda de Carga Concentrada).

A norma NBR5626/1998, estabelece um valor de perda de carga unitária, que corresponde à perda de carga por metro de tubulação. Para este cálculo, as conexões e registros são convertidos em comprimento de tubulação equivalente (Quadros 26 e 27), e fim de se verificar as Perdas de Cargas Concentradas. A perda de carga unitária varia com o material e rugosidade da tubulação considerada, para tubos lisos de PVC, Cobre ou Liga de Cobre, a equação é dada por:

$$J = 8{,}69.10^{6}.Q^{1{,}75}.D^{-4{,}75}$$

onde J é a parda de carga unitária (KPa/m)

Q é a vazão na seção considerada (l/s)

D é o diâmetro interno do tubo (mm)

Quadro 26 – Perda de carga em conexões – Comprimento equivalente para tubo liso (PVC e cobre)

Diâmetro nominal (DN)	Tipo de conexão					
	Cotovelo		Curva		Tê de passagem	
	90°	45°	90°	45°	direta	lateral
15	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3
20	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4
25	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1
32	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6
40	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3
50	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6
65	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8
80	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0
100	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3
125	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0
150	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1

Fonte: ABNT NBR5626 (1998).

Quadro 27 - Perda de carga em válvulas, registros e entradas – Comprimento equivalente

DIÂMETROS										
DN mm		20	25	32	40	50	60	75	85	110
Ref. pol.		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
Entrada normal		0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,5	1,6	2,0	2,2
Entrada de borda		0,9	1,0	1,3	1,8	2,3	2,8	3,3	3,7	4,0
Saída de canalização		0,8	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9
Válvula de pé e crivo		8,1	9,5	13,3	15,5	18,3	23,7	25,0	26,8	28,6
Válvula de re-tenção tipo leve		2,5	2,7	3,8	4,9	6,8	7,1	8,2	9,3	10,4
Válvula de re-tenção pesado		3,6	4,1	5,8	7,4	9,1	10,8	12,5	14,2	16,0
Registro globo aberto		11,1	11,4	15,0	22,0	35,8	37,9	38,0	40,0	42,3
Registro gaveta aberto		0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0
Registro ângulo aberto		5,9	6,1	8,4	10,5	17,0	18,5	19,0	20,0	22,1

Fonte: Adaptado de Carvalho Junior (2014)

2.8.3.6 Pressão e Velocidade de Utilização

Segundo a ABNT NBR5626/1998, para evitar problemas adicionais à distribuição, a velocidade em qualquer trecho do sistema não deve ser superior a 3m/s. E a pressão deve obedecer os seguintes critérios:

- Em qualquer ponto de utilização, a pressão dinâmica deve obedecer a vazão necessária da peça (Quadro 24), não podendo ser menor que 10 KPa; com exceção do ponto da caixa de descarga que pode ser o mínimo de 5KPa; e da válvula de descarga para bacia sanitária que deve ser o mínimo de 15KPa;
- Em qualquer ponto de utilização a pressão estática não deve superior a 400KPa;
- Em qualquer trecho da rede de distribuição, a pressão dinâmica não deve ser inferior a 5KPa;

2.8.3.7 Rotina de Cálculo do Sistema

Para o dimensionamento do sistema de distribuição, a norma NBR5626/1998 sugere a utilização de uma planilha de dimensionamento (Quadro 28) para que realize as verificações de

velocidade, pressões dos trechos, e perdas de cargas do sistema como um todo. Para a utilização dessa planilha (Quadro 28) a norma detalha a rotina de dimensionamento.

1) Preparar isométrico da rede e enumerar sequencialmente cada nó e cada ponto de utilização;
2) Introduzir cada trecho na planilha (coluna 1);
3) Determinar a soma dos pesos de cada trechos, conforme Quadro 24 (coluna 2);
4) Calcular para cada trecho a vazão estimada, conforme item 2.8.3.3 (coluna 3);
5) Partindo da origem de montante selecionar o diâmetro, respeitando a velocidade limite de 3m/s. Calculando automaticamente a velocidade, e perda de carga unitária (coluna 4, 5 e 6) (pode-se utilizar o ábaco de 2.8.3.4 para facilitar);
6) Determinar a diferença de cota trecho (pode-se considerar o reservatório como cota de referência absoluta para simplificação) (coluna 7)
7) Determinar a pressão disponível (estática) na saída de cada trecho, considerando a cota e a altura do nível de água (coluna 8);
8) Medir o comprimento real de cada trecho; (coluna 9);
9) Determinar o comprimento equivalente das conexões (Quadros 26 e 27) (coluna 10);
10) Determinar a perda de carga distribuída de cada trecho, multiplicando os valores da perda de carga unitária e comprimento real (coluna 11)
11) Determinar a perda localizada de carga de cada trecho, multiplicando os valores da perda de carga unitária e comprimento equivalente (coluna 12)
12) Determinar a perda de carga total de cada trecho, somando as perdas de cargas localizadas e distribuídas (coluna 13);
13) Determinar a pressão disponível residual (dinâmica) na saída de cada trecho, subtraindo a perda de carga total da pressão disponível;
14) Se a pressão residual for menor que a pressão requerida nos pontos de utilização, selecionar um diâmetro maior e recalcular iterativamente;

Quadro 28 – Modelo de planilha para rotina de cálculo

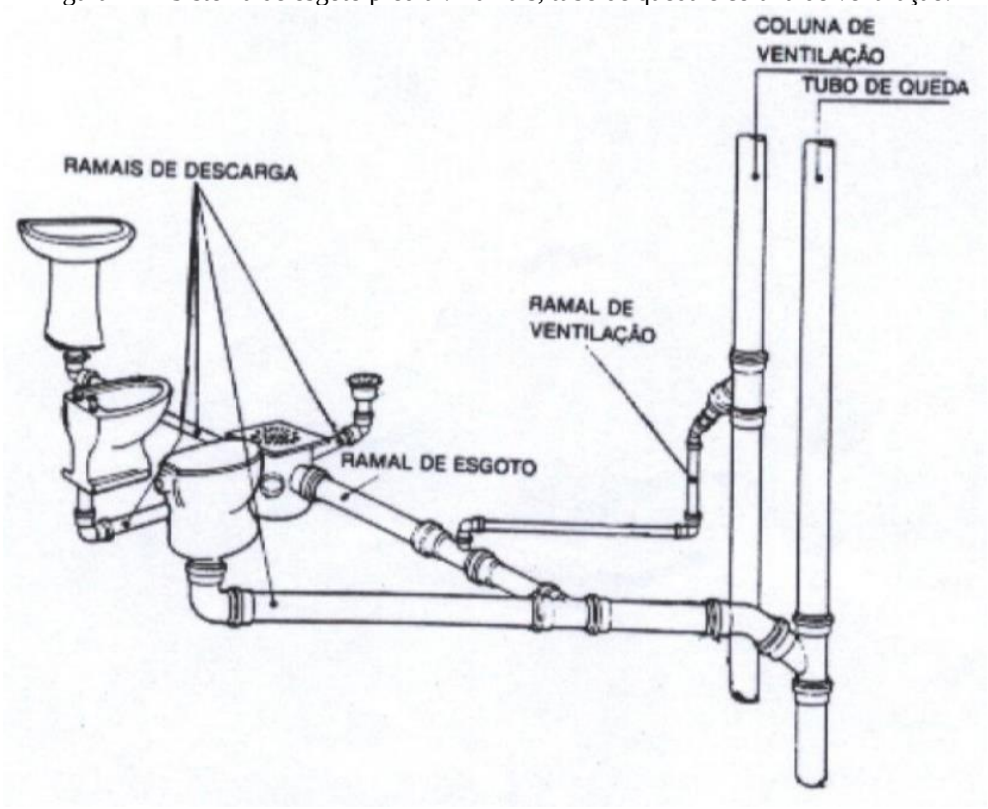
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Trecho	Soma dos pesos	Vazão estimada	Diâmetro	Velocidade	Perda de carga unitária	Diferença de cota	Pressão disponível	Comprimento das		Perda de carga			Pressão disponível residual	Pressão requerida no ponto de
								Real	Equivalente	Tubulação	Registros e outros	Total		
OBS.:	Relação de colunas					desce + sobe -	(14)+10x(7)			(10)x(6)		(11)+(12)	(8)-(13)	
	Unidade:	L/s	mm	m/s	kPa/m	m	kPa	m	m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa

Fonte: ABNT NBR5626 (1998).

2.9 Instalações de Esgoto Sanitário Residencial

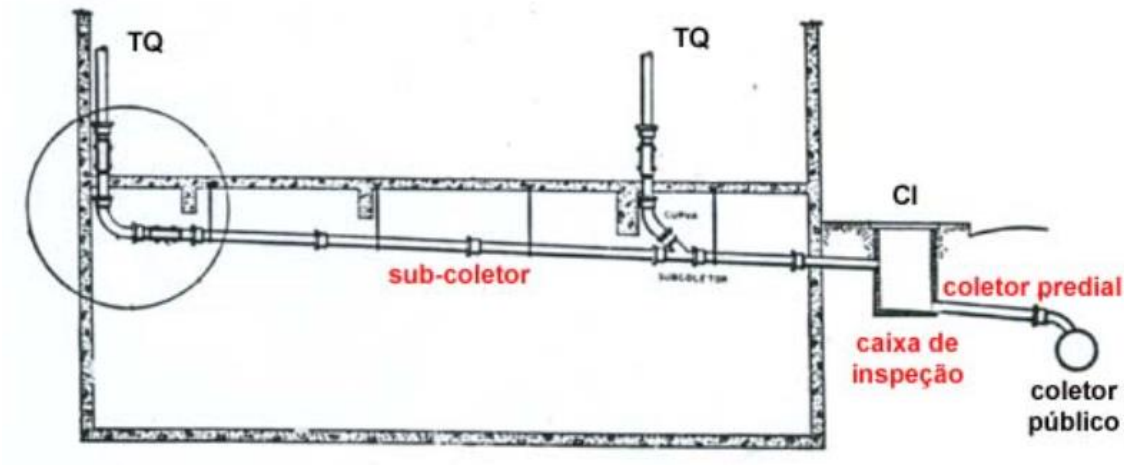
O dimensionamento aqui apresentado é baseado na norma brasileira NBR8160/1999 da ABNT. E está ordenado conforme encaminhamento do esgoto ao longo da residência até seu destino no sistema público de esgoto, conforme figuras a seguir.

Figura 21 – Sistema de esgoto predial: Ramais, tubo de queda e coluna de ventilação.



Fonte: Tubos e Conexões Tigre S.A, 1987. (apud FONTES, Luiz Carlos A. de .A, 2010).

Figura 22 – Sistema de esgoto predial: Subcoletores, coletores e caixa de inspeção.



Fonte: Adaptado de Macintyre (1990).

2.9.1 Ramais de Descarga e de Esgoto

São tubulações horizontais diretamente ligadas às peças de utilização. Por trabalharem o escoamento à gravidade devem apresentar inclinação constante, conforme os seguintes critérios da NBR8160/1999:

- Declividades mínimas de 2% para tubulações com diâmetro nominal igual ou inferior a 75 mm e 1% para tubulações com diâmetro nominal igual ou superior a 100 mm;
- As mudanças de direção nos trechos horizontais devem ser feitas com peças de ângulo central igual ou inferior a 45°;
- As mudanças de direção horizontal para vertical podem ser executadas com peças de ângulo central igual ou inferior a 90°;

O dimensionamento é realizado consideram-se a contribuição de cada peça sanitária através de Unidades de Hunter de Contribuição (UHC), segundo os quadros a seguir:

Quadro 29 - Dimensionamento de Ramais de Esgoto.

Diâmetro nominal mínimo do tubo *DN*	Número máximo de unidades de Hunter de contribuição UHC
40	3
50	6
75	20
100	160

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

Quadro 30 – Unidade de Hunter de Contribuição (UHC) dos aparelhos sanitários e Diâmetro Nominal (DN) dos ramais de descarga.

Aparelho sanitário		Número de unidades de Hunter de contribuição *UHC*	Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga *DN*
Bacia sanitária		6	100[1]
Banheira de residência		2	40
Bebedouro		0,5	40
Bidê		1	40
Chuveiro	De residência Coletivo	2 4	40 40
Lavatório	De residência De uso geral	1 2	40 40
Mictório	Válvula de descarga Caixa de descarga Descarga automática De calha	6 5 2 2[2]	75 50 40 50
Pia de cozinha residencial		3	50
Pia de cozinha industrial	Preparação Lavagem de panelas	3 4	50 50
Tanque de lavar roupas		3	40
Máquina de lavar louças		2	50[3]
Máquina de lavar roupas		3	50[3]

[1] O diâmetro nominal *DN* mínimo para o ramal de descarga de bacia sanitária pode ser reduzido para *DN* 75, caso justificado pelo cálculo de dimensionamento efetuado pelo método hidráulico apresentado no anexo B e somente depois da revisão da NBR 6452:1985 (aparelhos sanitários de material cerâmico), pela qual os fabricantes devem confeccionar variantes das bacias sanitárias com saída própria para ponto de esgoto de *DN* 75, sem necessidade de peça especial de adaptação.
[2] Por metro de calha - considerar como ramal de esgoto (ver tabela 5).
[3] Devem ser consideradas as recomendações dos fabricantes.

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

Quadro 31 – UHC para aparelhos não relacionados no quadro acima.

Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga *DN*	Número de unidades de Hunter de contribuição UHC
40	2
50	3
75	5
100	6

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.2 Tubos de Queda

São tubulações verticais de diâmetro constante, calculados conforme o Quadro 32. Caso haja desvios maiores que 45º, a parte horizontal do desvio deve ser considerada como um subcoletor para fim de cálculo; as partes superior e inferior do desvio devem consideradas como tubos de queda independentes.

Quadro 32- Dimensionamento de Tubos de Queda.

Diâmetro nominal do tubo DN	Número máximo de unidades de Hunter de contribuição	
	Prédio de até três pavimentos	Prédio com mais de três pavimentos
40	4	8
50	10	24
75	30	70
100	240	500
150	960	1.900
200	2.200	3.600
250	3.800	5.600
300	6.000	8.400

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.3 Subcoletores e Coletor Predial

São tubulações horizontais, cujas declividades seguem os parâmetros dos ramais de descargas e de esgoto, e o dimensionamento é dado conforme Quadro 33. Seguindo as seguintes recomendações.

- Em caso de desvios, deve ser instalado elemento de inspeção (caixas de inspeção) e esses desvios devem ter ângulo central igual ou inferior a 45º.
- Diâmetro mínimo de 100 mm;
- Para o caso de edificações residenciais, deve ser considerado apenas o aparelho de maior descarga de cada banheiro para o somatório do número de unidades de Hunter de contribuição.

Quadro 33 – Dimensionamento de subcoletores e coletor predial.

Diâmetro nominal (DN)	**Número máximo de unidades Hunter de contribuição em função das declividades mínimas %**			
	0,5	**1**	**2**	**4**
100	-	180	216	250
150	-	700	840	1000
200	1400	1600	1920	2300
250	2500	2900	3500	4200
300	3900	4600	5600	6700
400	7000	8300	10000	12000

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.4 Desconectores

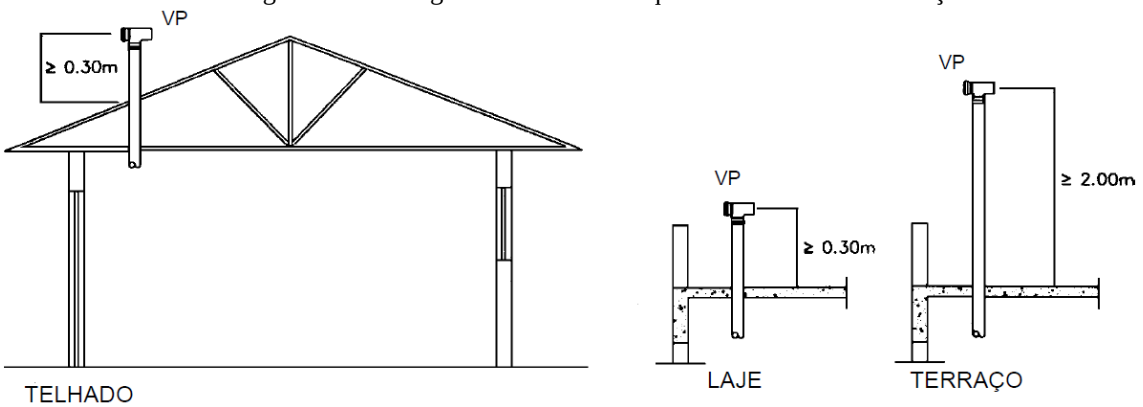
São dispositivos hidráulicos destinados a vedar a passagem de gases, do interior da tubulação para o interior dos edifícios. Segundo a NBR8160/99, as seguintes recomendações devem ser seguidas:

- Ter fecho hídrico com altura mínima de 0,05m;
- Apresentar orifício de saída com diâmetro igual ou superior ao diâmetro de entrada;
- Para caixas sifonadas, devem ser consideradas as seguintes características mínimas:
    a) ser de DN 100, quando receberem efluentes de aparelhos sanitários até o limite de 6 UHC;
    b) ser de DN 125, quando receberem efluentes de aparelhos sanitários até o limite de 10 UHC;
    c) ser de DN 150, quando receberem efluentes de aparelhos sanitários até o limite de 15 UHC.

2.9.5 Ventilação

Corresponde ao sistema de tubulação responsável por levar à atmosfera os gases gerados na tubulação, evitando também a entrada dos mesmos na edificação. Para tal, a norma NBR8160/99 define uma distância entre a extremidade aberta do tubo de ventilação e a superfície da edificação, de acordo com a Figura 23.

Figura 23- Prolongamento do tubo de queda ou coluna de ventilação.



Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

A ventilação deve ainda ser conectada a todo desconector, a fim de aliviar as pressões, respeitando-se os valores do quadro a seguir.

Quadro 34 – Distância máxima de um desconector ao tubo ventilador.

Diâmetro nominal do ramal de descarga *DN*	Distância máxima m
40	1,00
50	1,20
75	1,80
100	2,40

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.5.1 Ramal de ventilação

O dimensionamento do ramal de ventilação deve ser realizado de acordo com o quadro a seguir.

Quadro 35 - Dimensionamento de ramais de ventilação.

Grupo de aparelhos sem bacias sanitárias		Grupo de aparelhos com bacias sanitárias	
Número de unidades de Hunter de contribuição	Diâmetro nominal do ramal de ventilação	Número de unidades de Hunter de contribuição	Diâmetro nominal do ramal de ventilação
Até 12	40	Até 17	50
13 a 18	50	18 a 60	75
19 a 36	75	-	-

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.5.2 Coluna de Ventilação

As colunas de ventilação devem possuir diâmetro uniforme. Sua extremidade inferior deve ser ligada a um subcoletor, coletor, ou tubo de queda. Sendo dimensionado conforme o quadro a seguir.

Quadro 36 - Dimensionamento de colunas de ventilação.

Diâm. Nom. do TQ ou Ramal de Esgoto	Número de unidades Hunter de contribuição	Diâmetro nominal mínimo do tubo de ventilação							
		40	50	75	100	150	200	250	300
		Comprimento permitido (m)							
40	8	46	-	-	-	-	-	-	-
40	10	30	-	-	-	-	-	-	-
50	12	23	61	-	-	-	-	-	-
50	20	15	46	-	-	-	-	-	-
75	10	13	46	317	-	-	-	-	-
75	21	10	33	247	-	-	-	-	-
75	53	8	29	207	-	-	-	-	-
75	102	8	26	189	-	-	-	-	-
100	43	-	11	76	299	-	-	-	-
100	140	-	8	61	229	-	-	-	-
100	320	-	7	52	195	-	-	-	-
100	530	-	6	46	177	-	-	-	-
150	500	-	-	10	40	305	-	-	-
150	1100	-	-	8	31	238	-	-	-
150	2000	-	-	7	26	201	-	-	-
150	2900	-	-	6	23	183	-	-	-
200	1800	-	-	-	10	73	286	-	-
200	3400	-	-	-	7	57	219	-	-
200	5600	-	-	-	6	49	186	-	-
200	7600	-	-	-	5	43	171	-	-
250	4000	-	-	-	-	24	94	293	-
250	7200	-	-	-	-	18	73	225	-
250	11000	-	-	-	-	16	60	192	-
250	15000	-	-	-	-	14	55	174	-
300	7300	-	-	-	-	9	37	116	287
300	13000	-	-	-	-	7	29	90	219
300	20000	-	-	-	-	6	24	76	186
300	26000	-	-	-	-	5	22	70	152

Fonte: ABNT NBR 8160 (1999).

2.9.6 Dispositivos Complementares

2.9.6.1 Caixa de gordura

Os efluentes que possuem resíduos gordurosos devem ser destinados às caixas de gordura, que devem ser vedadas e acumular a gordura entre cada operação de limpeza.

De acordo com a NBR 8160/1999, o dimensionamento das caixas de gordura devem ser feito da seguinte maneira:

a) Para a coleta de apenas uma cozinha, pode ser usada a caixa de gordura pequena ou a caixa de gordura simples;
b) Para a coleta de duas cozinhas, pode ser usada a caixa de gordura simples ou a caixa de gordura dupla;

c) Para a coleta de três até 12 cozinhas, deve ser usada a caixa de gordura dupla;
d) para a coleta de mais de 12 cozinhas, ou ainda, para cozinhas de restaurantes, escolas, hospitais, quartéis, etc., devem ser previstas caixas de gordura especiais.

Para o caso de pias de cozinha ou máquinas de lavar louças instaladas em vários pavimentos, deve haver tubos de queda exclusivos para gordura, ligados à caixas de gordura coletivas, sendo vedado o uso de caixas de gordura individuais nos andares.

2.9.6.2 Caixas de Inspeção

Segundo a NBR8160/1999, as caixas e de inspeção devem obedecer:

a) profundidade máxima de 1,00 m;
b) forma prismática, de base quadrada ou retangular, de lado interno mínimo de 0,60m, ou cilíndrica com diâmetro mínimo igual a 0,60 m;
c) tampa facilmente removível, permitindo perfeita vedação;
d) fundo construído de modo a assegurar rápido escoamento e evitar formação de depósitos.
e) a distância entre dois dispositivos de inspeção não deve ser superior a 25,00 m;
f) a distância entre a ligação do coletor predial com o público e o dispositivo de inspeção mais próximo não deve ser superior a 15,00 m;
g) os comprimentos dos trechos dos ramais de descarga e de esgoto de bacias sanitárias, caixas de gordura e caixas sifonadas, medidos entre os mesmos e os dispositivos de inspeção, não devem ser superiores a 10,00 m.

Como supracitado, os conhecimentos de projetos de estrutura de concreto armado e instalações hidrossanitárias são baseados nas teorias clássicas de mecânica dos sólidos e dos fluidos, e regidos pela ABNT, a fim de se garantir a padronização, eficiência e segurança dos projetos.

Tais conhecimentos serão aplicados neste trabalho de forma tecnológica através da metodologia BIM, para o planejamento de um projeto integrado multidisciplinar, que demonstrará a importância e eficiência da Modelagem da informação da Construção para a Industria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação de obras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização e análise da atividade proposta é necessário a elaboração e estudo dos conteúdos a serem abordados. Para tanto é de suma importância a descrição das atividades que serão realizadas associado a esse contexto teórico. A metodologia adotada para estruturação deste trabalho está listada abaixo conforme a atividade a ser desenvolvida e indexada por ordem cronológica.

3.1 Escolha das ferramentas BIM

Para o desenvolvimento deste trabalho, serão utilizadas as ferramentas BIM da empresa Autodesk com suas devidas licenças estudantis. Esta escolha se dá ao fato de um prévio conhecimento de alguns destes softwares, em conjunto com interoperabilidade completa existente entre os softwares da mesma empresa, evitando problemas de exportações e importações de dados; além do fato da liderança de mercado dos softwares da Autodesk, o que facilita a aquisição de informações e o aprendizado sobre os softwares, assim como a possibilidade da obtenção da licença estudantil por 3 anos.

Assim, os softwares utilizados serão:

- Revit Architecture: para modelagem 3D da arquitetura preexistente em CAD 2D.
- Revit Structure: para modelagem da estrutura, definindo quais partes do modelo deverão receber dados analíticos, permitindo futura análise.
- Revit MEP: para modelagem do projeto hidrossanitário.
- Robot Structural Analysis: Para análise estrutural e dimensionamento da estrutura analítica previamente modelada no Revit.
- Naviswork: Para integração disciplinar e compatibilização

Com o conceito voltado para a criação de entidades que serão utilizados no decorrer da aplicação, foi utilizado um template para cada ferramenta acima descrita, que corresponde a um arquivo com configurações prévias para o tipo de elementos que se deseja modelar (template arquitetônico, template estrutural, template hidráulico, etc). Os templates utilizados neste projeto foram os padrões fornecidos pelos softwares da Autodesk com adições manuais de elementos e configurações brasileiras (desenvolvidas ao longo do projeto e através de aquisições online).

3.2 Modelagem Arquitetônica 3D: Revit Architecture

3.2.1 Ambientação

A ambientação no software em plataforma BIM aplicado à arquitetura, Revit, foi realizada através da modelagem de desenhos mais simples e a aprendizagem no seu manuseio foi alcançado através de minicursos online.

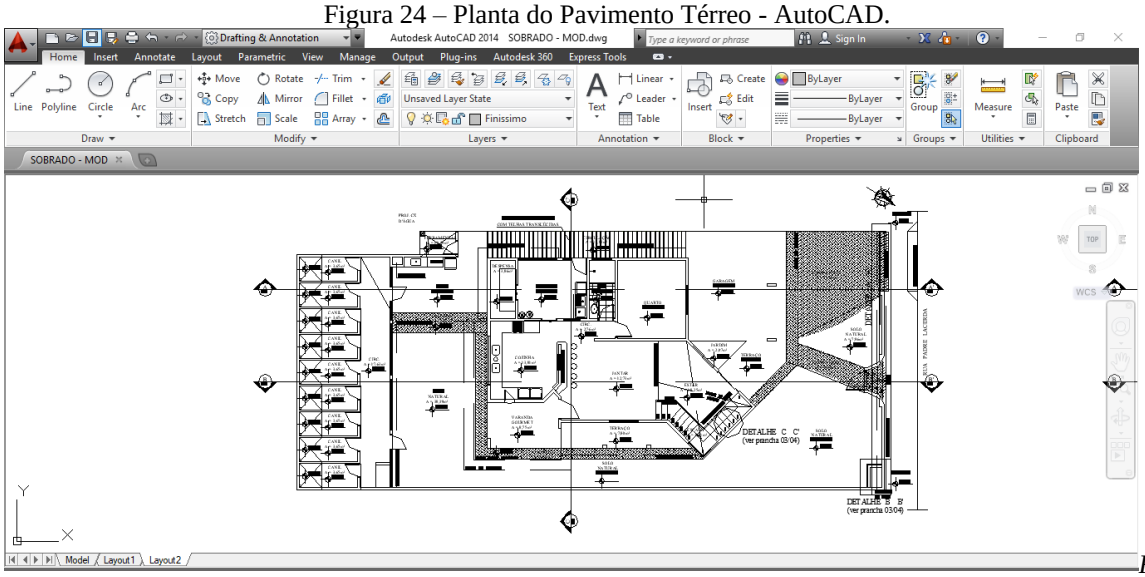
3.2.2 Projeto da Residência Unifamiliar

Para o desenvolvimento desta análise houve a modelagem de uma planta arquitetônica de uma residência unifamiliar. A planta em questão, consiste de uma adaptação de uma residência de 1º andar com 200 m² de área construída, e 240m² de área útil distribuída entre 3 quartos, sala, cozinha, varanda e 3 banheiros, a ser construída no município de Escada-PE, Zona da Mata Sul; desenvolvido em AutoCAD 2D pelo arquiteto Robson Eduardo da Silva (CAU: A123412-9. Projeto de registro Nº5760916 de 13/05/2017) que dispôs o mesmo para este fim (ANEXOS E a J).

O passo inicial para a modelagem foi análise do projeto original, realizado em AutoCAD. A partir da qual foi realizada a "limpeza da planta", processo para retirar hachuras e elementos gráficos e estéticos, a fim de diminuir o peso do arquivo e realizar a importação no Revit.

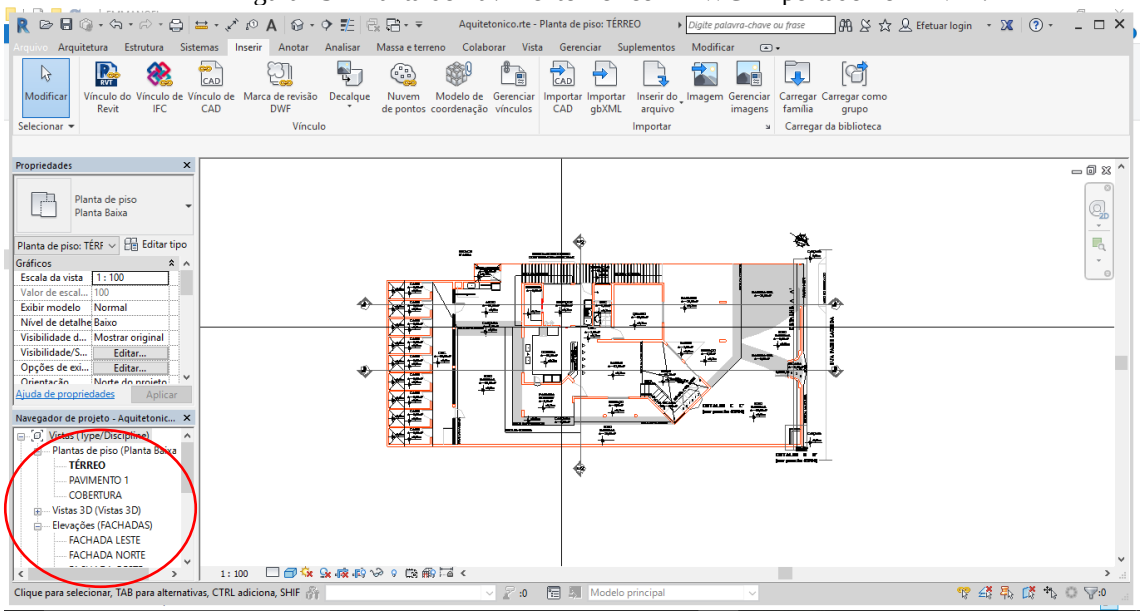
As figuras a seguir mostram a diferença de visualização entre o arquivo de planta baixa original em AutoCAD (Figura 24), e o mesmo arquivo exportado ao REVIT (Figura 25), tais plantas podem vistas em tamanho maior nos ANEXOS.

Figura 24 – Planta do Pavimento Térreo - AutoCAD.



Fonte: Robson E. da Silva (2017).

Figura 25 - Planta do Pavimento Térreo – DWG Importado no REVIT.



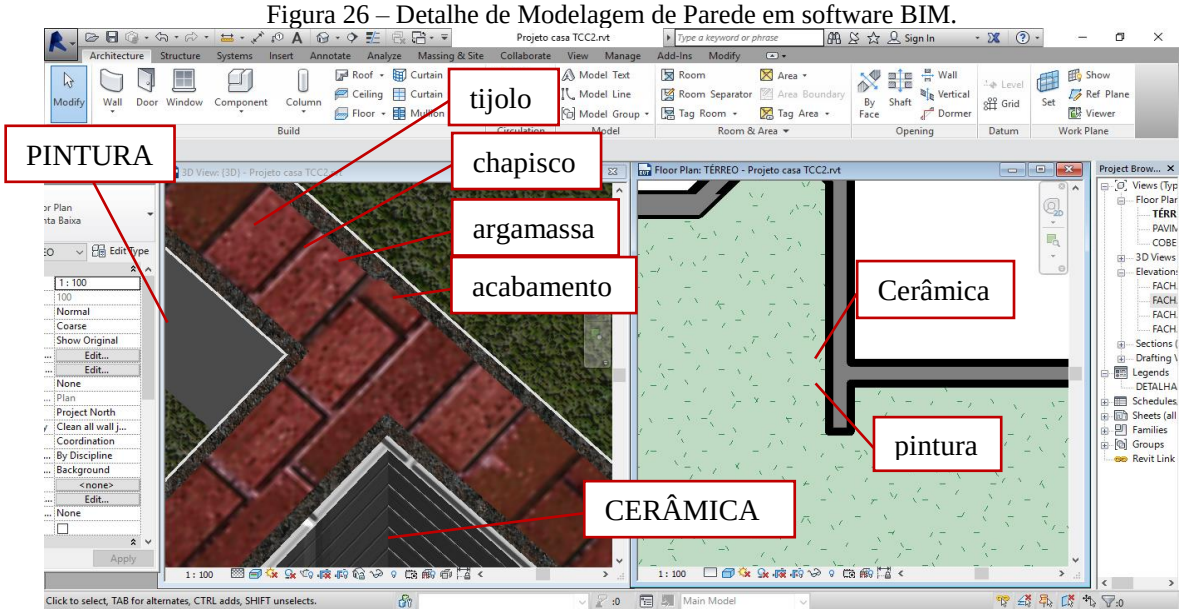
Fonte: O Autor (2018).

Com o arquivo da planta baixa importado no Revit, é possível iniciar a modelagem em planos independentes, para cada piso (TÉRREO, PAVIMENTO 1 e COBERTURA, conforme Figura 25). Para complementar a terceira dimensão da modelagem, as devidas alturas foram retiradas do projeto de elevação original.

A inclusão dessa terceira dimensão em BIM adiciona uma certa complexidade aos projetos arquitetônicos, pois surge aqui a necessidade de maior detalhamento de informações, uma vez que ao modelo virtual estão correlacionados informações de quantitativos, propriedades dos materiais, espessuras, texturas, marcas e etc.

Para tanto, o projeto foi desenvolvido no LOD 350 (Quadro 1) desde a modelagem arquitetônica inicial, o que foi refletido para os demais projetos e análises. Um exemplo dessa complexidade pode ser observado na Figura 26. Na qual é possível verificar a discriminação das camadas da parede, com o núcleo de tijolos, o chapisco, argamassa, e acabamento. Nota-se ainda, a mudança de tipos de acabamentos (alternando entre cerâmica e pintura) na continuação de uma mesma parede que possui face interna e externa. Tal detalhamento de modelagem exige por diversas vezes a discretização de um simples elemento, como uma parede, em vários subelementos distintos.

Figura 26 – Detalhe de Modelagem de Parede em software BIM.



Fonte: Print Screen do software Revit Architecture, o Autor (2018).

Após a modelagem de todos os níveis da edificação, o resultado final culminou no modelo da Figura 27 (APÊNDICE A a G).

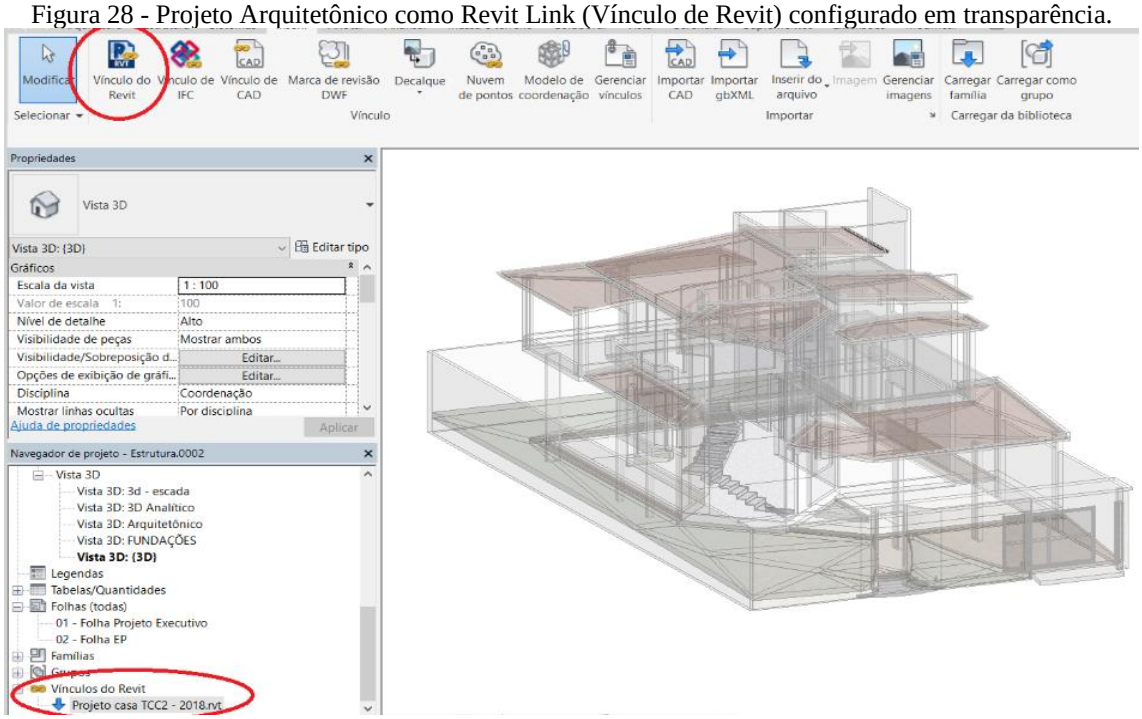
Figura 27 – Modelagem Arquitetônica da Residência.

Fonte: O Autor (2018).

3.2.3 Link Revit

Para análise de interoperabilidade entre as disciplinas do projeto, foi criado um link do projeto arquitetônico para os templates de Estruturas e MEP. Para tanto, o vínculo do projeto base de arquitetura teve sua visibilidade configurada para que funcionasse como um plano de fundo dos demais projetos (Figura 28).

Figura 28 - Projeto Arquitetônico como Revit Link (Vínculo de Revit) configurado em transparência.



Fonte: O Autor (2018).

3.2.4 Ferramentas Adicionais

A modelagem em BIM permite ainda ferramentas adicionais que agregam valor aos projetos. Dentre estas, podemos destacar a possibilidade de renderização dos projetos arquitetônicos, permitindo uma visibilidade mais real do ambiente; análises da luminosidade da edificação; possibilidade de geração de animações percorrendo a edificação; e ainda a extração do arquivo do ambiente para ser utilizados em óculos de Realidade Aumentada. Um exemplo simples de renderização é mostrado no APÊNDICE H.

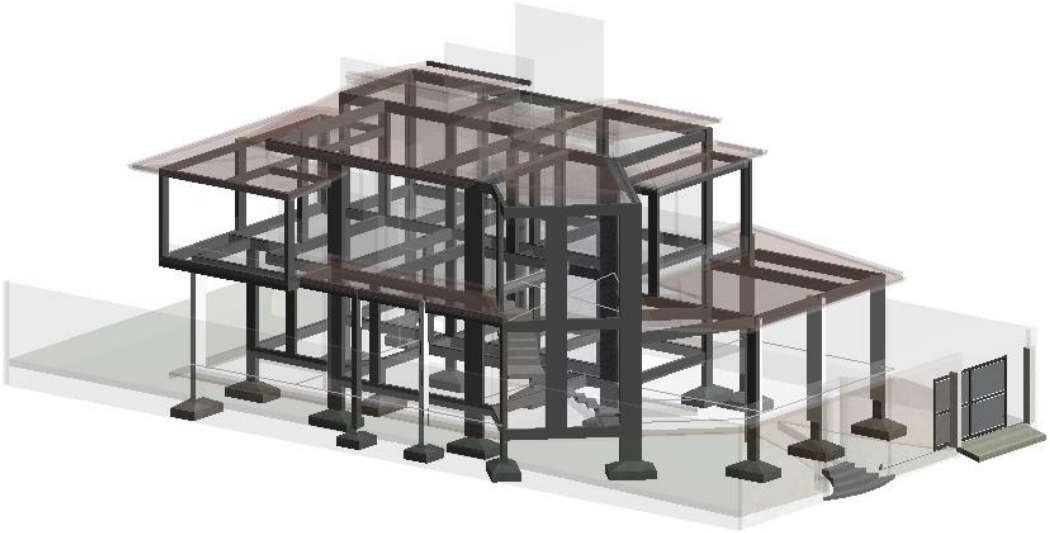
3.3 Modelagem e Análise Estrutural: Revit e Robot Structural Analysis

3.3.1 Revit Structure

Após ter sido gerado o Link Revit do arquivo arquitetônico, se iniciou a modelagem estrutural. O lançamento da estrutura foi realizado de acordo com dimensões limitadas ao projeto arquitetônico e segundo prática habituais de lançamento de estrutura. Sendo adotado o Sistema Estrutural apresentado em 2.7.2.

O resultado da modelagem culminou no modelo da figura 29. É importante salientar que a estrutura desenvolvida não se trata da solução estrutural mais eficiente e econômica, uma vez que o objetivo é o estudo da metodologia e da ferramenta BIM a partir de uma solução arbitrária entre as inúmeras possibilidades.

Figura 29 – Modelagem estrutural sob Link Revit.

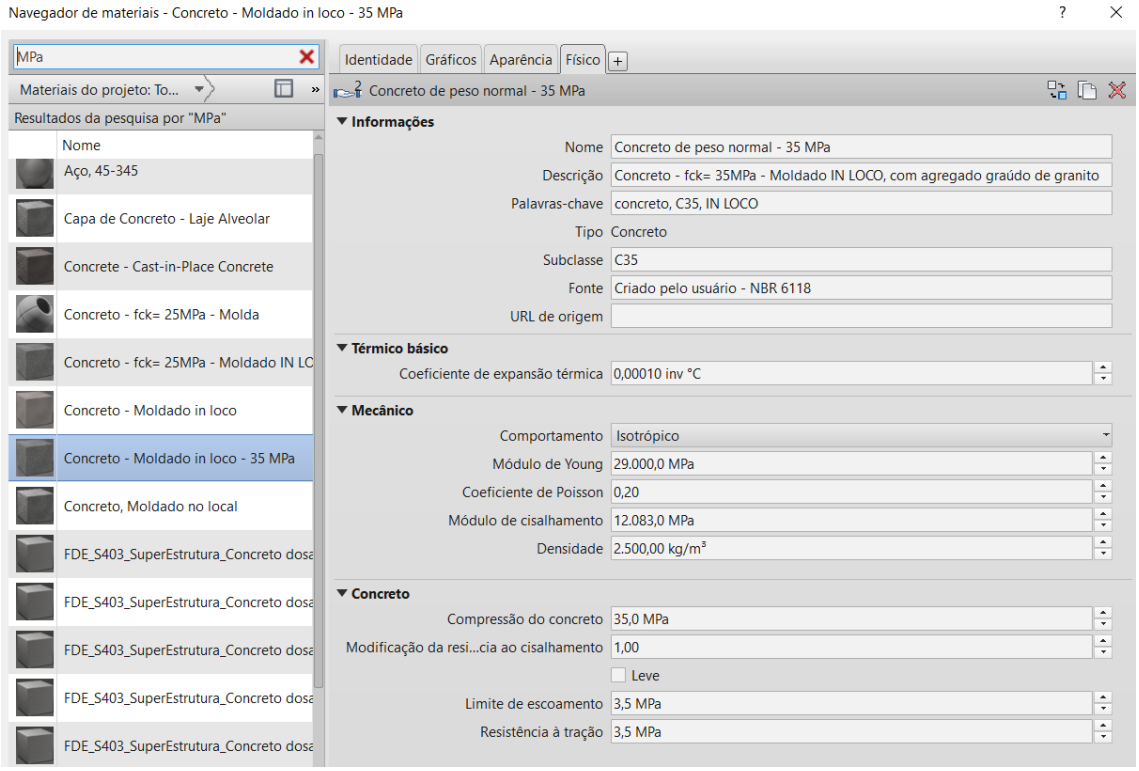


Fonte: O Autor (2018).

3.3.1.1 Material atribuído

O material atribuído ao concreto foi configurado conforme indicações da ABNT, referenciando-os com as normas brasileiras, conforme itens 2.7.3.1.1 e 2.7.3.7 (Figura 30).

Figura 30 – Configuração das propriedades físicas do concreto, segundo ABNT.



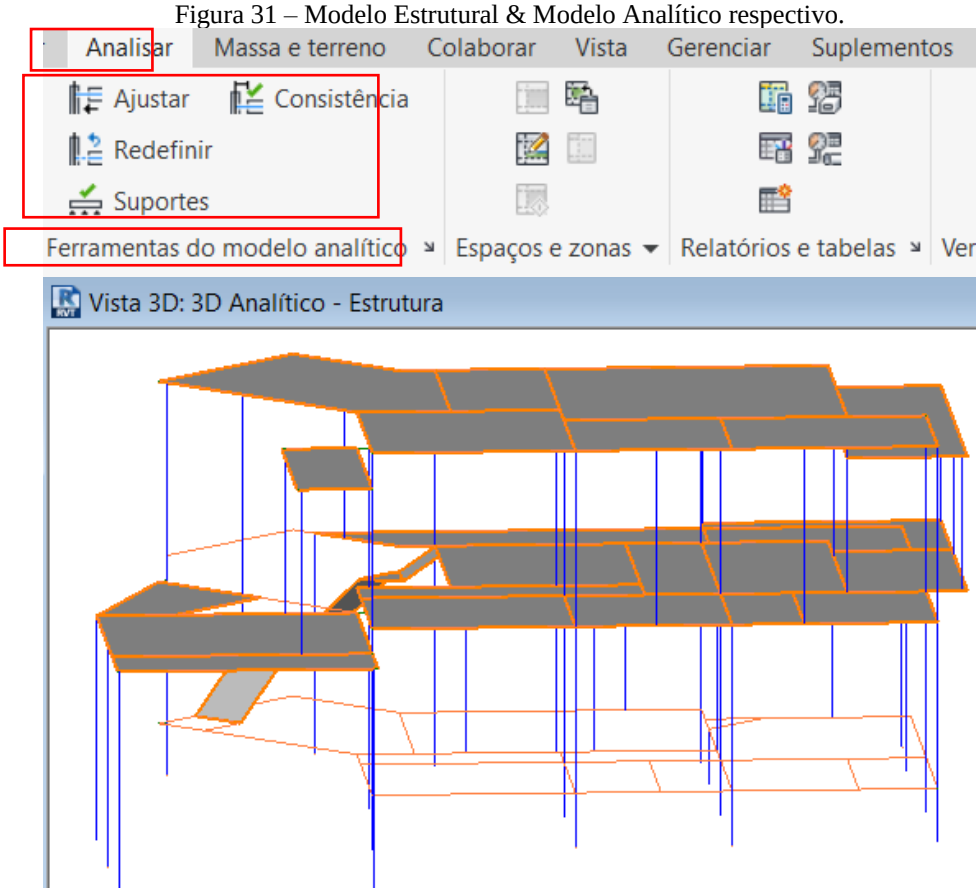
Fonte: O Autor (2018).

3.3.1.2 Modelo Analítico

No Revit Structural, cada elemento estrutural contém modelo analítico de si, representado por nós (sapatas e ligações), barras (vigas e pilares) e planos (lajes). Este modelo é o responsável

por receber as informações de carga e propriedades de material e geometria, e também pela interoperabilidade entre o Revit e outros softwares estruturais, pois é o Modelo Analítico e suas informações que são exportados aos softwares de Análise e Cálculo. Para tanto, deve-se verificar a consistência do modelo analítico, analisando possíveis erros de modelagem, nós desconectados, lajes sem apoios, etc, através das ferramentas do modelo analítico, no menu Analisar do software (Figura 31).

Figura 31 – Modelo Estrutural & Modelo Analítico respectivo.

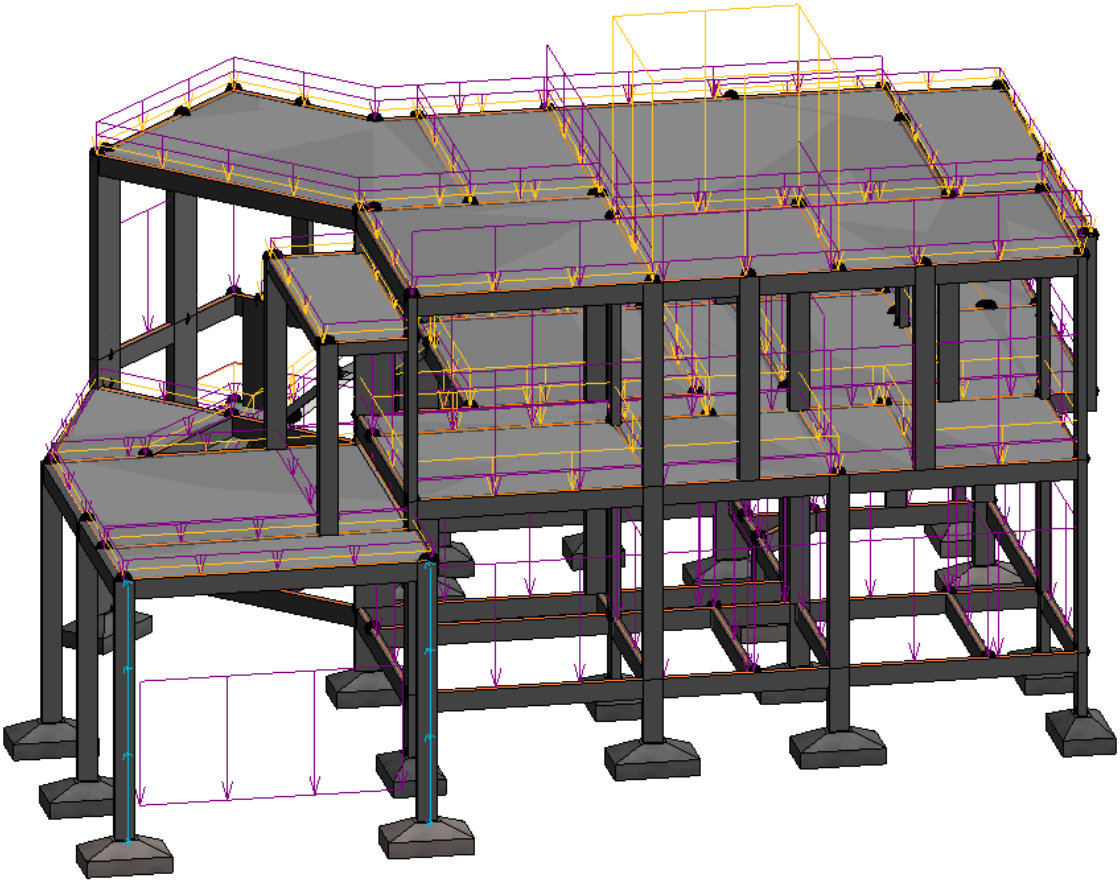


Fonte: O Autor (2018).

3.3.1.3 Cargas e Combinações

Como supracitado, o modelo analítico permite adição de cargas e combinações prévias, que podem ser exportadas aos softwares estruturais. As cargas foram atribuídas segundo prescrições dos itens 2.7.3.4 e 2.7.3.5.

Figura 32 - Modelo Estrutural, Analítico e Cargas, sobrepostos.



Fonte: O Autor (2018).

3.3.2 Robot Structural Analysis

A ambientação no Robot, foi realizada através de cursos online, manuais do software e testes em modelos simples, evoluindo de um pórtico 2D até a estrutura 3D.

As análises mais simples foram comparadas aos modelos tradicionais de dimensionamento (conforme item 2.7), até a ambientação no software se mostrar satisfatória para evoluir ao modelo completo da residência.

3.3.2.1 Ambientação

Utilizando-se do Manual da Autodesk para o Robot Structural Analysis (Metric Getting Started Guide), se iniciou os estudos para a ambientação e aprimoramento das ferramentas do softwares. Baseado nos exercícios contidos no manual, foram desenvolvidos dois casos mais simples para estudo: um Pórtico 2D de material genérico, e um Pórtico 3D de concreto armado.

3.3.2.1.1 CASO 1: Pórtico 2D

O primeiro caso consiste de um pórtico em duas dimensões (modelado como uma estrutura 3D, porém é considerada, para fins de cálculo, como 2D) modelado no REVIT Structure (APÊNDICE U.1), para posterior análise no Robot, a fim de se verificar as ferramentas de análise, modelagem estrutural, e a interoperabilidade entre ambos os softwares.

A definição das cargas foi realizada a fim de se diferenciar o peso próprio e a sobrecarga em Carga Morta (Dead Load - DL) e carga ativa (Live Load - LL), respectivamente. Em seguida a estrutura foi exportada ao Robot para análise (APÊNDICE U.2). As análises realizadas no software podem ser observadas no APÊNDICE U.3.

Através da interoperabilidade entre o REVIT e o ROBOT, é ainda possível exportar os resultados deste para aquele, de acordo com o APÊNDICES U.3.

3.3.2.1.2 CASO 2: Pórtico 3D

Como segundo exercício, foi desenvolvido um pórtico 3D, a fim de se verificar mais detalhadamente, o sistema de estruturas de concreto armado. A modelagem e análise foram realizadas de maneira análoga ao CASO 1, com a interoperabilidade REVIT-ROBOT (APENDICE V.1 e V.2).

O ROBOT permite análise e dimensionamento dos elementos da estrutura, segundo teorias apresentas no item 2.7. As teorias aplicadas de concreto armado (vigas, pilares e sapatas), alinhada à verificação em elementos finitos (lajes), podem ser verificadas conforme mostrado detalhadamente nos APÊNDICES V.3 a V.6.

A interoperabilidade entre os softwares ROBOT e REVIT da Autodesk podem ser utilizada para exportar resultados e armaduras do ROBOT ao REVI, uma ferramenta bastante útil desenvolvida pela empresa para apresentação do projeto e verificação de densidade de aço, mas, que ainda apresenta algumas irregularidades, conforme APÊNDICE V.7. O software permite ainda a exportação das notas de cálculo, não adicionadas neste trabalho devido ao excessivo volume de informações, mas que conferem com a teoria de concreto armado apresentada no item 2.7.

3.3.2.2 Adequação do ROBOT às Normas Brasileiras

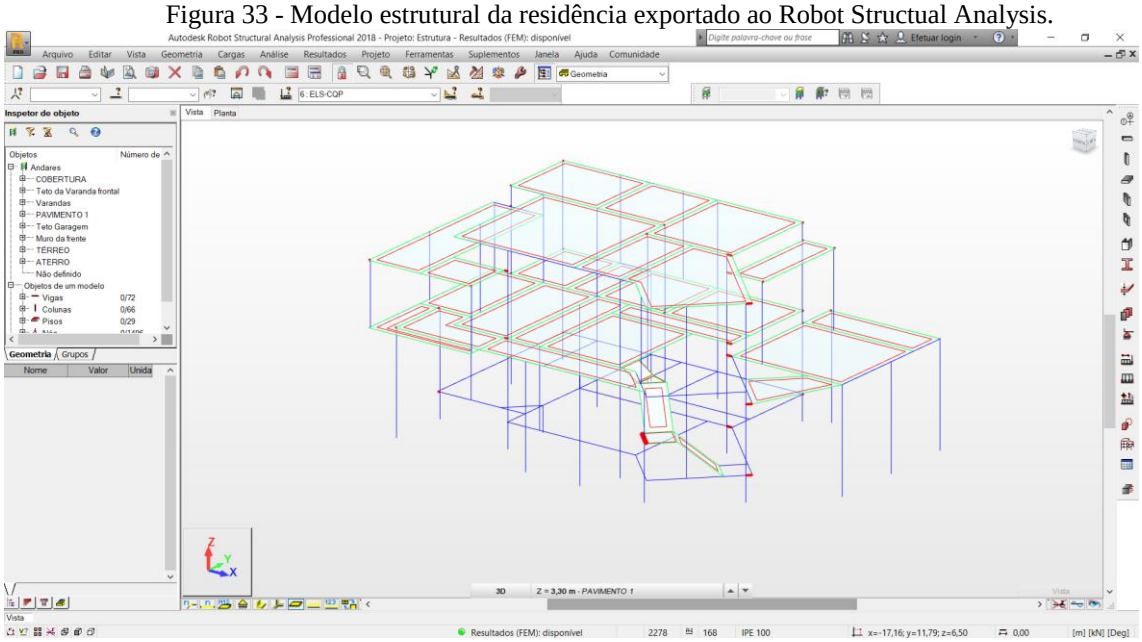
Antes de se aplicar a modelagem e as análises à ao projeto em questão, houve a necessidade de configurar o software ROBOT às normas brasileiras, e se verificou que esta configuração é na verdade uma adaptação das normas padrões do software aos detalhes da ABNT, não sendo possível atingir com perfeição os critérios da norma NBR6118/14 de concreto armado, mas apenas de forma aproximada.

Para configuração dos materiais e parâmetros de normas se atribuiu ao programa as prescrições normativas estabelecidas no item 2.7.3, conforme os procedimentos apresentados no APÊNDICE W.

3.3.2.3 Projeto da Residência Unifamiliar

Após obtenção do domínio das ferramentas do software e configurações de acordo com as normas brasileiras, o modelo estrutural do Revit Structure (Figura 32) foi exportado ao Robot, conforme Figura 33.

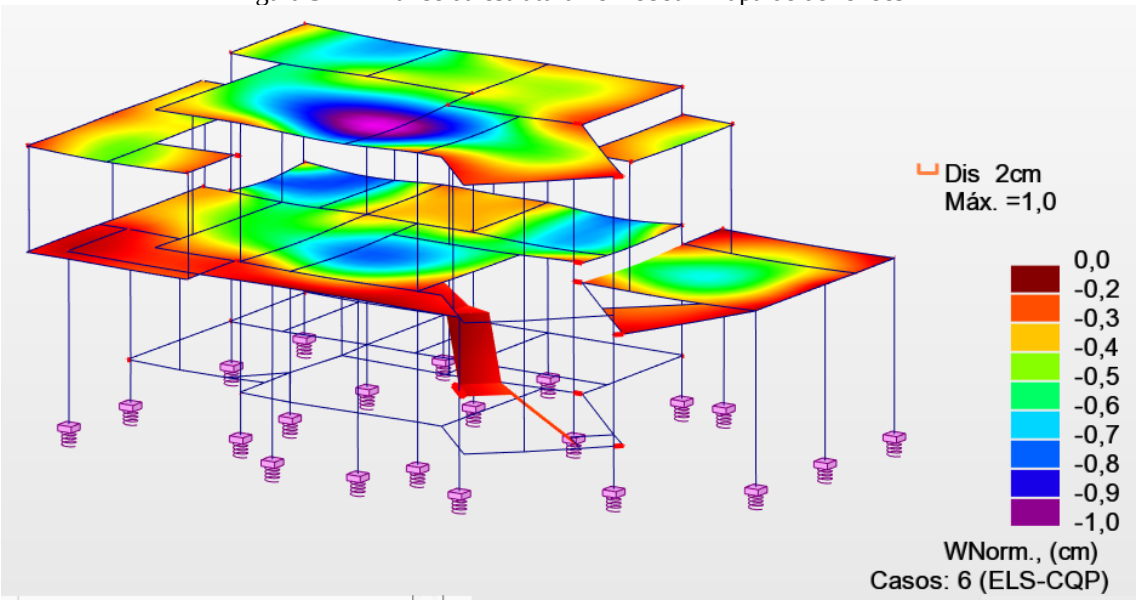
Figura 33 - Modelo estrutural da residência exportado ao Robot Structual Analysis.



Fonte: O Autor (2018).

O Robot permite a análise da estrutura completa (Figura 34), (conforme CASO 1, item 3.3.2.1.1) porém o dimensionamento é realizado elemento a elemento (cada laje, viga, pilar, e sapata são calculados independentemente conforme exemplificado no CASO 2, item 3.3.2.1.2). Devido ao volume de informações, apenas alguns exemplos estão apresentados neste artigo (APÊNDICE I). Algumas das plantas geradas automaticamente pelo software, podem ser observadas no APÊNDICE J.

Figura 34 – Análise da estrutura no Robot - Mapa de deflexões



Fonte: O Autor (2018).

3.3.2.3.1 Interoperabilidade Revit – Robot

Conforme é notável, as plantas do APÊNDICE J, não possuem uma estética apresentável, além do software não gerar plantas de detalhamento de lajes, e nem realizar a nomenclatura automática dos elementos, tornando o processo demorado e arcaico, fugindo um pouco conceito do BIM. Quanto às plantas de detalhamento, e de fôrma, deve ser utilizado para isso a interoperabilidade reversa com Revit, detalhando neste, o dimensionamento realizado no Robot. Alguns exemplo dessas plantas se encontram no APÊNDICE K.

3.4 Projeto de Instalações Hidrossanitárias

Além dos Arquitetônicos e Estruturais, outros projetos aos quais se agrega enorme valor através da metodologia BIM são os projetos de Instalações Prediais, devido ao nível de detalhamento, precisão de partes pequenas, e quantidade de elementos distintos pertencentes a eles.

Destaca-se ainda os projetos de Distribuição de Água Fria e Esgoto Sanitário Residencial, que devido suas características normativas de comprimentos e posicionamento das tubulações, afetam seu dimensionamento, seja devido às perdas de cargas (água fria) ou o escoamento de sólidos suspensos por gravidade (esgoto) necessitam de cuidados criteriosos para seu eficiente funcionamento. Este fato, exige do projeto hidrossanitário uma perfeita compatibilização com os demais elementos da residência, sobretudo a estrutura.

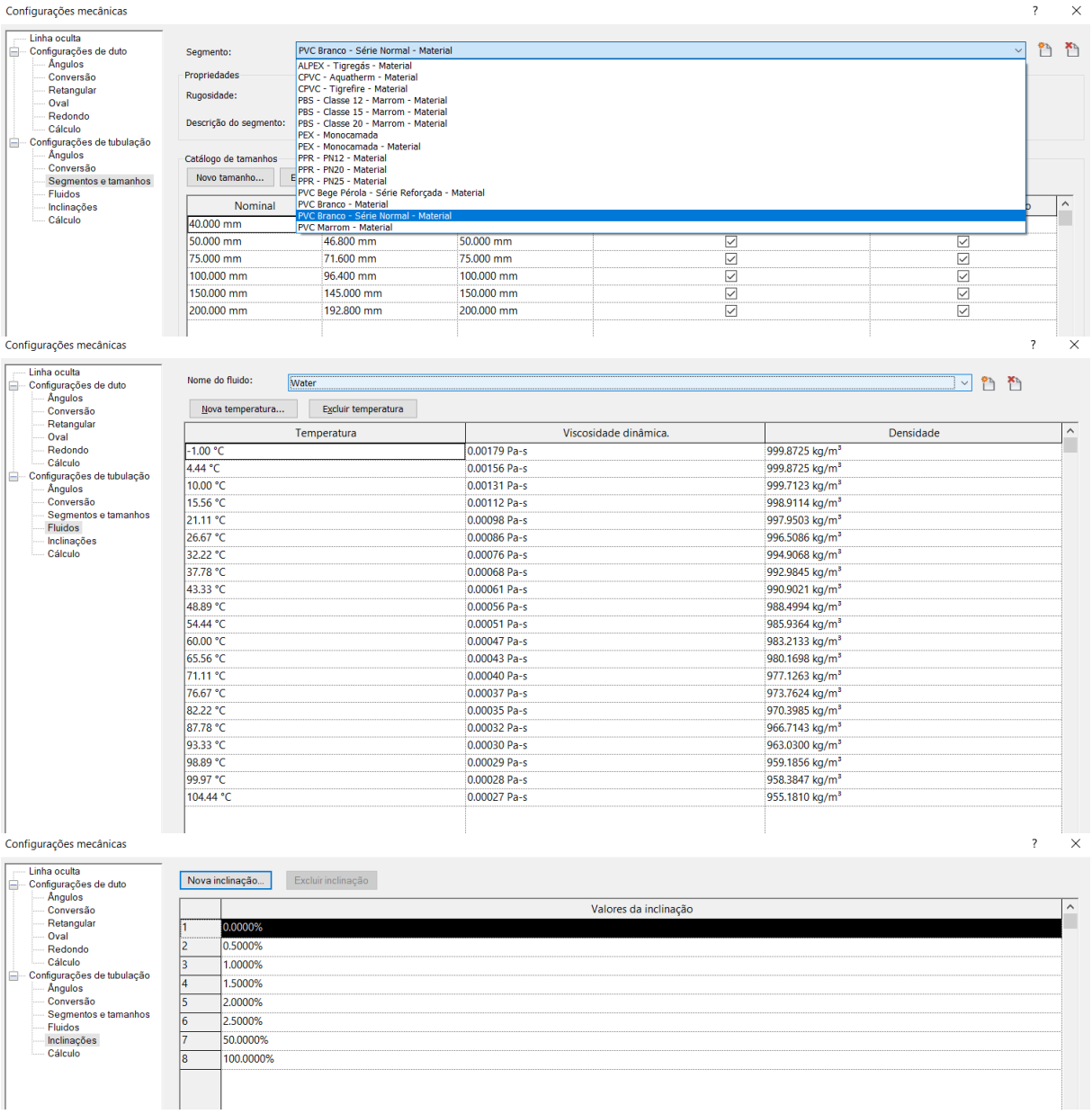
Com este embasamento, foi realizado o projeto de instalações hidrossanitárias da residência em estudo, para se analisar como o BIM poderá potencializá-lo.

3.4.1 Configurações do REVIT MEP

O software REVIT MEP permite que o template seja configurado para adaptar-se à realidade comercial das tubulações e conexões. Para tanto pode-se alterar as configurações mecânicas de ângulos, diâmetros, inclinações, e parâmetros dos fluidos (Figura 35).

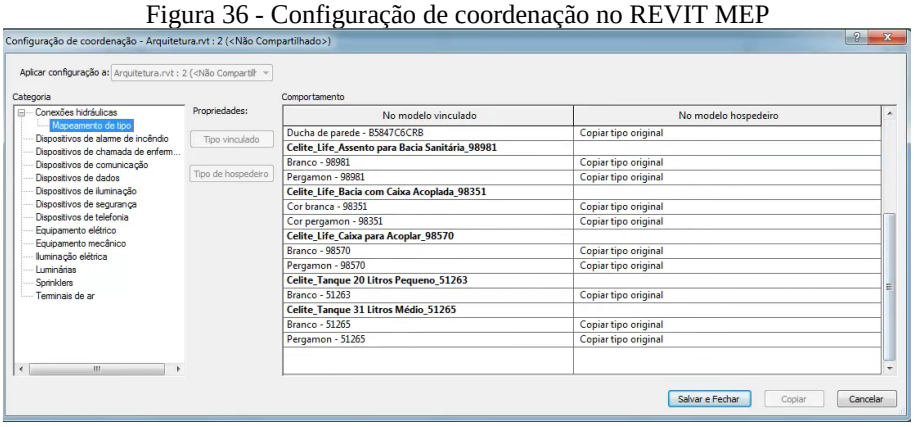
Aliado a isso, é possível utilizar famílias pré-moldadas dos fabricantes, e utilizar ou substituir automaticamente as peças sanitárias utilizadas no projeto arquitetônico através da coordenação entre o vínculo e o arquivo hidrossanitário (Figura 36).

Figura 35 - Configurações Mecânicas no REVIT MEP



Fonte: O Autor (2018).

Figura 36 - Configuração de coordenação no REVIT MEP

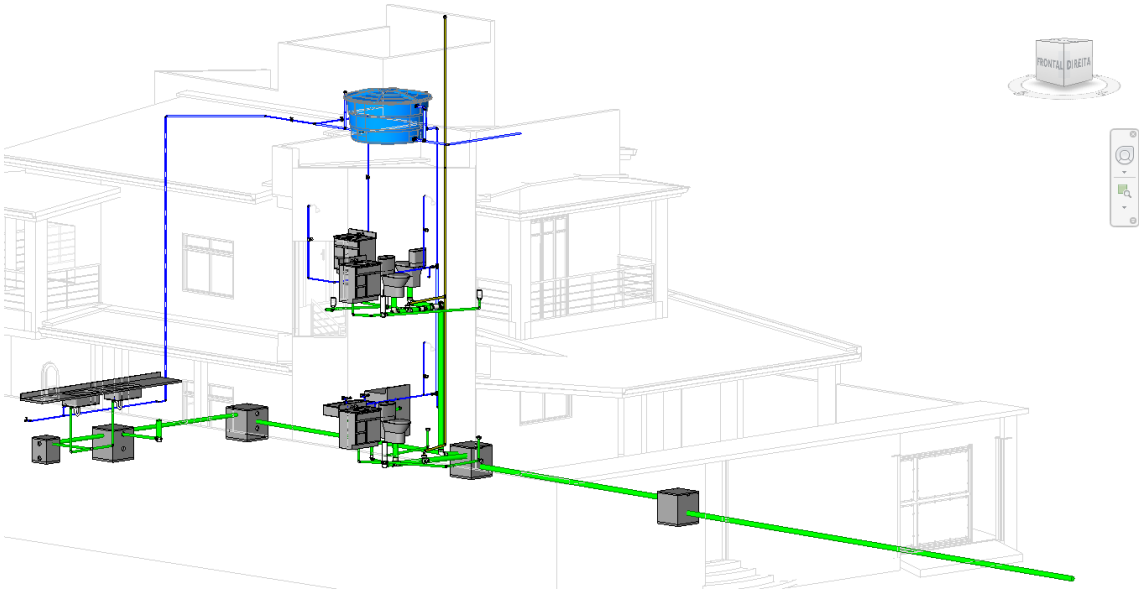


Fonte: O Autor (2018).

3.4.2 Encaminhamento da tubulação

Através do Link REVIT, em um template com tubulações configuradas no REVIT MEP, foi desenvolvido o encaminhamento da tubulação com dimensões genéricas a fim de se verificar as inclinações e menores percursos, conforme figura a seguir.

Figura 37 – Encaminhamento da Tubulação



Fonte: O Autor (2018).

3.4.3 Dimensionamento da tubulação de Água Fria;

3.4.3.1 Consumo

Conforme item 2.8.3.1, considerando que o projeto trata-se de uma residência popular rural devido sua localização, o consumo pode ser estimado por:

P = 3 quartos x 2 pessoas = 6 habitantes (Quadro 21)

q = 120 l/dia (Quadro 22)

$$Cd = P.q = 6x120 = 720\ l/dia$$

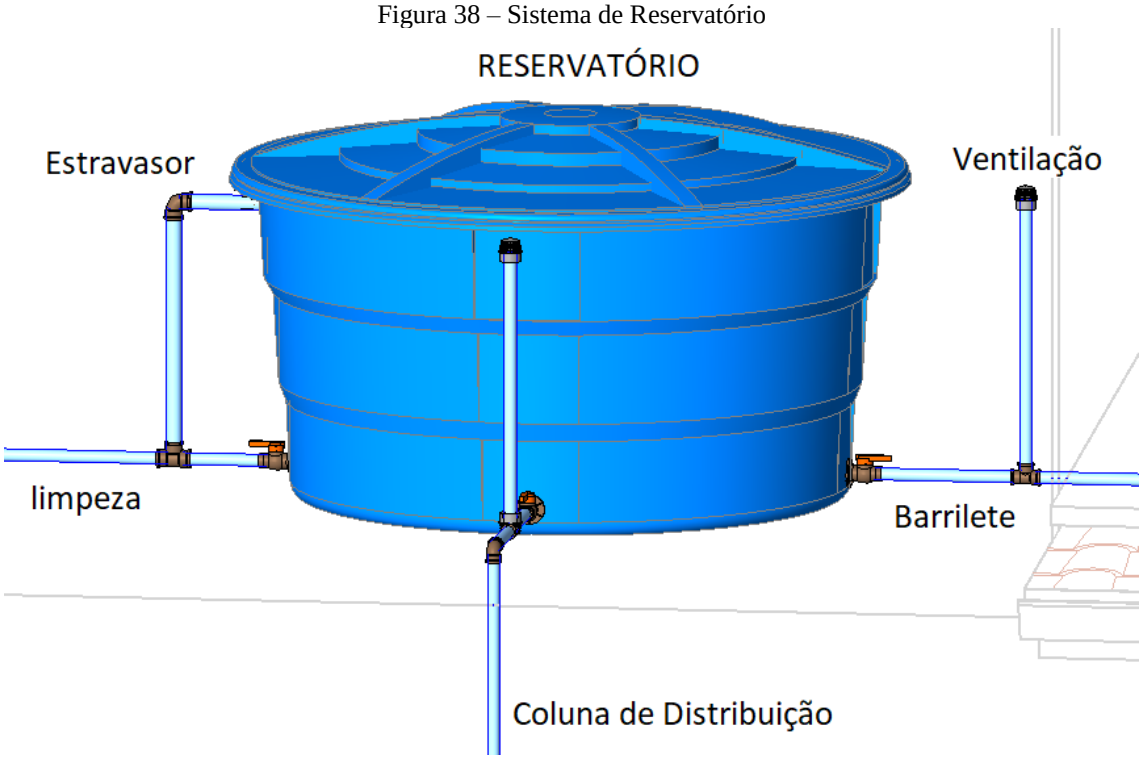
3.4.3.2 Reservatório

Considerando uma intermitência no sistema de abastecimento, foi adotado um consumo normal de 48 horas (2 dias), de tal forma que o volume do reservatório é dado por:

$$Vol_{res} = Cd.36horas = 720\frac{l}{dia}\ x\ 2\ dias = \ 1440\ l$$

Devido considerações do projeto arquitetônico, foi então adotada um modelo de caixa d'água industrializada, com 1500l. conforme imagem a seguir.

Figura 38 – Sistema de Reservatório



Fonte: O Autor (2018).

Devido cultura local do município de Escada-PE, não se optou por reservatório inferior. Também, não foi considerado neste trabalho a modelagem e dimensionamento do sistema de recalque, e a aplicação na metodologia BIM foi realizada a partir do reservatório superior, até as peças de utilização.

3.4.3.3 Tubulação

Após encaminhamento da tubulação, o que determinou a necessidade de 3 colunas de distribuição (Figura 40), e a verificação das interferências com o modelo estrutural e arquitetônico (APÊNDICE T), foi extraído do modelo virtual o isométrico geral do sistema de distribuição com os comprimentos reais. Além disso foram enumerados os pontos de distribuição, nós e conexões (APÊNDICE L), a fim de se determinar o dimensionamento

conforme descrito no item 2.8.3.7. Os resultados detalhados das Plantas Baixas e Isométricos podem ser verificados nos APÊNDICES M, O e P

3.4.4 Dimensionamento da tubulação de Esgoto Sanitário

Após verificado a interferência entre projetos, (visto adiante no item 3.6) foi então realizado o dimensionamento conforme demonstrado no item 2.9. O dimensionamento foi realizado com a implementação dos critérios da norma em planilhas eletrônicas, conforme o APÊNDICE L. Os resultados mais detalhados de Plantas Baixas e Isométricos podem verificados nos APÊNDICES N a P.

3.5 Extração de quantitativos

A fim de se explorar o conceito do BIM, evidenciando as vantagens de seu uso, há a possibilidade da extração dos dados parametrizados contidos no modelo; como por exemplo, os quantitativos de materiais, áreas, volumes, objetos, etc.

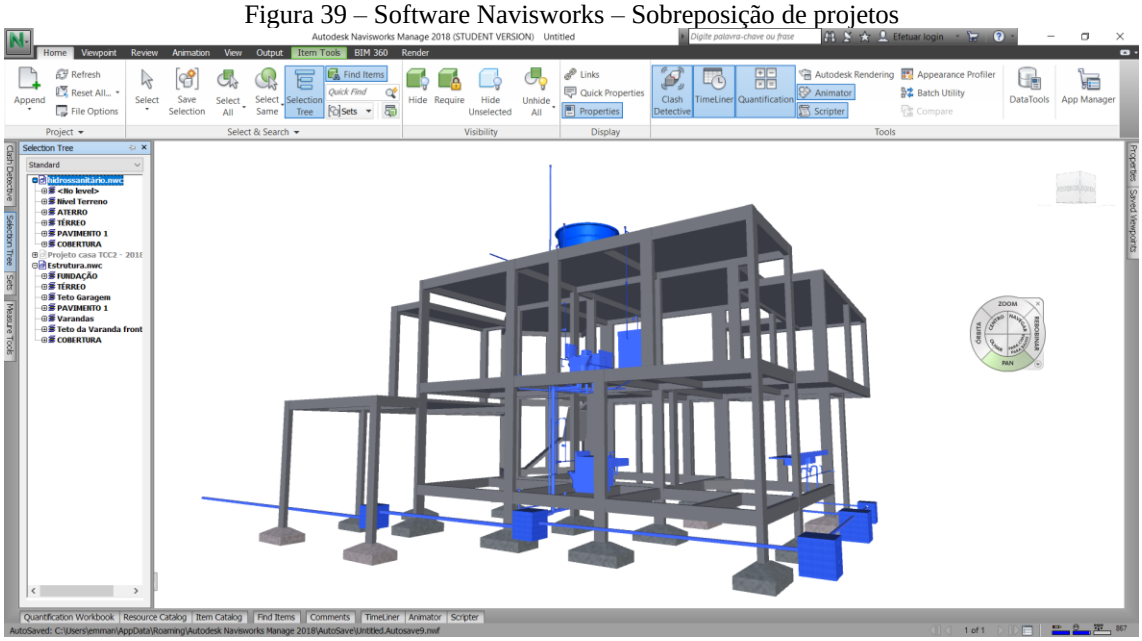
A extração de quantitativos pode ser realizada no próprio software de modelagem BIM (REVIT) ou em softwares adicionais de gerenciamento (Naviswork). Esta possibilidade traz celeridade ao processo de levantamento de materiais, facilitando no gerenciamento de custo, compra e controle de materiais para os diversos projetos residenciais.

Especificamente para os projetos de hidrossanitário, é possível verificar através das planilhas de quantitativos se as conexões modeladas existem no comércio. Para tanto, basta utilizar as famílias de peças parametrizadas oferecidas pelos fabricantes, (neste projeto foi utilizado o template e peças da TIGRE), pois estas apresentam em sua descrição o nome da peça ou a inexistência do produto quando modelagem não condiz com a realidade. Os quantitativos podem ser observados nos APÊNDICES Q a S.

3.6 Compatibilização entre projetos: Navisworks

Após modelagem dos projetos em plataformas BIM, é possível realizar a compatibilização dos mesmos a fim de se verificar a interferência entre eles através de um software de gerenciamento de projetos em BIM. (Figura 39)

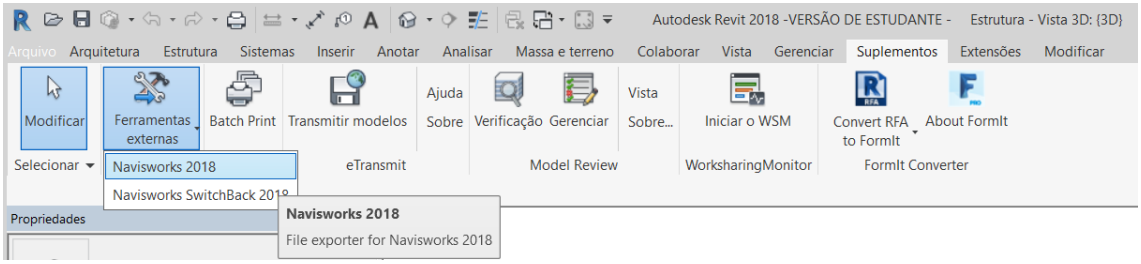
Figura 39 – Software Navisworks – Sobreposição de projetos



Fonte: O Autor (2018).

No caso dos softwares da empresa Autodesk, o Navisworks faz este papel, tendo integração direta com o Revit, permitindo exportação e importação através do mesmo, conforme pode ser notado na figura 40.

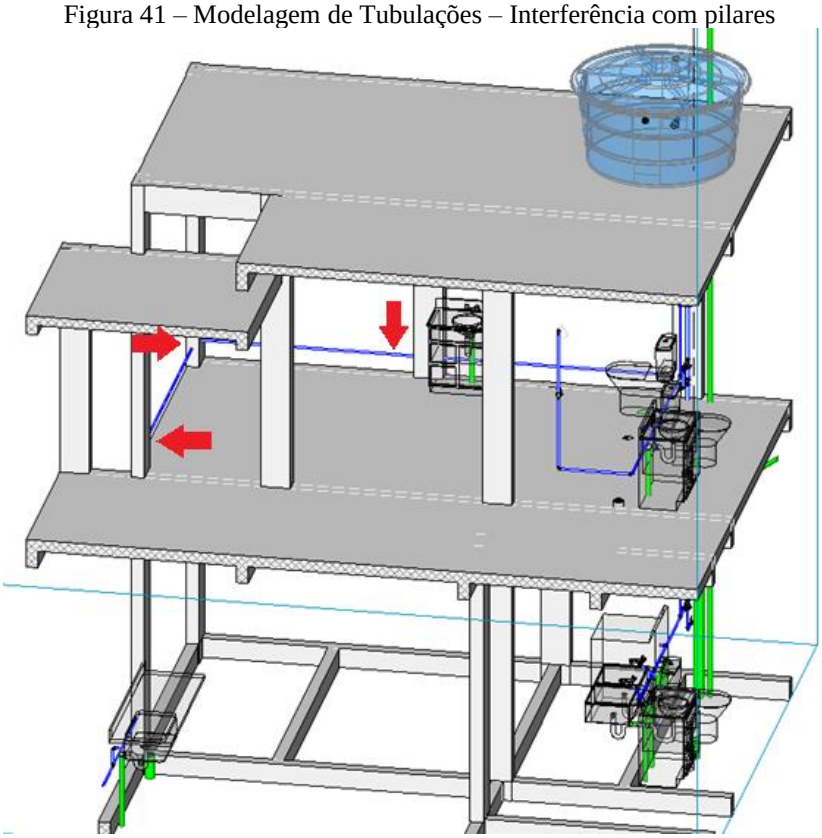
Figura 40 – Integração Direta REVIT-NAVISWORKS



Fonte: O Autor (2018).

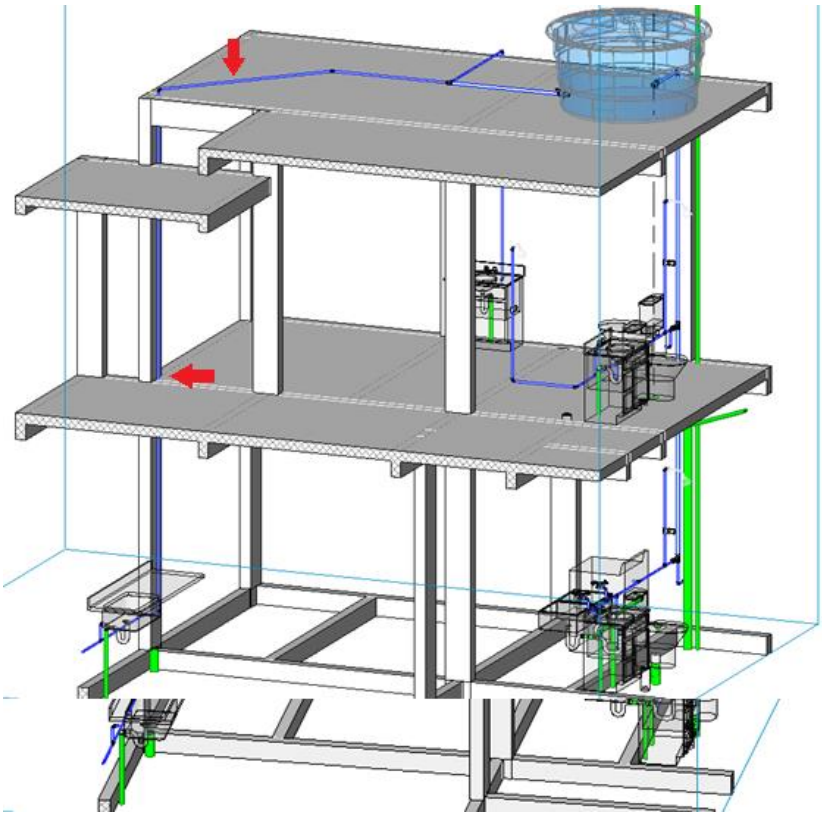
É importante enfatizar aqui que este processo deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, onde cada um deve verificar as possibilidades de melhorias e ajustes em suas respectivas disciplinas para que a haja um consenso e determinação da melhor solução possível para o projeto como um todo. O fato de todos os projetos serem desenvolvidos por um único autor, acaba simplificando o processo de compatibilização, já que algumas interferências podem ser reduzidas já na modelagem, como por exemplo o caso das Figuras 41 e 42, onde a interferência de uma tubulação e alguns pilares foi verificada e resolvida através da adição de um novo trecho de barrilete e uma coluna de distribuição, ainda na fase de modelagem. Ainda assim, a compatibilização será realizada a fim de se verificar as possibilidades das ferramentas BIM, mesmo com um único projetista.

Figura 41 – Modelagem de Tubulações – Interferência com pilares



Fonte: O Autor (2018).

Figura 42 - Modelagem de Tubulações – Interferência com pilares resolvida

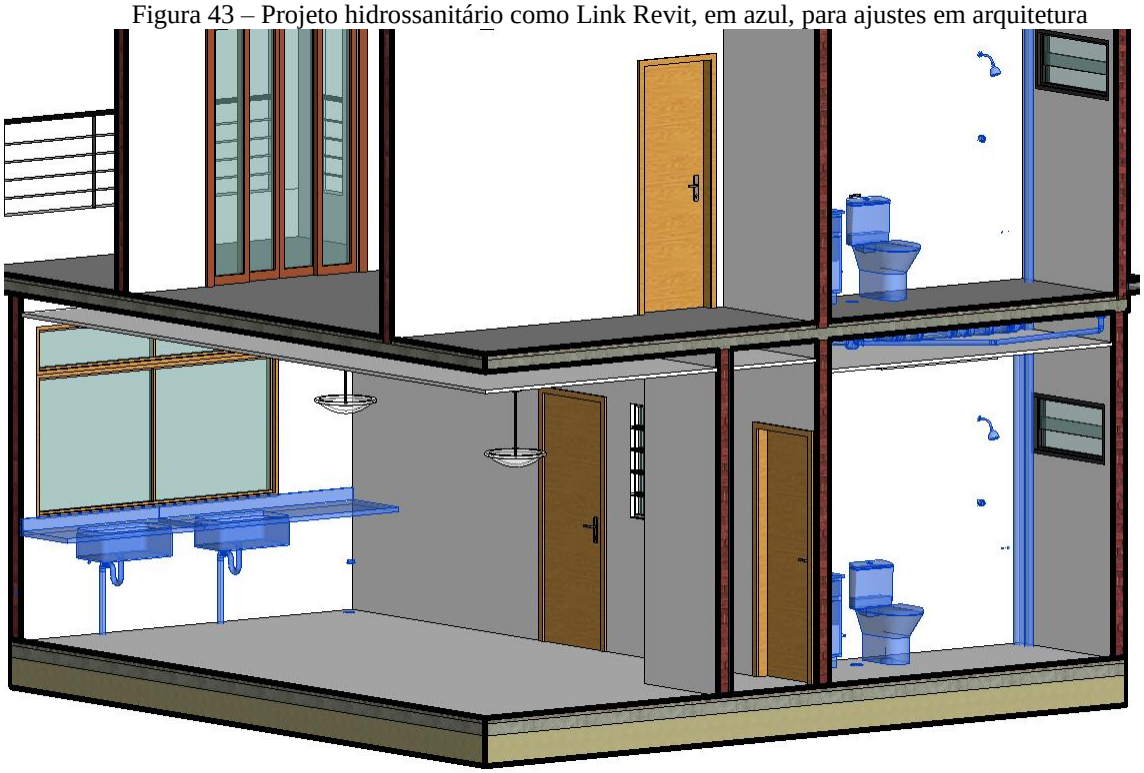


Fonte: O Autor (2018).

A compatibilização pode ser realizada entre dois projetos de cada vez. Devido ao fato do projeto arquitetônico ter servido de base para os projetos estrutural e de esgoto, a compatibilização foi realizada entre estes dois últimos (APÊNDICE T).

Após revisão do projeto é possível retornar ao projeto arquitetônico e utilizar a ferramenta de vínculo entre projetos novamente, dessa vez, utilizando o arquivo hidrossanitário (ou qualquer arquivo a partir do qual se deseja realizar alterações na arquitetura) como Link Revit (Figura 43).

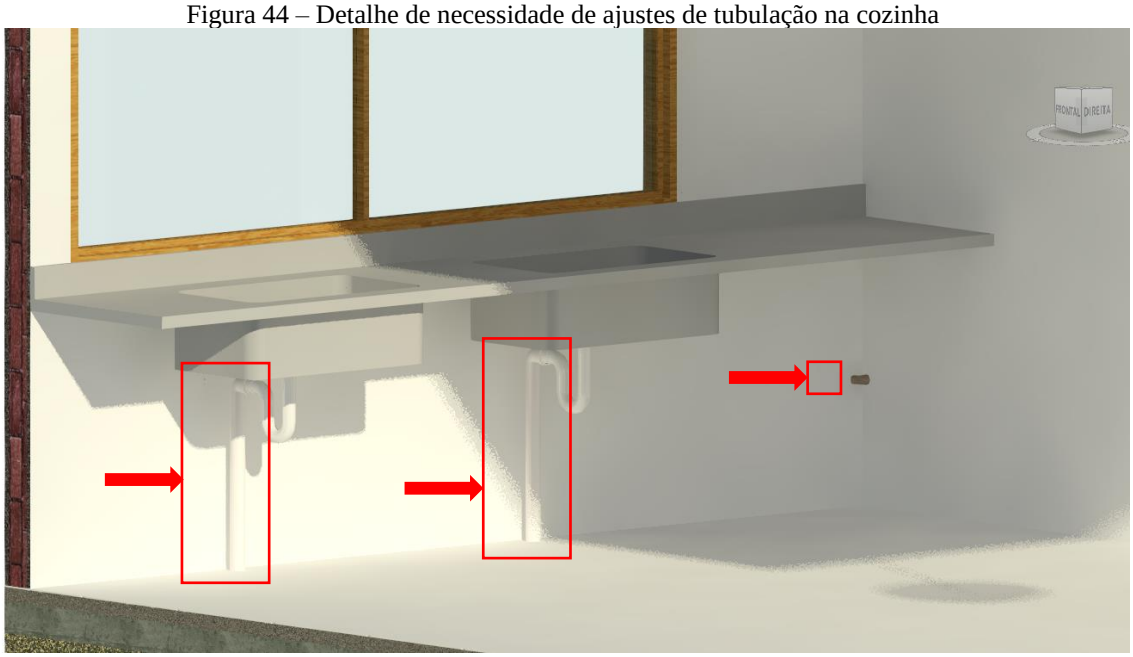
Figura 43 – Projeto hidrossanitário como Link Revit, em azul, para ajustes em arquitetura



Fonte: O Autor (2018).

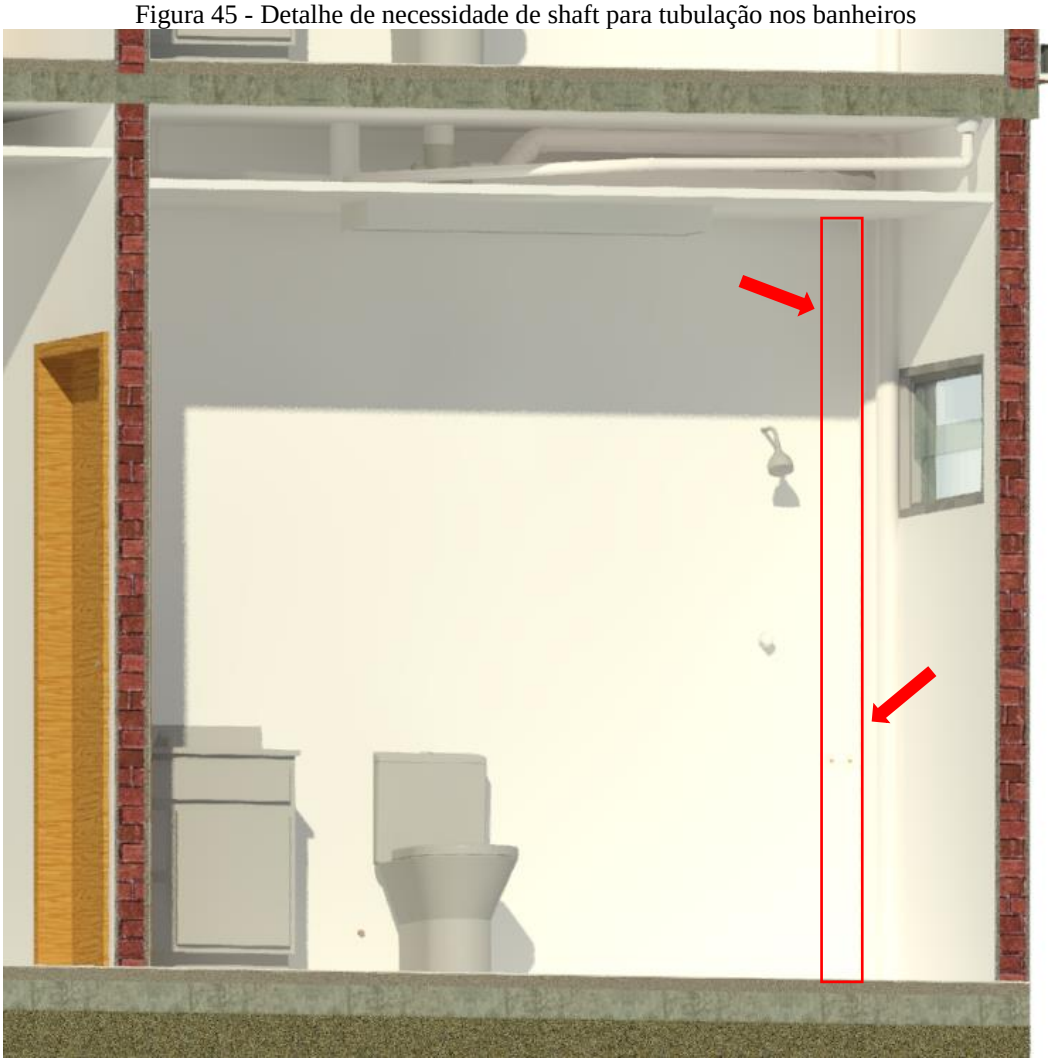
Alguns exemplos desse processo pode ser analisado na figura 44, onde é possível notar as tubulações que necessitaram ficar por fora da parede, a fim de evitar choques com vigas baldrames e pilar; e na Figura 45, que mostra a necessidade de um shaft no canto do banheiro para alojar o tubo de queda, coluna de ventilação e de distribuição.

Figura 44 – Detalhe de necessidade de ajustes de tubulação na cozinha



Fonte: O Autor (2018).

Figura 45 - Detalhe de necessidade de shaft para tubulação nos banheiros



Fonte: O Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelagem Arquitetônica BIM 3D

A modelagem em BIM é um processo que necessita do conhecimento adequado da ferramenta de modelagem e de uma visão detalhada do projeto em questão, pois trata-se de uma ferramenta de alto grau de detalhamento, e que deve ser modelada de acordo com o que será construído, para que se evitem problemas de construções e projetos.

Embora o treinamento em ferramentas BIM seja demorado e, por diversas vezes, necessite de treinamento por terceiros, tornando cara a sua implementação, é notável que após a finalização do devido treinamento, o projetista irá realizar as modelagens de forma mais rápida que o método convencional de desenho CAD; uma vez que não se trabalha com linhas e formas geométrica, mas com protótipos virtuais de elementos de construção, que possuem parâmetros de informação de formas, cor, quantidades, propriedades mecânicas, etc.

O simples fato de a modelagem BIM ser obrigatoriamente realizada em 3D, ainda que não se explore nenhuma outra dimensão, há vantagem em seu uso em relação às ferramentas CAD; uma vez que a adição de uma dimensão exige informações de detalhes do projetista que evitam abstrações imaginárias, dando ao projeto uma característica de realidade virtual, o que culmina na redução de problemas futuros de interpretação e execução.

Outra vantagem do BIM reside no fato da menor necessidade de plantas e projetos impressos e reimpressos, uma vez que as revisões, gestões, correções e consultas (tanto em escritório como em obra) podem ser realizadas diretamente no modelo, através de tecnologias de dispositivos móveis, reduzindo o consumo de papel. Sendo portanto um conceito de projeto mais sustentável.

Quanto à escolha do software, o Revit Architecture se demonstrou muito eficiente na modelagem arquitetônica, apresentando diversas ferramentas que permitem ao profissional projetista modelar o projeto de acordo com o que será de fato construindo, entrando em níveis de detalhes de milímetros, caso deseje.

Verificando e comparando os projetos apresentados, em plataforma CAD (ANEXOS E A J) e em plataforma BIM (APÊNDICES A a G) é possível notar que, ainda que o projeto BIM esteja representado em 2D, há um ganho de detalhamento, estética e informações. E levando em consideração a modelagem 3D e a possibilidade renderizações (APÊNDICE H), percebesse a discrepante facilidade de leitura e entendimento do projeto.

4.2 Modelagem e Análise Estrutural

Através da modelagem estrutural, foi possível explorar a interoperabilidade entre softwares BIM, evidenciando a necessidade de uma equipe multidisciplinar em um projeto com metodologia BIM, para que este se desenvolva de forma eficiente. A integração dos projetos permite que o conceito do BIM seja posto em prática, aproximando o trabalho dos profissionais de arquitetura em engenharia, que podem trabalhar juntos e em paralelo a fim de conceber o melhor projeto final.

A escolha do software Robot Sructural Analisys para o desenvolvimento do projeto foi de certa forma um ponto que não se demonstrou muito eficiente. O fato do software permitir uma vasta possibilidade de análises complexas em estruturas distintas de todos os tipos, desde barras 2D, a cascas e superfícies de tridimensionais; com materiais variados (tais quais concreto, madeira, metais, etc.) acaba tornando-o muito complexo à aplicação de uma simples residência. Sendo por vezes mais eficiente realizar alguns dimensionamentos de formas tradicionais através de tabelas.

Outro problema do software reside no fato do mesmo ser configurado em normas europeias e americanas, tanto os materiais padrões, como os parâmetros de cálculo. Desta maneira, a utilização do programa para normas brasileiras é sofrida, de tal forma que este deve ser adaptado à ANBT. A adaptação realizada nesse projeto à norma NBR6118, de concreto armado, por exemplo, é bastante sofrível e não atinge a completude desta, sendo portanto necessário a utilização de tabelas para verificações adicionais.

Entretanto, umas vez realizada tal configuração normativa, é possível salvá-las para posterior uso, reduzindo o retrabalhado. Além do fato que, para se realizar essas configurações, o programa exige um elevado entendimento das normas e teorias de cálculo, exigindo qualificação profissional e treinamento.

Mais uma desvantagem do programa reside no fato do mesmo não gerar plantas de alta qualidade já preparadas à apresentação, e não enumerar os elementos conforme as normas brasileiras. Sendo portanto, segundo os fóruns da própria Autodesk, necessário trabalhar com o Revit Structural sempre que se deseja exportar plantas do Robot. Realizando neste o detalhamento da estrutura calculada naquele.

Em contrapartida, se o dimensionamento e detalhamento do concreto armado é sofrível para as normas brasileiras, o Robot é um excelente software de análise estrutural em elementos finitos, como supracitado, podendo ser utilizado não apenas para fins de projetos, mas como

uma excelente ferramenta acadêmica, permitindo ainda exportar de volta ao Revit os resultados das análises de esforços, diagramas, tensões e etc.

Em suma, aconselha-se aplicar este software para modelos mais complexos e para análises estruturais em elementos finitos. Sendo possível sua utilização em projetos simples, porém pouco produtiva.

4.3 Projeto de Instalações Hidrossanitárias

A utilização da metodologia BIM para os projetos de instalações prediais, tem como principal vantagem, a extração de quantitativos, e a possibilidade de detalhamento em diversas vistas, uma vez que esses projetos estão relacionados a uma quantidade específica de peças, e a encaminhamentos e dimensões com tal nível de detalhe que se mal interpretados na hora da execução, podem gerar conflitos e mal funcionamento, geralmente só descobertos após finalizada a execução. Tais detalhamentos podem ser analisados nos APÊNDICES M, O e P.

Para o projeto de água fria, a modelagem se dá de forma rápida em relação ao método tradicional, sendo para isso necessário a configuração prévia de um template, com adição de dimensões padrões, padrões de conexões e tipos de tubulação. Com o a utilização de Link Revit, é possível ainda verificar já na fase de modelagem a interferência entre projetos, evitando futuros problemas de compatibilização e recálculo de perdas de carga.

Nesse ponto, enfatiza-se a necessidade da multidisciplinaridade e conhecimento das ferramentas BIM para que o projeto dos projetos aconteça de forma mais rápida, pois uma vez que o arquiteto utilize modelos de peças sanitárias com parâmetros de conexões de entrada e saída de tubulações, estes podem ser determinar, já na arquitetura o exato ponto das tubulações. Caso não o faço, o projetista hidrossanitário pode substituir estes modelos para outros parametrizados, determinando a locação do ponto.

Já para esgotos sanitários, a modelagem possui ainda uma complexidade adicional devido às inclinações necessárias ao escoamento gravitacional. Uma vez que nos desenhos CAD as inclinações são representadas por valores escritos, em plataforma BIM, tais inclinações devem ser de fato realizadas no modelo virtual, gerando conflitos de encaixe automático entre as peças e tubulações. Em contrapartida, esse trabalho adicional durante o projeto é recompensando na execução, uma vez que os problema que seriam enfrentados apenas na execução, já o foram no modelo virtual, permitindo as devidas soluções, e recálculos se necessários, ainda na fase de projeto; reduzindo o custo e tempo global da obra.

Em relação ao software REVIT MEP, este possível uma enorme capacidade de modelagem de peças, já existindo no merco suporte dos fabricantes, cujos quais oferecem

modelos prontos de seus produtos, configurados com os parâmetros de utilização e geometria. Entretanto, o software deseja a desejar quanto ao dimensionamento, não possuindo ferramenta padrão para tal, sendo portanto necessário a utilização de softwares adicionais de dimensionamento; de softwares terceiros de programação no sistema do REVIT; ou de planilhas tradicionais (Ver APÊNDICE L), fugindo um pouco do conceito automatizado do BIM.

4.4 Extração de documentação

A metodologia BIM consiste em um modelo virtual único, com informações parametrizadas e inclusas nas formas geométricas, composto por várias vistas de trabalho, ao invés de vistas independentes formadas por linhas e forma geométricas, como no CAD

Devido a esse fato, uma das potencializações do BIM em relação à forma de se projetar em CAD, reside na capacidade de extração automática e iterativa de documentação. Permitindo realizar com maior celeridade as revisões de projetos, os orçamentos e a geração de plantas; já que uma alteração em uma vista qualquer, é realizada no modelo, e percebida em qualquer outra vista, incluindo as planilhas de quantitativos.

4.5 Compatibilização

A compatibilização de projetos é um recurso dos projetistas das diversas disciplinas para que se obtenha um projeto multidisciplinar sem interferências entre si; para projetos realizados por um único autor, ainda mais quando há um projeto base utilizado como link para a criação dos demais, as interferências não são muitas, e quando acontece, são mais facilmente solucionadas.

Entretanto, a compatibilização de projetos neste trabalho foi desenvolvida para que se pudesse explorar as potencialidades de se projetar na metodologia BIM. Com esta ferramenta, pode-se descobrir e solucionar ainda na fase de projetos as interferências entre os elementos construtivos (uma tubulação e uma viga, por exemplo), gerando economia de tempo e dinheiro na fase construtiva, evitando retrabalhos e improvisos.

Alguns exemplos demonstrados neste trabalho foi a verificação da necessidade de alguns ajustes na arquitetura, como a locação de shafts, bonecas, paredes falsas e etc. Salienta-se que este tipo de alteração deve ser discutida entre a equipe multidisciplinar responsável pelos projetos.

O conceito de BIM Management, fica aqui evidenciado, uma vez que o método de se produzir em cadeia linear e com revisões por etapas passa a ser substituído por trabalhos simultâneos com revisões imediatas. Desta maneira, foge um pouco ao conceito de BIM quando

um único autor realiza projetos multidisciplinares, pois há ganho maior quando a compatibilização e gerenciamento BIM são utilizados em processos complexos desenvolvidos por vários projetistas distintos.

5 CONCLUSÕES

A metodologia BIM é uma tecnologia em ascensão na indústria AECO, a mesma permite celeridade dos projeto, diminuição de retrabalhos e redução nos erros de compatibilização entre disciplinas,

Seu principal desafio, consiste em sua implementação efetiva no mercado de projetos. Em muitos países do mundo o BIM vem se desenvolvendo, entretanto, ainda é grande os caos de falhas de implementação devidos a complexidade de informações necessárias para se trabalhar em plataformas BIM, dentre elas, a necessidade de uma equipe multidisciplinar bem integrada, e o desenvolvimento de habilidade no softwares BIM no mercado.

A escolha dos softwares utilizados neste projeto permitiu a experiência da interoperabilidade através de diversas disciplinas de projetos, e suas compatibilizações, verificando como cada projeto pode afetar o outro, e como cada um, isoladamente, pode ser potencializado pela metodologia BIM em detrimento à metodologia CAD tradicional.

Mais especificamente, ainda sobre os softwares, exalta-se a complexidade do ROBOT Structural Analysis para projetos de concreto armado, podendo este ser trocado por outros softwares do mercado a fim de se aumentar e produtividade. Ressalta-se ainda, a necessidade de implementação adicional para se realizar dimensionamento em projetos de instalações prediais modelados no REVIT, e a falta de suporte dos softwares da Autodesk, como um todo, para as normas brasileiras. Quanto ao projeto arquitetônico, este agrega um inestimado valor quando modelado no REVIT, devido a possibilidade de ser utilizado como base para os demais projetos.

Por fim, conclui-se que a metodologia BIM é eficaz ainda que seja aplicada a um projeto de pequeno porte, e que esta, aumenta sua produtividade a medida que a equipe multidisciplinar adquiri domínio dobre a metodologia, as ferramentas, realizando configurações que se aperfeiçoam a cada projeto passado, e aceleram os projetos futuros.

Como trabalho futuro sugere-se a implementação do BIM 4D, para a avaliação das interferências temporais durante a fase de construção da obra, e do BIM 5D para a verificação do automatização do processo de orçamentos com a plataforma BIM.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Coletânea GUIAS BIM ABDI-MDIC.** Disponível em: http://www.abdi.com.br/Paginas/bim_construcao_ download.aspx. Acesso em: 30/11/2017.

ALONSO, U.R. **Exercícios de fundações.** São Paulo: Blucher, 2010.

ALONSO, U.R**. Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Blucher, 1991.

ANDERLE, Eduardo Antônio. **Análise do processo de modelagem 5D (BIM):** estudo de caso de uma residência unifamiliar. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Florianopolis, 2017. 119 p.

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado.** 4. ed. Rio Grande, RS: Editora Dunas, 2014. 4v.

ARMSTRONG, Cecil G. **Modelling requirements for finite-element analysis**. Belfast: Journal Computer-Aided Design, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. ABNT NBR7480:** aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de janeiro: ABNT, 2007.

_____. **ABNT NBR6120:** cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de janeiro: ABNT, 1980. (Errata 2000).

_____. **ABNT NBR8953:** concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR5626:** instalação predial de água fria. Rio de janeiro: ABNT, 1998.

_____. **ABNT NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de janeiro: ABNT, 2014.

_____. **ABNT NBR8160:** sistemas prediais de esgoto sanitário – projeto e execução. Rio de janeiro: ABNT, 1999.

AUTODESK. **AUTOCAD:** visão geral. Disponível em: https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview. Acesso em: 30/11/2017.

_____. **NAVISWORK:** visão geral. Disponível em: https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/overview. Acesso em: 30/11/2017.

_____. **METRIC GETTING STARTED GUIDE.** Disponível em: https://knowledge.autodesk.com/. Acesso em: 27/01/2019.

_____. **ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL:** visão geral. Disponível em: https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview. Acesso em: 30/11/2017.

BALEM, Amanda Forgiarini. **Vantagens da compatibilização de projetos na engenharia civil aliada ao uso da metodologia BIM.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2015. 76 p.

BENTLEY SYSTEMS. **AECOsim:** software para projeto de edificações e análise de desempenho energético. Disponível em: https://www.bentley.com/pt/products/brands/aecosim. Acesso em: 30/11/2017.

BENTLEY SYSTEMS. **MicroStation:** software para modelagem, documentação e visualização. Disponível em: https://www.bentley.com/pt/products/brands/microstation. Acesso em: 30/11/2017.

BORTOLOTTO, Mariana Cristina. **Compatibilização de projetos de uma habitação: verificação de incompatibilidades no sistema de projetação 2D e na modelagem 3D.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Florianópolis, 2014. 112 p.

CAPIOTTI, Laura Jaskulski. **Vantagem do uso de modelagem BIM 4D e 5D no planejamento e controle da produção aplicado ao setor da construção civil.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2015. 77 p.

CARDOSO, Andreia; MAIA, Bruno; SANTOS, Diogo; NEVES, João; MARTINS, Margarida. **BIM:** o que é?. 2013. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Porto, 2012/13. 27 p.

CARVALHO, Roberto Chust**. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118-2014**. 4. ed. EdUFSCar, 2014. v. 1.

CARVALHO, Roberto Chust**. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Paulo, SP. PINI. 2019. v. 2.

COMPUTERS AND STRUCTURES. **SAP2000**. Disponível em: https://www.csiamerica.com/products/sap2000. Acesso em: 30/11/2017.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM:** um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483 p.

GRIMM, T. **User's Guide to Rapid Prototyping.** Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2004.

GUEDES, Bruno Turmina. **Prototipagem virtual:** simulação dinâmica de conjunto para a mobilidade de cadeirantes. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. Pato Branco, 2015. 85 p.

HACHICH, W. ET AL (ed.). **Fundações, teoria e prática.** 2. Ed. São Paulo, SP. PINI, 1998.

HAMED, Luciano. **BIM DO 3D AO 7D.** Outubro, 2015. Disponível em: https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/. Acesso em: 30/11/2017.

LEE, Kunwoo. **Principles of CAD/CAM/CAE Systems**. Boston: Addison Wesley Longman Publishing Company, 1999.

MASOTTI, Luís F. Cardoso. **Análise da Implementação e do impacto do BIM no Brasil.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Florianópolis, 2014. 79 p.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCE (NIBS), BuildingSMARTalliance. **National BIM Standard-United States® Version 3**. 2015. Disponível em: https://www.nationalbimstandard.org/. Acesso em: 30/11/2017.

NOGUEIRA, Júlia da Silva. **Análise dos benefícios do BIM no combate às irregularidades em projetos de obras de edificações públicas e seus aditivos contratuais.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Florianópolis, 2016. 125 p.

ONEDA, Gian Felippe Lisboa. **O que é o LOD de um modelo BIM?**. Artigo online. 2017. Disponível em: https://biminformation.blog. Acesso em: 01/03/2019.

ROSSO, Silva Maria. **Softwares BIM:** conheça os programas disponíveis, seu custo, principais características e segredos. Revista aU – Arquiterura e Urbanismo, Editora PINI. ed. 208, Julho, 2011. Disponível em: http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/bim-quem-e-quem-224333-1.aspx. Acesso em: 20/11/2017.

SANTOS, Eduardo Toledo. **Building Information Modeling and Interoperability.** Congresso SIGRADI 2009. Brasil, São Paulo. 2009.

SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL (SIGRADI). **Gestão de Obras com BIM:** Uma nova era para o setor da construção civil. Congresso SIGraDI. 2016. Buenos Aires, Argentina. Novembro, 2016.

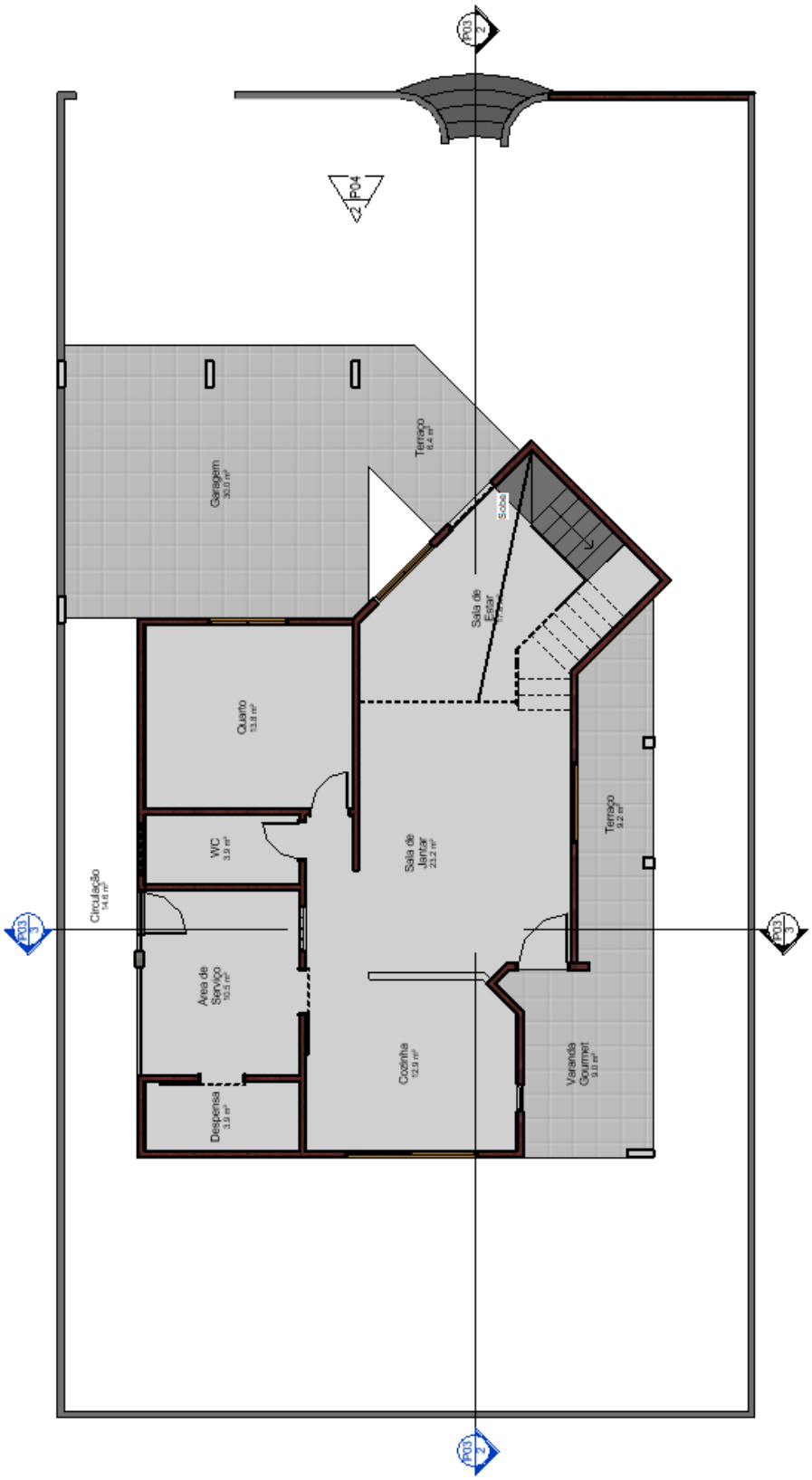
SOARES, Joel D. R. Teixeira. **A metodologia BIM-FM aplicada a um caso prático.** 2013. Relatório de Estágio (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal. Porto, 2013. 180 p.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Conheça os Sistemas CAD/TQS**. Disponível em: http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs. Acesso em: 30/11/2017.

ULRICH, Karl T; EPPINGER, Steven D. **Product Design and Development**. ed. 5. New York: McGraw-Hill, 2012.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. **Fundações:** critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DO TÉRREO – BIM

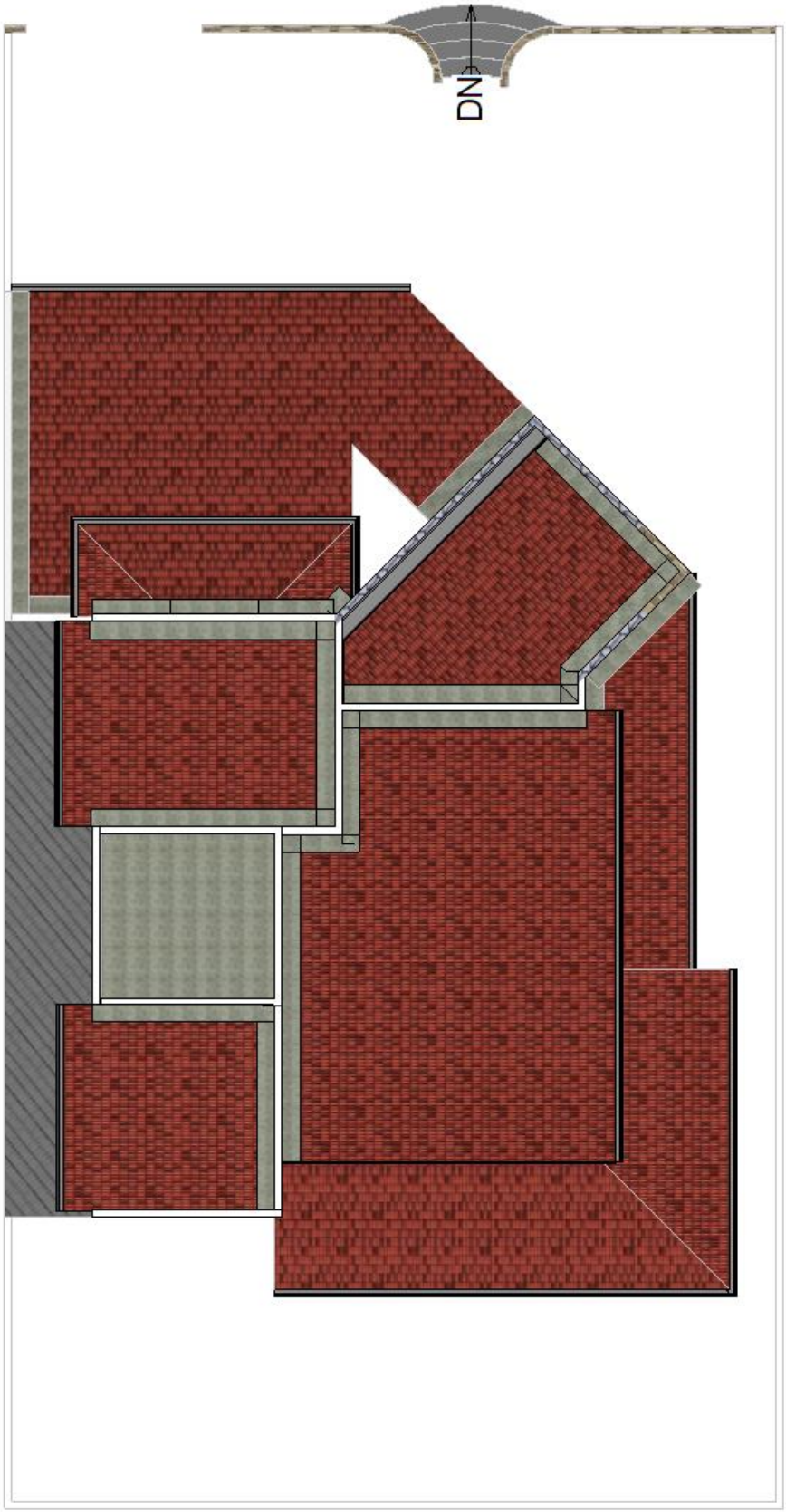


Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE B – PLANTA BAIXA DO 1º PAVIMENTO - BIM

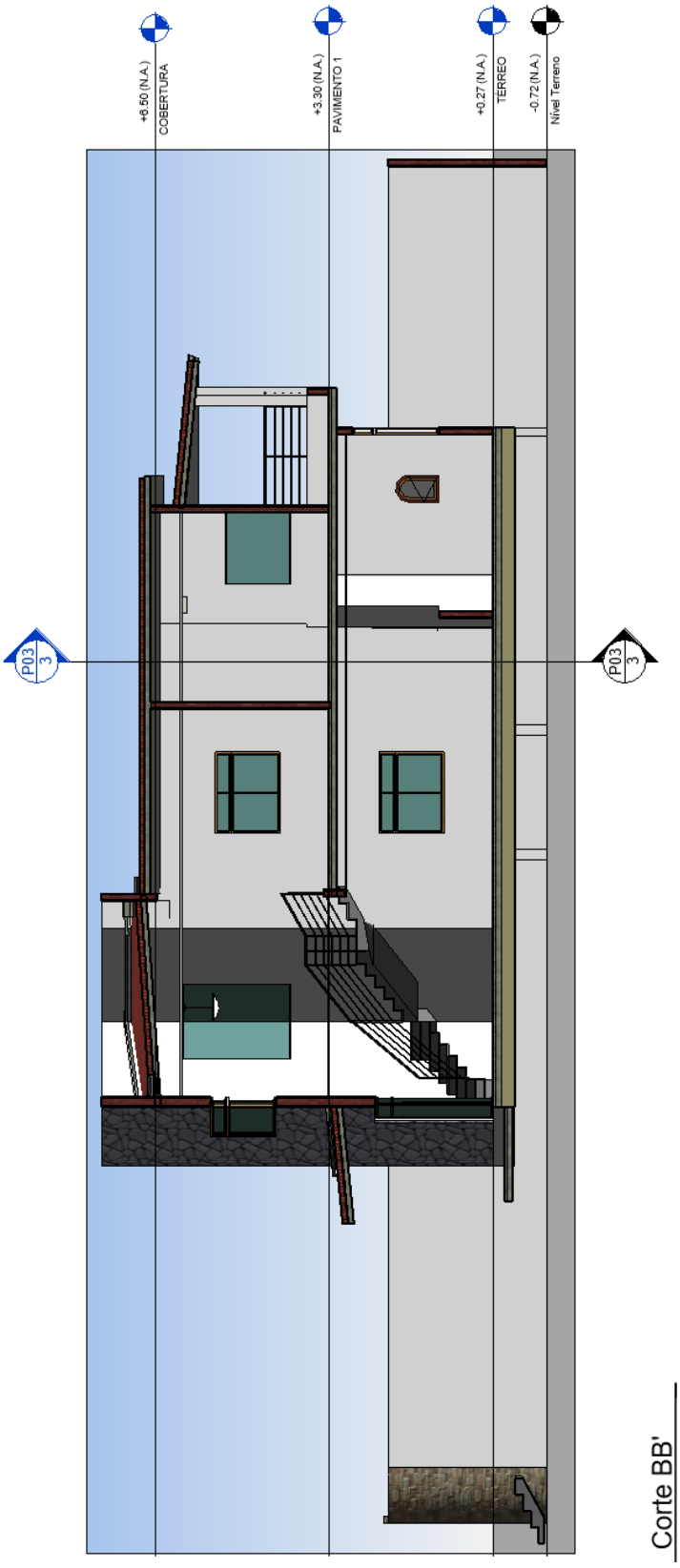
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE C – PLANTA DE COBERTA - BIM



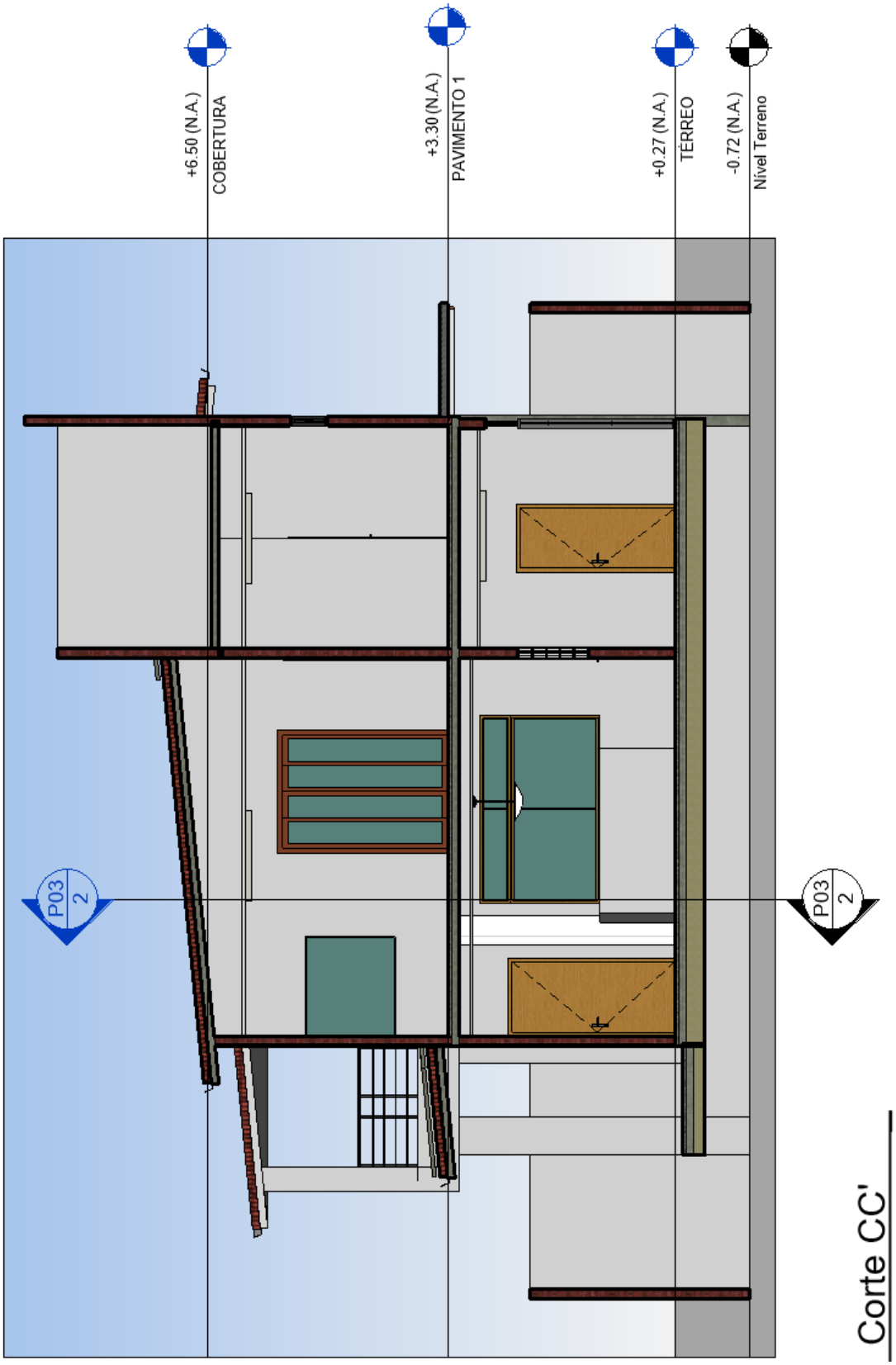
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE D – CORTE LONGITUDINAL – BIM



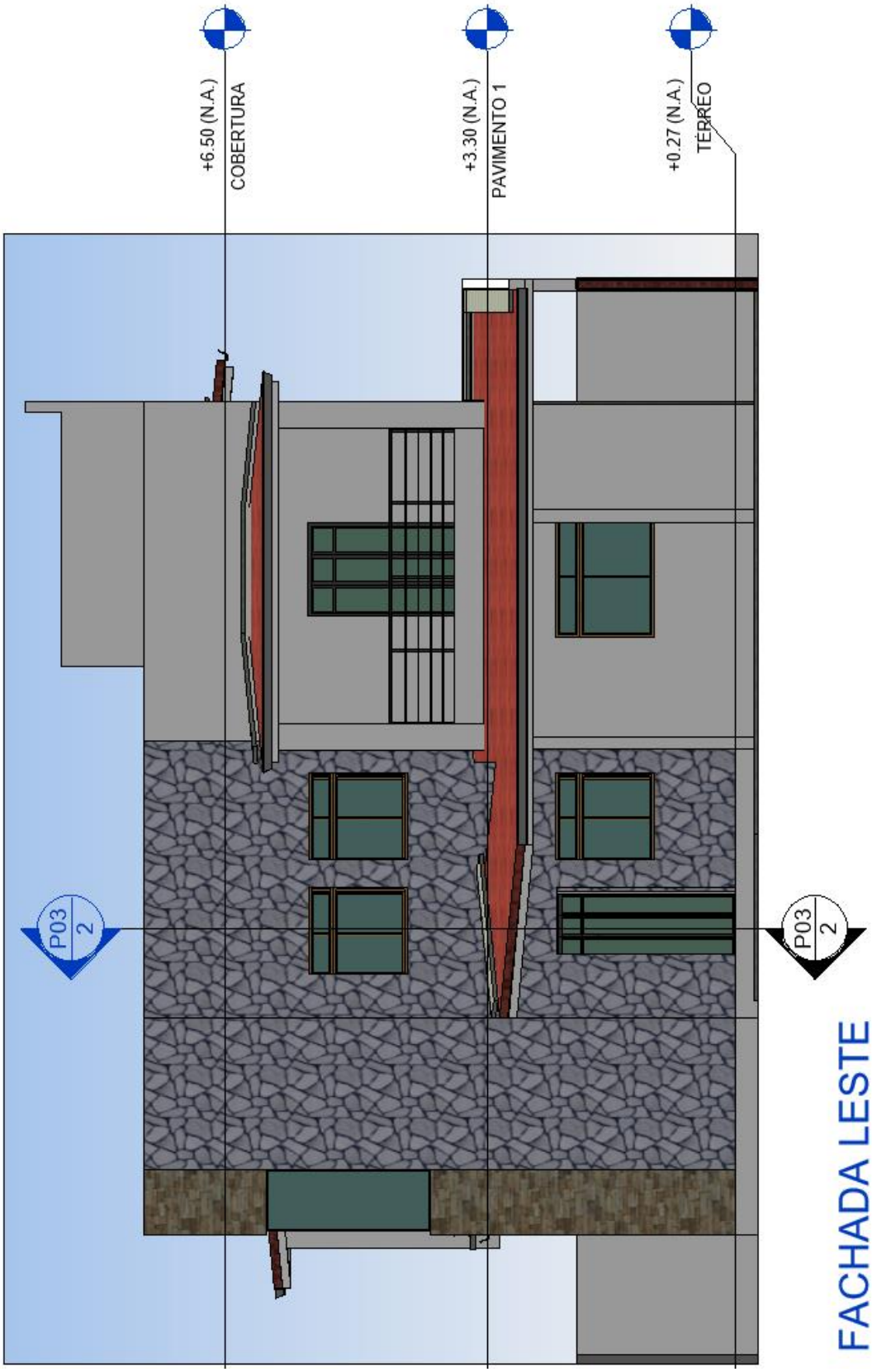
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE E – CORTE TRANSVERSAL – BIM

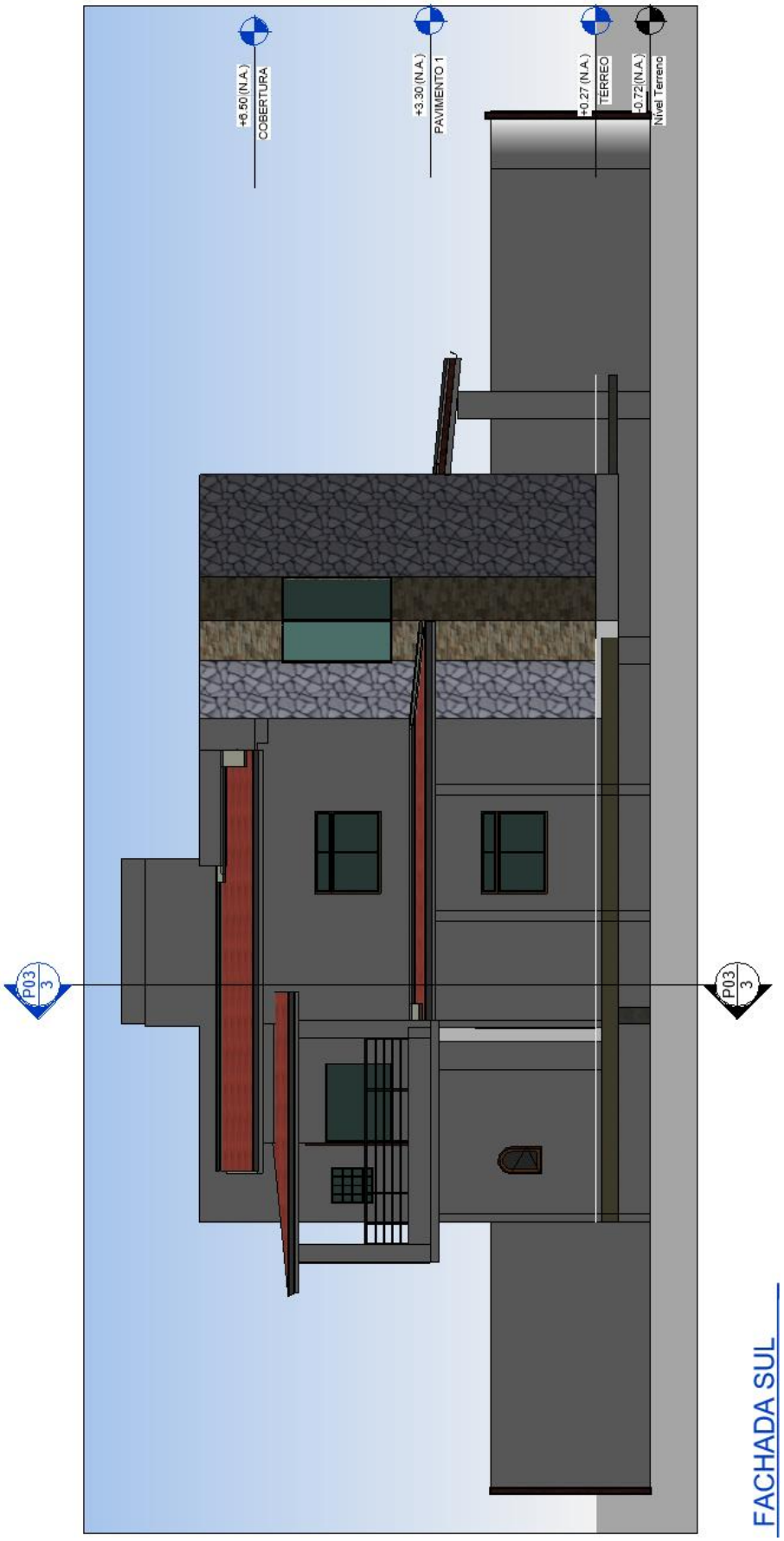


Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE F – ELEVAÇÕES - BIM

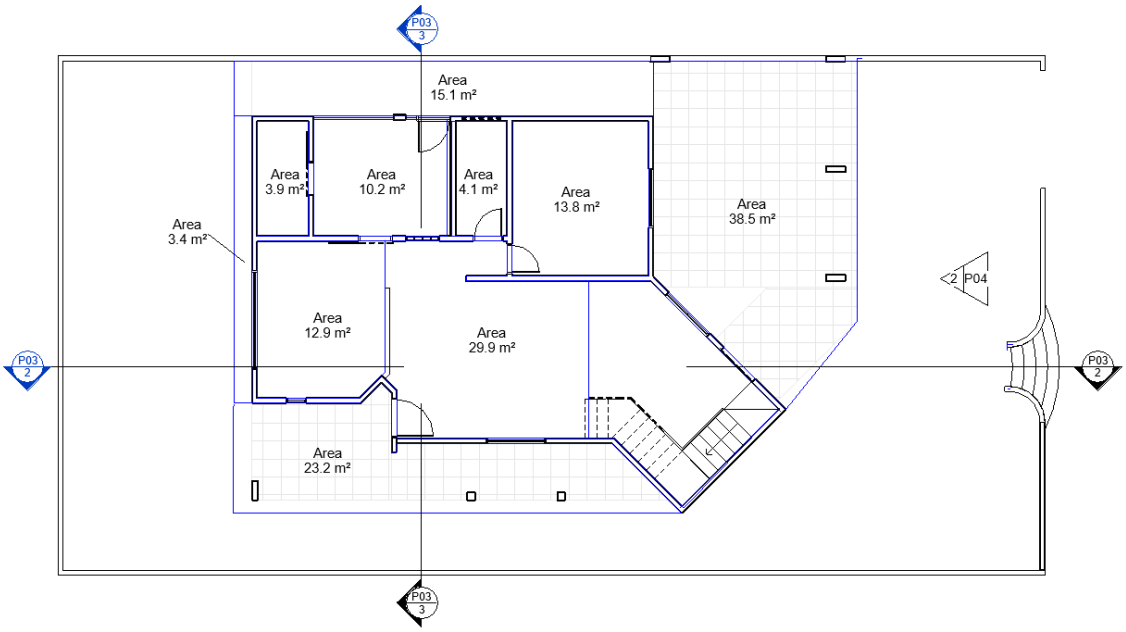


Fonte: O Autor (2018).

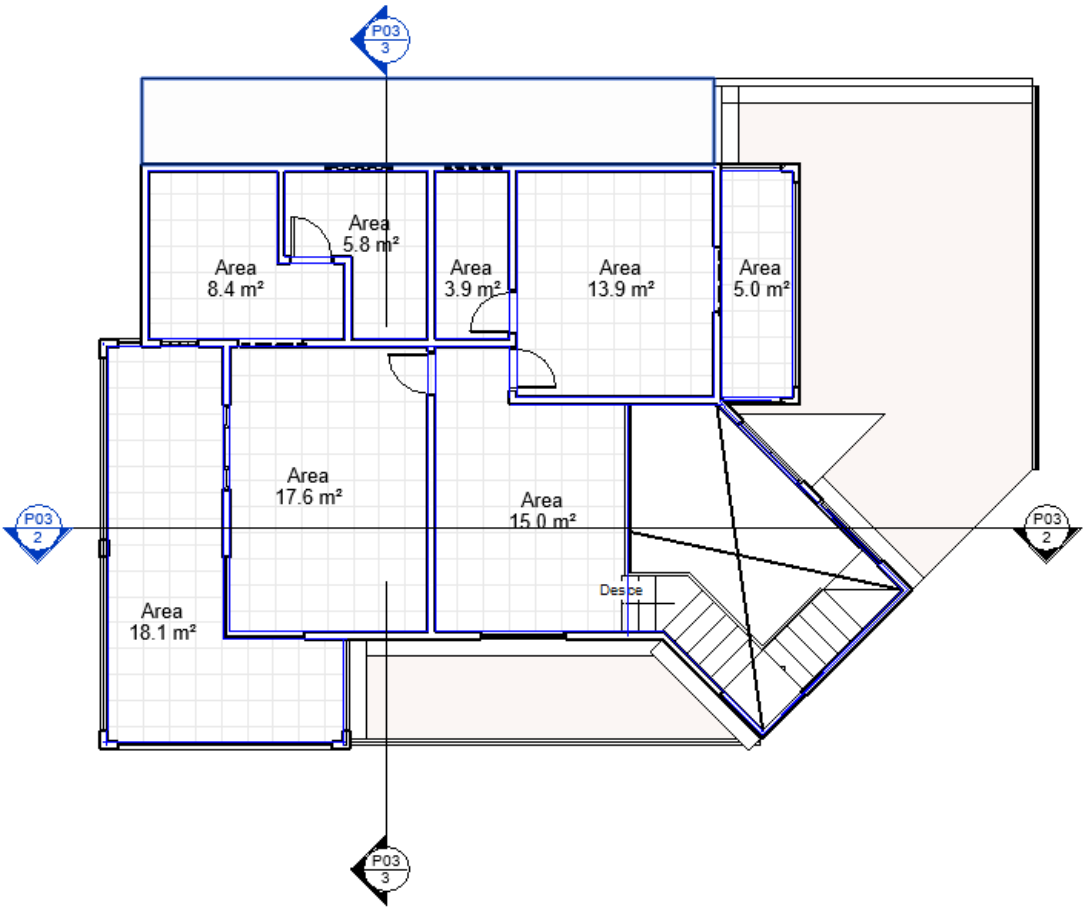


Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE G – PLANTAS DE ÁREA



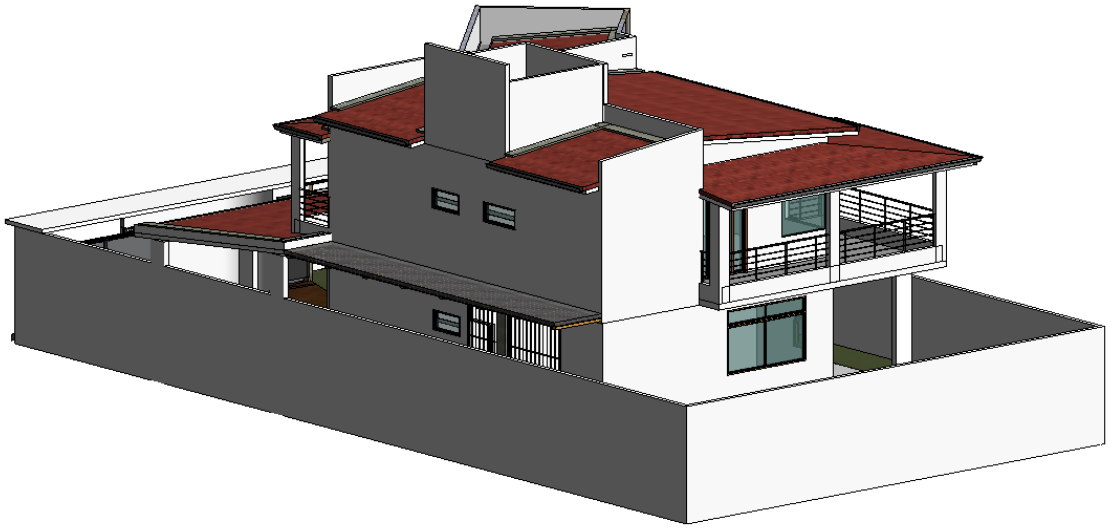
Fonte: O Autor (2018).



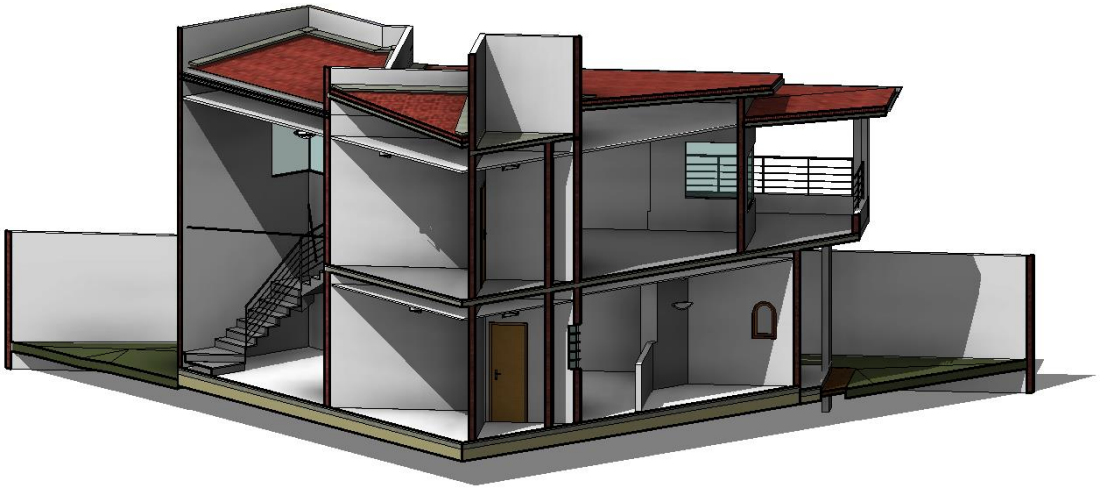
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE H – VISTAS 3D & RENDERIZAÇÕES

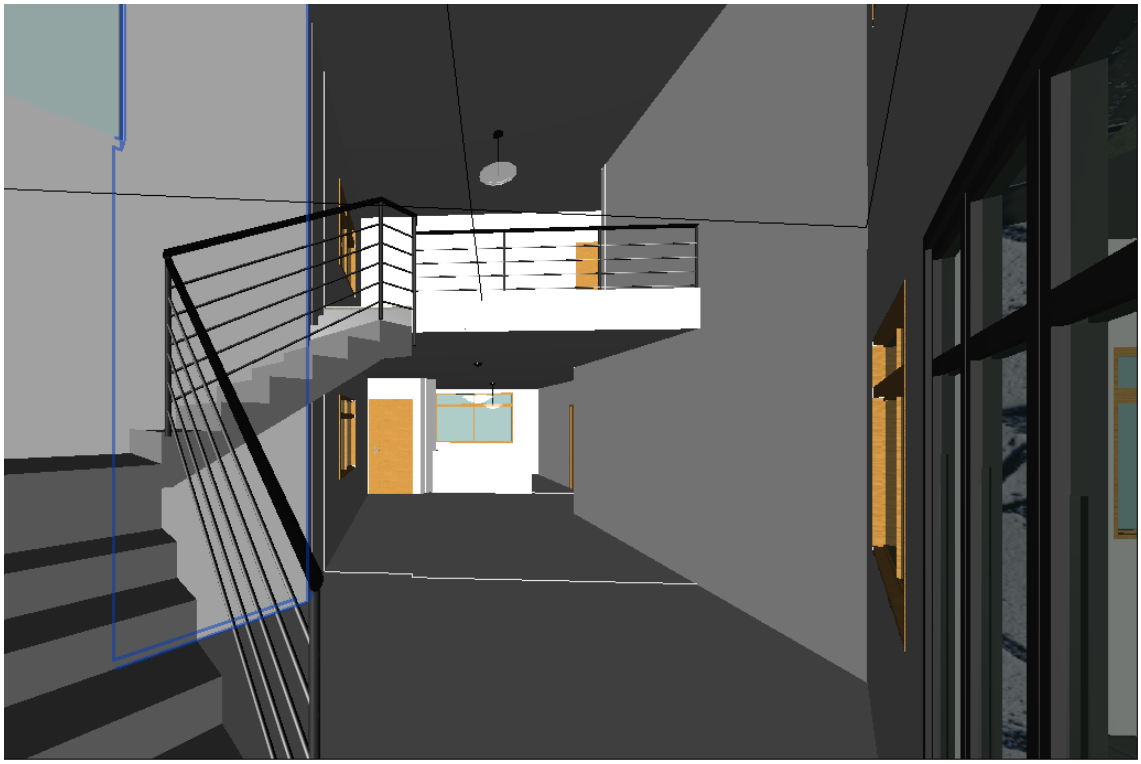
Fonte: O Autor (2018).



Fonte: O Autor (2018).



Fonte: O Autor (2018).



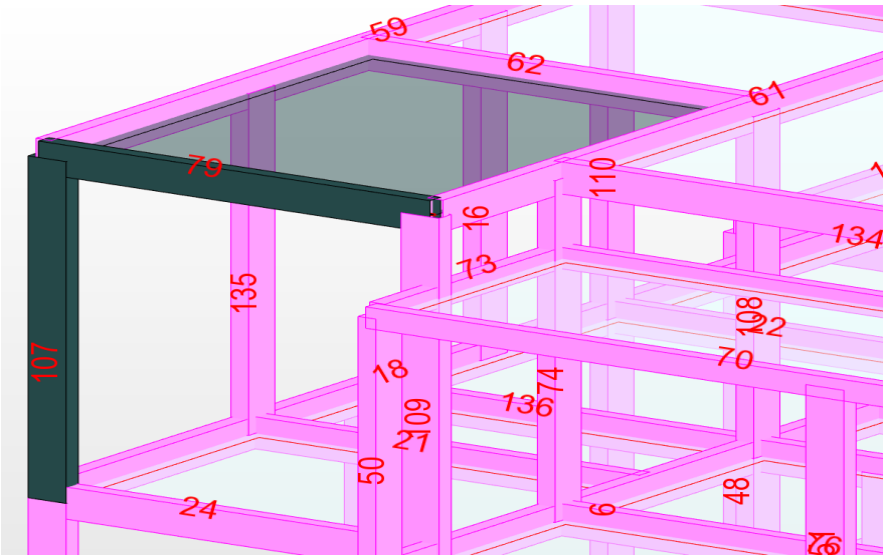
Fonte: O Autor (2018).

Fonte: O Autor (2018).

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE I – ROBOT – RELATÓRIOS DE CÁLCULO E DIAGRAMAS

Exemplificação para os elementos destacados



Fonte: O Autor (2018).

RELATÓRIO DE CÁLCULO DE LAJE

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

1. Laje: Placa142 - Painel nº 142

1.1. Armadura:

- Tipo : Piso de CA NBR6118
- Direção da armadura principal : 0°

Grau da armadura principal : CA-50; Resistência característica = 500,00 MPa
Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço

- Classe de ductilidade : -
- Diâmetros da barra fundo d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
  superior d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
- Cobertura fundo c1 = 3,0 (cm)
  superior c2 = 3,0 (cm)
- Desvios de cobertura Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)

1.2. Concreto

Classe : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]

- Densidade : 2549,29 (kG/m3)
- Coeficiente de fluência do concreto : 1,63
- Classe do cimento : N

1.3. Hipóteses

- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Método de cálculo da área de armadura : N/A
- Largura de fissura tolerável
  - camada superior : 0,40 (mm)
  - camada inferior : 0,40 (mm)
- Deflexão tolerável : 3,0 (cm)
- Verificação da punção : sim
- Exposição
  - camada superior : X0
  - camada inferior : X0
- Tipo de cálculo : flexão simples
- Classe de estrutura : S1

1.4. Geometria da laje

Espessura 0,10 (m)

Contorno:

aresta	início x1	início y1	fim x2	fim y2	comprimento (m)
1	4,67	0,00	0,00	0,00	4,67
2	0,00	0,00	-0,00	-1,51	1,51
3	-0,00	-1,51	4,67	-1,51	4,67
4	4,67	-1,51	4,67	0,00	1,51

Apoio:

nº	Nome	dimensões (m)	coordenadas x	coordenadas y	aresta
64	linear	0,12 / 4,67	2,34	-1,51	
70	linear	0,12 / 4,60	2,37	0,00	
70	linear	0,06 / 0,12	4,67	-0,03	
71	ponto	0,30 / 0,14	4,66	0,00	
72	ponto	0,30 / 0,14	1,28	-1,51	
105	ponto	0,30 / 0,14	0,07	0,00	

* - presença de cabeça

Data : 04/02/19 Página : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

1.5. Resultados do cálculo:

1.5.1. Deflexão
|f(+)| = 0,0 (cm) <= f_{dop}(+) = 3,0 (cm)
|f(-)| = 0,0 (cm) <= f_{dop}(-) = 3,0 (cm)

1.5.2. Fissura
camada superior
ax = 0,00 (mm) <= a_{dop} = 0,40 (mm)
ay = 0,00 (mm) <= a_{dop} = 0,40 (mm)
camada inferior
ax = 0,00 (mm) <= a_{dop} = 0,40 (mm)
ay = 0,00 (mm) <= a_{dop} = 0,40 (mm)

3. Resultados - detalhamento

Lista de soluções:
Armadura: barras

Solução n°	Alcance da armadura Diâmetro / Peso	Peso total (kG)
1	-	67,38
2	-	69,09
3	-	69,52
4	-	72,43
5	-	74,65
6	-	75,84
7	-	76,32
8	-	77,99
9	-	88,38

Resultados para a solução n° 1
Zonas de armadura

Armadura inferior

Nome	coordenadas x1 (cm2/m)	y1	x2	y2	Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At Ar (cm2/m)
1/1- Ax principal	-0,00 6,04	-1,51	4,67	0,00	10,0 / 13,0	5,65 <
1/2- Ay perpendicular	-0,00 1,56	-1,51	4,67	0,00	6,3 / 20,0	0,00 <

Armadura superior

Nome	coordenadas x1 (cm2/m)	y1	x2	y2	Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At Ar (cm2/m)
1/1+(1/2+) Ax principal	-0,00 6,04	-1,51	1,40	0,00	10,0 / 13,0	5,65 <
1/2+ Ax principal	3,27 6,04	-1,51	4,67	0,00	10,0 / 13,0	5,65 <

Data : 04/02/19 Página : 2

Fonte: O Autor (2018).

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

1/3+(1/4+) Ay perpendicular	0,00	-0,00 < 1,56	-1,51	1,40	0,00	6,3 / 20,0	6,3 / 20,0
1/4+ Ay perpendicular	1,56	3,27	-1,51	4,67	0,00	6,3 / 20,0	0,00 <

4. Levantamento de materiais

- Volume de concreto = 0,71 (m3)
- Gabarito = 7,06 (m2)
- Circunferência da laje = 12,37 (m)
- Área de aberturas = 0,00 (m2)

- Aço CA-50
- Peso total = 76,45 (kG)
- Densidade = 108,34 (kG/m3)
- Diâmetro médio = 8,7 (mm)
- Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número:
6.3	1,45	38
10	1,95	24
10	4,61	12

Fonte: O Autor (2018).

RELATÓRIO DE CÁLCULO DE PILAR

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

1 Nível:

- Nome : Não definido
- Nível de referência : ---
- Coeficiente de fluência do concreto : φ_b = 2,82
- Classe do cimento : N
- Classe do ambiente : X0
- Classe de estrutura : S1

2 Coluna: Coluna107 Número: 1

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 f_{ck} = 25,00 (MPa)
  Peso unitário : 2549,29 (kG/m3)
  Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal: : CA-50 f_{yk} = 500,00 (MPa)
  Classe de ductilidade : -
- Armadura transversal: : CA-50 f_{yk} = 500,00 (MPa)

2.2 Geometria:

2.2.1 Retangular 45,0 x 30,0 (cm)
2.2.2 Altura: L = 3,20 (m)
2.2.3 Espessura da laje = 0,10 (m)
2.2.4 Altura da viga = 0,30 (m)
2.2.5 Cobertura = 4,0 (cm)

2.3 Opções de cálculo:

- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Coluna pré-moldada : não
- Pré-projeto : não
- Esbeltez levada em consideração : sim
- Compressão : com flexão
- Amarras : à laje
- Classe de resistência ao fogo : Sem requisitos

2.4 Cargas:

Caso	Natureza	Grupo	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)	
Peso Próprio		carga morta	107	1,35	11,50	2,56	-1,99	1,14	-1,23
Permanente		carga morta	107	1,35	25,37	10,51	-25,55	6,31	-8,38
Sobrecarga carga variável		107	1,50	0,50	0,75	-0,77	0,41	-0,60	
Vento	vento	107	1,50	-0,02	0,00	-0,01	-0,01	0,01	

γ_f - fator de carga

2.5 Resultados do cálculo:

Fatores de segurança Rd/Ed = 1,06 > 1.0

Data : 04/02/19 Página : **1**

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

2.5.1 Análise ELU/ALS

Combinação do projeto: 1.35Peso Próprio+1.35Permanente+1.50Sobrecarga+0.90Vento (B)
Tipo de combinação: ULS
Forças internas:
Nsd = 50,50 (kN) Msdy = -38,35 (kN*m) Msdz = -13,85 (kN*m)
Forças do projeto:
Nó inferior
N = 50,50 (kN) N*etotz = -38,75 (kN*m) N*etoty= -13,85 (kN*m)

Excentricidade:		ez (My/N)	ey (Mz/N)
Estático	eEd:	-75,9 (cm)	-27,4 (cm)
Imperfeição	ei:	0,8 (cm)	0,0 (cm)
Inicial	e0:	-75,1 (cm)	-27,4 (cm)
Mínima	emin:	2,0 (cm)	2,0 (cm)
Total	etot:	-76,7 (cm)	-27,4 (cm)

2.5.1.1. Análise detalhada-Direção Y:

2.5.1.1.1 Análise de esbeltez

Estrutura indeslocável

L (m)	Lo (m)	λ	λlim	
3,20	3,20	36,95	231,31	Coluna curta

2.5.1.1.2 Análise de flambagem

MA = 18,76 (kN*m) MB = -38,35 (kN*m)
Caso: Seção transversal na extremidade da coluna (Nó inferior), Esbeltez não levada em consideração
M0 = -38,35 (kN*m)
ea = θi*lo/2 = 0,8 (cm)
θi = θo * αh * αm = 0,01
θo = 0,01
αh = 1,00
αm = (0,5(1+1/m))^0.5 = 1,00
m = 1,00
Ma = N*ea = 0,40 (kN*m)
MEdmin = 1,01 (kN*m)
M0Ed = max(MEdmin,M0 + Ma) = -38,75 (kN*m)

2.5.1.2. Análise detalhada-Direção Z:

MA = 10,66 (kN*m) MB = -13,85 (kN*m)
Caso: Seção transversal na extremidade da coluna (Nó inferior), Esbeltez não levada em consideração
M0 = -13,85 (kN*m)
ea = 0,0 (cm)
Ma = N*ea = 0,00 (kN*m)
MEdmin = 1,01 (kN*m)
M0Ed = max(MEdmin,M0 + Ma) = -13,85 (kN*m)

2.5.2 Armadura:

Área real (fornecida) Asr = 6,28 (cm2)
Relação: ρ = 0,47 %

2.6 Armadura:

Barras principais (CA-50):

Data : 04/02/19 Página : **2**

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

- 8 ϕ10 l = 3,17 (m)

Armadura transversal: (CA-50):
estribos: 19 ϕ6.3 l = 1,31 (m)

3 Levantamento de materiais:

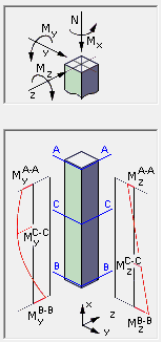
- Volume de concreto = 0,39 (m3)
- Gabarito = 4,35 (m2)

- Aço CA-50
  - Peso total= 21,74 (kG)
  - Densidade = 55,54 (kG/m3)
  - Diâmetro médio = 8,2 (mm)
  - Levantamento de armaduras:

Diâmetro	Comprimento (m)	Peso (kG)	Número (ПР)	Peso total (kG)
6.3	1,31	0,32	19	6,10
10	3,17	1,96	8	15,64

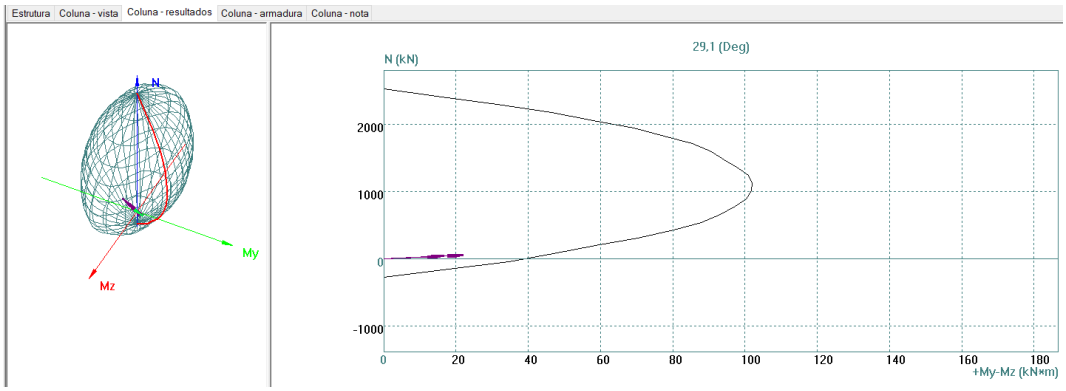
Fonte: O Autor (2018).

Cargas



Nº	Caso	Natureza	Subnatureza	Grupo	N (kN)	MyA (kN*m)	MyB (kN*m)	MyC (kN*m)	MzA (kN*m)	MzB (kN*m)	MzC (kN*m)
1	Peso Própr	carga mort	--------	107	11,50	2,56	-1,99	1,02	1,14	-1,23	-0,49
2	Permanent	carga mort	--------	107	25,37	10,51	-25,55	-11,13	6,31	-8,38	-3,35
3	Sobrecarga	Vivo	--------	107	0,50	0,75	-0,77	-0,31	0,41	-0,60	-0,24
4	Vento	vento	--------	107	-0,02	0,00	-0,01	-0,00	-0,01	0,01	-0,00
*			--------								

Adicionar cargas superiores



Fonte: O Autor (2018).

RELATÓRIO DE CÁLCULO DE VIGA

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

1 Nível:

- Nome :
- Nível de referência : ---
- Fissura máxima : 0,30 (mm)
- Exposição : X0
- Coeficiente de fluência do concreto : φ_c = 2,91
- Classe do cimento : N
- Idade do concreto (momento de carga) : 28 (dias)
- Idade do concreto : 5 (anos)
- Idade do concreto após erguer uma estrutura : 365 (anos)
- Classe de estrutura : S1
- Classe de resistência ao fogo : sem requisitos
- Recomendações de FFB 7.4.3(7) : 0,00

2 Viga: Viga79 **Número: 1**

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 f_{ck} = 25,00 (MPa)
  Distribuição de tensões retangulares
  [3.1.7(3)]
  Densidade : 2549,29 (kG/m3)
  Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal : CA-50 f_{yk} = 500,00 (MPa)
  Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
  Classe de ductilidade : -
- Armadura transversal : CA-50 f_{yk} = 500,00 (MPa)
  Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
  Classe de ductilidade : -
- Armadura adicional : CA-50 f_{yk} = 500,00 (MPa)
  Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço

2.2 Geometria:

2.2.1

Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	L (m)	Apoio direito (m)
P1	**Vão 0,42**	**2,64**		**0,28**

Comprimento do vão: L_0 = 2,99 (m)
Seção de 0,00 até 2,64 (m)
15,0 x 35,0 (cm)
sem laje esquerda
sem laje direita

2.3 Opções de cálculo:

Data : 04/02/19 Página : 1

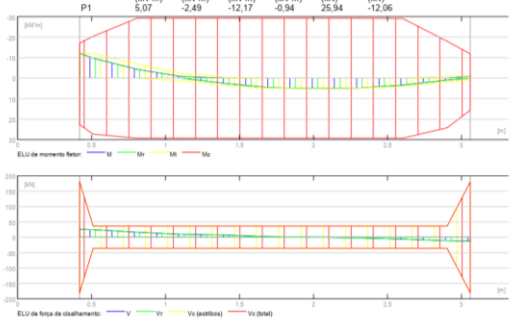
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor: Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Morada: Projecto: Estrutura

- Regulagem das combinações : EN 1990:2002
- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Viga pré-moldada : não
- Cobertura : fundo c = 4,0 (cm)
  : lado c1= 4,0 (cm)
  : superior c2= 4,0 (cm)
- Desvios de cobertura : Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)
- Coeficiente β_2 =0.50 : carga de longo prazo ou cíclica
- Método de cálculos de cisalhamento : inclinação da biela

2.4 Resultados do cálculo:

2.4.1 Forças internas em ELU

Vão	Mt máx. (kN*m)	Mt min. (kN*m)	Ml (kN*m)	Mr (kN*m)	Ql (kN)	Qr (kN)
P1	5,07	-2,49	-12,17	-0,94	25,94	-12,06



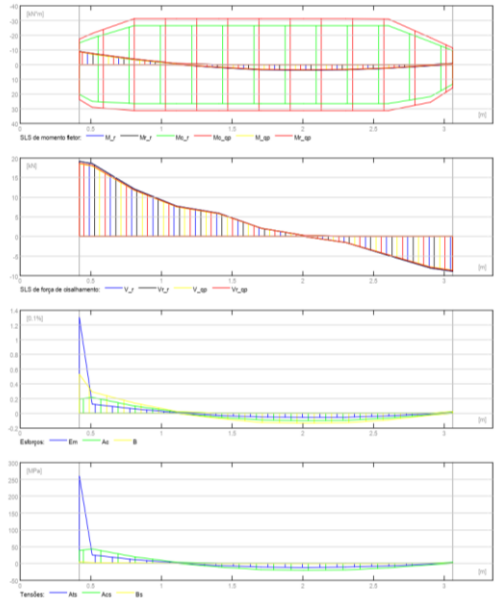
2.4.2 Forças internas em SLS

Vão	Mt máx. (kN*m)	Mt min. (kN*m)	Ml (kN*m)	Mr (kN*m)	Ql (kN)	Qr (kN)
P1	3,72	-0,67	-8,99	-0,63	19,11	-8,89

Data : 04/02/19 Página : 2

Fonte: O Autor (2018).

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor:
Morada:
Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Projecto: Estrutura

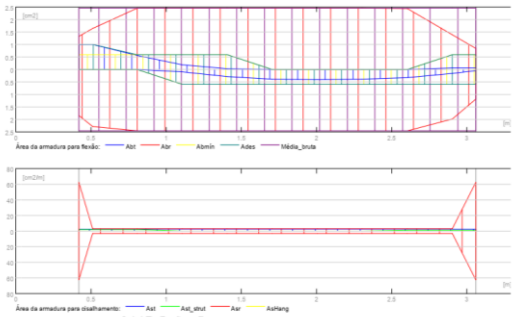


2.4.3 Área de armadura necessária

Vão	Vão (cm2)		Apoio esquerdo (cm2)		Apoio direito (cm2)	
	fundo	superior	fundo	superior	fundo	superior
P1	0,41	0,00	0,00	1,00	0,05	0,06

Data : 04/02/19 Página : **3**

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor:
Morada:
Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Projecto: Estrutura



2.4.4 Deflexão e fissura

wt(QP) Total devido à combinação quase permanente
wt(QP)dop Tolerável devido à combinação quase permanente
Dwt(QP) Incremento de flecha da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.
Dwt(QP)dop Incremento de flecha admissível da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.

wk - largura das fissuras perpendiculares

Vão	wt(QP) (cm)	wt(QP)dop (cm)	Dwt(QP) (cm)	Dwt(QP)dop (cm)	wk (mm)
P1	0,0	1,2	0,0	0,0	0,3

2.5 Resultados teóricos - resultados detalhados:

2.5.1 P1 : Vão de 0,42 até 3,06 (m)

Abscissa (m)	ULS M máx. (kN*m)	ULS M min. (kN*m)	SLS M máx. (kN*m)	SLS M min. (kN*m)	A fundo (cm2)	A superior (cm2)
0,42	0,00	-12,17	0,00	-8,99	0,00	1,00
0,51	0,00	-12,17	0,00	-7,60	0,00	1,00
0,81	0,00	-6,95	0,00	-3,78	0,00	0,56
1,11	1,26	-2,49	0,00	-0,67	0,09	0,18
1,41	3,59	-0,38	1,94	0,00	0,28	0,03
1,71	4,84	-0,00	3,39	0,00	0,39	0,00
2,00	5,07	-0,00	3,72	0,00	0,41	0,00
2,30	4,92	-0,00	3,51	0,00	0,39	0,00
2,60	4,00	-0,00	2,42	0,00	0,32	0,00
2,90	2,03	-0,85	0,64	0,00	0,15	0,06
3,06	0,79	-0,94	0,00	-0,63	0,05	0,06

Data : 04/02/19 Página : **4**

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
Autor:
Morada:
Ficheiro: **Estrutura.rtd**
Projecto: Estrutura

Abscissa (m)	ULS V máx. (kN)	SLS V máx. (kN)	adp (mm)
0,42	25,94	19,11	0,3
0,51	25,22	18,58	0,0
0,81	16,46	12,13	0,0
1,11	10,51	7,75	0,0
1,41	8,09	5,96	0,0
1,71	2,79	2,07	0,0
2,00	0,37	0,27	0,0
2,30	-2,16	-1,59	0,0
2,60	-6,56	-4,83	0,0
2,90	-10,94	-8,06	0,0
3,06	-12,06	-8,89	0,0

2.6 Armadura:

2.6.1 P1 : Vão de 0,42 até 3,06 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
  2 ϕ12.5 l = 3,25 de 0,05 até 3,30
- apoio (CA-50)
  2 ϕ12.5 l = 3,26 de 0,04 até 3,30

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
  estribos 16 ϕ6.3 l = 0,73
  e = 1*0,01 + 1*0,01 + 13*0,20 + 1*0,01 (m)

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,18 (m3)
- Gabarito = 2,84 (m2)

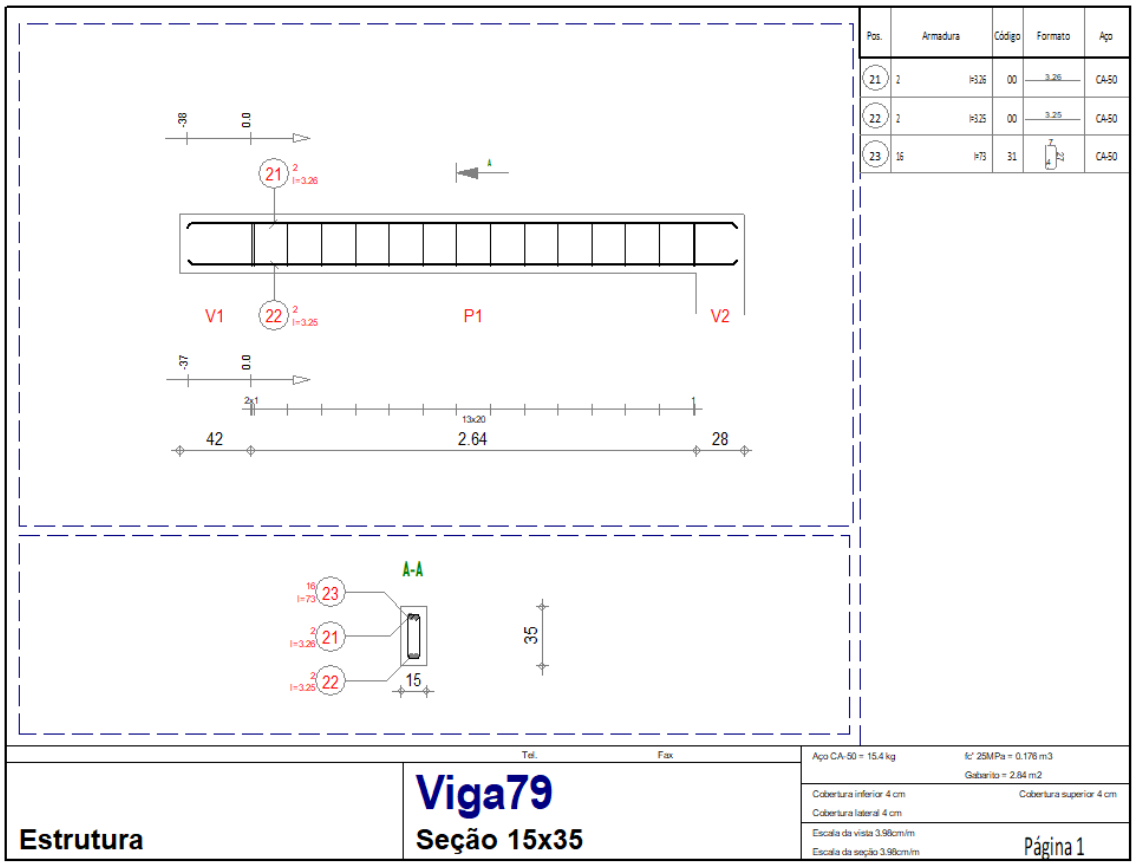
- Aço CA-50
  - Peso total= 15,40 (kG)
  - Densidade = 87,76 (kG/m3)
  - Diâmetro médio = 9,6 (mm)
  - Levantamento de acordo com os diâmetros:

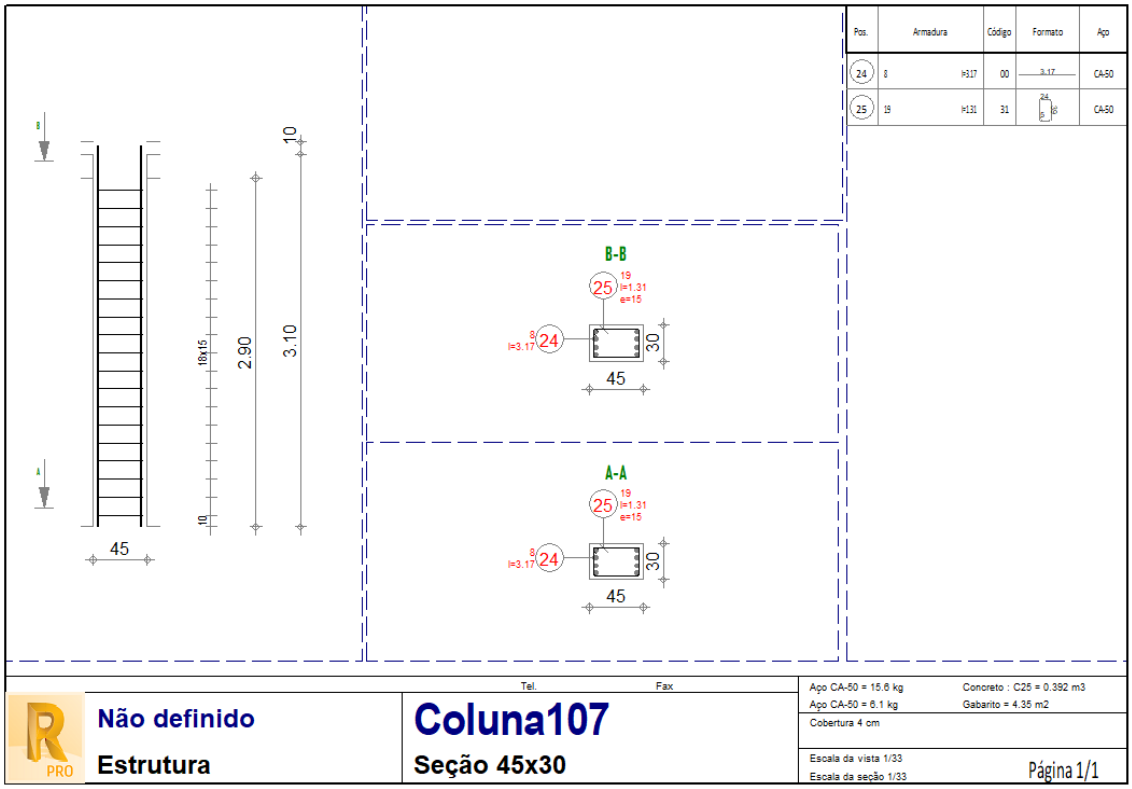
Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kG)	Número (Nº)	Peso total (kG)
6.3	0,73	0,18	16	2,85
12.5	3,25	3,13	2	6,26
12.5	3,26	3,14	2	6,29

Data : 04/02/19 Página : **5**

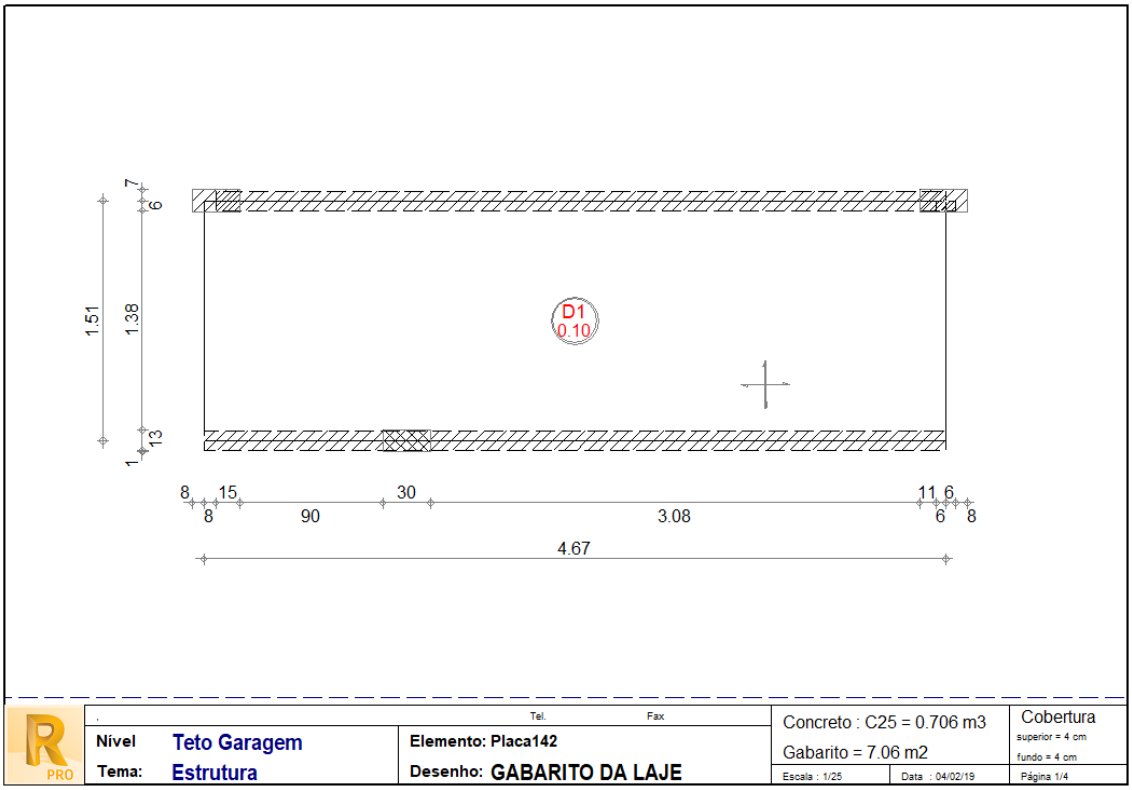
Fonte: O Autor (2018).

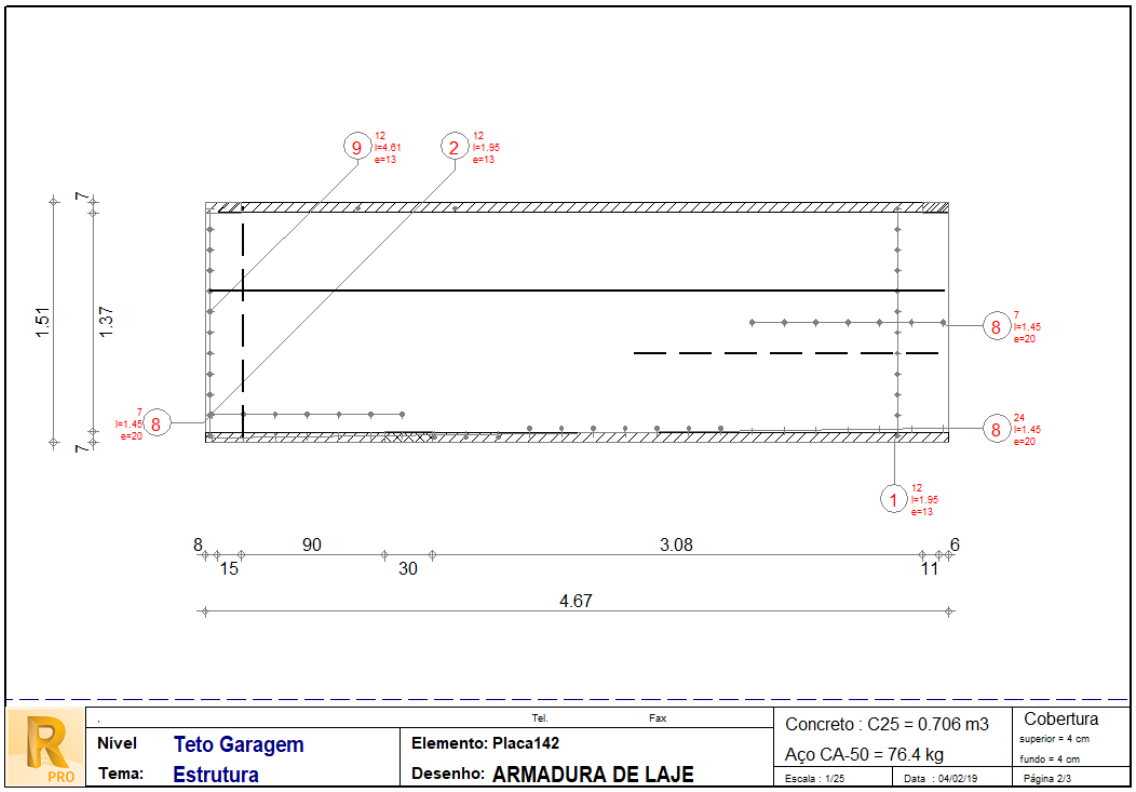
APÊNDICE J – ROBOT - DETALHAMENTOS AUTOMÁTICOS





Fonte: O Autor (2018).

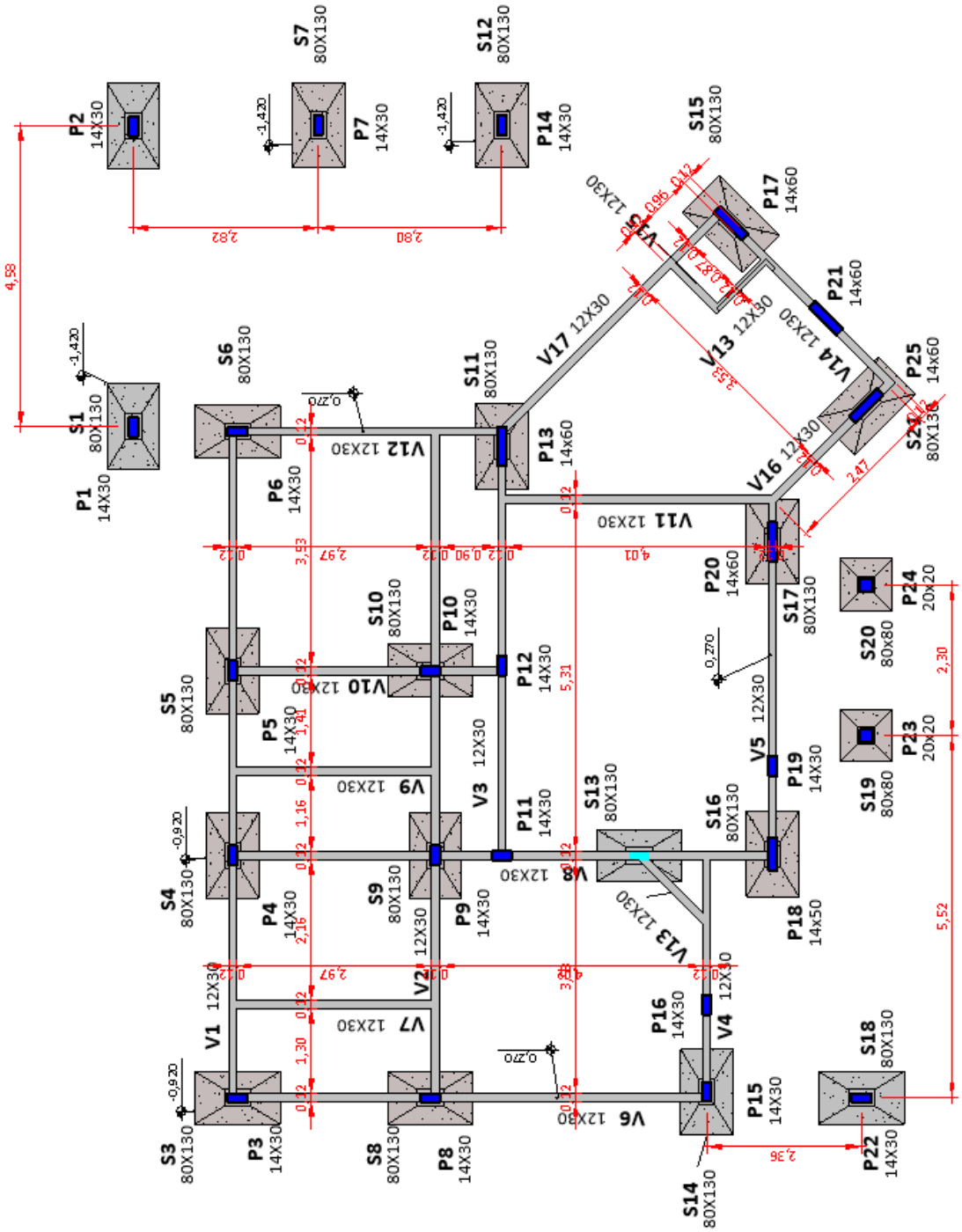




Fonte: O Autor (2018).

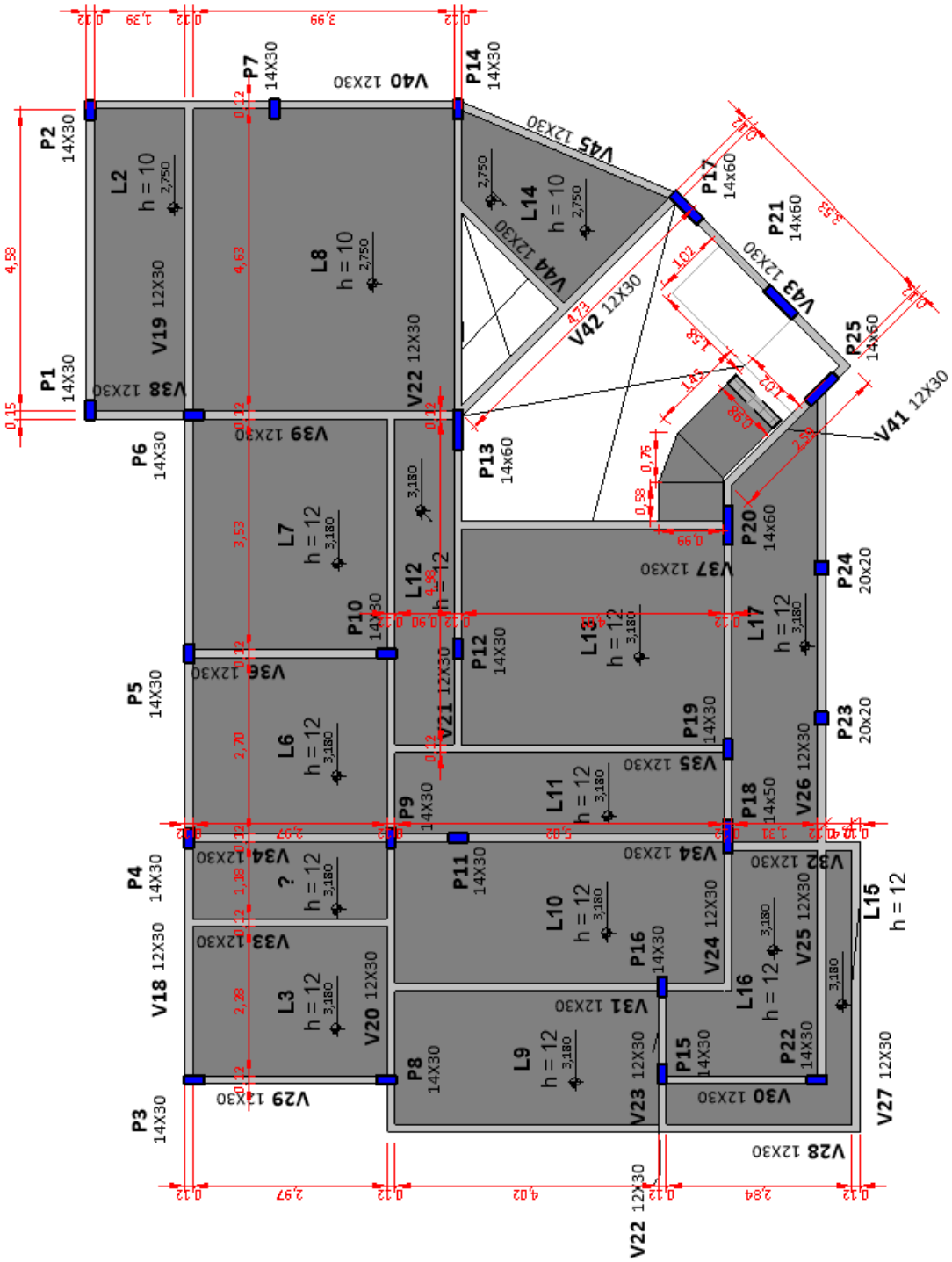
APÊNDICE K – REVIT STRUCTURE - PLANTAS ESTRUTURAIS

PLANTA DE FORMA DA FUNDAÇÃO



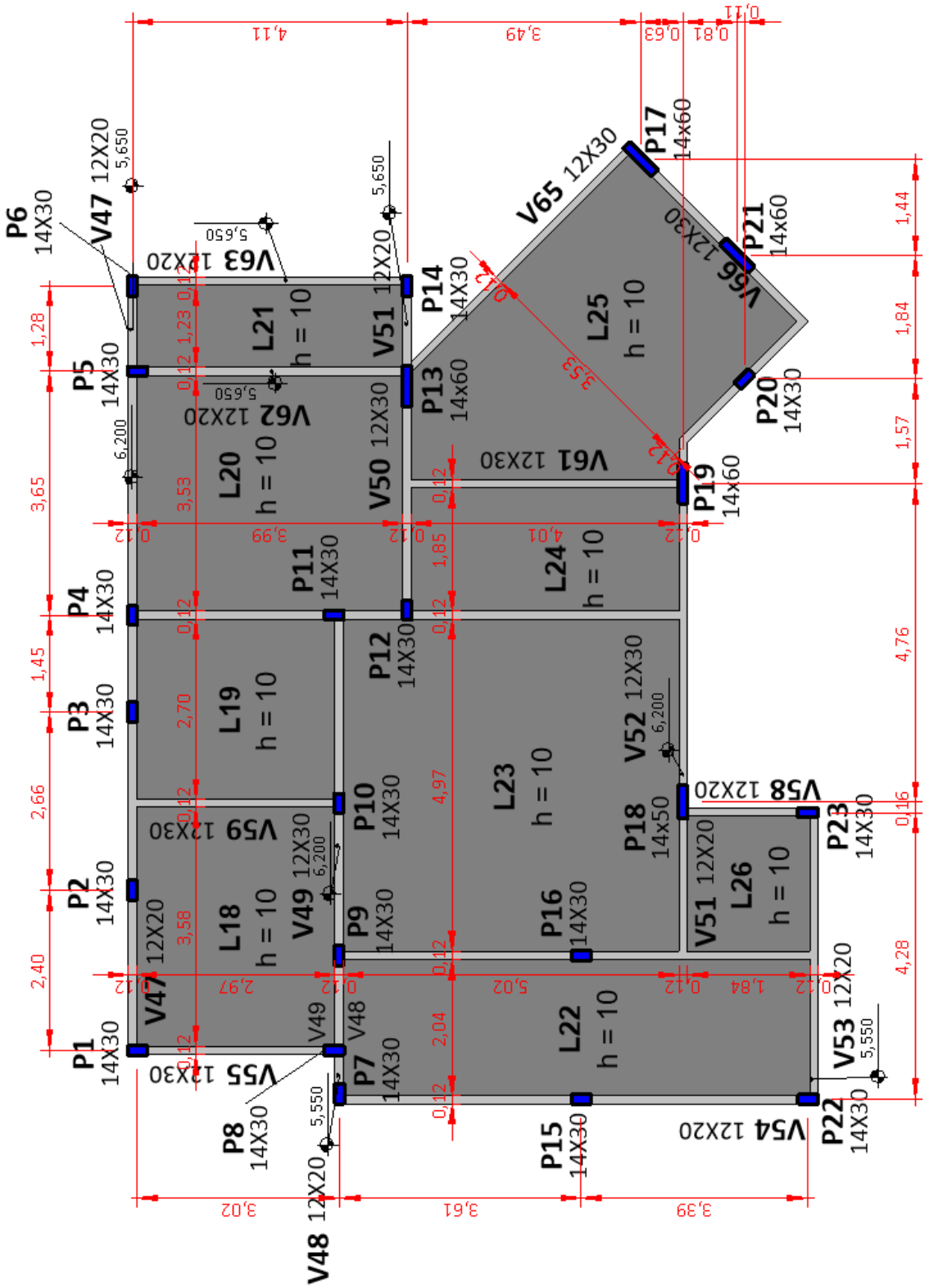
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA DE FORMA DO 1 PAVIMENTO



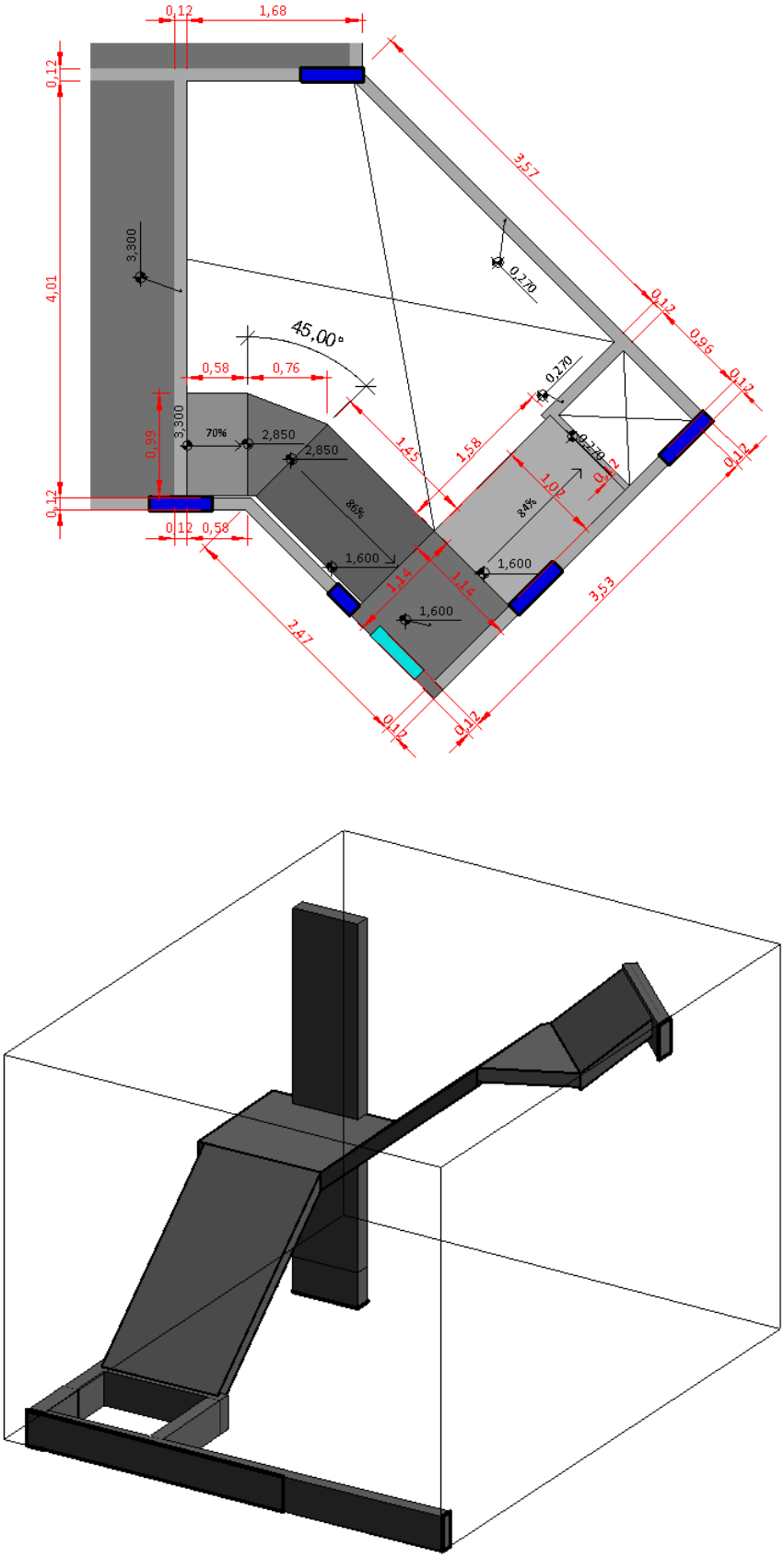
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA DE FORMA DA COBERTA



Fonte: O Autor (2018).

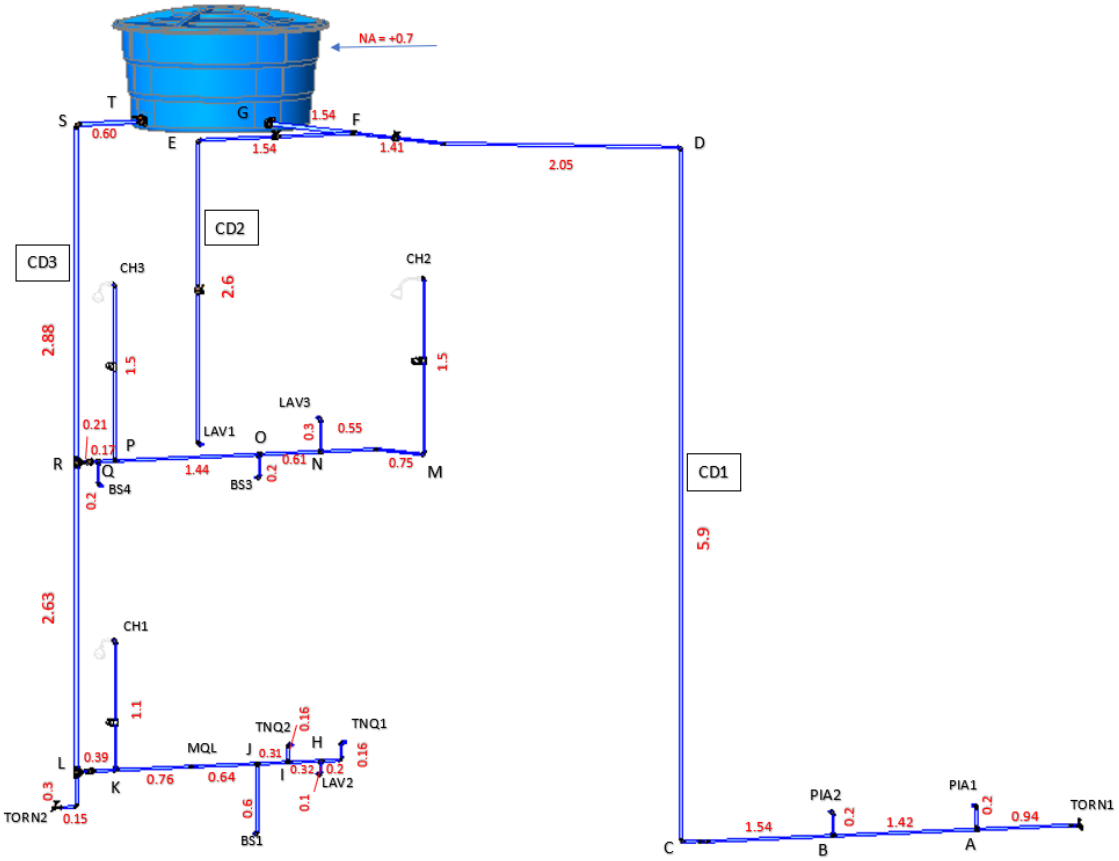
PLANTA DE FORMA E DETALHE 3D DA ESCADA



Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE L – PROJETO HIDROSSANITÁRIO: DIMENSIONAMENTO

ESQUEMA DE DIMENSIONAMENTO DE ÁGUA FRIA



Fonte: O Autor (2018).

PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO DE ÁGUA FRIA

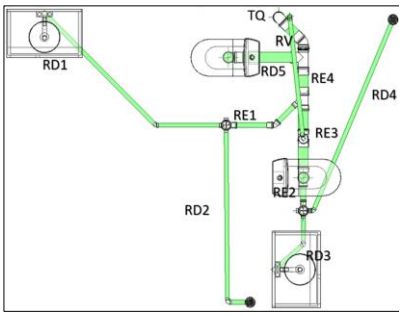
Trechos	Σ Pesos	Vazão estimada (L/s)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga Unitária (kPa/m)	Comp. Da tubulação								Perda de Carga			Cota Absoluta (m)	Pressão		
						Real (m)	Equivalente (m)							Tubulação (kPa)	Localizada (kPa)	Total (kPa)		Disponível (kPa) ESTÁTITA	Disponível Residual (kPa) DINÂMICA	Requerida no Ponto de Utilização (kPa)
							COTOVELO 90	COTOVELO 45	TE PASS. LATERAL	TE PASS. DIRETA	REGISTRO DE GAVETA	REGISTRO DE PRESSÃO	TOTAL							
TORN1-A	0,4	0,19	20	0,60	0,3133	0,94	0,7	-	-	0,1	-	-	0,8	0,294	0,251	0,55	6,6	73,00	72,45	10
PIA1-A	0,7	0,25	20	0,80	0,5112	0,20	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,102	0,869	0,97	6,4	71,00	70,03	10
A-B	1,1	0,31	20	1,00	0,7591	1,42		-	-	0,1	-	-	0,1	1,078	0,076	1,15	6,6	73,00	71,85	5
PIA2-B	0,7	0,25	20	0,80	0,5112	0,20	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,102	0,869	0,97	6,4	71,00	70,03	10
B-C	1,8	0,40	25	0,82	0,4047	1,54	2,7	-	-	-	-	-	2,7	0,623	1,093	1,72	6,6	73,00	71,28	5
C-D (CD1)	1,8	0,40	25	0,82	0,4047	5,90	0,9	-	-	-	-	-	0,9	2,388	0,364	2,75	6,6	73,00	70,25	5
D-F	1,8	0,40	25	0,82	0,4047	3,46	-	0,4	-	0,2	0,3	-	0,9	1,400	0,364	1,76	0,7	14,00	12,24	5
LAV1-E	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	2,60	1,4	-	-	-	0,2	-	1,6	0,633	0,390	1,02	3,3	40,00	38,98	10
E-F	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	1,54	-	-	1	-	0,2	-	1,2	0,375	0,292	0,67	0,7	14,00	13,33	5
F-G	2,1	0,43	25	0,89	0,4631	1,54	-	-	-	-	0,3	-	0,3	0,713	0,139	0,85	0,7	14,00	13,15	5
TNQ1-H	0,7	0,25	20	0,80	0,5112	0,36	1,4	-	-	0,1	-	-	1,5	0,184	0,767	0,95	6,05	67,50	66,55	10
LAV2-H	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	0,10	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,024	0,414	0,44	6,31	70,10	69,66	10
H-I	1	0,30	20	0,95	0,6984	0,32	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,223	0,070	0,29	6,21	69,10	68,81	5
TNQ2-I	0,7	0,25	20	0,80	0,5112	0,16	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,082	0,869	0,95	6,05	67,50	66,55	10
I-J	1,7	0,39	20	1,25	1,1110	0,31	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,344	0,111	0,46	6,21	69,10	68,64	5
BS1-J	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	0,60	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,146	0,414	0,56	6,81	75,10	74,54	5
J-MQL	2	0,42	25	0,86	0,4438	0,64	-	-	-	0,2	-	-	0,2	0,284	0,089	0,37	6,21	69,10	68,73	10
MQL-K	3	0,52	25	1,06	0,6328	0,76	-	-	1,4	0,2	-	-	1,6	0,481	1,012	1,49	6,21	69,10	67,61	10
CH1-K	0,1	0,09	20	0,30	0,0931	1,10	0,7	-	1	-	-	11,1	12,8	0,102	1,192	1,29	5,11	58,10	56,81	10
K-L	3,1	0,53	25	1,08	0,6512	0,39	-	-	1,4	-	0,3	-	1,7	0,254	1,107	1,36	6,21	69,10	67,74	5
TORN2-L	0,4	0,19	20	0,60	0,3133	0,45	0,7	-	-	0,1	-	-	0,8	0,141	0,251	0,39	6,51	72,10	71,71	10
L-R (CD3)	3,5	0,56	25	1,14	0,7241	2,63	-	-	-	0,2	-	-	0,2	1,905	0,145	2,05	6,21	69,10	67,05	5
CH2-M	0,1	0,09	20	0,30	0,0931	1,50	1,4	-	-	-	-	11,1	12,5	0,140	1,164	1,30	2,08	27,80	26,50	10
M-N	0,1	0,09	20	0,30	0,0931	1,30	0,7	-	-	0,1	-	-	0,8	0,121	0,075	0,20	3,58	42,80	42,60	5
LAV3-N	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	0,30	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,073	0,414	0,49	3,28	39,80	39,31	10
N-O	0,4	0,19	20	0,60	0,3133	0,61	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,191	0,031	0,22	3,58	42,80	42,58	5
BS3-O	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	0,20	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,049	0,414	0,46	3,78	44,80	44,34	5
O-P	0,7	0,25	20	0,80	0,5112	1,44	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,736	0,051	0,79	3,58	42,80	42,01	5
CH3-P	0,1	0,09	20	0,30	0,0931	1,50	0,7	-	1	-	-	11,1	12,8	0,140	1,192	1,33	2,08	27,80	26,47	10
P-Q	0,8	0,27	20	0,85	0,5745	0,17	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,098	0,057	0,16	3,58	42,80	42,64	5
BS4-Q	0,3	0,16	20	0,52	0,2435	0,20	0,7	-	1	-	-	-	1,7	0,049	0,414	0,46	3,78	44,80	44,34	5
Q-R	1,1	0,31	20	1,00	0,7591	0,21	-	-	1	-	0,2	-	1,2	0,159	0,911	1,07	3,58	42,80	41,73	5
R-S	4,6	0,64	32	0,80	0,2847	2,88	1,2	-	-	-	-	-	1,2	0,820	0,342	1,16	3,58	42,80	41,64	5
S-T	4,6	0,64	32	0,80	0,2847	0,60	-	-	-	-	0,4	-	0,4	0,171	0,114	0,28	0,7	7,00	6,72	5

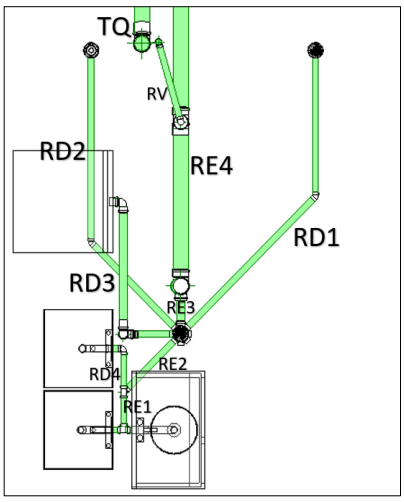
V <3M/S

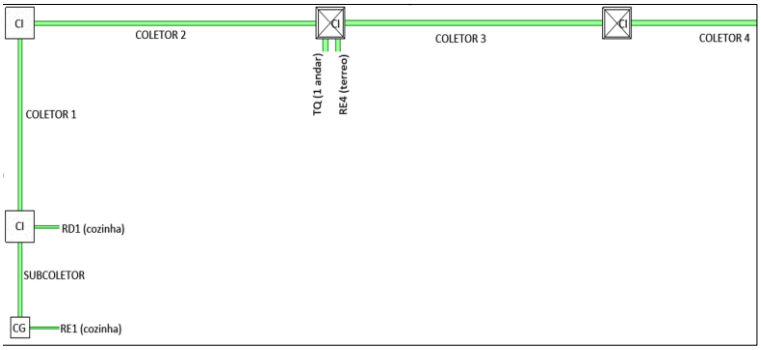
ITEM 5.3.5
NBR5626

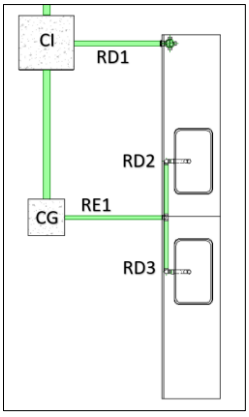
ESQUEMAS E PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO DE ESGOTO

DIMENSIONAMENTO DE ESGOTO					
1 ANDAR - 2 BANEHIROS					
TIPO	TRECHO	CONTRIBUIÇÃO	UHC	DN	
RD1	RAMAL DESCARGA 1	lavatório	1	40	
RD2	RAMAL DESCARGA 2	ralo de chuveiro	2	40	
RD3	RAMAL DESCARGA 3	lavatório	1	40	
RD4	RAMAL DESCARGA 4	ralo de chuveiro	2	40	
RD5	RAMAL DESCARGA 5	vaso sanitário	6	100	
RE1	RAMAL ESGOTO 1	RD1 + RD2	3	40	
RE2	RAMAL ESGOTO 2	RD3 + RD4	3	40	
RE3	RAMAL ESGOTO 3	vaso sanitário + RE2	9	75	< 100 (bac. sanit)
RE4	RAMAL ESGOTO 4	RE1 + RE3	12	75	< 100 (bac. sanit)
TQ	TUBO DE QUEDA	RD5 + RE4	18	75	< 100 (bac. sanit)
TÉRREO - BANHEIRO E SERVIÇO					
TIPO	TRECHO	CONTRIBUIÇÃO	UHC	DN	
RD1	RAMAL DESCARGA 1	ralo de chuveiro	2	40	
RD2	RAMAL DESCARGA 2	ralo de limpeza	2	40	
RD3	RAMAL DESCARGA 3	Mq de lavar roupa	3	50	fabricante
RD4	RAMAL DESCARGA 4	Tq de lavar roupa	3	40	
RE1	RAMAL ESGOTO 1	lavatório + Tq de lavar roupa	4	50	
RE2	RAMAL ESGOTO 2	RE1 + RD4	7	75	
RE3	RAMAL ESGOTO 3	RD1+RD2+RD3+RE2	14	75	
RE4	RAMAL ESGOTO 4	bacia sanitária + RE3	20	75	< 100 (bac. sanit)
VENTILAÇÃO					
TIPO	TRECHO	CONTRIBUIÇÃO	UHC	DN	
RV (1pvt)	RAMAL VENT. (1andar)	RE3	9	40	< 75 (1 andar)
RV (terr)	RAMAL VENT. (terreo)	RE4	20	75	
CV	COLUNA VENTILAÇÃO	RV (1andar) + RV (terreo)	29	75	
TÉRREO - COZINHA					
TIPO	TRECHO	CONTRIBUIÇÃO	UHC	DN	
RD1	RAMAL DESCARGA 1	ralo de limpeza	2	40	
RD2	RAMAL DESCARGA 2	pia	3	50	
RD3	RAMAL DESCARGA 3	pia	3	50	
RE1	RAMAL ESGOTO 1	RD2 + RD3	6	50	
SUBCOLETORES E COLETORES					
TIPO		CONTRIBUIÇÃO	UHC	DN	
SUBCOLETOR		RE1 (cozinha)	6	100	
COLETOR 1		RD1 (cozinha) + SUBCOLETOR	8	100	
COLETOR 2		= COLETOR1	8	100	
COLETOR 3		TQ + RE4 (terreo) + COLETOR 2	46	100	
COLETOR 4		=COLETOR 3	46	100	





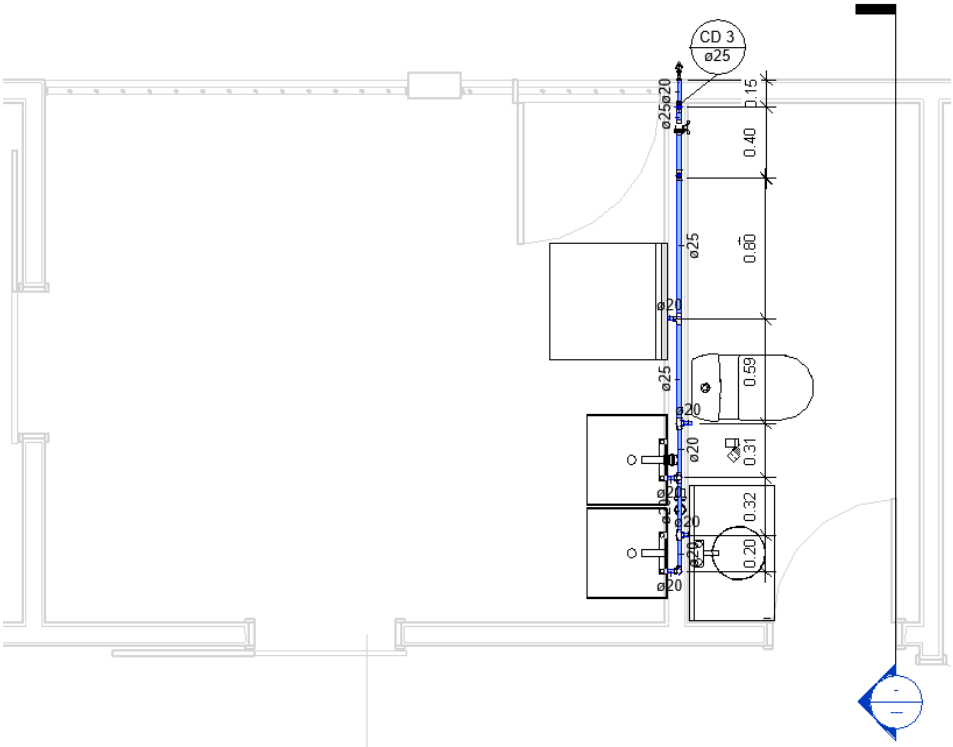




Fonte: O Autor (2018).

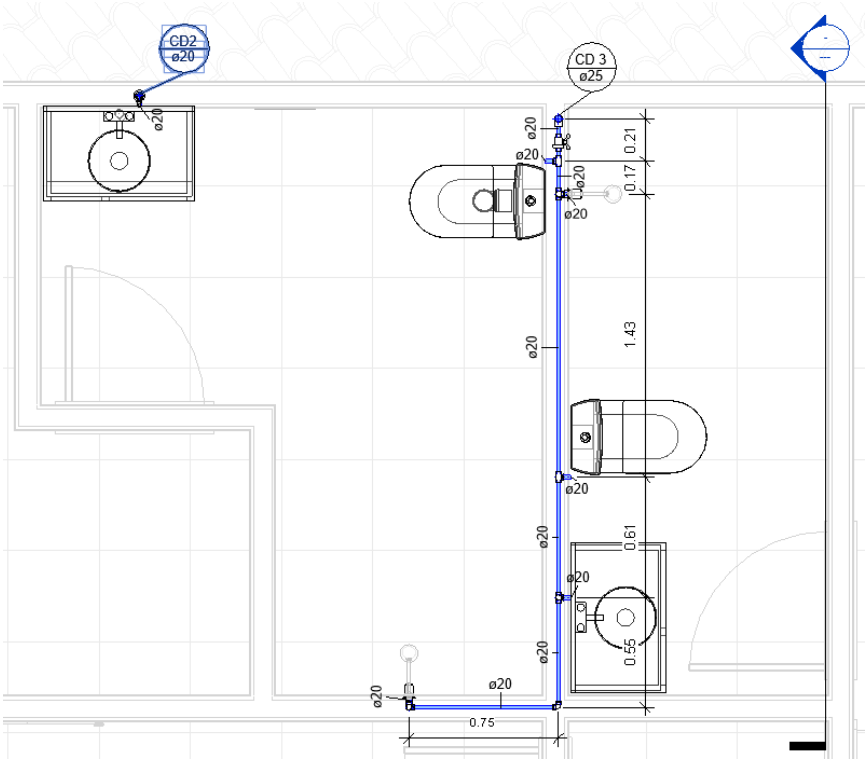
APÊNDICE M – ÁGUA FRIA: PLANTAS E CORTES

PLANTA BAIXA: BANHEIRO E ÁREA DE SERVIÇO - TÉRREO



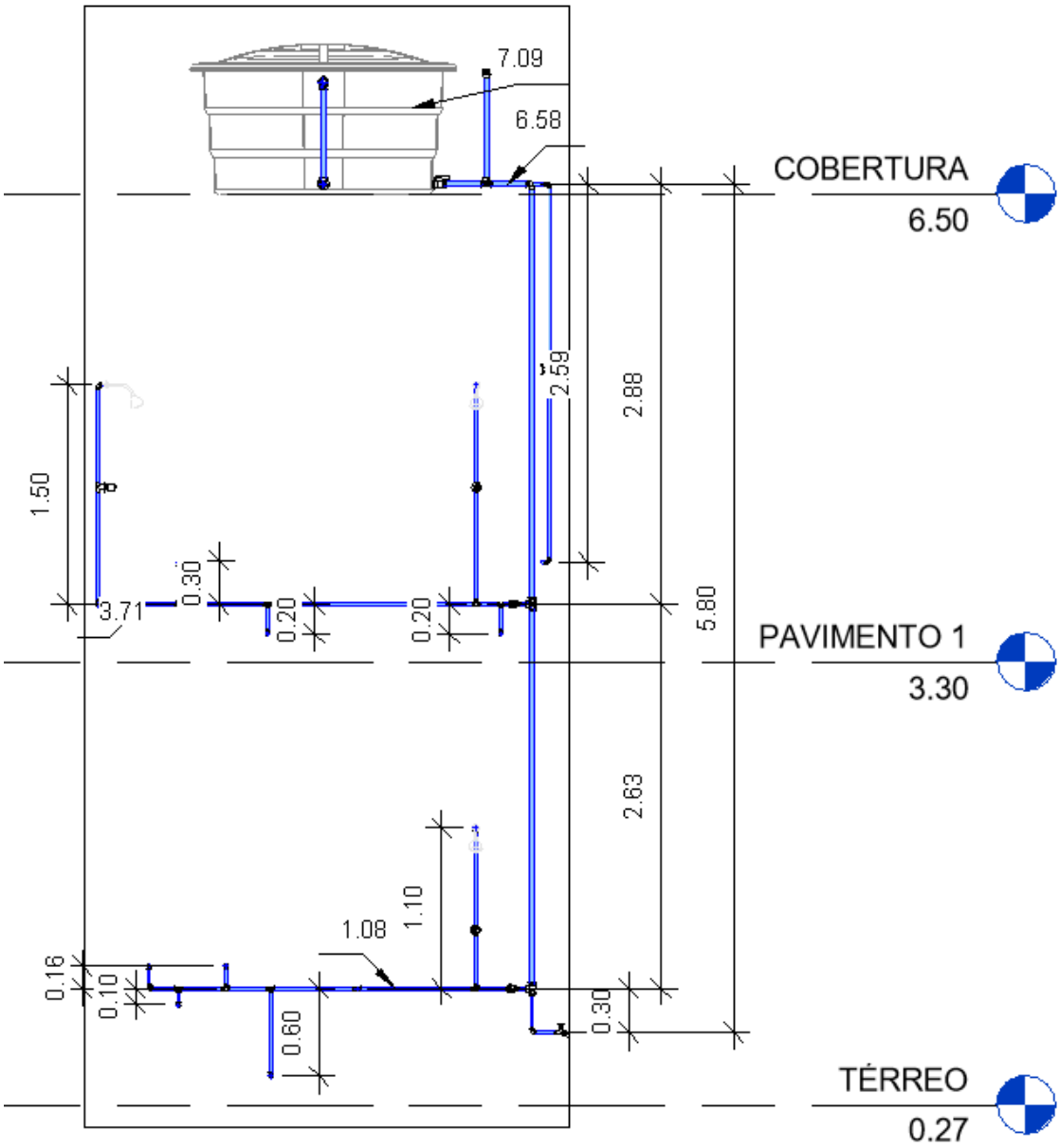
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA BAIXA: BANHEIROS – 1 PAVIMENTO



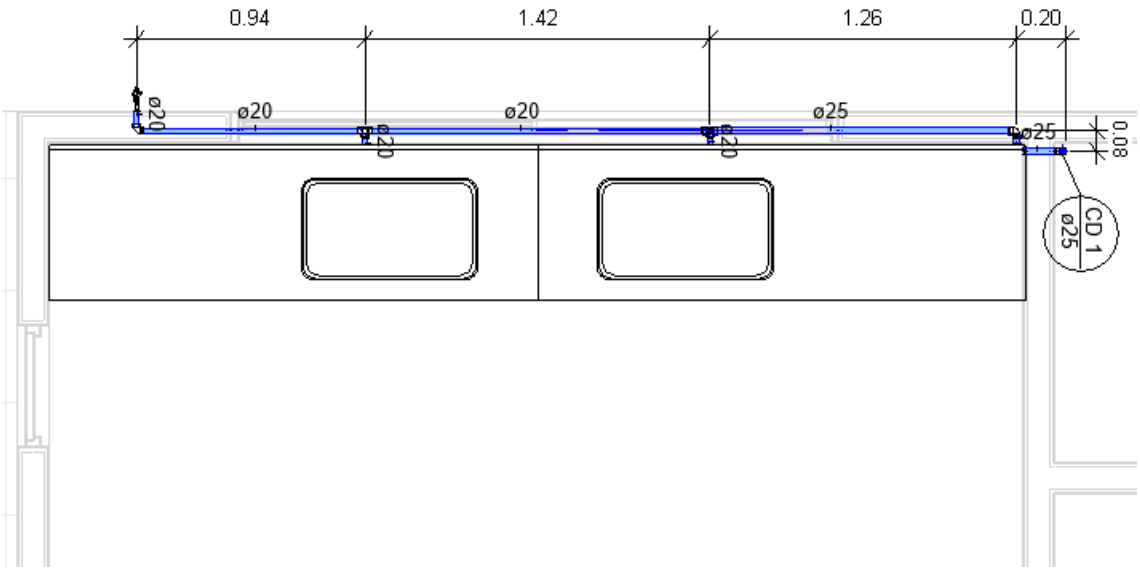
Fonte: O Autor (2018).

CORTE: BANHEIROS E RESERVATÓRIO



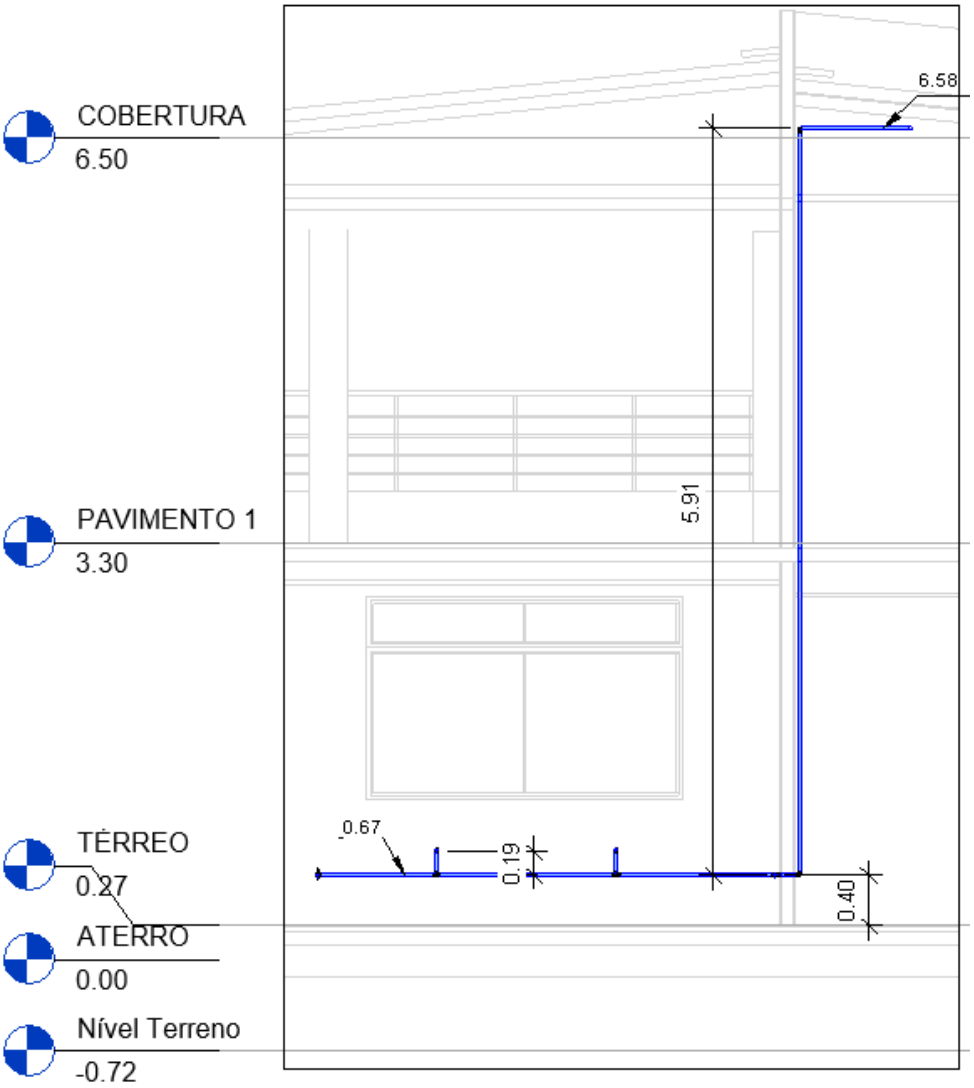
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA BAIXA: COZINHA – TÉRREO



Fonte: O Autor (2018).

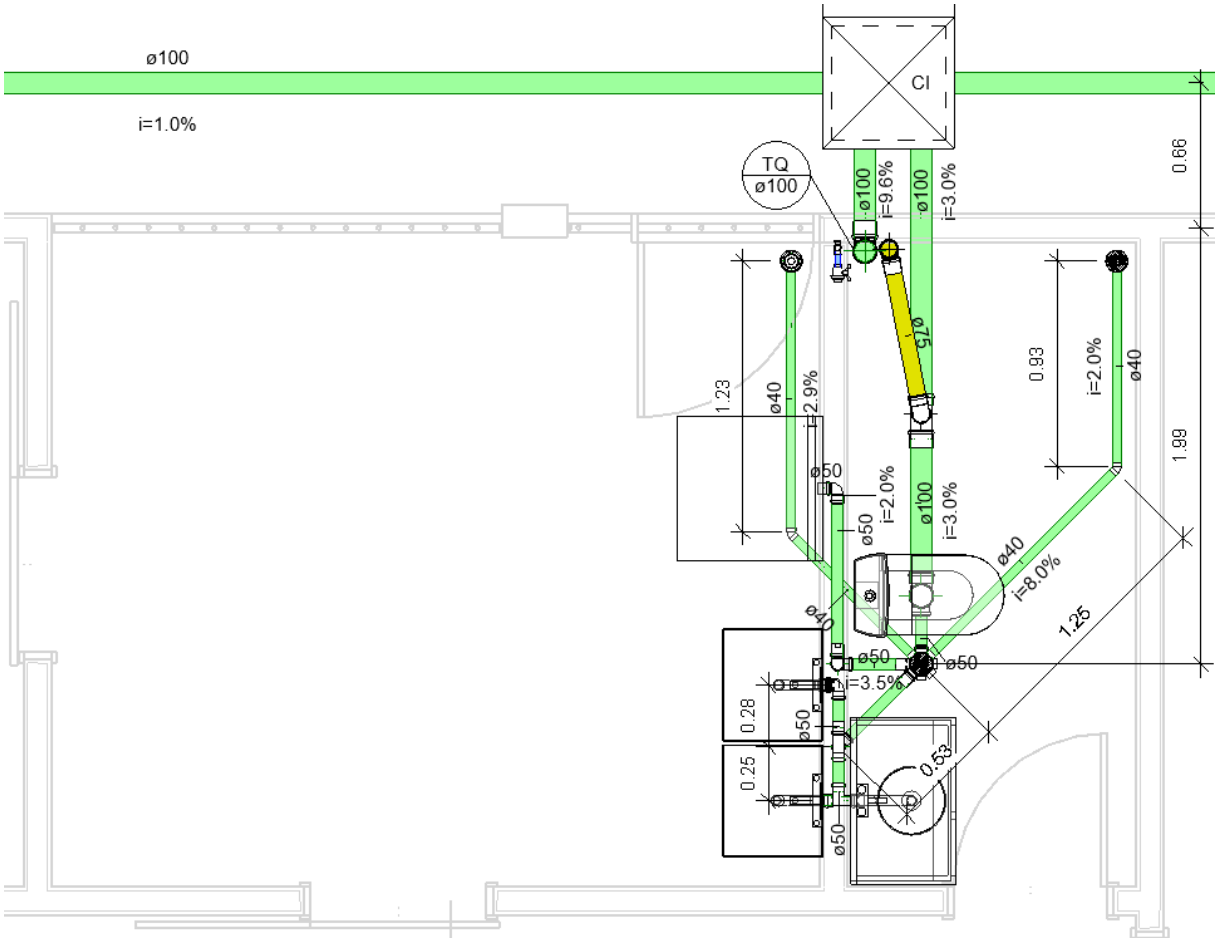
CORTE: COZINHA E COLUNA DE DISTRIBUIÇÃO



Fonte: O Autor (2018).

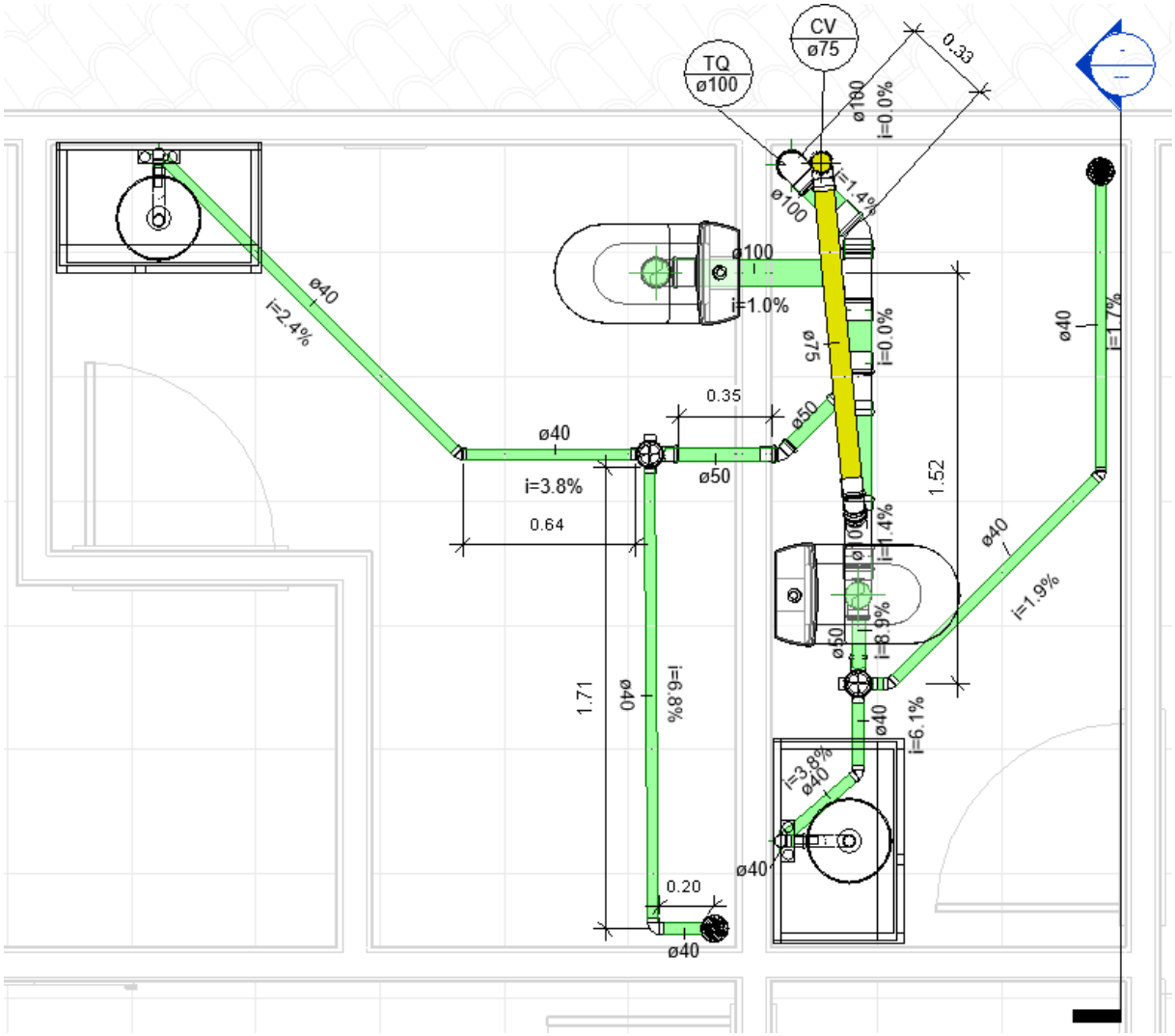
APÊNDICE N – ESGOTO SANITÁRIO: PLANTAS E CORTES

PLANTA BAIXA: BANHEIRO E ÁREA DE SERVIÇO - TÉRREO



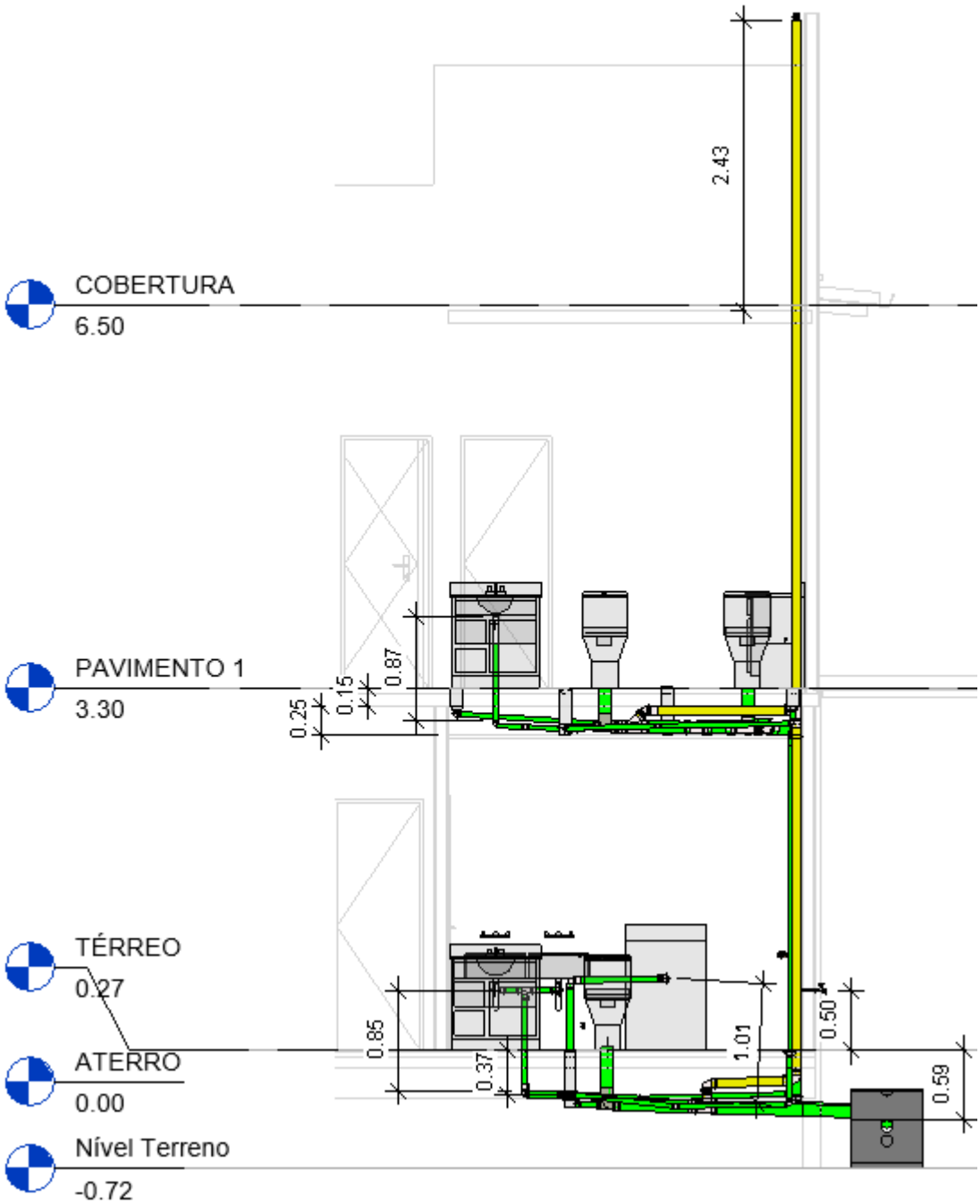
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA BAIXA: BANHEIROS – 1 PAVIMENTO



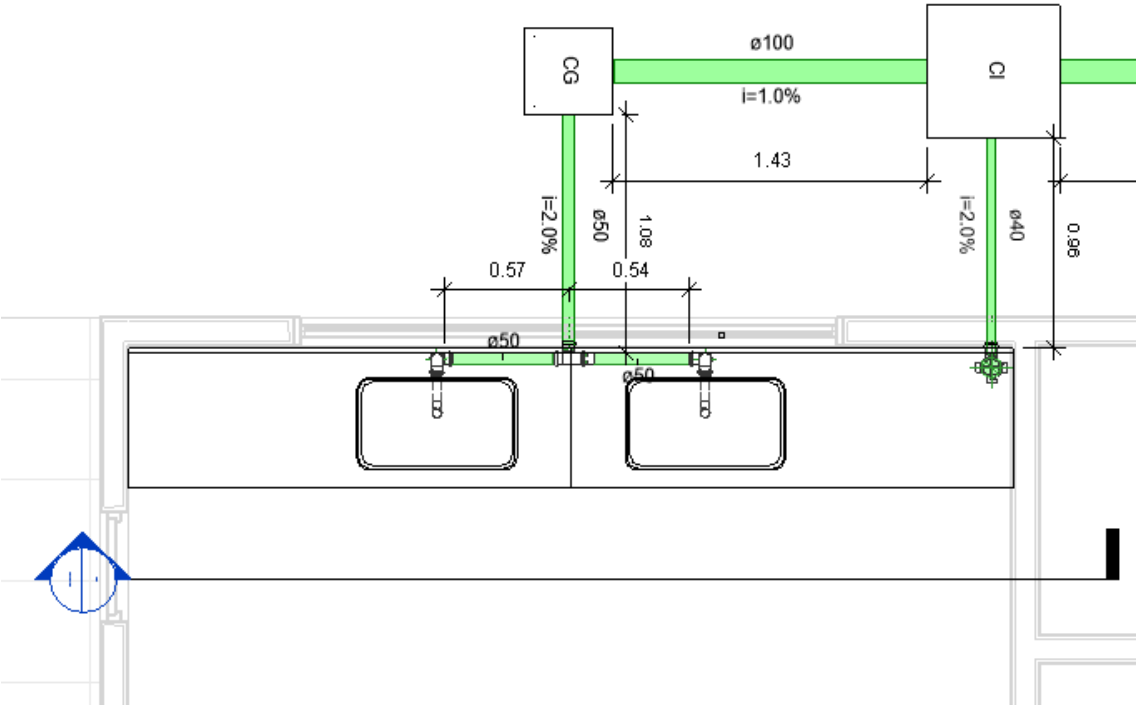
Fonte: O Autor (2018).

CORTE: BANHEIROS E COLUNA DE VENTILAÇÃO



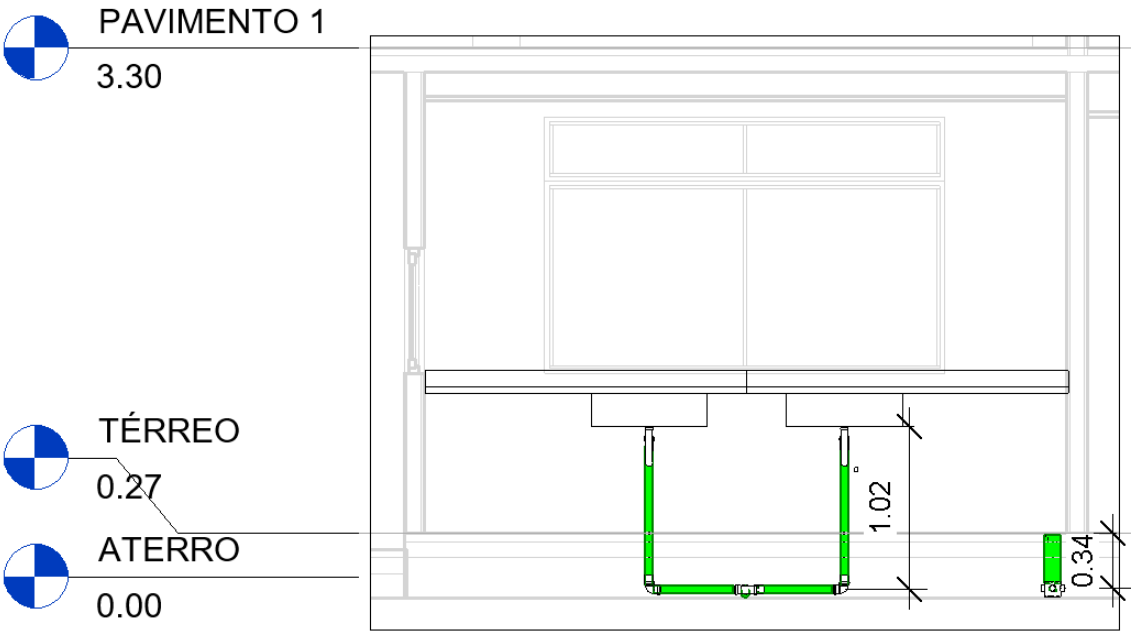
Fonte: O Autor (2018).

PLANTA BAIXA: COZINHA – TÉRREO



Fonte: O Autor (2018).

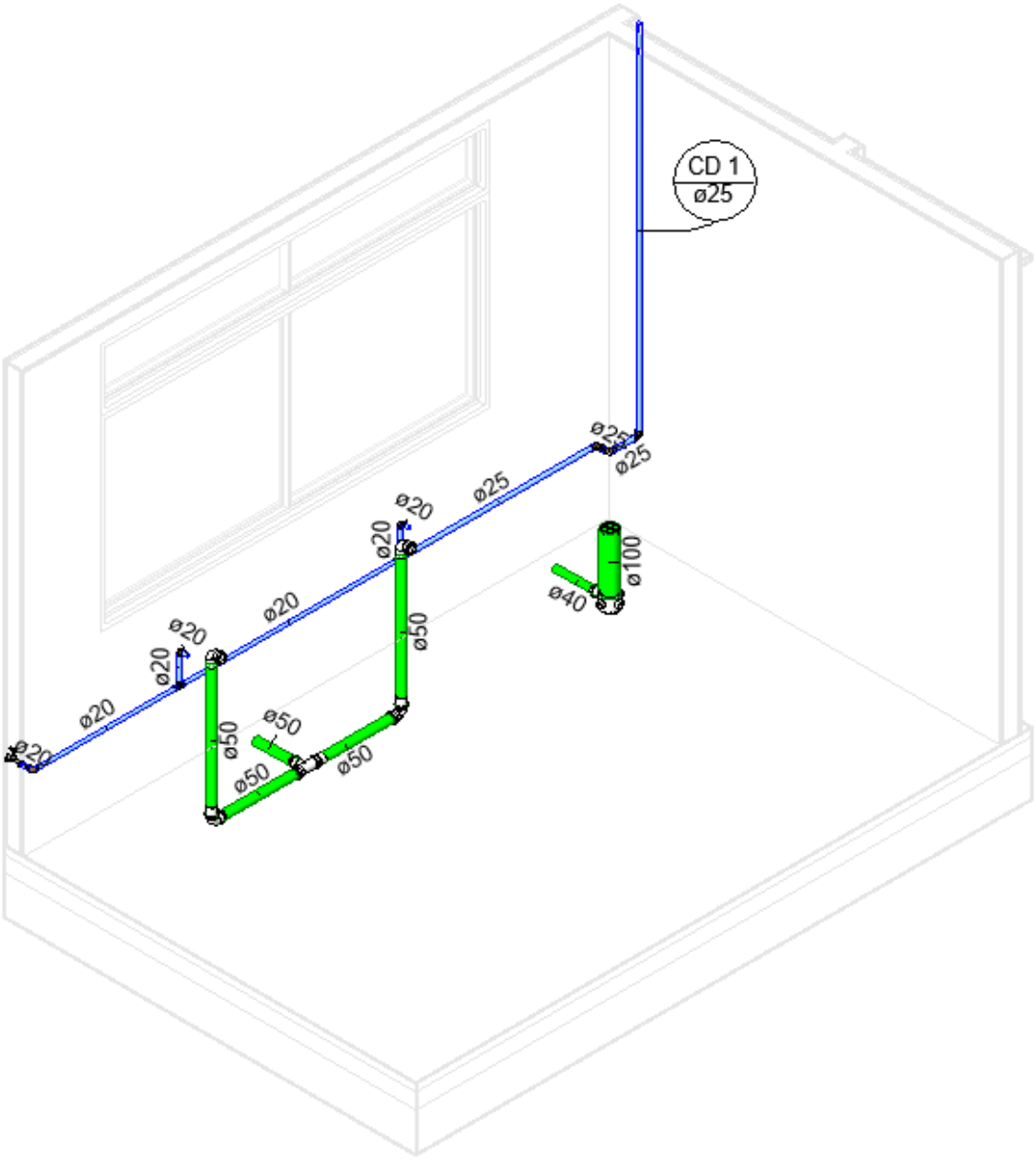
CORTE: COZINHA



Fonte: O Autor (2018).

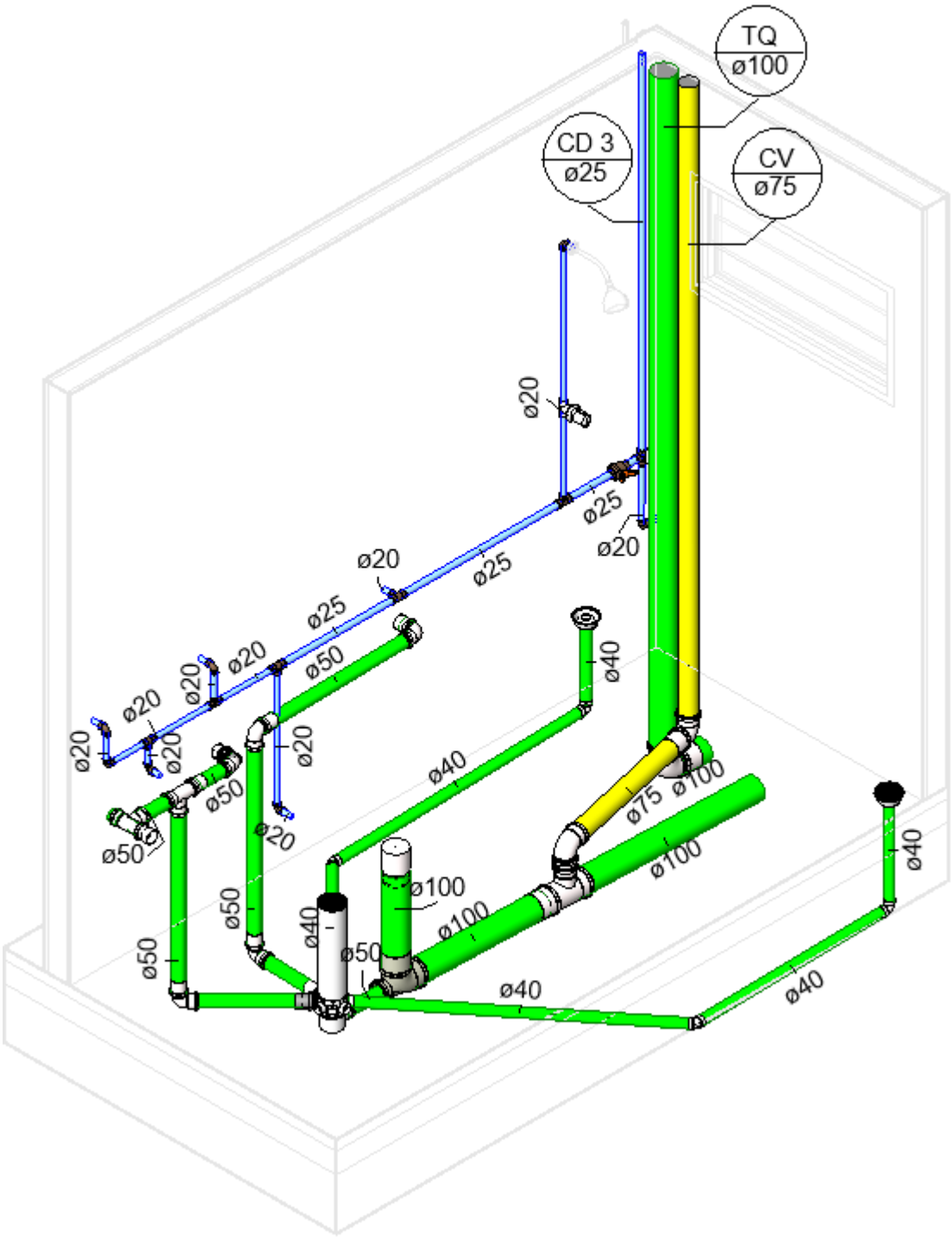
APÊNDICE O – ISOMÉTRICOS: ÁGUA FRIA & ESGOTO

COZINHA - TÉRREO



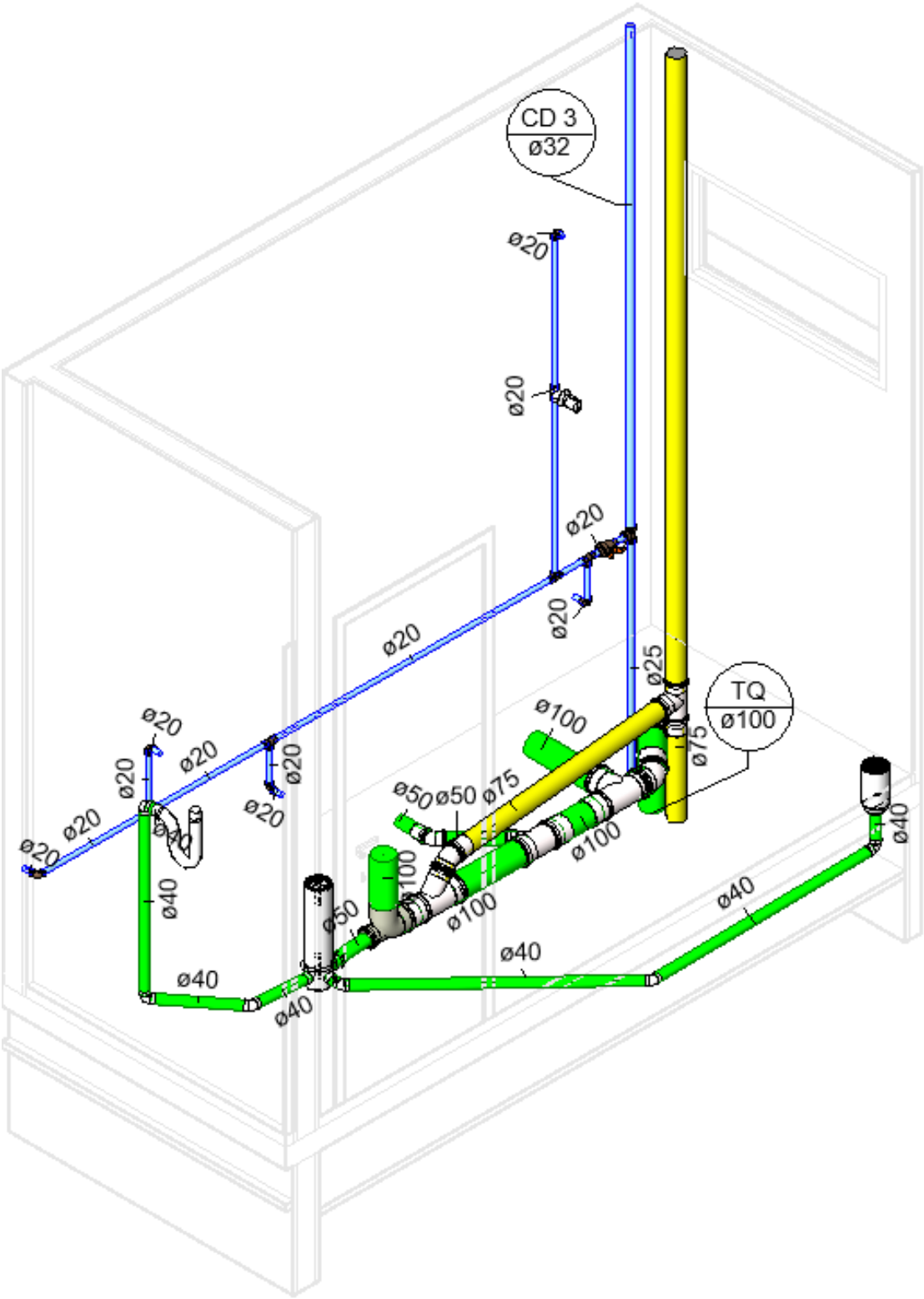
Fonte: O Autor (2018).

BANHEIRO & ÁREA DE SERVIÇO – TÉRREO



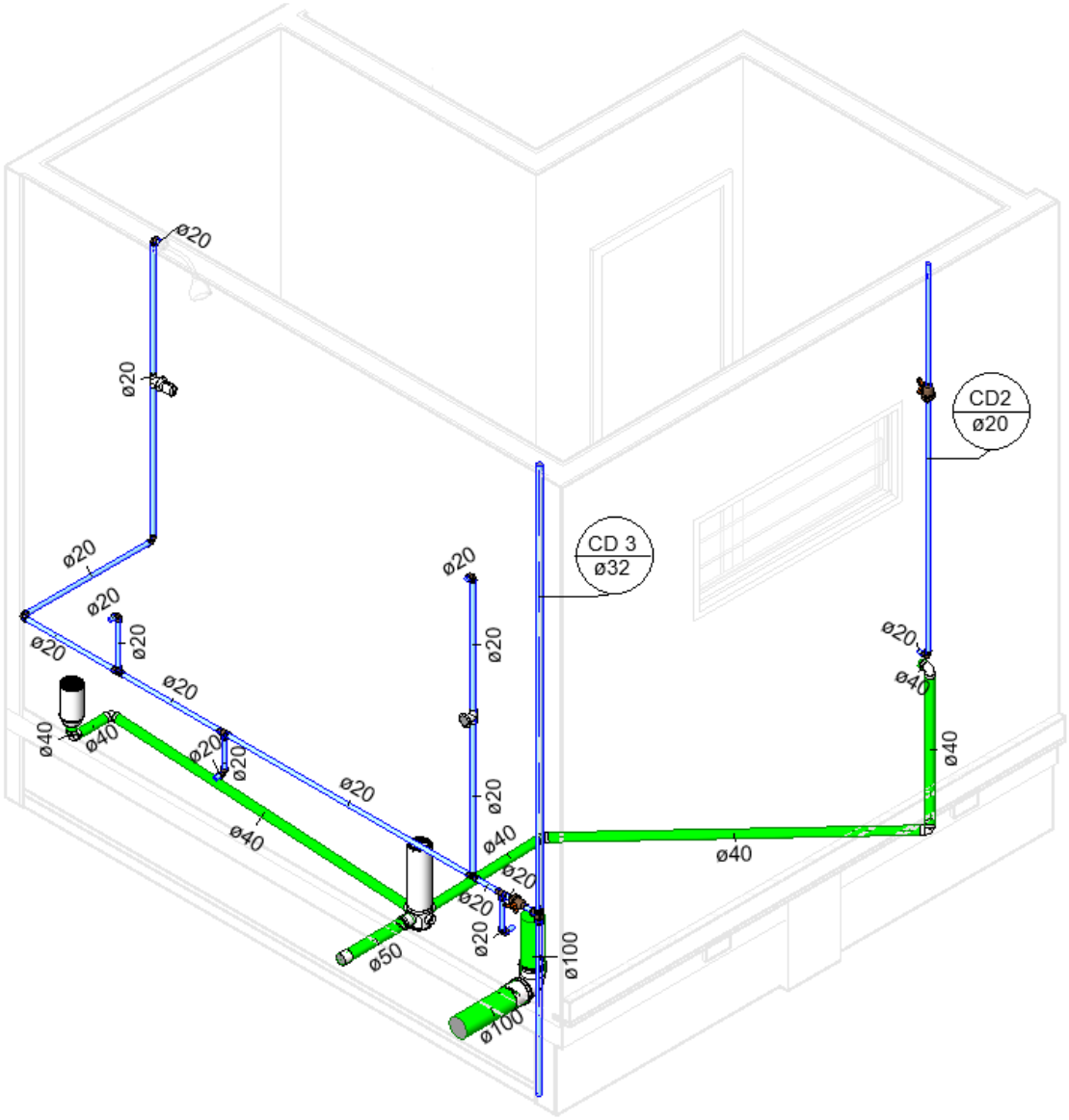
Fonte: O Autor (2018).

BANHEIRO MENOR – 1 PAVIMENTO



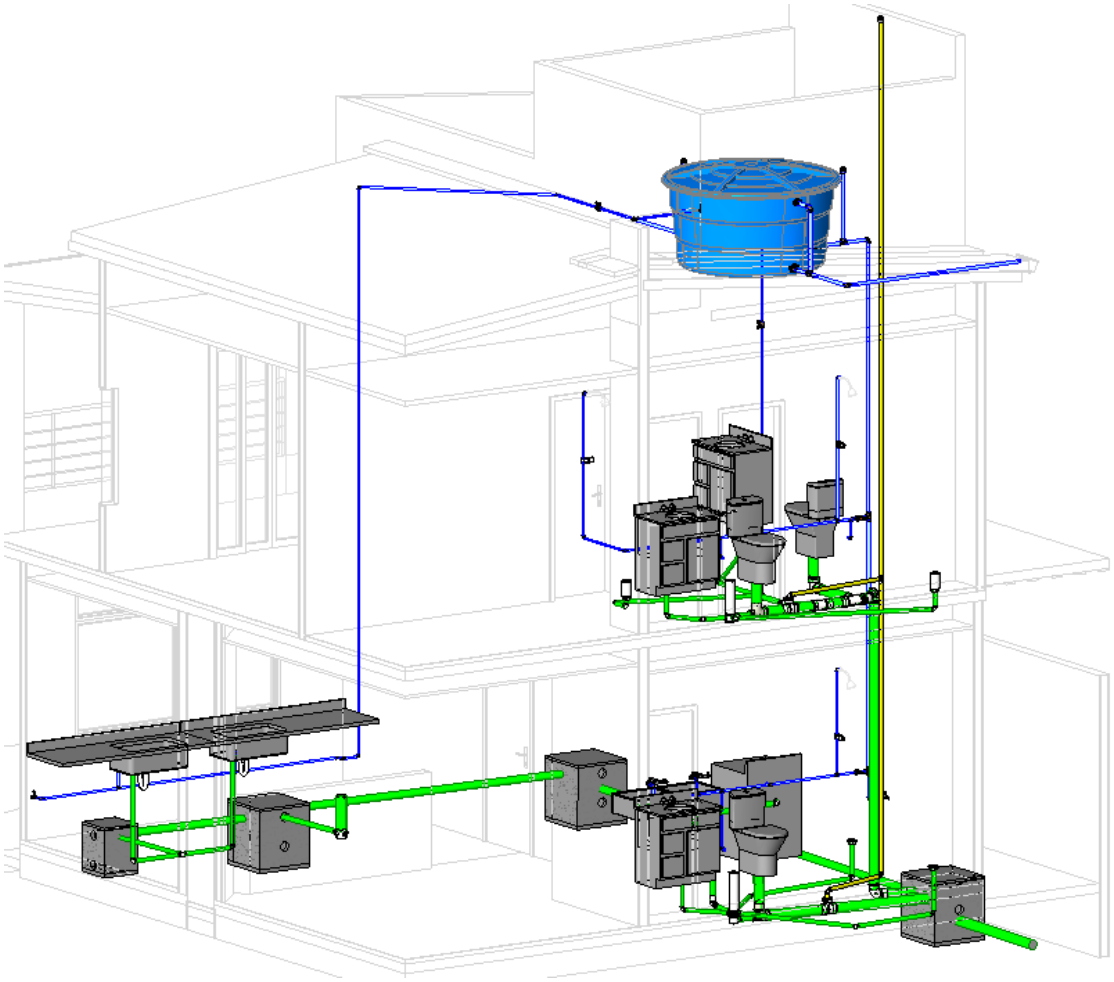
Fonte: O Autor (2018).

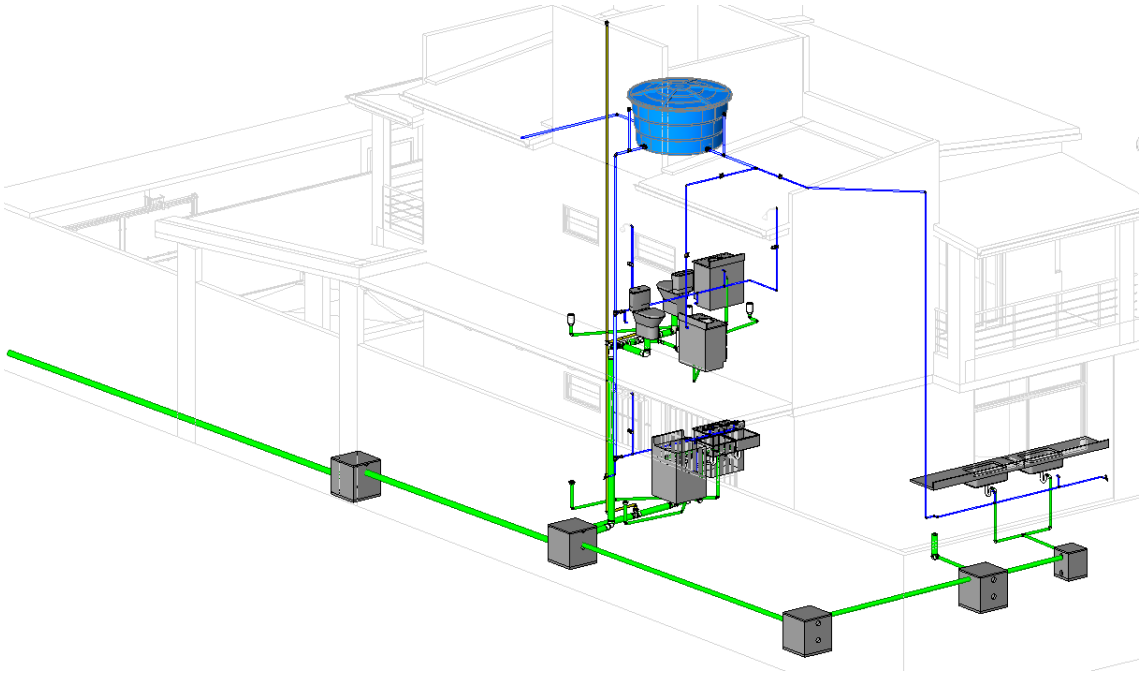
BANHEIRO MAIOR – 1 PAVIMENTO



Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE P – ISOMÉTRICO GERAL





Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE Q – TABELAS DE QUANTITATIVOS: ARQUITETURA

QUANTITATIVO MATERIAIS		
TIPO	QUANTIDADE	
	ÁREA	VOLUME
.Aterro	111.9 m²	26.12 m³
.Cerâmica 46x46cm Bege	148.3 m²	0.74 m³
.Cerâmica 46x46cm Branca	97.6 m²	0.49 m³
.Concreto	423.8 m²	42.38 m³
.Contra piso	245.9 m²	11.07 m³
.Gesso	150.0 m²	6.13 m³
.Madeira	86.1 m²	1.11 m³
.PACG_Alvenaria_Tijolo	631.2 m²	56.46 m³
.PACG_Concreto_Pilar	5.5 m²	2.00 m³
.PACG_Pintura_Branca	1292.8 m²	2.89 m³
.PACG_Reboco_Externo	1254.1 m²	20.38 m³
.Pedra Itacolomy	41.3 m²	0.10 m³
.Telha canal	165.0 m²	16.50 m³
.Vidro transparente	19.5 m²	0.00 m³
000B_Concreto_escada	5.8 m²	0.35 m³
000B_Esquadria_Alumínio	13.7 m²	0.10 m³
000B_Esquadria_Madeira	29.7 m²	0.31 m³
000B_Esquadria_Vidro	50.6 m²	0.32 m³
000B_Massa_Corrida_Externa	71.7 m²	0.00 m³
000B_Pedra	56.9 m²	0.14 m³
Aço, acabamento de pintura, marfim, com brilho	5.4 m²	0.03 m³
Aço, Cromo polido	0.3 m²	0.00 m³
Dark Wood	0.5 m²	0.00 m³
Door - Frame	6.5 m²	0.08 m³
Glass 2	0.4 m²	0.00 m³
Light Wood	0.4 m²	0.00 m³
Pintura Branca	412.0 m²	0.00 m³
Rejunte Branco Combogó	7.9 m²	0.03 m³
Telha traslúcida	15.2 m²	1.52 m³
Vidro verde	12.9 m²	0.06 m³
Vidro, Branco, Alta Luminosidade	6.0 m²	0.02 m³
Vidro, Jateado	2.0 m²	0.02 m³
	5370.8 m²	189.37 m³

Fonte: O Autor (2018).

QUANTITATIVO DE JANELAS				
CÓD	QT	COMPRIMENTO	ALTURA	DESCRIÇÃO
J01	2	1.00	0.50	Janela simples de alumínio e vidro
J01	1	1.20	0.50	Janela simples de alumínio e vidro
J08	5	0.85	0.21	Janela simples de alumínio e vidro
J17	1	1.10	2.00	
J18	1	2.50	1.20	Janela de correr em alumínio e vidro.
J24	6	1.50	0.90	Janela de correr com 2 painéis em alumínio e vidro.
J27	1	0.50	0.55	
J29	1	1.45	1.20	
J30	4	0.65	0.21	Janela simples de alumínio e vidro

QUANTITATIVO DE PORTAS E GRADIS				
CÓD	QT	COMPRIMENTO	ALTURA	DESCRIÇÂO
P02	6	0.76	2.10	Porta de madeira semioca com forras de madeira
P06	2	0.86	2.10	Porta de correr de madeira, semioca com forras de madeira
P13	3	1.50	2.18	
P17	1	0.86	2.10	Grade de ferro pintada de preto.
P18	1	1.00	2.20	Porta de madeira semioca com forras de madeira
P20	1	1.50	2.20	

Fonte: O Autor (2018).

Levantamento do material do forro			
Contador	Família e tipo	Material: Nome	Material: Área
1	Forro composto: Gesso 3cm	.Gesso	13.8 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	.Gesso	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	.Gesso	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	.Gesso	36.7 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	.Gesso	10.3 m²
5			68.5 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	Pintura Branca	13.8 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	Pintura Branca	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	Pintura Branca	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	Pintura Branca	36.9 m²
1	Forro composto: Gesso 3cm	Pintura Branca	10.3 m²
5			68.7 m²
10			137.2 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	31.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	13.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	5.8 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	8.4 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	.Gesso	17.6 m²
6			81.5 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	31.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	13.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	3.9 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	5.8 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	8.4 m²
1	Forro composto: Gesso 5cm	Pintura Branca	17.6 m²
6			81.5 m²
12			163.0 m²
22			300.2 m²

Fonte: O Autor (2018).

QUADRO DE ÁREAS ÚTEIS			
NOME	NÍVEL	ÁREA	PERÍMETRO
Circulação	TÉRREO	14.6 m²	23.45
Cozinha	TÉRREO	12.9 m²	14.16
Despensa	TÉRREO	3.9 m²	8.51
Garagem	TÉRREO	30.0 m²	21.87
Quarto	TÉRREO	13.8 m²	14.89
Sala de Estar	TÉRREO	17.0 m²	16.92
Sala de Jantar	TÉRREO	23.2 m²	22.59
Terraço	TÉRREO	9.2 m²	16.50
Terraço	TÉRREO	6.4 m²	10.21
Varanda Gourmet	TÉRREO	9.0 m²	12.69
WC	TÉRREO	3.9 m²	8.50
Área de Serviço	TÉRREO	10.5 m²	13.01
Closet	PAVIMENTO 1	8.4 m²	12.87
Sala Íntima	PAVIMENTO 1	14.8 m²	16.77
Suíte	PAVIMENTO 1	13.9 m²	14.95
Suíte Master	PAVIMENTO 1	17.6 m²	17.08
Varanda	PAVIMENTO 1	5.0 m²	10.50
Varanda	PAVIMENTO 1	18.1 m²	22.29
WC	PAVIMENTO 1	3.9 m²	8.57
WC	PAVIMENTO 1	5.8 m²	11.01
Grand total: 20		241.8 m²	

ÁREAS CONSTRUÍDAS			
Name	Level	Area	Perimeter
Area Construída	TÉRREO	202.5 m²	69.08
Area total	PAVIMENTO 1	114.4 m²	79.12

ÁREA TERRENO			
Name	Level	Area	Perimeter
TÉRREO	TÉRREO	370.9 m²	89.41
		370.9 m²	

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE R – TABELAS DE QUANTITATIVOS: ESTRUTURA

Levantamento do material de Pilares

Nome	Marca da localização da coluna	Comprimento	Marca de tipo	Material estrutural	Material: Volume
-	a-1	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	c-1	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	a-2	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	a-4	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	e-1	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	f-1	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	f-3	0,99	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,08 m³
-	BB-CC	0,99	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,08 m³
-	AA-6	0,99	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,08 m³
-	e(1,31)-6	0,99	20x20	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	d2(0,47)-6	0,99	20x20	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	c-5	0,99	14x50	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,07 m³
-	e-2	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	AA(-0,46)-5	0,99	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,08 m³
-	c-2	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	a-6	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
-	c-4(1,03)	0,99	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,04 m³
P1	f-Muro1	4,07	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,17 m³
P1	a-1	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P2	g-Muro1	4,07	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,17 m³
P2	b(0,98)-1	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P3	a-1	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P3	d2-1	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P4	c-1	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P4	e-1	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P5	e-1	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P5	f-1	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P6	f-1	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P6	f(1,28)-1	3,00	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P7	g-1(-1,31)	4,07	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,17 m³
P7	a(-0,65)-2	2,45	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,10 m³
P8	a-2	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P8	a-2	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P9	c-2	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,12 m³
P9	b-2	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P10	e-2	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P10	c-2	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P11	c-3	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P11	e-2	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P12	e-3	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P12	e-3	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P13	f-3	3,03	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,25 m³
P13	f-3	3,20	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,27 m³
P14	g-3	4,07	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,17 m³
P14	f(1,28)-3	3,00	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P15	a-4	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P15	a(-0,73)-4(0,52)	2,45	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,10 m³
P16	b-4	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P16	b-4(0,52)	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P17	BB-CC	3,03	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,25 m³
P17	BB-CC	3,20	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,27 m³
P18	c-5	3,03	14x50	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,21 m³
P18	c-5	3,20	14x50	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,22 m³
P19	d2-5	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P19	AA(-0,46)-5	3,20	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,27 m³
P20	AA(-0,46)-5	3,03	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,23 m³
P20	f-AA	3,20	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P21	CC-6(0,62)	3,03	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,25 m³
P21	CC-6(0,62)	3,20	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,27 m³
P22	a(-0,73)-6(-0,44)	2,45	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,10 m³
P22	a-6	3,03	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,13 m³
P23	d2(0,47)-6	3,03	20x20	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,12 m³
P23	c(-0,14)-6(-0,44)	2,45	14X30	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,10 m³
P24	e(1,31)-6	3,03	20x20	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,12 m³
P25	AA-6	1,33	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,11 m³
P25	AA-6	1,70	14x60	Concreto - fck= 25MPa - Molda	0,14 m³
Total geral: 66					8,49 m³

Fonte: O Autor (2018).

Levantamento do material de Sapatas

Marca	Família	Marca de tipo	Material estrutural	Material: Volume
	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S1	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S3	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S4	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S5	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S6	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S7	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S8	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S9	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S10	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S11	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S12	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S13	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S14	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S15	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S16	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S17	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S18	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
S19	Sapata distribuída - Cônica	80x80	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,21 m³
S20	Sapata distribuída - Cônica	80x80	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,21 m³
S21	Sapata distribuída - Cônica	80X130	Concreto - fck= 25MPa - Moldado IN LOCO	0,36 m³
Total geral: 21				7,20 m³

Levantamento do material do piso

Nível	Tipo	Material: Volume	Material: Área	Perímetro
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,81 m³	6,8 m²	10,49
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,96 m³	8,0 m²	11,33
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	1,26 m³	10,5 m²	12,99
Teto Garagem	Piso Genérico 10 cm	0,64 m³	6,4 m²	12,04
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,54 m³	4,5 m²	11,75
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,96 m³	8,0 m²	15,42
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	1,59 m³	13,2 m²	14,61
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,75 m³	6,2 m²	12,53
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	1,30 m³	10,8 m²	14,36
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	1,06 m³	10,6 m²	13,09
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	0,80 m³	8,0 m²	11,33
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	1,40 m³	14,0 m²	15,02
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	2,50 m³	25,0 m²	19,99
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	0,74 m³	7,4 m²	11,71
COBERTURA	Piso Genérico 10 cm	1,70 m³	17,0 m²	16,86
Teto da Varanda frontal	Piso Genérico 10 cm	0,49 m³	4,9 m²	10,43
Varandas	Piso Genérico 10 cm	1,42 m³	14,2 m²	18,04
Varandas	Piso Genérico 10 cm	0,37 m³	3,7 m²	7,72
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,98 m³	8,2 m²	12,12
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,70 m³	5,8 m²	11,52
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,38 m³	3,2 m²	14,05
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,09 m³	0,8 m²	3,26
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,05 m³	0,4 m²	2,85
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,27 m³	2,2 m²	5,30
Teto Garagem	Piso Genérico 10 cm	0,47 m³	4,7 m²	9,31
Teto Garagem	Piso Genérico 10 cm	1,84 m³	18,4 m²	17,23
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,22 m³	1,9 m²	4,86
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,15 m³	1,2 m²	4,55
COBERTA	Piso Genérico 12cm 2	0,42 m³	3,5 m²	8,30
Total geral: 29		24,87 m³	229,6 m²	

Fonte: O Autor (2018).

Material de Vigas

Marca	Marca de tipo	Material estrutural	Material: Volume
V1	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,34 m³
V2	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,35 m³
V3	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,21 m³
V4	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,12 m³
V5	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V6	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,24 m³
V7	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V8	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,28 m³
V9	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V10	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,13 m³
V11	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V12	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V13	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,03 m³
V13	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,05 m³
V14	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V15	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,03 m³
V16	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,07 m³
V17	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V17	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,15 m³
V18	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,34 m³
V19	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,17 m³
V20	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,37 m³
V21	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,15 m³
V22	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,02 m³
V22	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V23	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,04 m³
V24	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,25 m³
V25	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,12 m³
V26	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,23 m³
V27	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,15 m³
V28	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,26 m³
V29	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V30	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,08 m³
V31	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,18 m³
V32	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,07 m³
V33	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V34	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,17 m³
V34	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V35	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,18 m³
V36	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V37	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V38	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,05 m³
V39	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V40	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,19 m³
V41	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,07 m³
V42	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V43	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,09 m³
V44	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,08 m³
V45	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,12 m³
V46	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,33 m³
V47	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,03 m³
V48	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,04 m³
V49	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,21 m³
V50	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V51	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,05 m³
V51	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,03 m³
V52	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,24 m³
V53	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V54	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V55	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V56	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,17 m³
V57	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V58	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,04 m³
V59	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,11 m³
V60	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,28 m³
V61	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V62	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,14 m³
V62	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,09 m³
V63	12X20	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,10 m³
V64	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,09 m³
V65	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,16 m³
V66	12X30	Concreto - fck=25MPa - Molda	0,09 m³
Total geral: 72			10,23 m³

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE S – TABELAS DE QUANTITATIVOS: HIDROSSANITÁRIO

Conexões para Esgoto			
Quantidade	Sistema	Descrição	Linha
3	Esgoto	Bucha de Redução Longa 50x40mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Cap Soldável 25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Série Normal
6	Esgoto	Joelho 45º 40mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Joelho 45º 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Joelho 45º 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Joelho 45º 100mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
9	Esgoto	Joelho 90º 40mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
9	Esgoto	Joelho 90º 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
2	Esgoto	Joelho 90º 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
3	Esgoto	Joelho 90º 100mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
2	Esgoto	Joelho 90º com Visita 100x75mm, Esgoto Série Reforçada - TIGRE	Série Reforçada
1	Esgoto	Junção Simples 100 x 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Junção Simples 100 x 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
14	Esgoto	Luva Simples 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
4	Esgoto	Luva Simples 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
8	Esgoto	Luva Simples 100mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Luva Simples 100mm, Esgoto Série Reforçada - TIGRE	Série Reforçada
2	Esgoto	Terminal de Ventilação 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
3	Esgoto	Tê 50 x 50mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Tê 75 x 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Tê 100 x 75mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal
1	Esgoto	Tê 100 x 100mm, Esgoto Série Normal - TIGRE	Série Normal

Fonte: O Autor (2018).

Conexões para Água Fria		
Quantidade	Descrição	Linha
6	Bucha de Redução Soldável Curta 25x20mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Bucha de Redução Soldável Curta 32x25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Bucha de Redução Soldável Curta 40x32mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Joelho 45º Soldável 25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
6	Joelho 90º Soldável 20mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
4	Joelho 90º Soldável 25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
2	Joelho 90º Soldável 32mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Joelho 90º Soldável 40mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
13	Joelho 90º Soldável com Rosca 20 x 1/2", PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
5	Tê de Redução Soldável 25x20mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Tê de Redução Soldável 32x25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
7	Tê Soldável 20mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
2	Tê Soldável 25mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Tê Soldável 32mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável
1	Tê Soldável 40mm, PVC Marrom, Água Fria - TIGRE	Soldável

Fonte: O Autor (2018).

Registros e Válvulas			
Quantidade	Descrição	Size	Fabricante
4	Adaptador Soldável com Anel para Caixa d'Água com Registro, PVC Branco, Água Fria - TIGRE		© Tigre S/A
3	Registro de Chuveiro PVC Branco 1/2" - TIGRE	20.00 mmø-20.00 mmø	© Tigre S/A
4	Registro Esfera VS Soldável 20mm - TIGRE	20.00 mmø-20.00 mmø	© Tigre S/A
1	Registro Esfera VS Soldável 25mm - TIGRE	25.00 mmø-25.00 mmø	© Tigre S/A

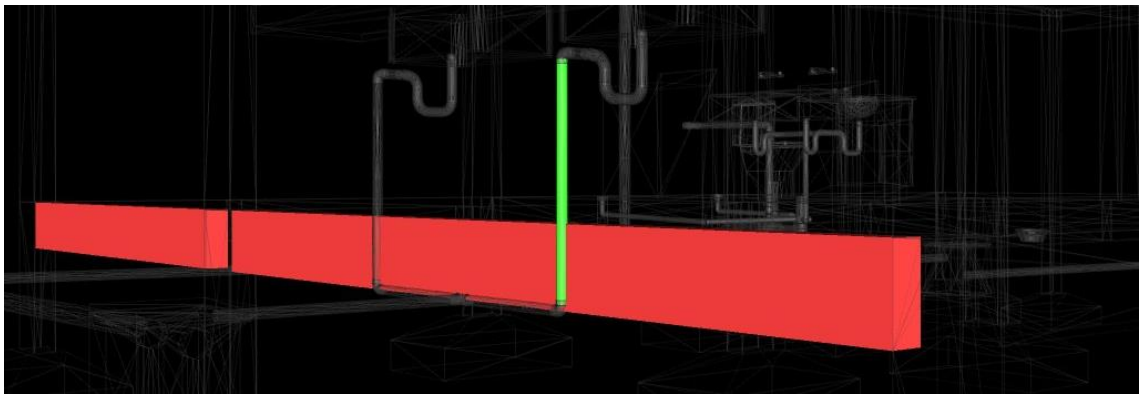
Caixas e Ralos		
Quantidade	Sistema	Descrição
4	Esgoto	Antiespuma 100 mm, Esgoto - TIGRE
1	Esgoto	Caixa Sifonada Girafácil (5 Entradas), Montada com Grelha e Porta Grelha Quadrados Brancos 100 x 140 x 50mm, Esgoto - TIGRE
1	Água Fria	Cj Corpo/Tampa Caixa d´Água 1500 litros RT, Água Fria - TIGRE
3	Esgoto	Corpo Caixa Sifonada com 3 Entradas 100 x 100 x 50mm, Esgoto - TIGRE
1	Esgoto	Corpo Ralo Cônico - Branco 100 x 40mm, Esgoto - TIGRE
3	Esgoto	Porta Grelha Redondo Branco 100mm, Esgoto -TIGRE
6	Esgoto	Prolongamento p/ Caixa Sifonada 100 x 100mm, Esgoto - TIGRE
3	Esgoto	Ralo Cônico Montado - Branco c/ grelha branca 100 x 40mm, Esgoto - TIGRE
1	Água Fria	Tampa para Caixa d´Água 1500 litros RT, Água Fria - TIGRE
1	Água Fria	Torneira Bóia para Caixa d´Água 1/2", Água Fria - TIGRE

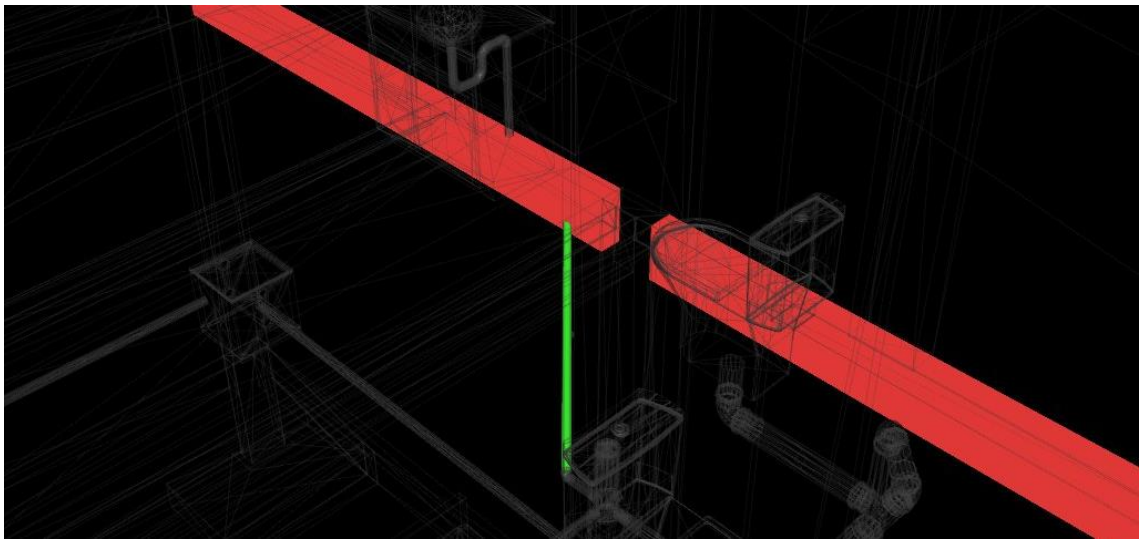
Tubos Rigidos		
Descrição	Diâmetro	Comprimento
Tubo Soldável Marrom		
Tubo Soldável Marrom	20.00 mm	17.29
Tubo Soldável Marrom	25.00 mm	16.98
Tubo Soldável Marrom	32.00 mm	7.06
Tubo Soldável Marrom	40.00 mm	0.80
		42.14
Tubo Série Normal		
Tubo Série Normal	40.00 mm	14.70
Tubo Série Normal	50.00 mm	8.36
Tubo Série Normal	75.00 mm	10.66
Tubo Série Normal	100.00 mm	35.78
		69.49
Total geral		111.63

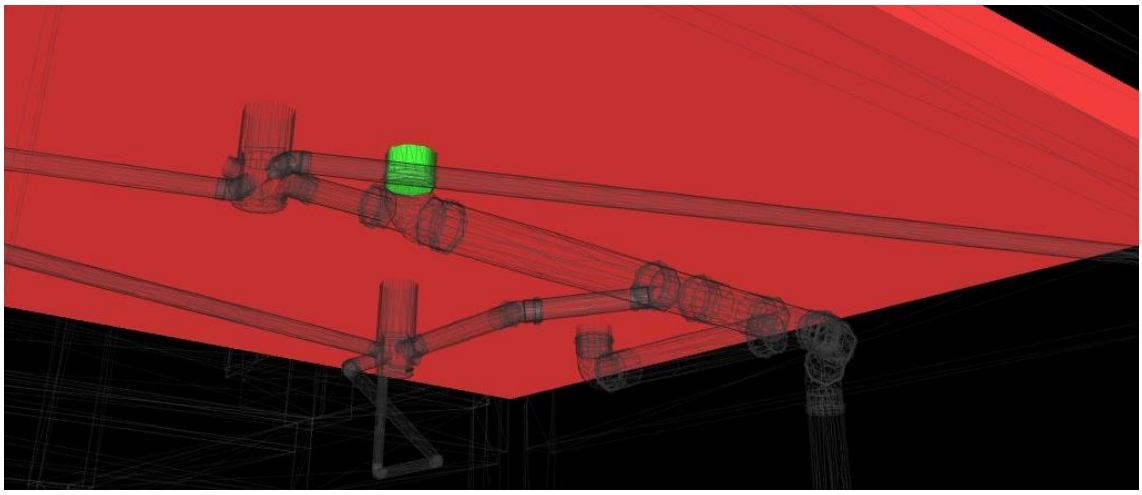
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE T – COMPATIBILIZAÇÃO – ESTRUTURA / HIDROSSANITÁRIO

Exemplos de interferências encontradas com a ferramenta Clash Detection, do software Navisworks. Alguns foram corrigidos de ponto. Outros servem como previsão para o local exato de furos em lajes, permitindo a execução já com os devidos orifícios.







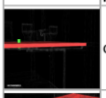
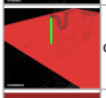
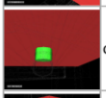
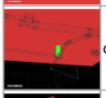
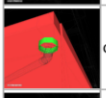
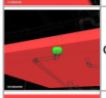
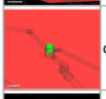
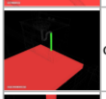
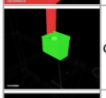
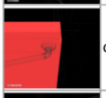
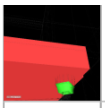
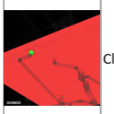
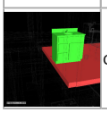
Fonte: O Autor (2018).

O relatório final completo do Clash Detection é demonstrado a seguir:

AUTODESK® NAVISWORKS®

Clash Report

Test 1	Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
	0.001m	16	0	0	0	14	2	Hard (Conservative)	OK

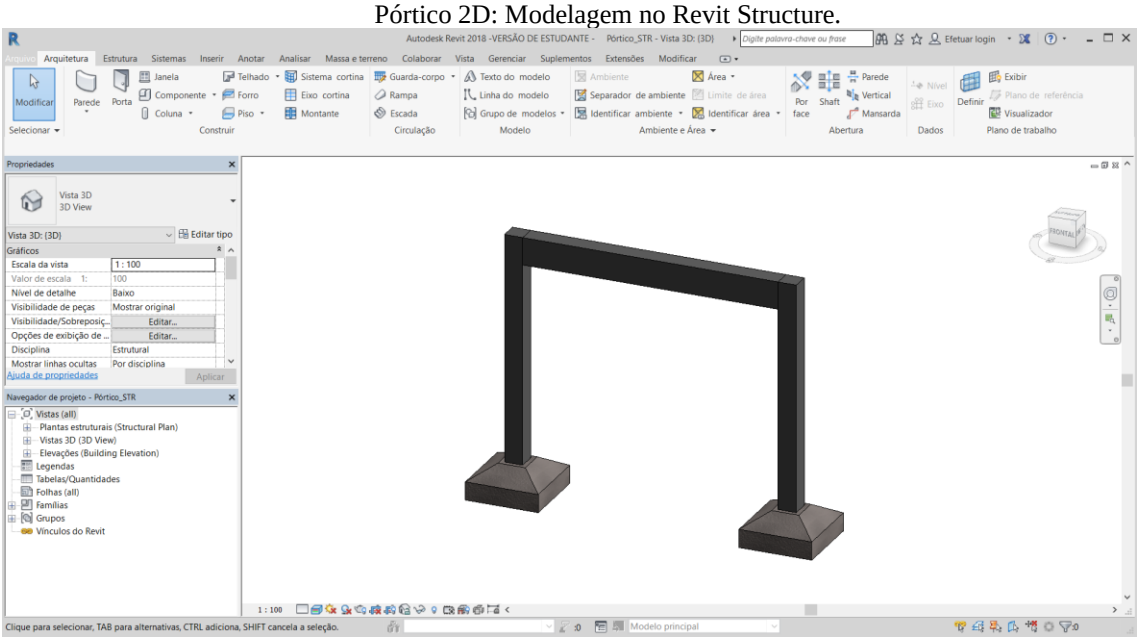
										Item 1					
Image	Clash Name	Status	Distance	Grid Location	Description	Date Found	Date Approved	Approved By	Clash Point	Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Item ID	Lay
	Clash1	Approved	-0.221	d2-2 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-12.464, y:15.689, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2193449	TÉR
	Clash2	Resolved	-0.202	d2-2 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14			x:-12.751, y:15.077, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2181671	PAV 1
	Clash3	Approved	-0.120	d1-1 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-13.210, y:17.212, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2173752	PAV 1
	Clash4	Approved	-0.120	d2-2 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-12.461, y:16.016, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2179413	PAV 1
	Clash5	Approved	-0.114	d1-1 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-13.185, y:16.489, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2177511	<Nc
	Clash6	Approved	-0.113	e-1 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-11.613, y:17.536, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2180521	<Nc
	Clash7	Approved	-0.113	d1-2 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:15	emman	x:-13.043, y:14.731, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2177972	<Nc
	Clash8	Approved	-0.113	d2-2 : Teto Garagem	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:16	emman	x:-12.464, y:15.688, z:3.180	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2180238	<Nc
	Clash9	Approved	-0.055	c-1 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:16	emman	x:-15.041, y:17.605, z:3.300	*Element ID:* 3312647	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2194747	PAV 1
	Clash10	Approved	-0.029	b-1 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:16	emman	x:-15.417, y:17.641, z:3.300	*Element ID:* 3312025	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2145063	PAV 1
	Clash11	Approved	-0.007	e-1 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:16	emman	x:-11.530, y:17.548, z:3.300	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2180520	<Nc
	Clash12	Approved	-0.007	d1-2 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:16	emman	x:-12.954, y:14.720, z:3.300	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2177971	<Nc
	Clash13	Resolved	-0.004	d2-2 : FUNDAÇÃO	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14			x:-12.859, y:15.682, z:-0.030	*Element ID:* 3196963	TÉRREO	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2167167	TÉR
	Clash14	Approved	-0.003	e-1 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:17	emman	x:-11.529, y:17.500, z:3.300	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2180519	PAV 1
															
	Clash15	Approved	-0.003	d1-2 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:17	emman	x:-12.994, y:14.681, z:3.300	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2156115	PAV 1
	Clash16	Approved	-0.002	d2-2 : PAVIMENTO 1	Hard (Conservative)	2019/1/29 04:14	2019/1/29 04:17	emman	x:-12.773, y:14.690, z:3.300	*Element ID:* 3202031	PAVIMENTO 1	Concreto - fck= 25MPa - Molda	Solid	*Element ID:* 2144945	PAV 1

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE U – EXERCÍCIOS NO ROBOT – CASO 1: PÓRTICO 2D

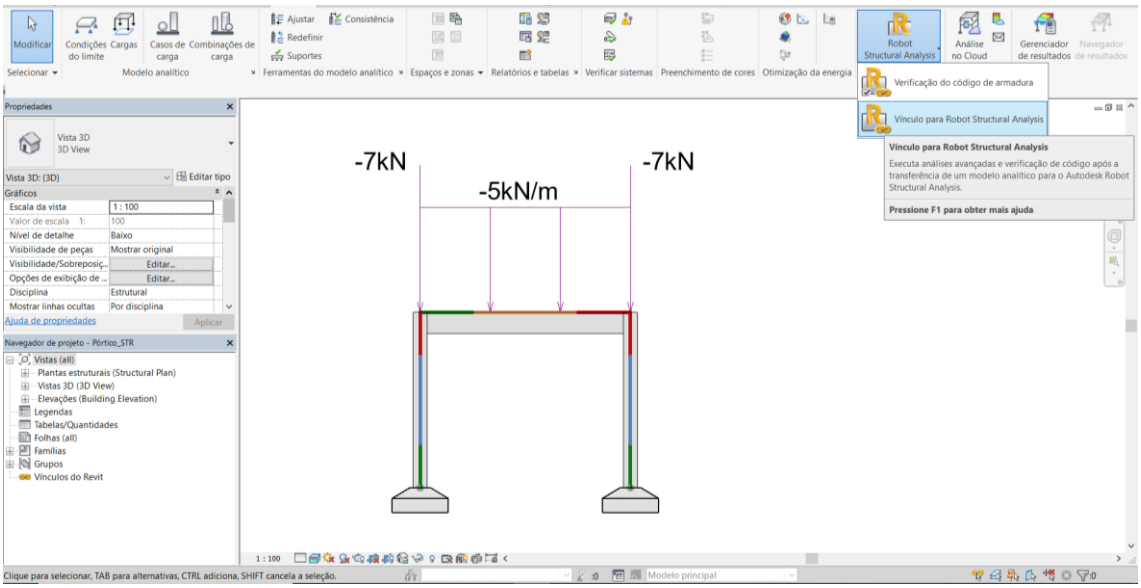
U.1 – MODELAGEM NO REVIT E EXPORTAÇÃO AO ROBOT

Pórtico 2D: Modelagem no Revit Structure.



Fonte: O Autor (2018).

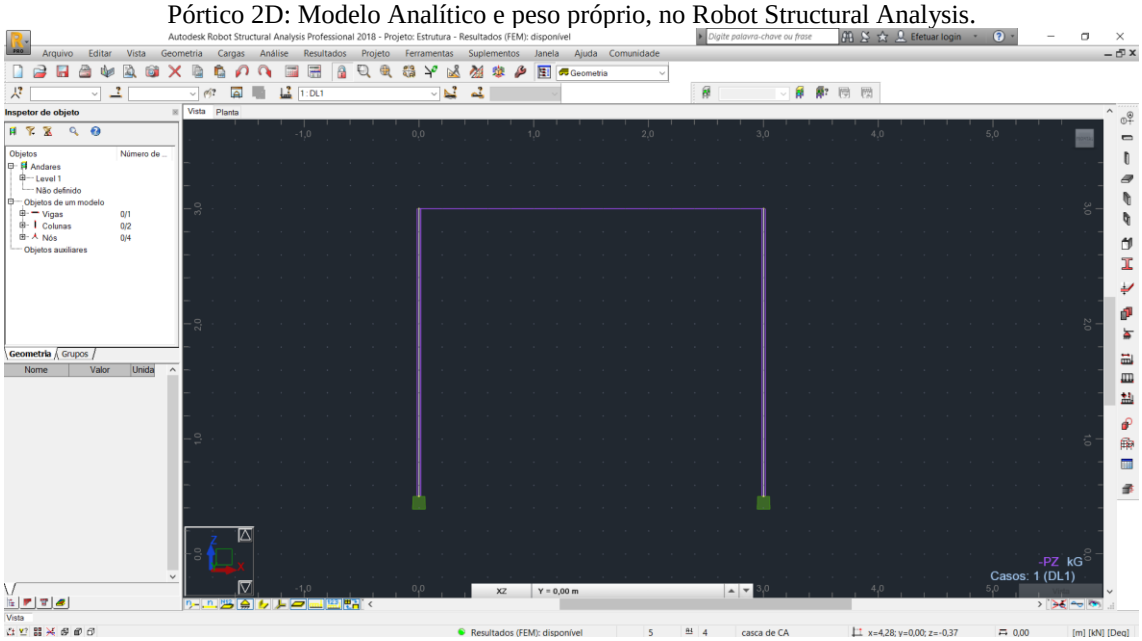
Pórtico 2D: Modelo Analítico e Cargas, exportação do Revit Structure ao Robot Structural Analysis.



Fonte: O Autor (2018).

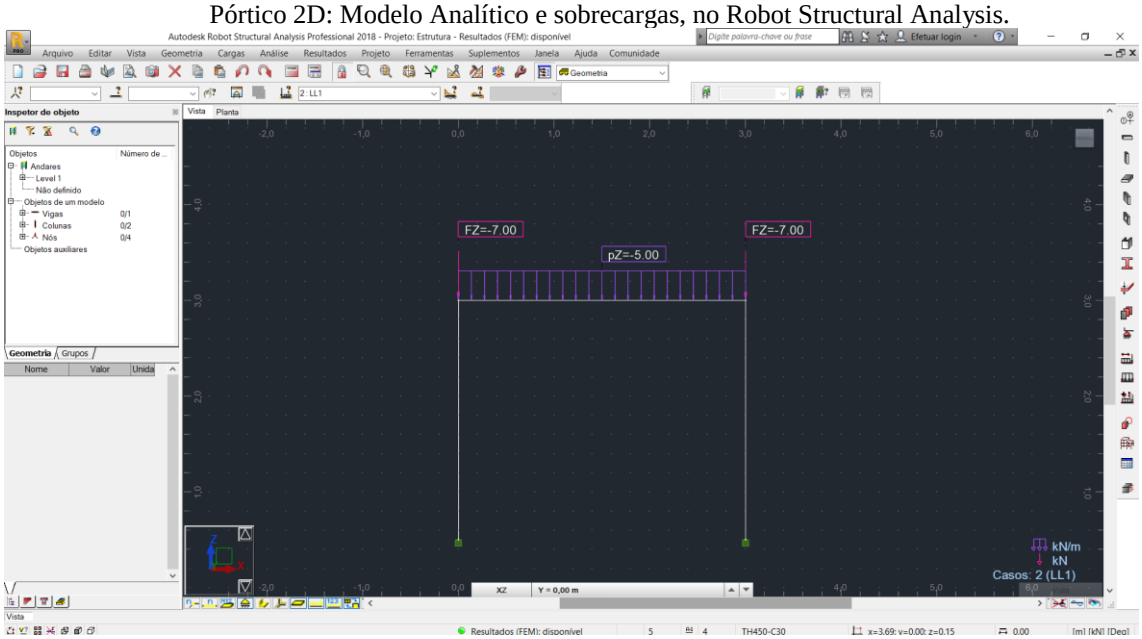
U.2 –VISUALIZAÇÃO DAS CARGAS NO ROBOT

Pórtico 2D: Modelo Analítico e peso próprio, no Robot Structural Analysis.



Fonte: O Autor (2018).

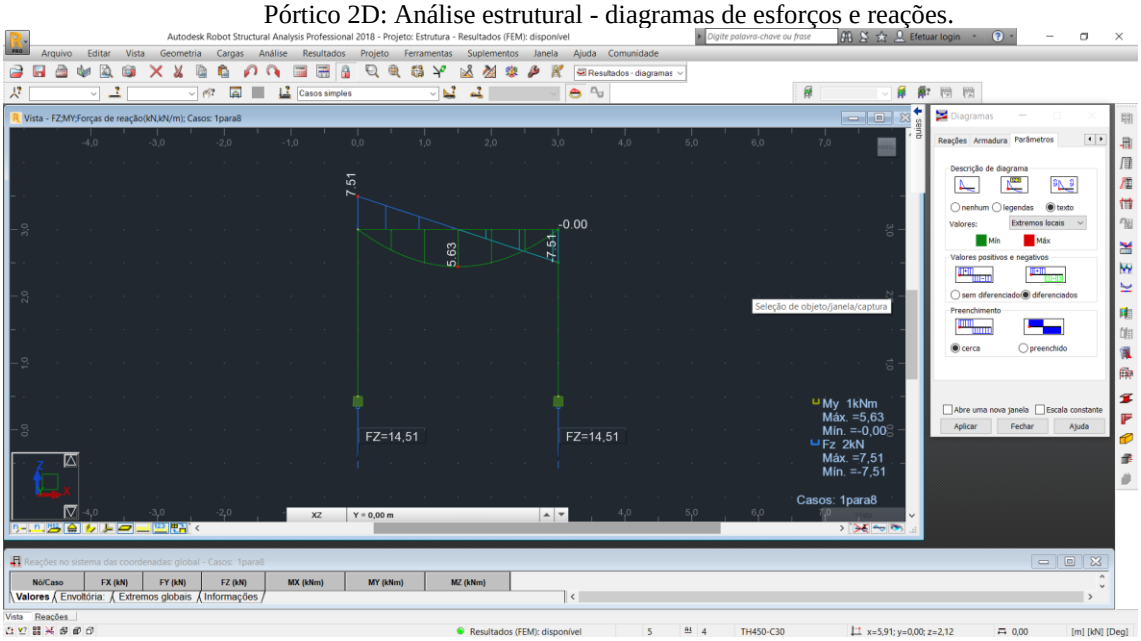
Pórtico 2D: Modelo Analítico e sobrecargas, no Robot Structural Analysis.



Fonte: O Autor (2018).

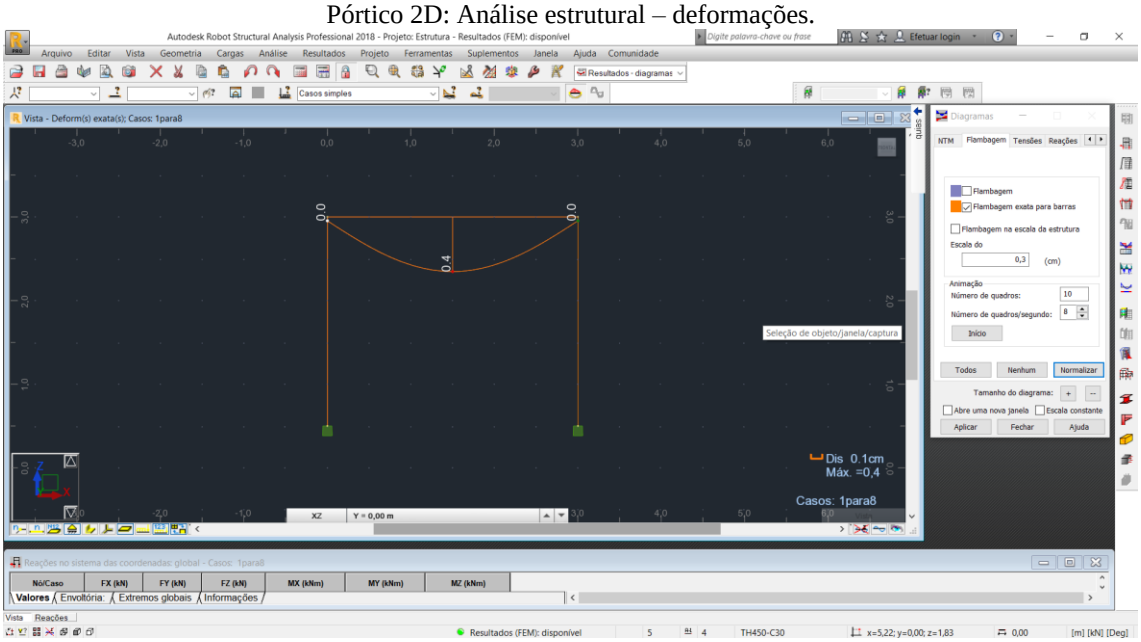
U.3 – ANÁLISE ESTRUTURAL

Pórtico 2D: Análise estrutural - diagramas de esforços e reações.



Fonte: O Autor (2018).

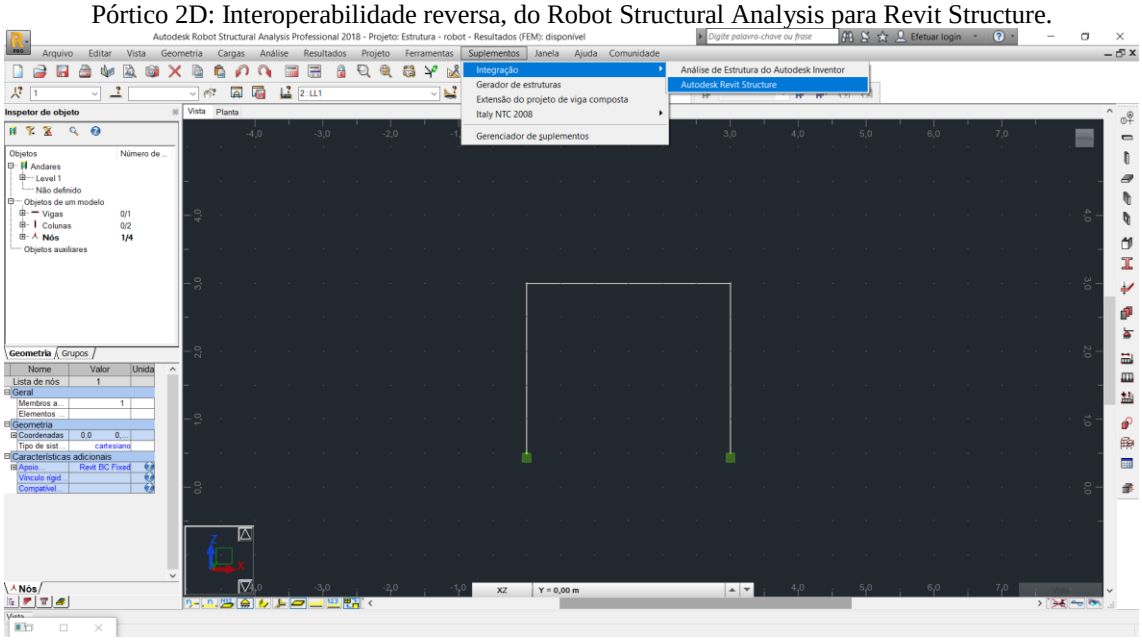
Pórtico 2D: Análise estrutural – deformações.



Fonte: O Autor (2018).

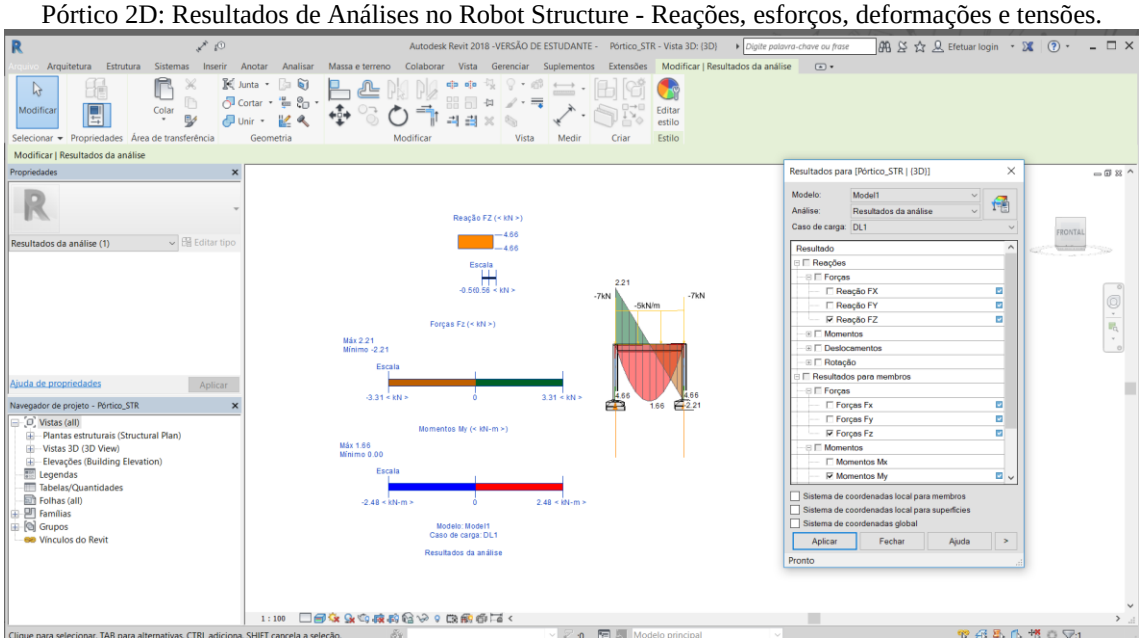
U.4 – EXPORTAÇÃO AO REVIT

Pórtico 2D: Interoperabilidade reversa, do Robot Structural Analysis para Revit Structure.



Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 2D: Resultados de Análises no Robot Structure - Reações, esforços, deformações e tensões.

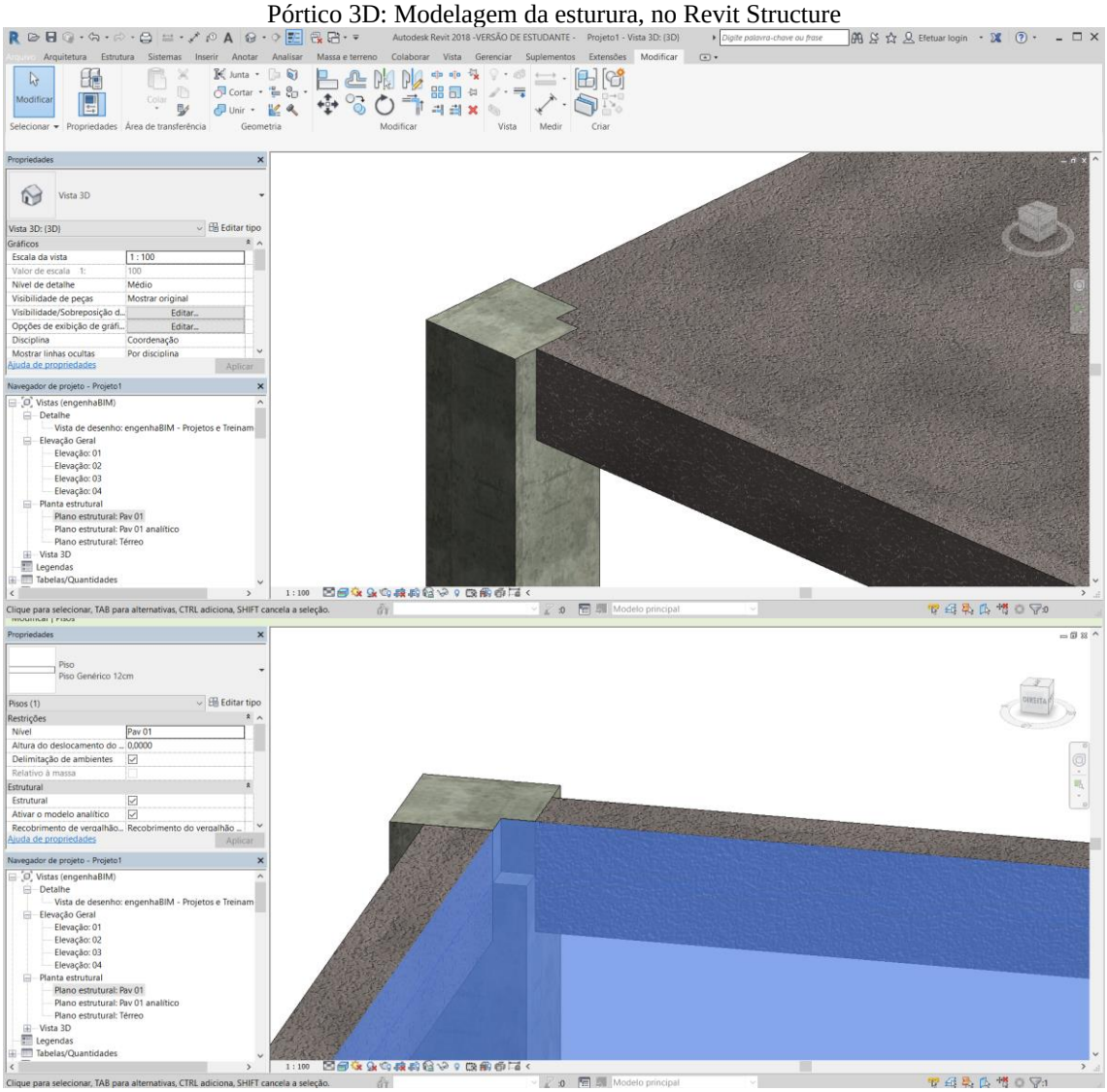


Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE V – EXERCÍCIOS NO ROBOT - CASO 2: PÓRTICO 3D

V.1 – MODELAGEM NO REVIT

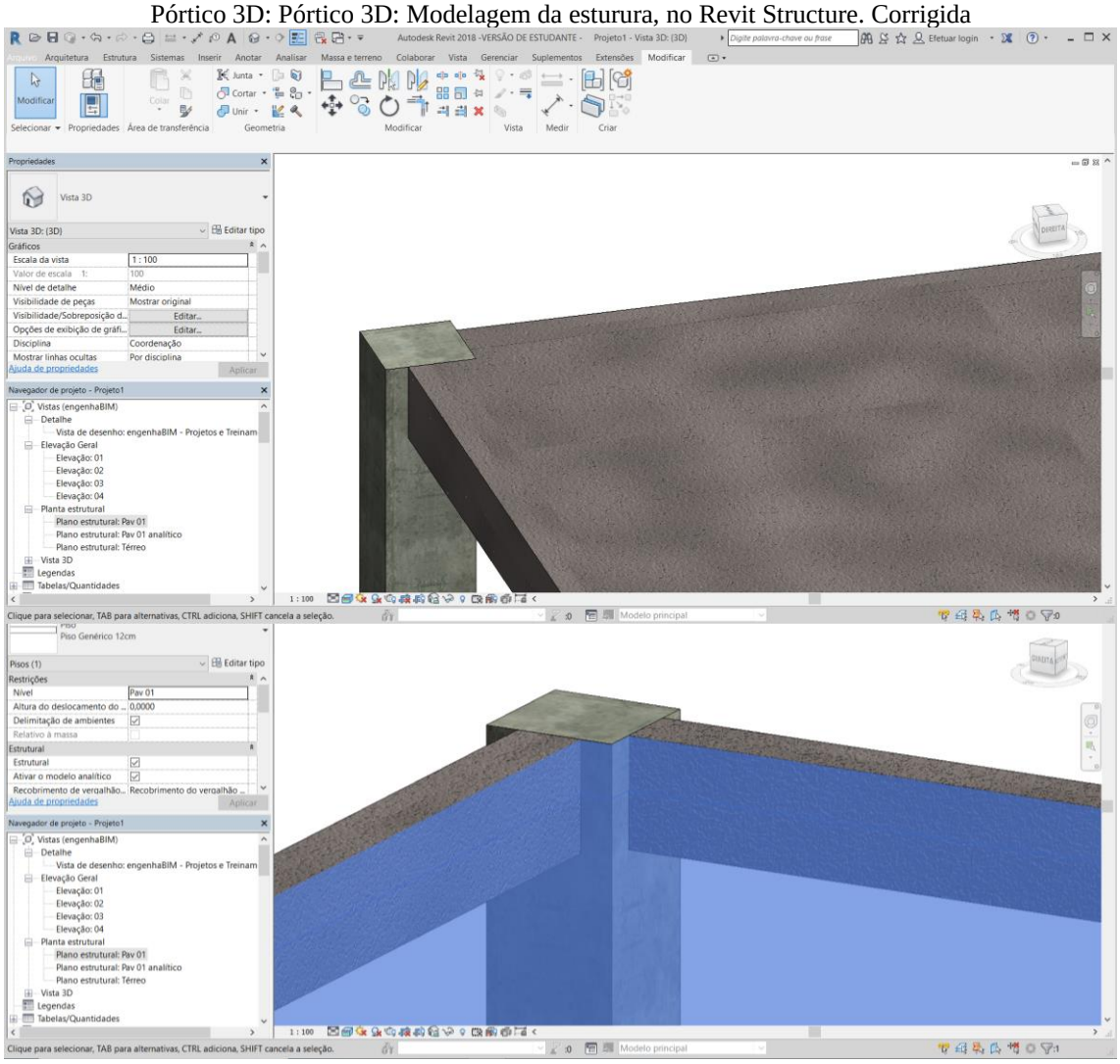
Pórtico 3D: Modelagem da esturura, no Revit Structure



Fonte: O Autor (2018).

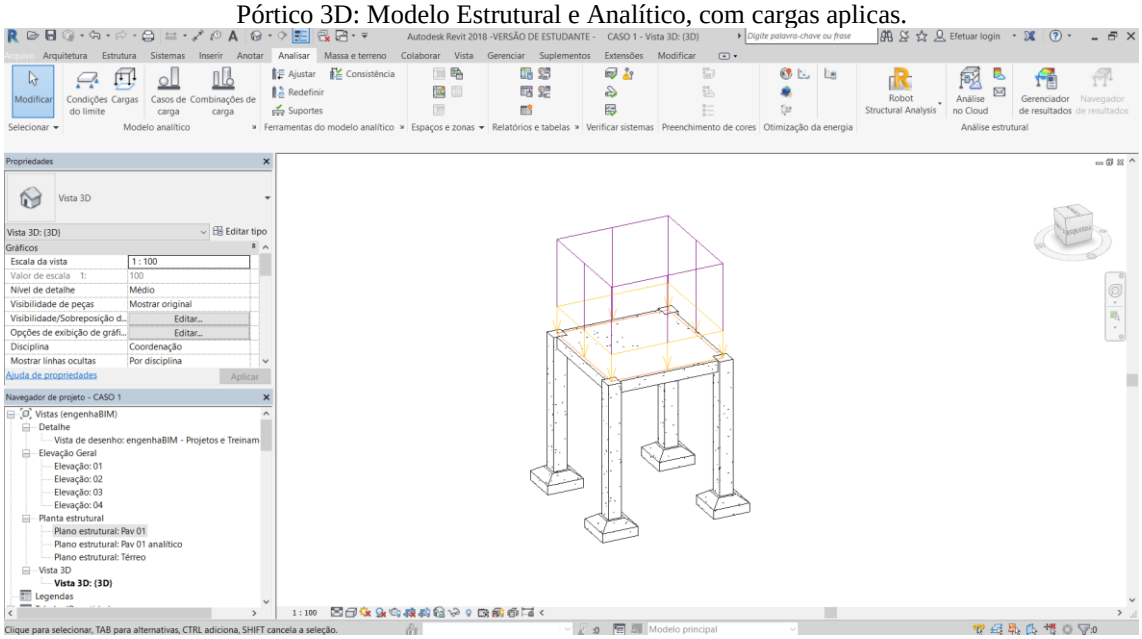
Deve-se tomar cuidado para que a laje não sobreponha o pilar, alterando o volume de material de cada elemento na quantificação posterior.

Pórtico 3D: Pórtico 3D: Modelagem da esturura, no Revit Structure. Corrigida



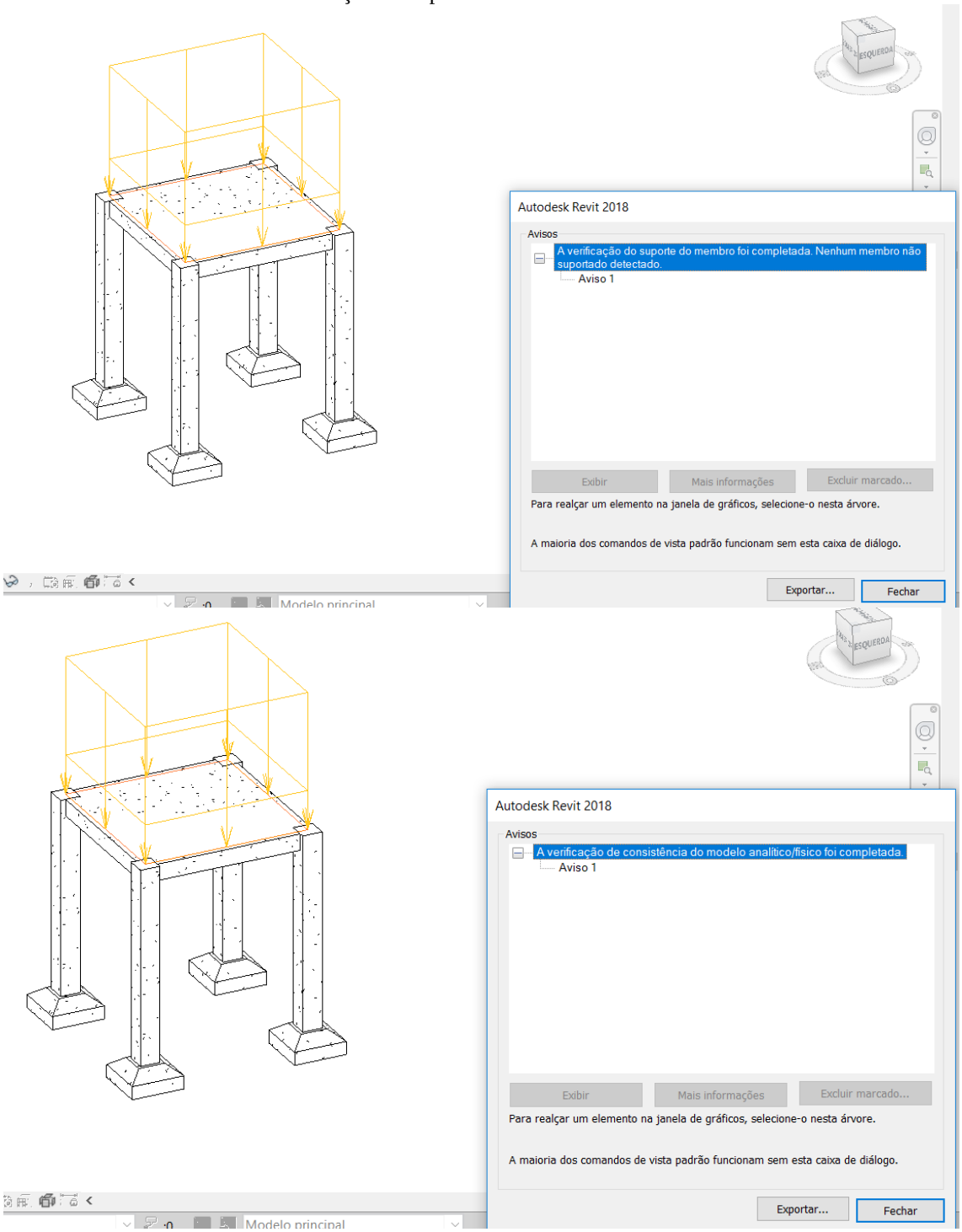
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Modelo Estrutural e Analítico, com cargas aplicas.



Fonte: O Autor (2018).

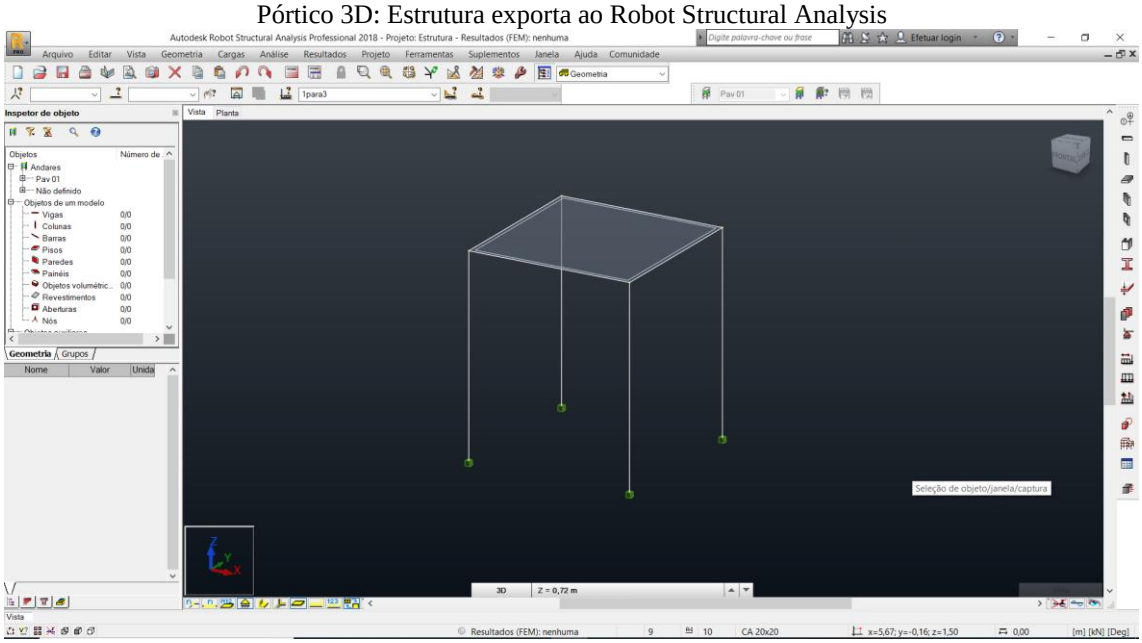
Pórtico 3D: Verificação de Suporte e Consistência do Modelo Analítico



Fonte: O Autor (2018).

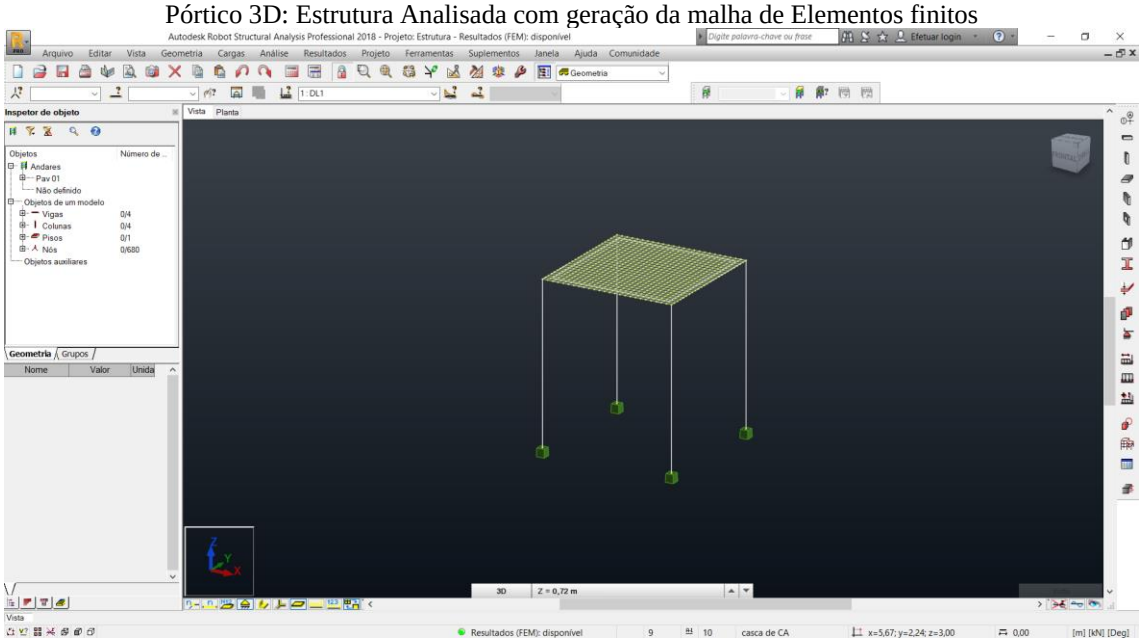
V.2 – INTEROPERABILIDADE REVIT>ROBOT

Pórtico 3D: Estrutura exporta ao Robot Structural Analysis



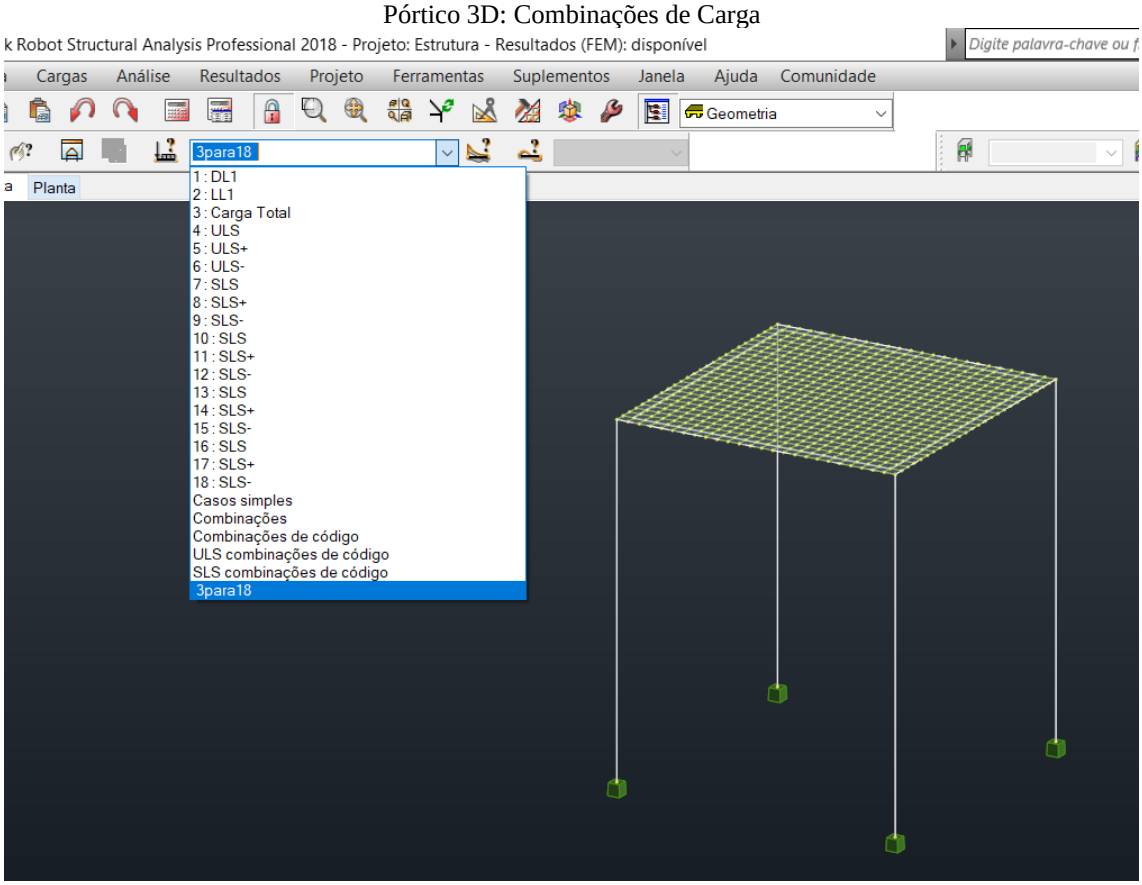
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Estrutura Analisada com geração da malha de Elementos finitos



Fonte: O Autor (2018).

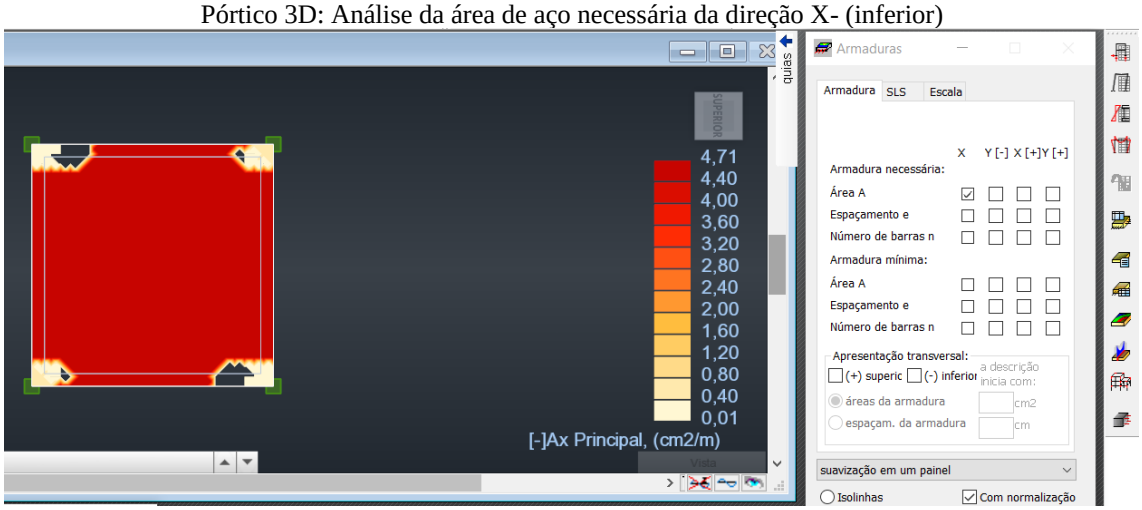
Pórtico 3D: Combinações de Carga



Fonte: O Autor (2018).

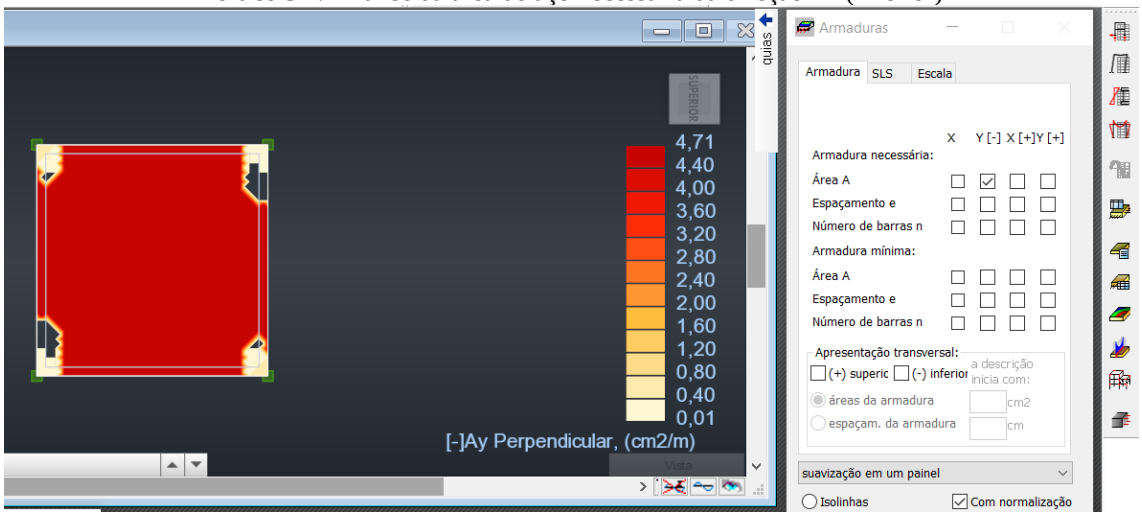
V.3 – ANÁLISE E DIMESNIONAMENTO DE LAJES

Pórtico 3D: Análise da área de aço necessária da direção X- (inferior)



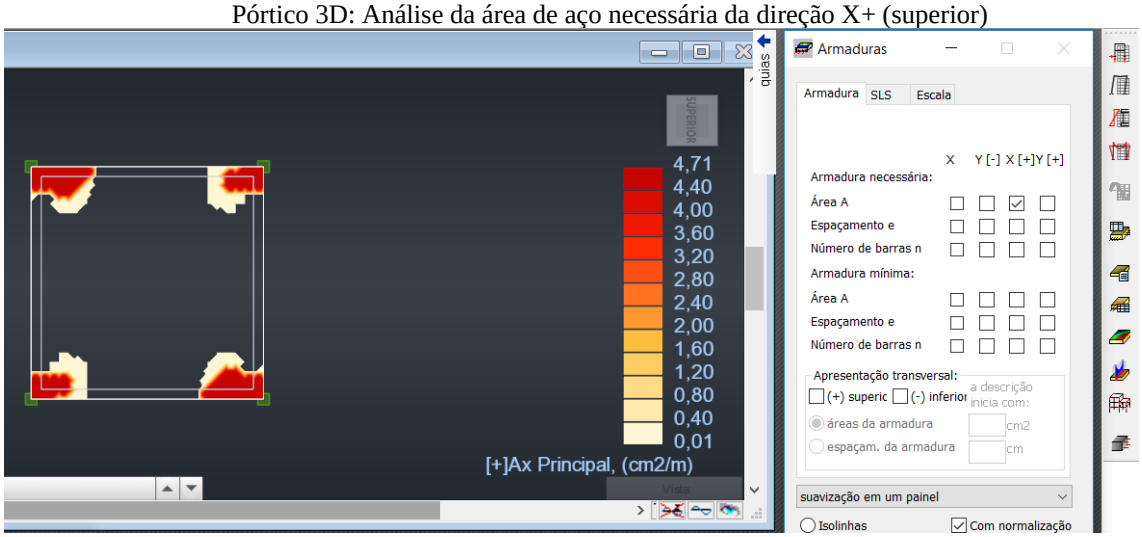
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Análise da área de aço necessária da direção Y- (inferior)



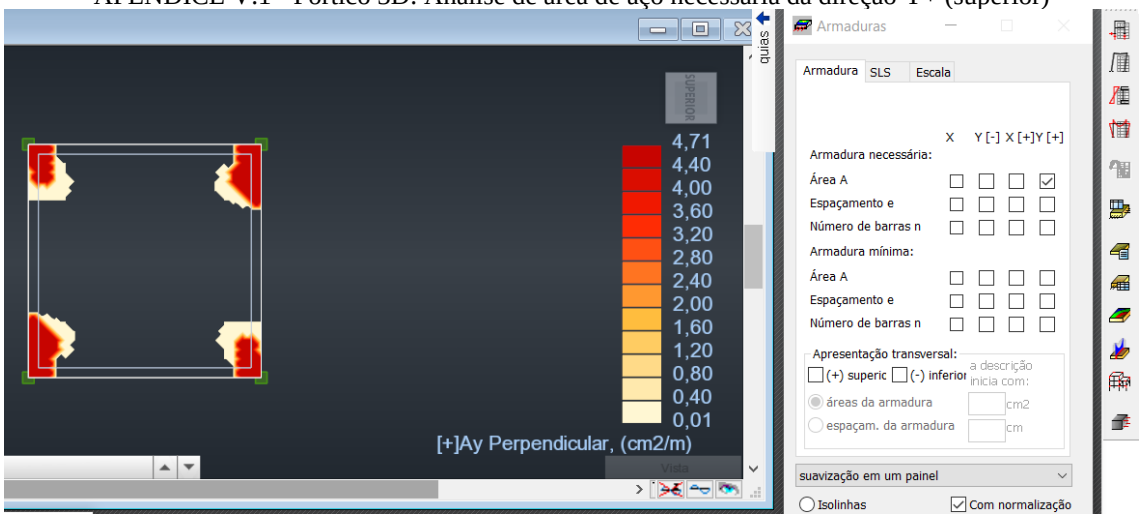
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Análise da área de aço necessária da direção X+ (superior)



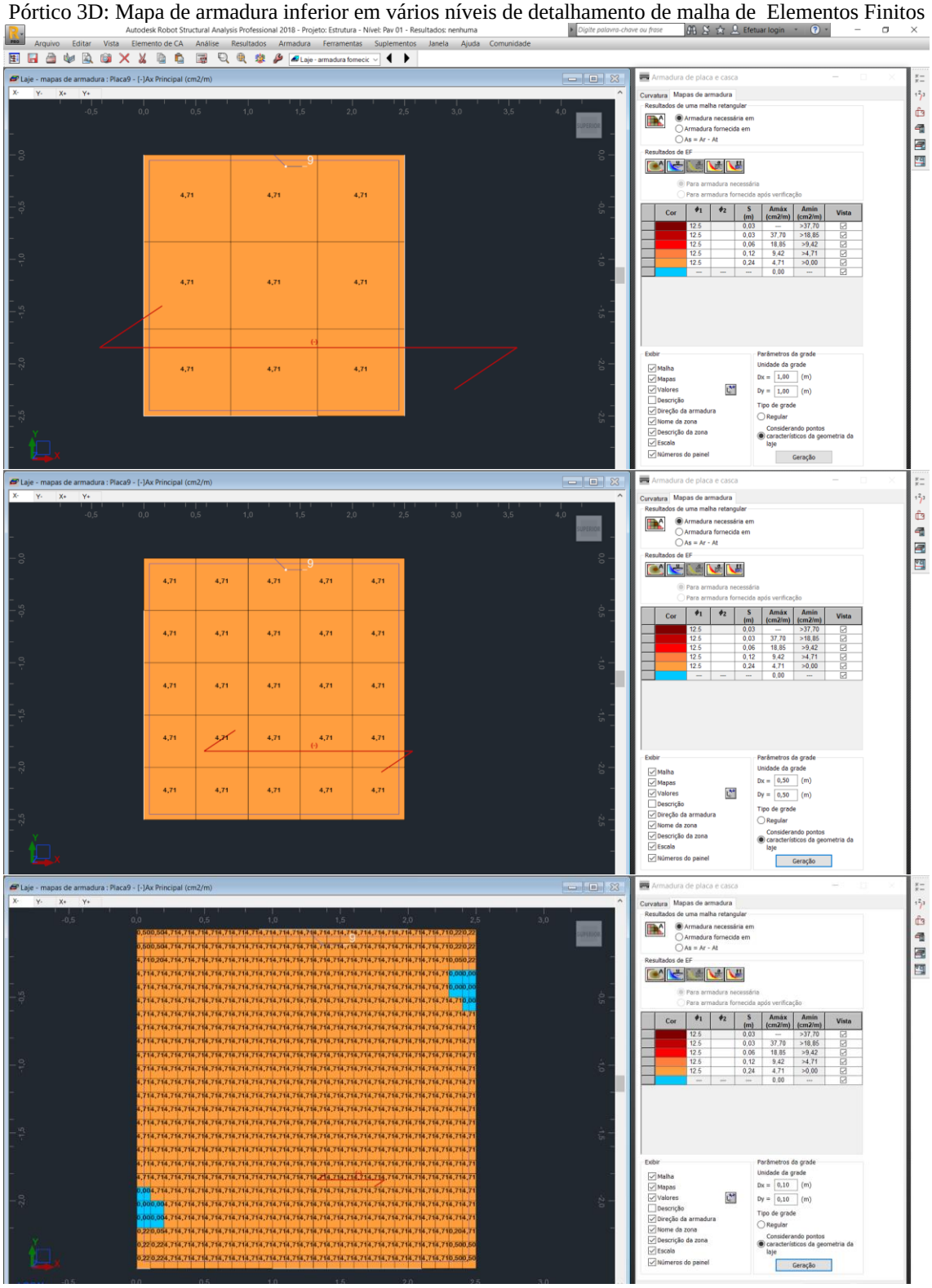
Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE V.1 - Pórtico 3D: Análise de área de aço necessária da direção Y+ (superior)



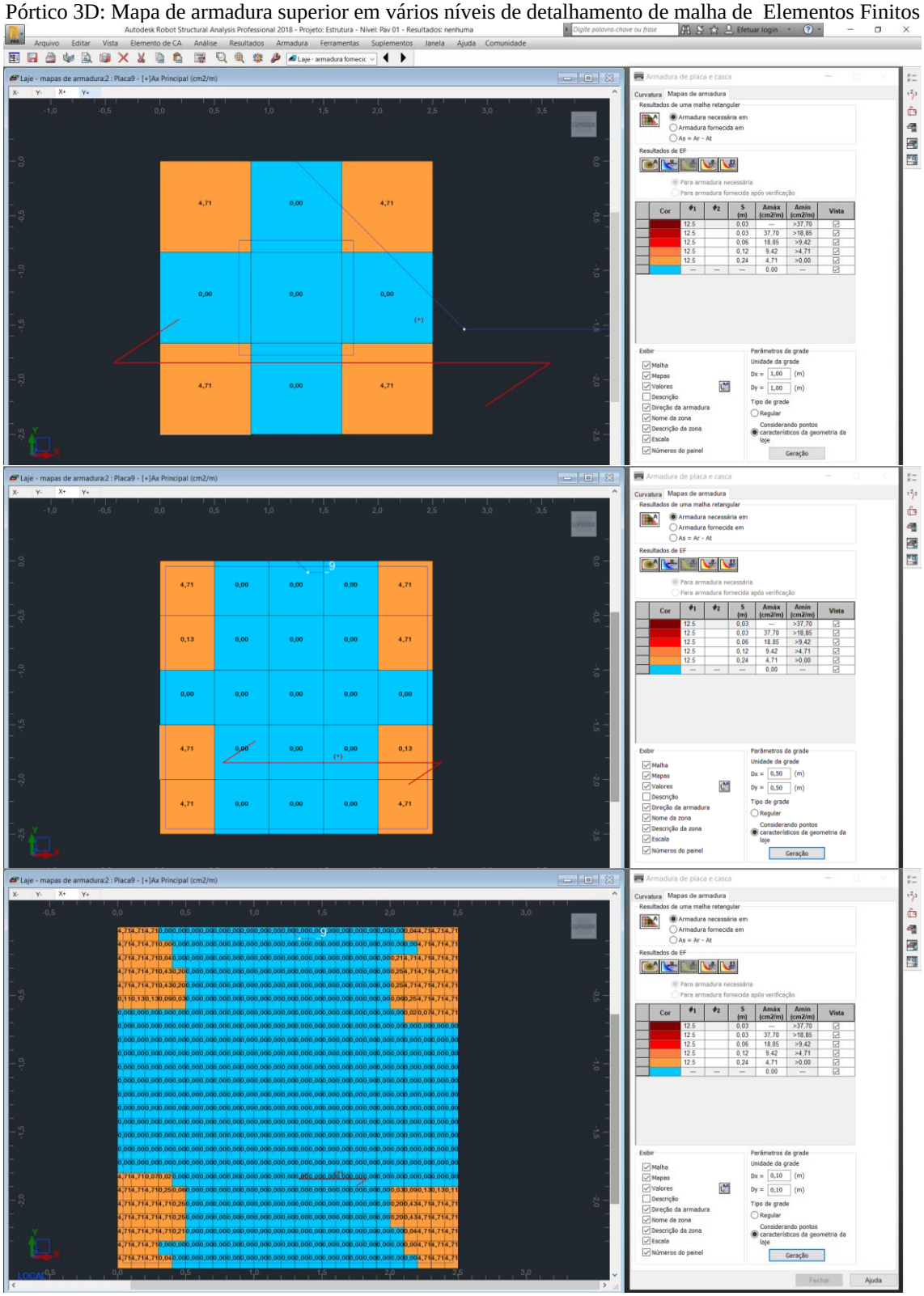
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Mapa de armadura inferior em vários níveis de detalhamento de malha de Elementos Finitos



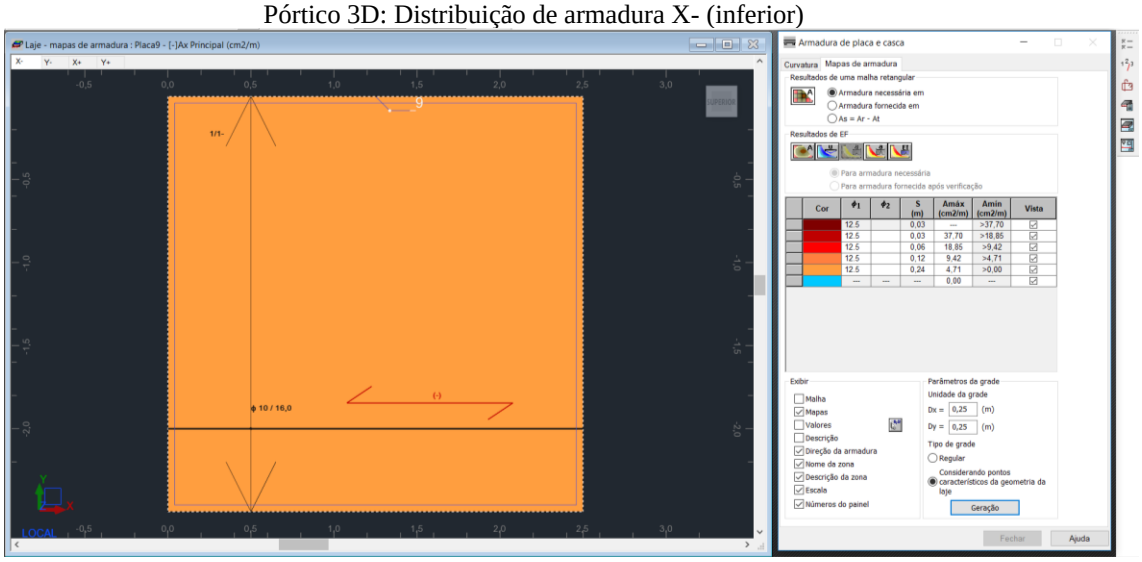
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Mapa de armadura superior em vários níveis de detalhamento de malha de Elementos Finitos



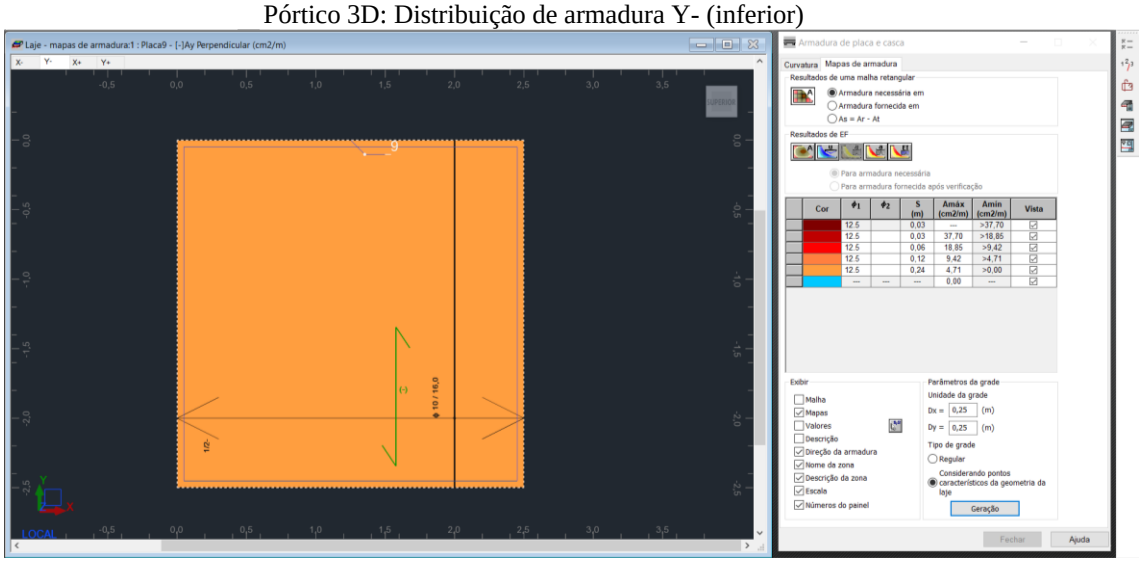
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Distribuição de armadura X- (inferior)



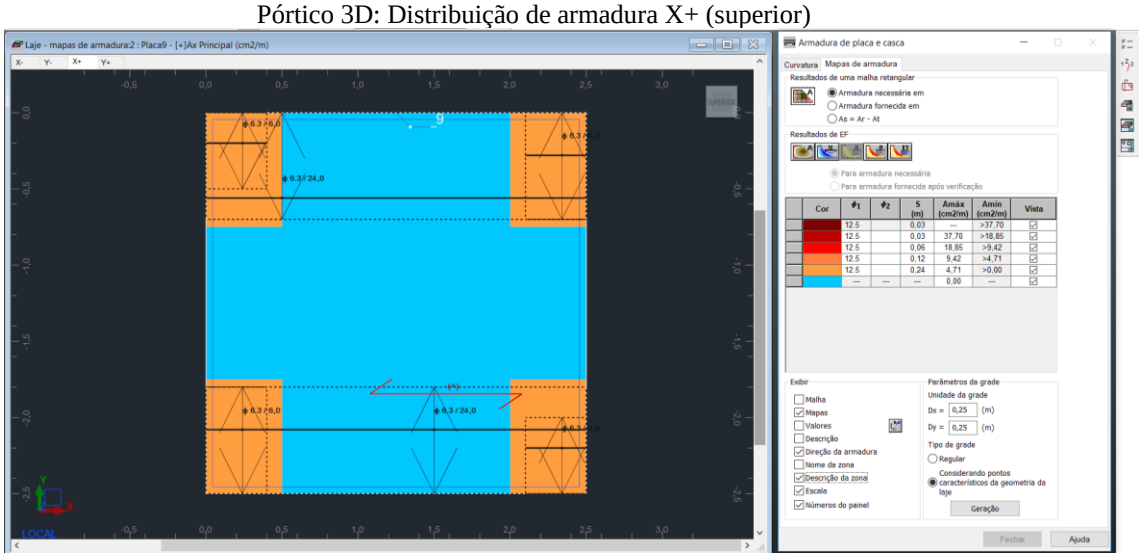
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Distribuição de armadura Y- (inferior)



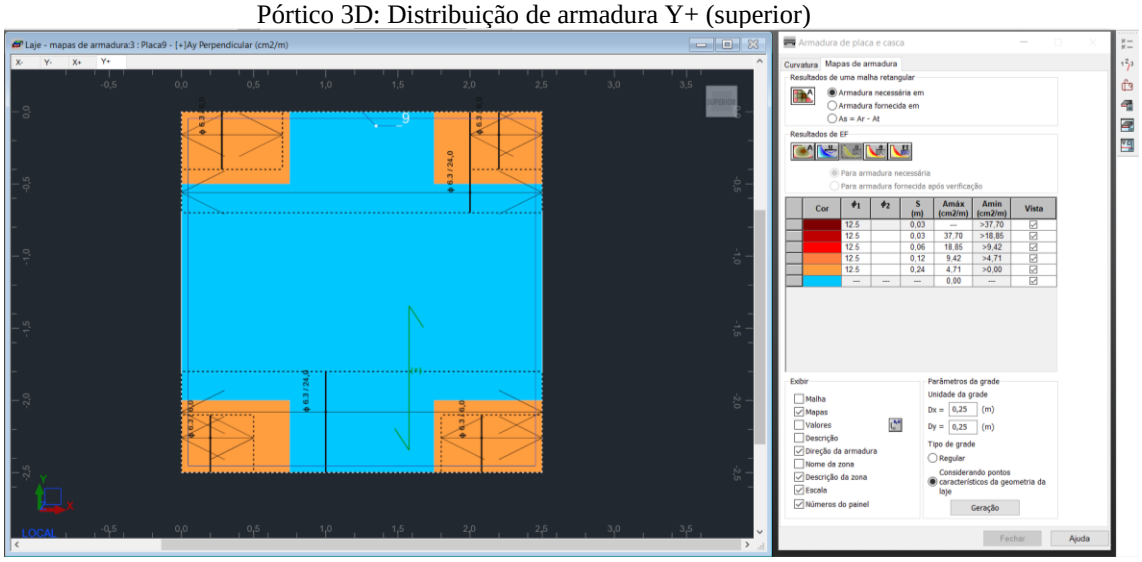
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Distribuição de armadura X+ (superior)



Fonte: O Autor (2018).

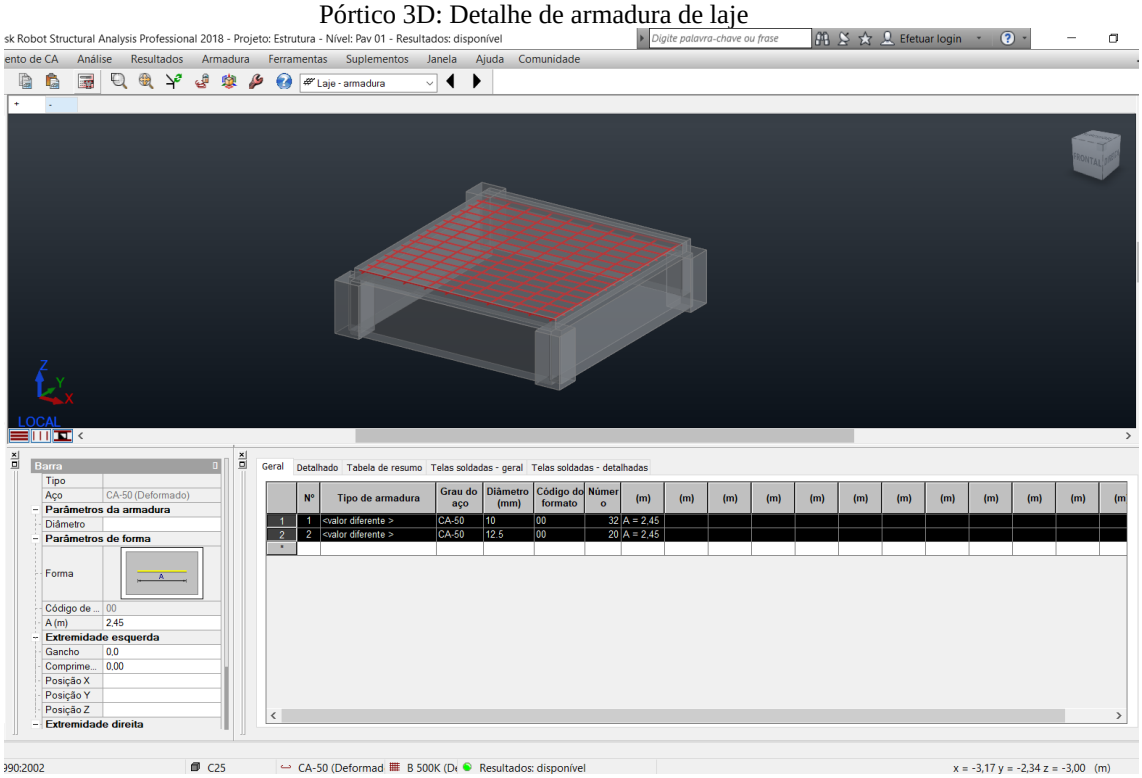
Pórtico 3D: Distribuição de armadura Y+ (superior)



Fonte: O Autor (2018).

Como esperado, devido a geometria quadrada, os valores em X e Y são semelhantes.

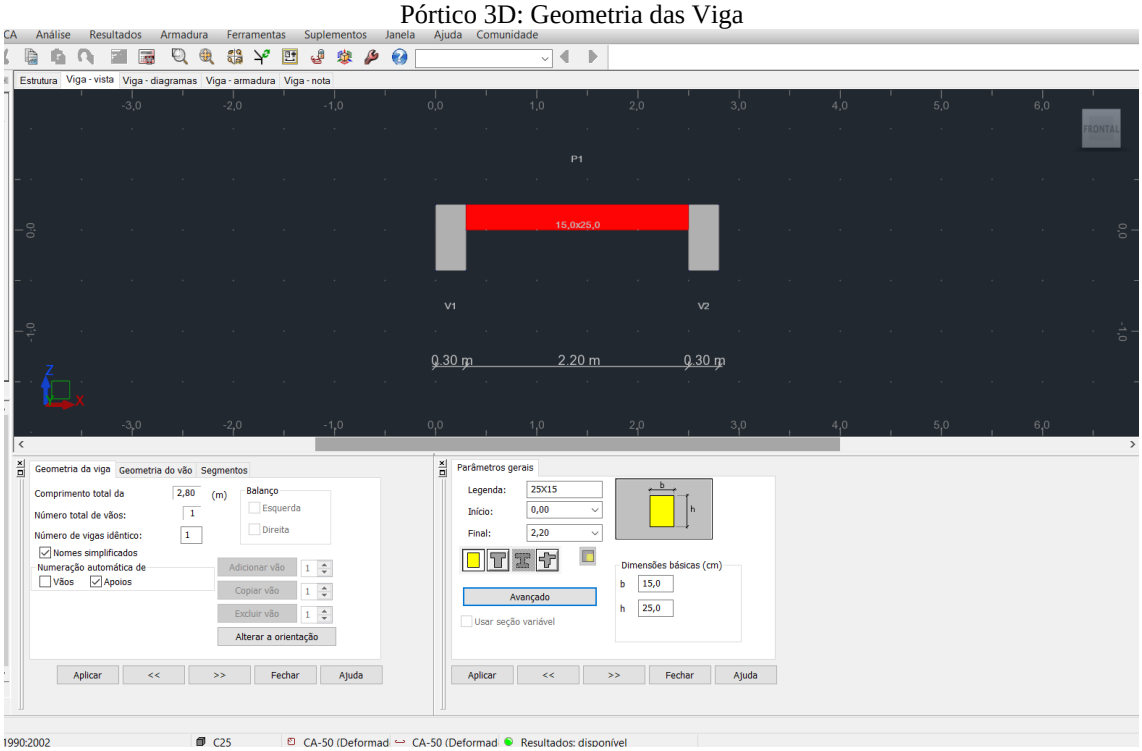
Pórtico 3D: Detalhe de armadura de laje



Fonte: O Autor (2018).

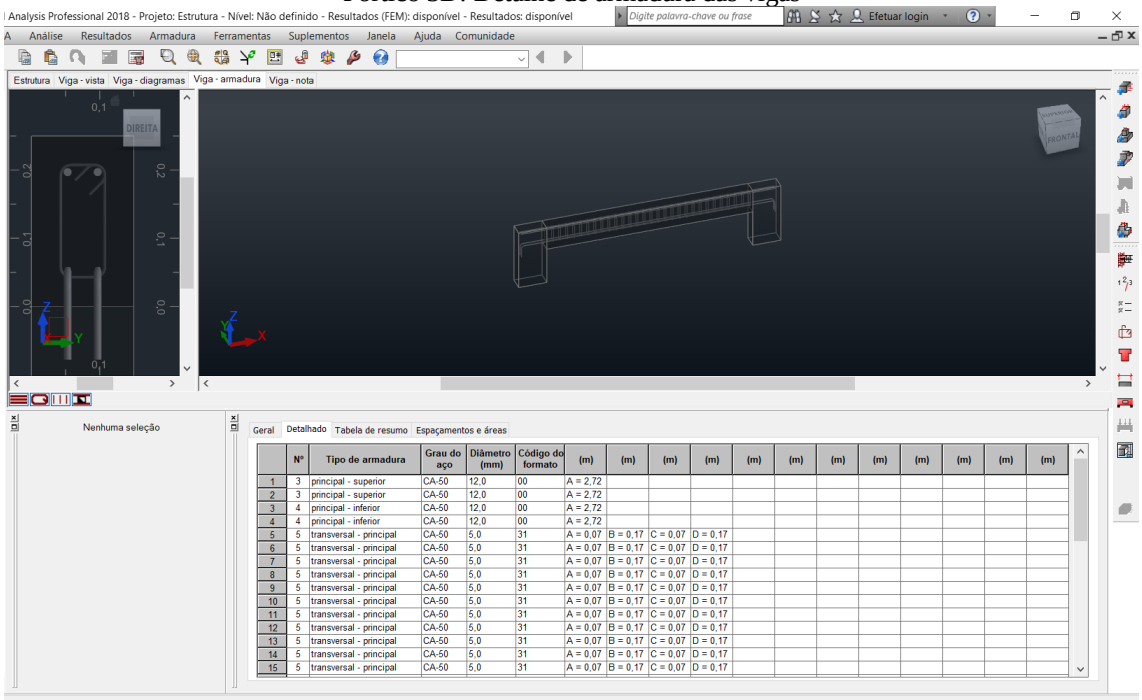
V.4 – ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

Pórtico 3D: Geometria das Viga



Fonte: O Autor (2018).

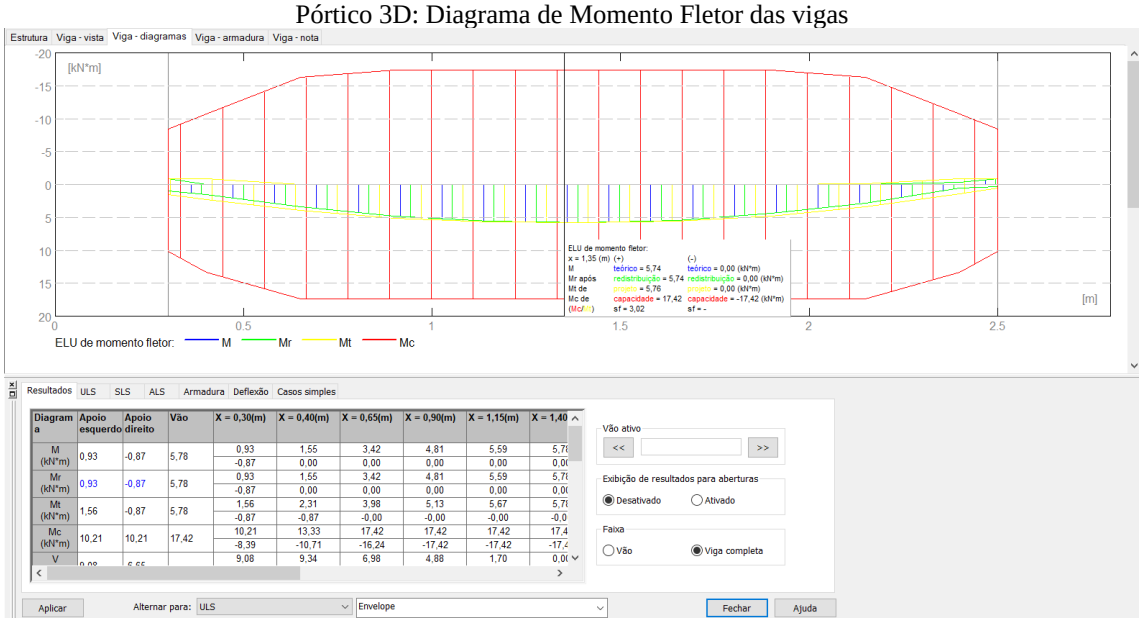
Pórtico 3D: Detalhe de armadura das vigas



	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	3	principal - superior	CA-50	12,0	00	A = 2,72											
2	3	principal - superior	CA-50	12,0	00	A = 2,72											
3	4	principal - inferior	CA-50	12,0	00	A = 2,72											
4	4	principal - inferior	CA-50	12,0	00	A = 2,72											
5	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
6	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
7	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
8	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
9	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
10	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
11	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
12	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
13	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
14	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								
15	5	transversal - principal	CA-50	5,0	31	A = 0,07	B = 0,17	C = 0,07	D = 0,17								

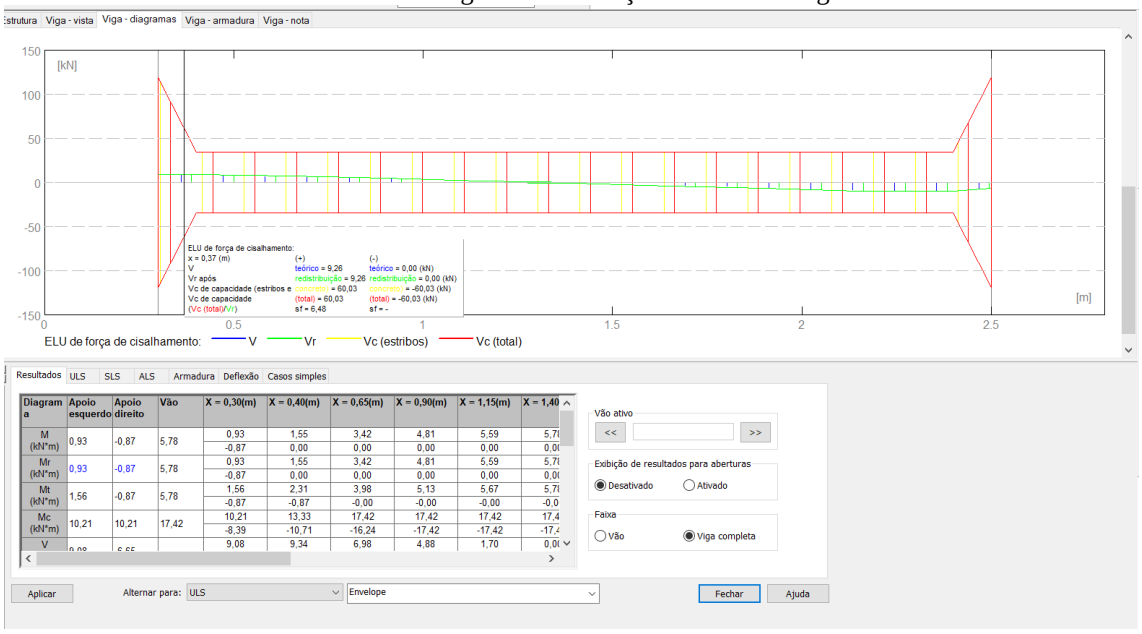
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Diagrama de Momento Fletor das vigas



Fonte: O Autor (2018).

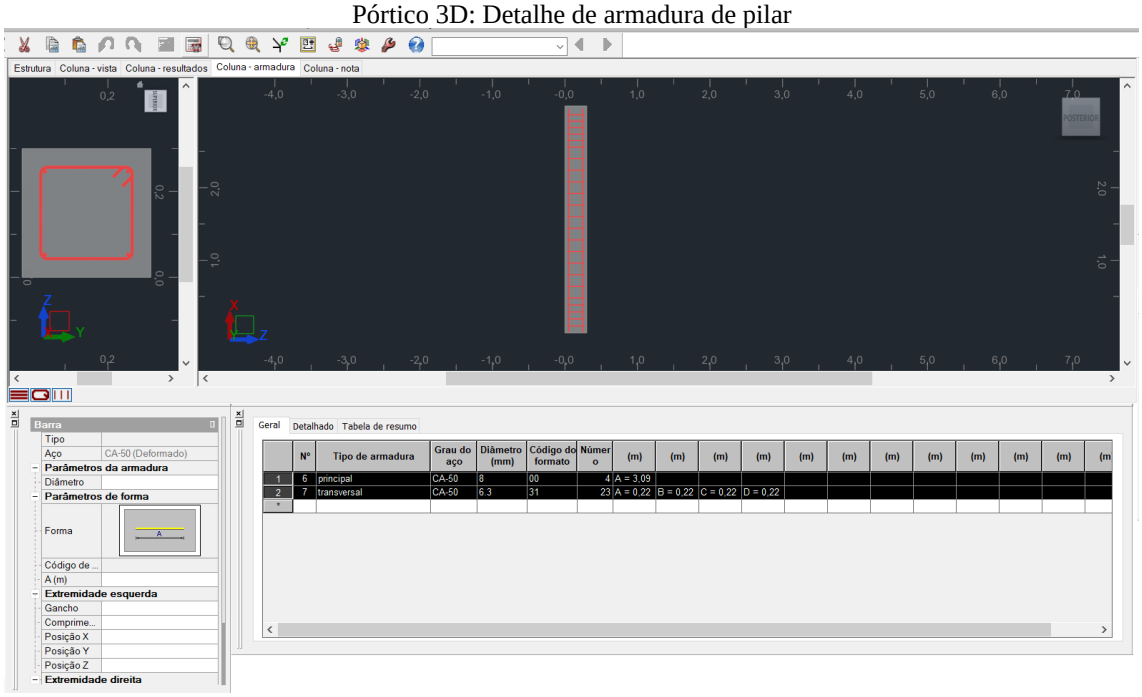
Pórtico 3D: Diagrama de Esforço Cortante das vigas



Fonte: O Autor (2018).

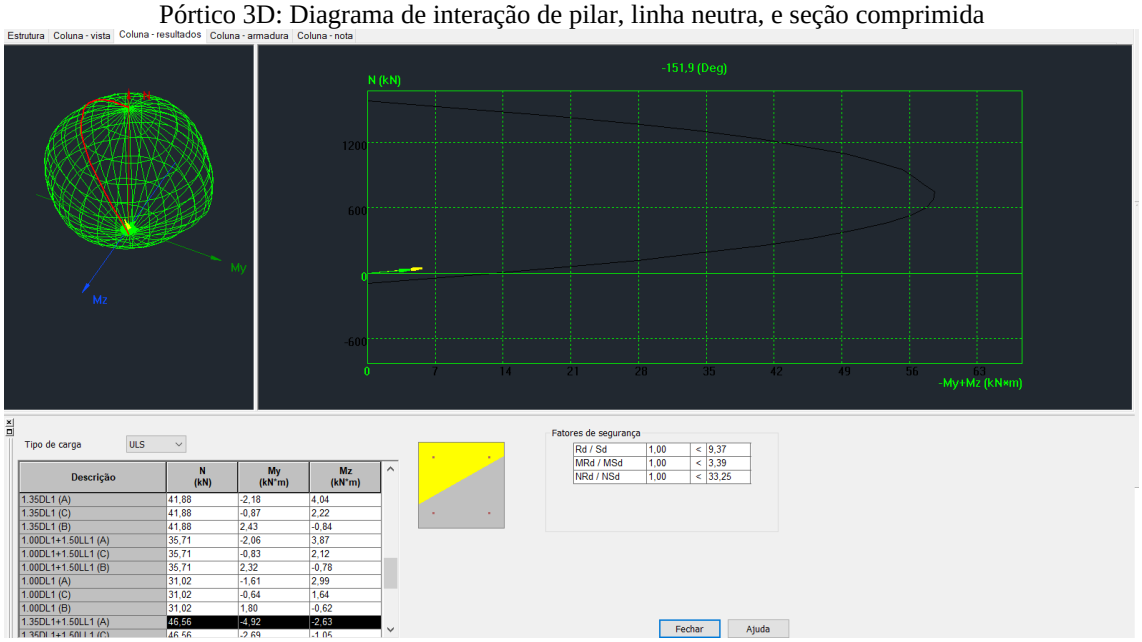
V.5 – ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE PILARES

Pórtico 3D: Detalhe de armadura de pilar



Fonte: O Autor (2018).

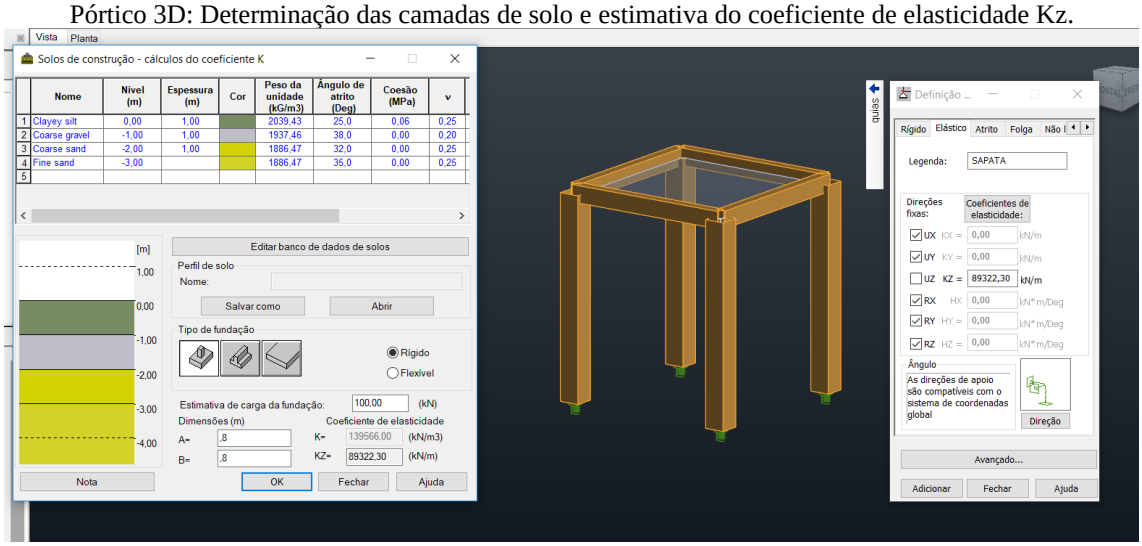
Pórtico 3D: Diagrama de interação de pilar, linha neutra, e seção comprimida



Fonte: O Autor (2018).

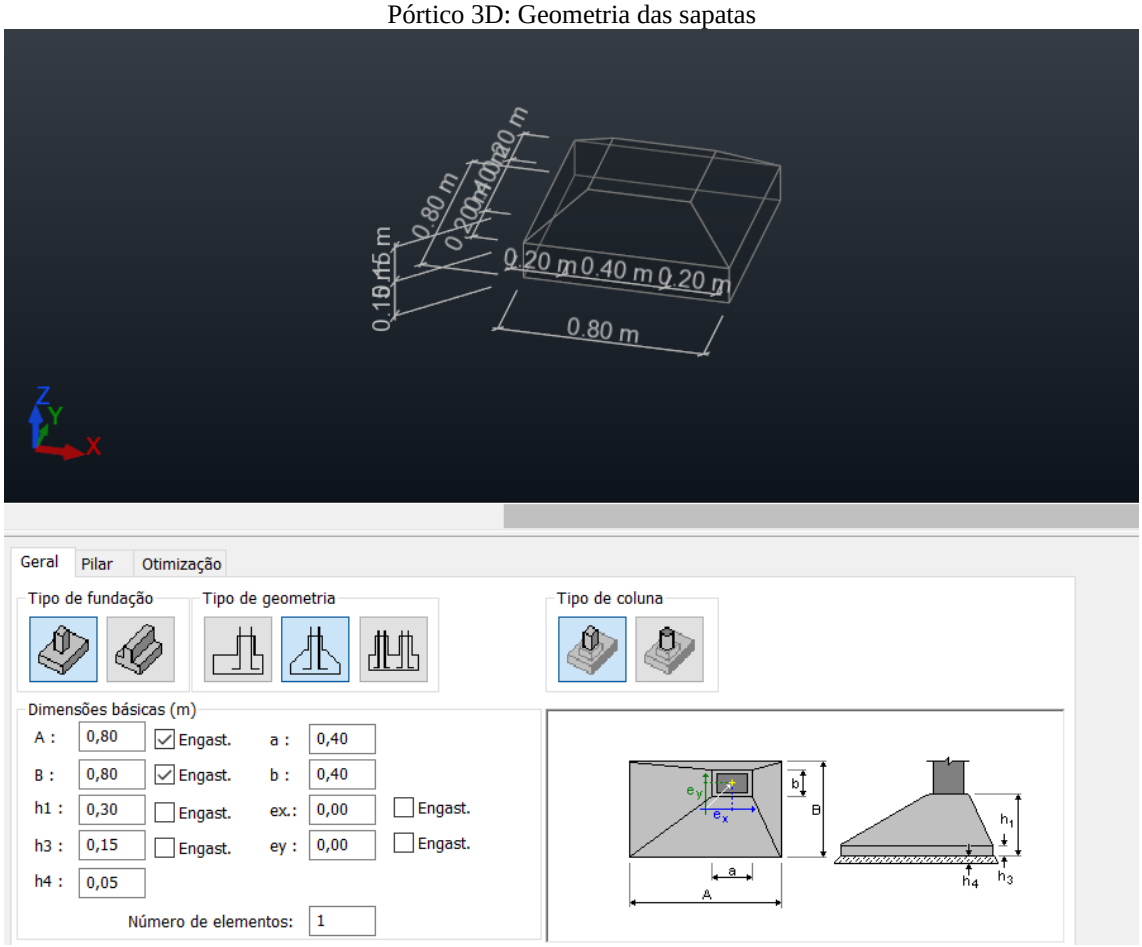
V.6 – ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

Pórtico 3D: Determinação das camadas de solo e estimativa do coeficiente de elasticidade Kz.



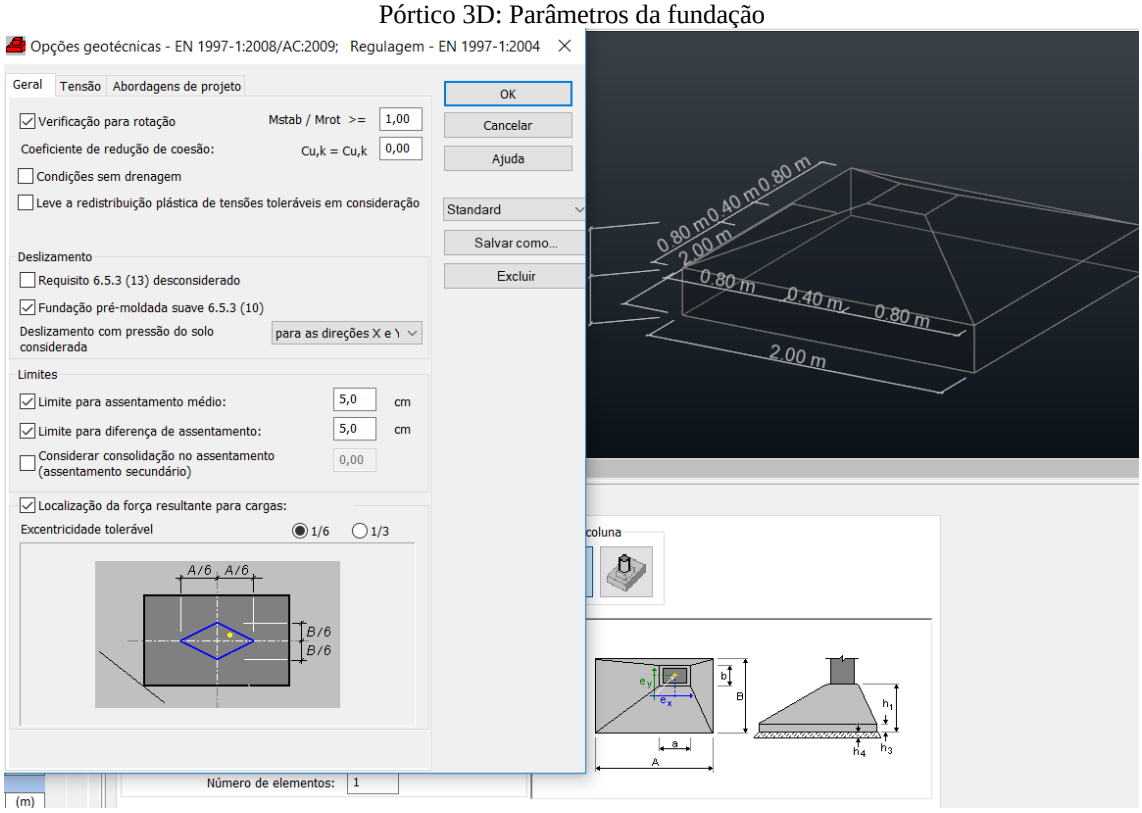
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Geometria das sapatas



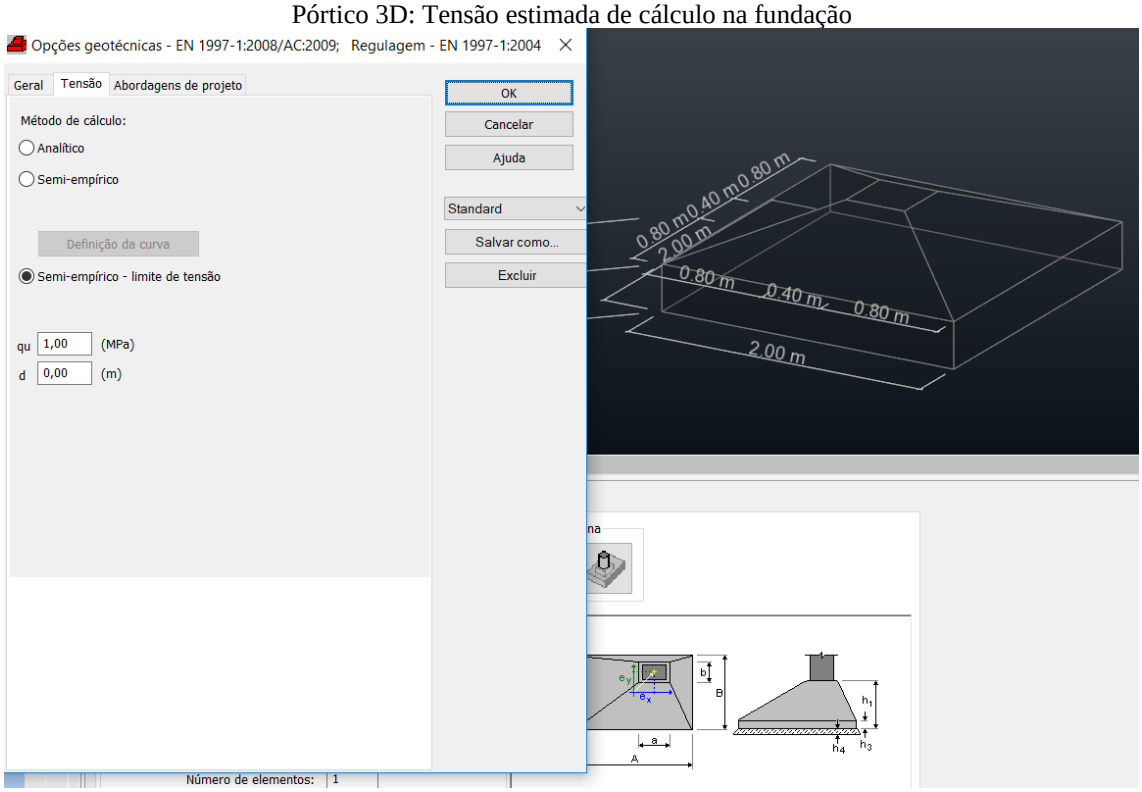
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Parâmetros da fundação



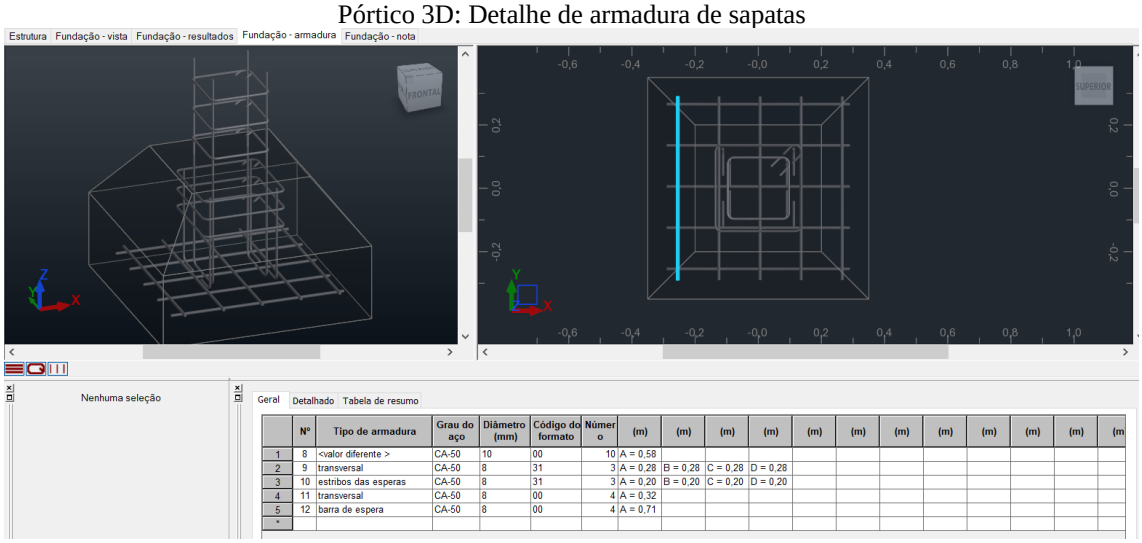
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Tensão estimada de cálculo na fundação



Fonte: O Autor (2018).

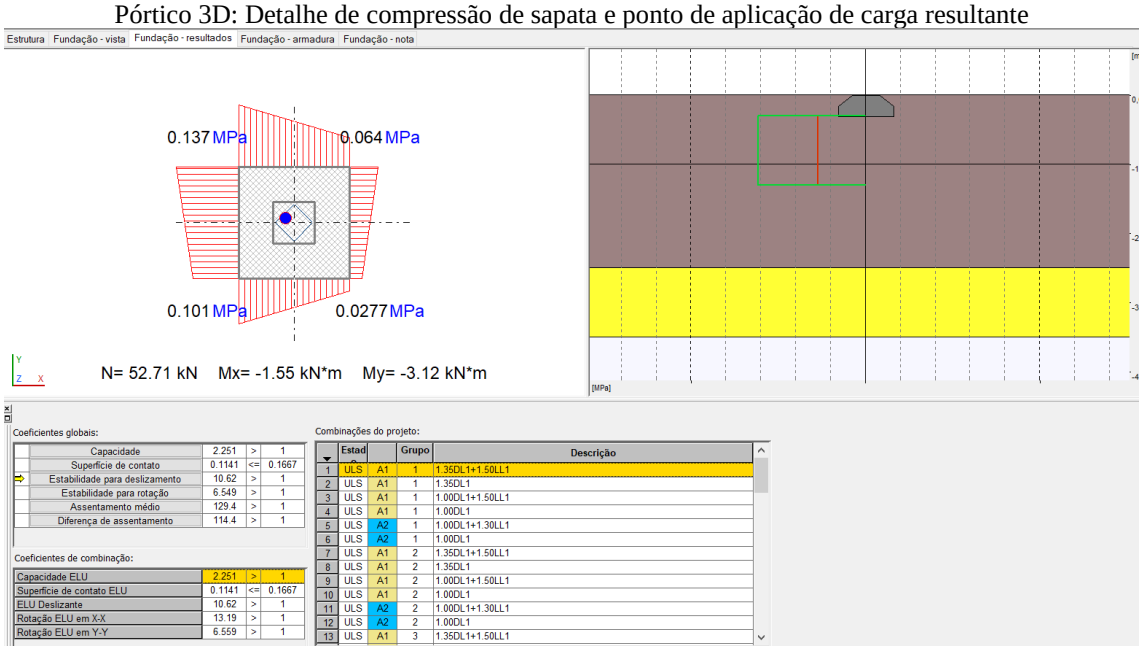
Pórtico 3D: Detalhe de armadura de sapatas



	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	8	<valor diferente >	CA-50	10	00	10	A = 0,58											
2	9	transversal	CA-50	8	31	3	A = 0,28	B = 0,28	C = 0,28	D = 0,28								
3	10	estribos das esperas	CA-50	8	31	3	A = 0,20	B = 0,20	C = 0,20	D = 0,20								
4	11	transversal	CA-50	8	00	4	A = 0,32											
5	12	barra de espera	CA-50	8	00	4	A = 0,71											
*																		

Fonte: O Autor (2018).

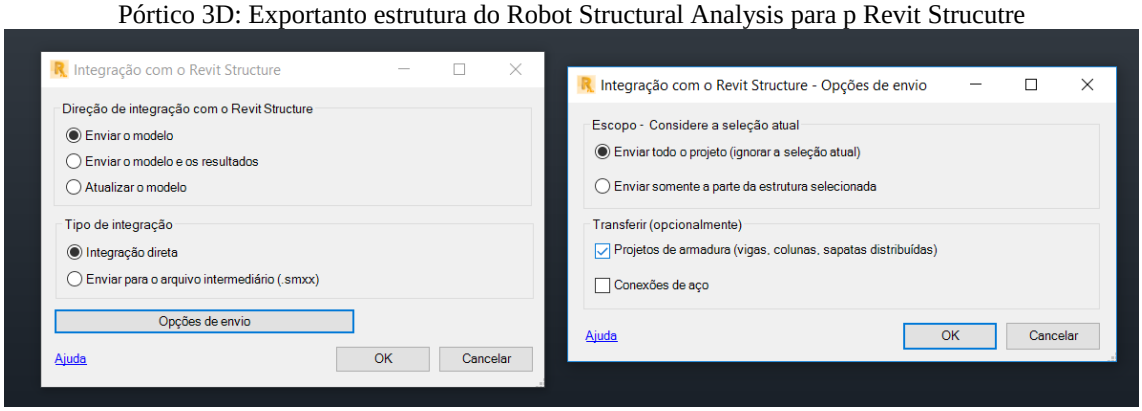
Pórtico 3D: Detalhe de compressão de sapata e ponto de aplicação de carga resultante



Fonte: O Autor (2018).

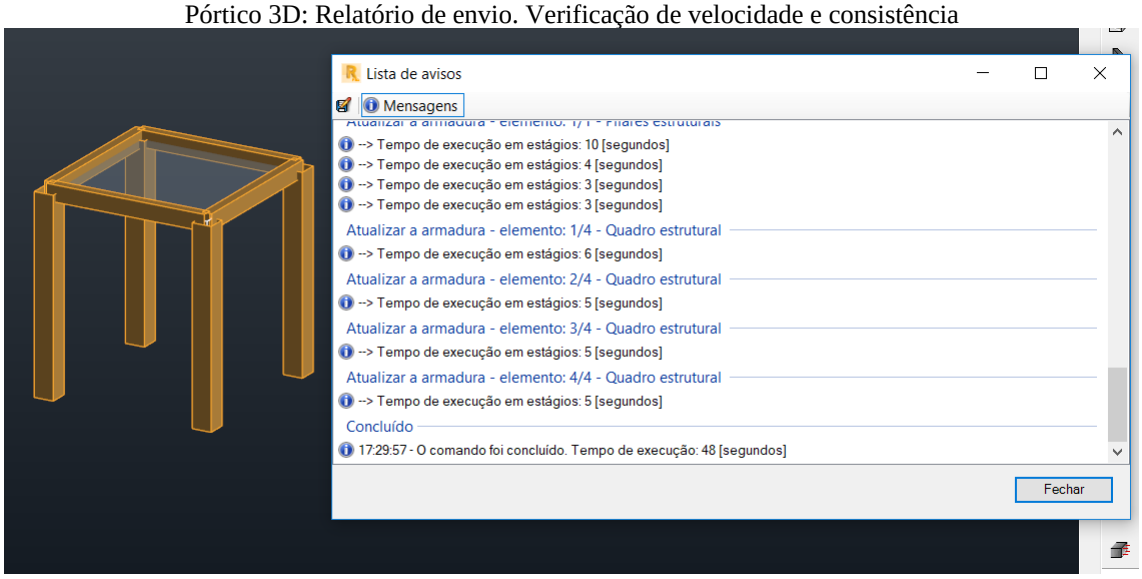
V.7 - INTEROPERABILIDADE ROBOT>REVIT

Pórtico 3D: Exportanto estrutura do Robot Structural Analysis para p Revit Strucutre



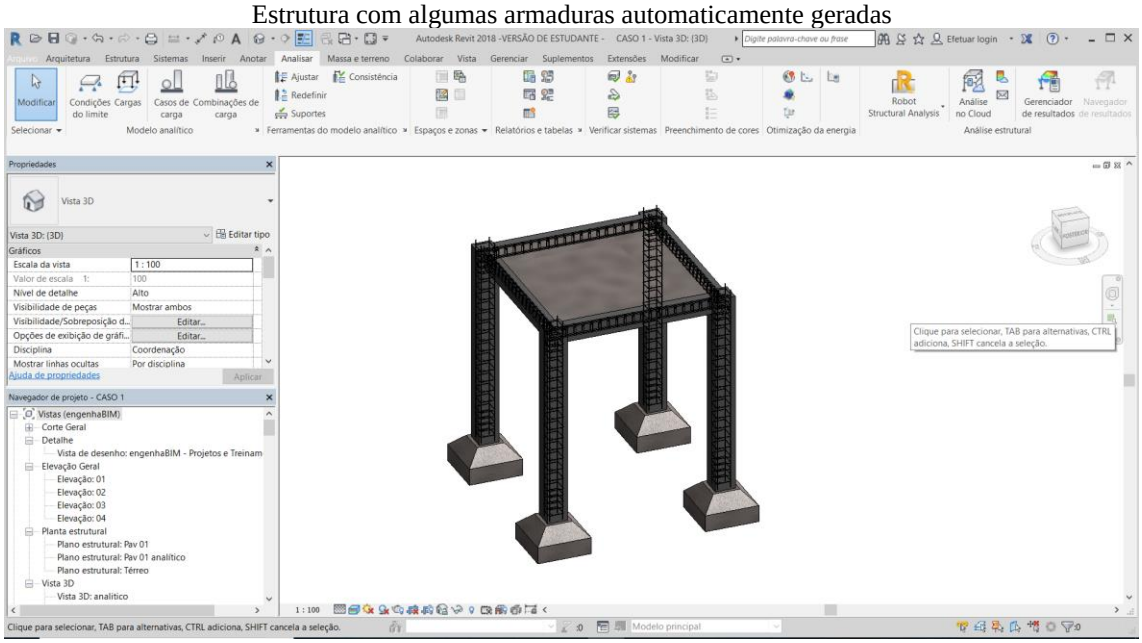
Fonte: O Autor (2018).

Pórtico 3D: Relatório de envio. Verificação de velocidade e consistência



Fonte: O Autor (2018).

Estrutura com algumas armaduras automaticamente geradas

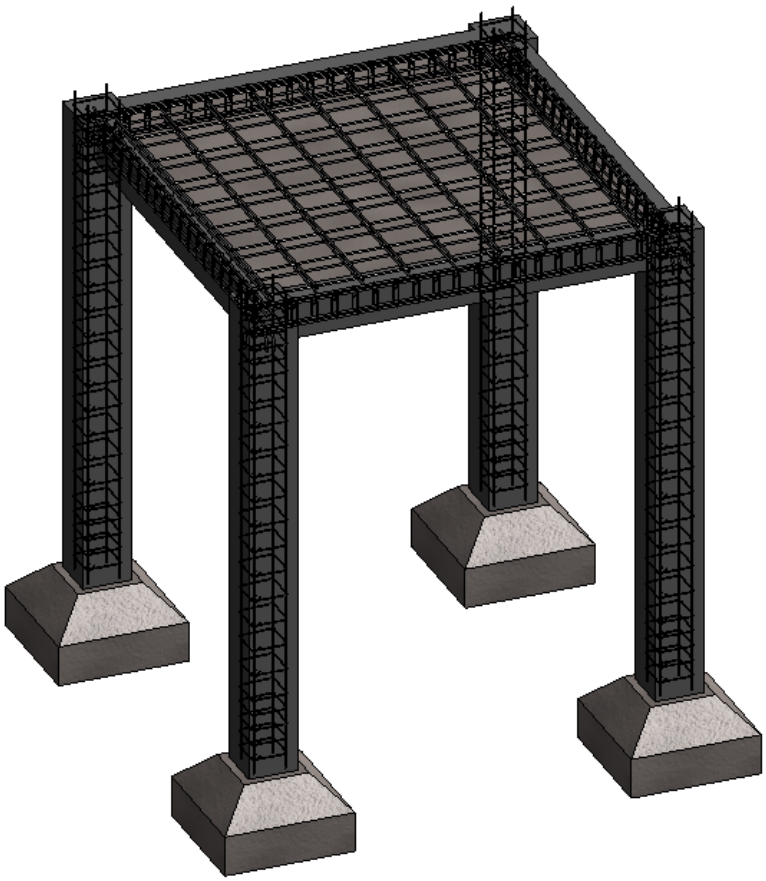


Fonte: O Autor (2018).

Se verificou que a interoperabilidade ROBOT/REVIT, que é o principal motivo da utilização de ambos os projetos, possui um limite. A exportação do Robot ao Revit não envia armaduras de lajes e fundações, além de apresentar alguns erros quando se reconfigura os materiais padrões do Robot.

As armaduras faltantes devem ser modeladas no próprio Revit, o que depreende tempo, evidenciando o ainda ineficiente desenvolvimento do BIM nos softwares do mercado.

Pórtico 3D: Estrutura com detalhamento de armaduras em 3D.



Fonte: O Autor (2018).

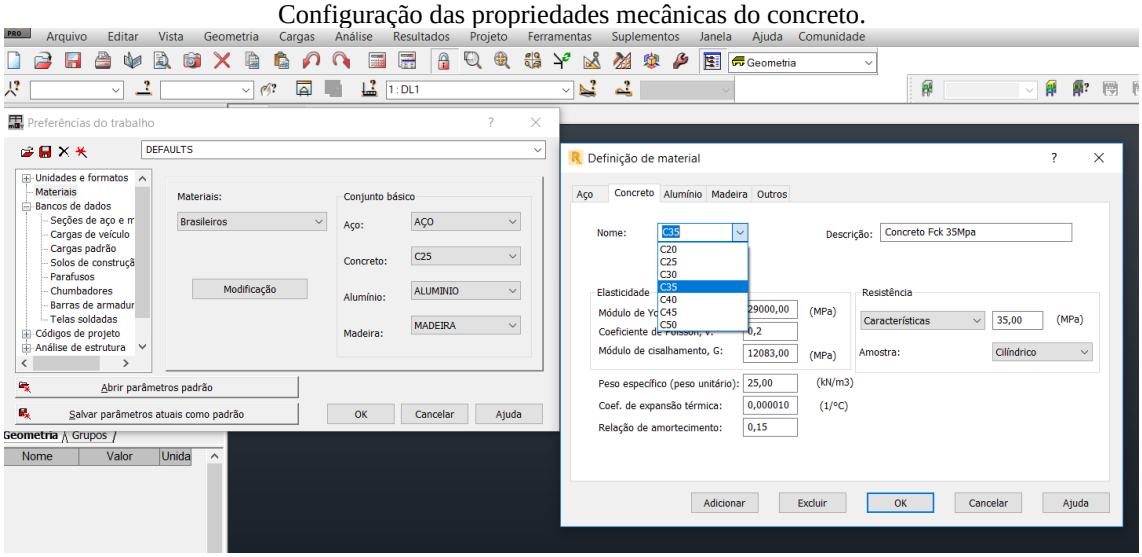
APÊNDICE W – ADEQUAÇÃO DO ROBOT ÀS NORMAS BRASILEIRAS

W.1 – CONFIGURAÇÃO DE MATERIAIS

Configurações acessadas através da guia ferramenta > preferências de trabalho > materiais.

W.1.1 – Concreto

Configuração das propriedades mecânicas do concreto.



W.1.2 – Barras de aço

Configuração das propriedades geométricas e mecânicas das barras de aço

C:\Users\emman\AppData\Roaming\Autodesk\Structural\Common Data\2018\bar_NBR 6118.xml

No	Steel	Diameter	Diameter Real	MaxLength	Mass	HookLen90	HookLen135	HookLen180	HookLenSeismic	StirrupBendFormerDiam	BarBendFormerDiam	HookBendFormerDiam	CharacteristicYield Stress	PlainBar	BarSize
1	CA-50	6.3	6.3	12	0.245	8	4	2	10	3	12	4	5e+08	☐	6.3
2	CA-50	8	8	12	0.395	8	4	2	10	3	12	4	5e+08	☐	8
3	CA-50	10	10	12	0.617	8	4	2	10	3	12	4	5e+08	☐	10
4	CA-50	12.5	12.5	12	0.963	8	4	2	10	5	12	4	5e+08	☐	12.5
5	CA-50	16	16	12	1.578	8	4	2	10	5	12	4	5e+08	☐	16
6	CA-50	20	20	12	2.466	8	4	2	10	8	12	7	5e+08	☐	20
7	CA-50	25	25	12	3.853	8	4	2	10	8	12	7	5e+08	☐	25
8	CA-50	32	32	12	6.313	8	4	2	10	8	14	7	5e+08	☐	32
9	CA-50	40	40	12	9.865	8	4	2	10	8	14	7	5e+08	☐	40
10	CA-50	22	22	12	2.984	8	4	2	10	8	12	7	5e+08	☐	22
*															

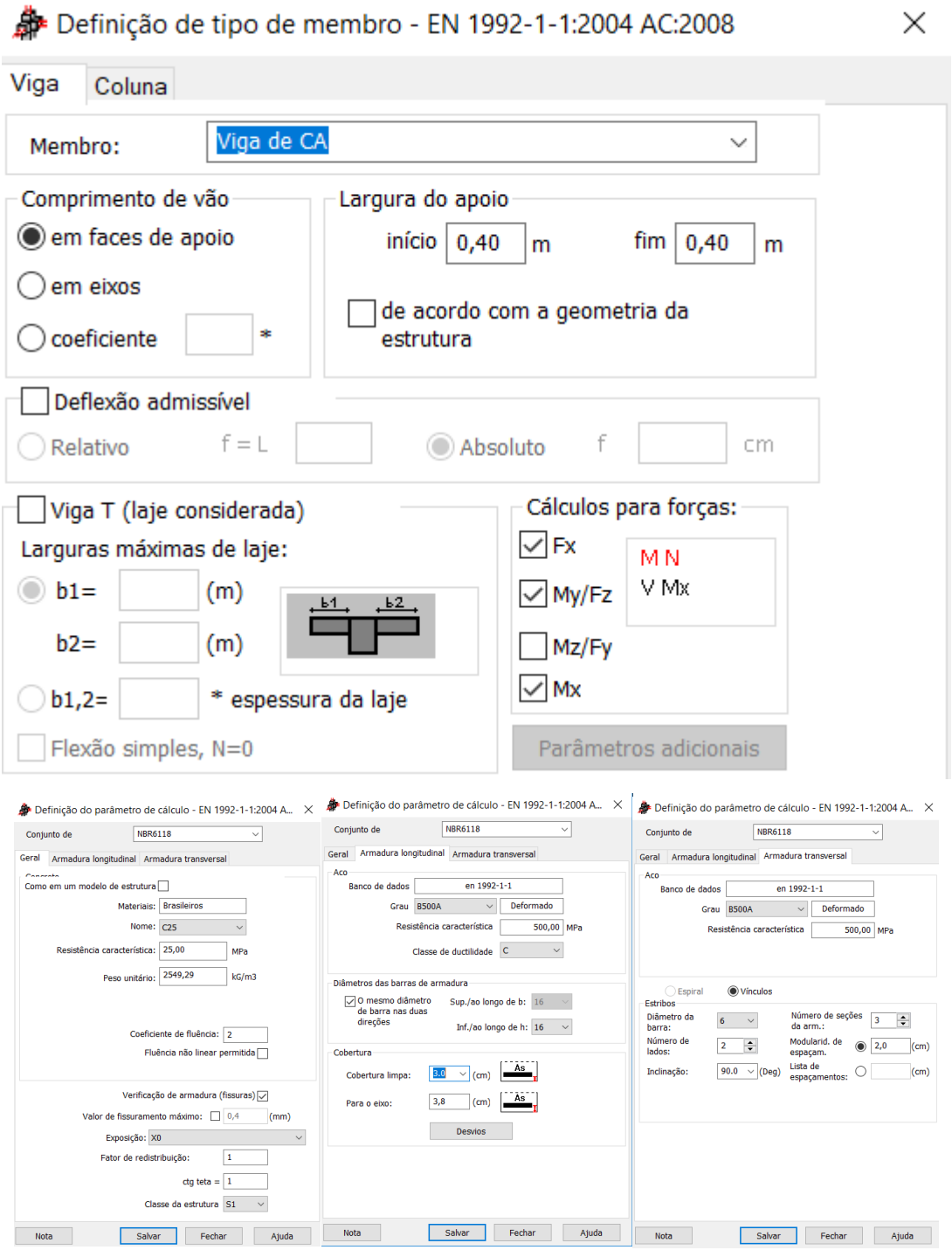
W.2 – CONFIGURAÇÃO DE PARÂMRETROS DE NORMA

Os parâmetros normativos no Robot seguem as configurações padrão de normas americanas ou europeias, utilizando um banco de dados para tal. Para se configurar os parâmetros da NBR6118, se utilizou o eurocode como banco de dados, e se realizou as seguintes configurações.

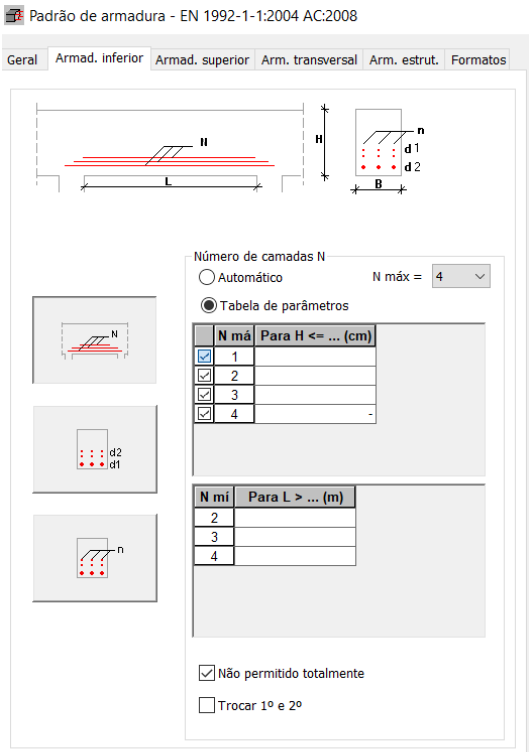
Configurações acessadas através da guia ferramentas > prefenrências.

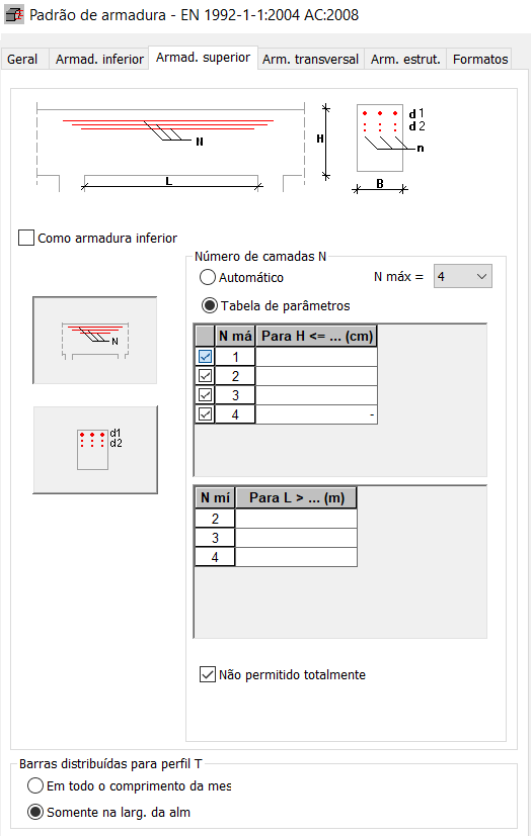
W.2.1 – Vigas

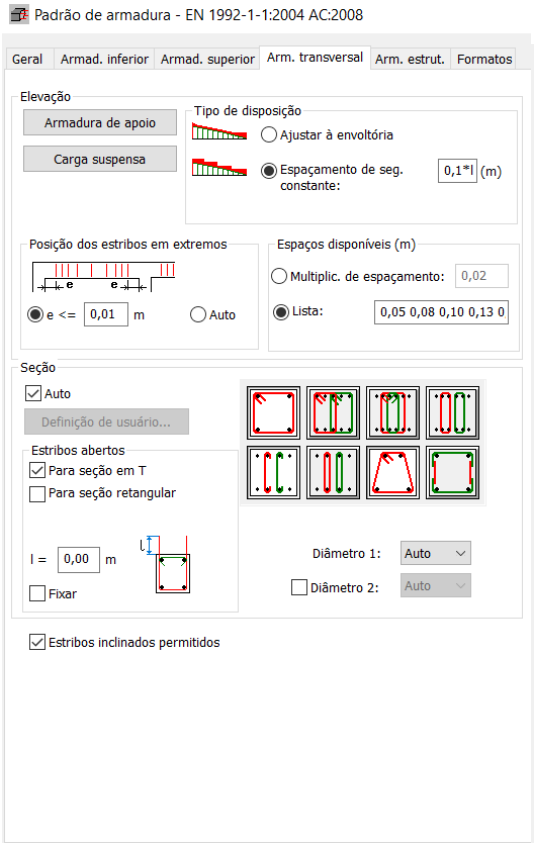
Configurações de Parâmetros de Vigas

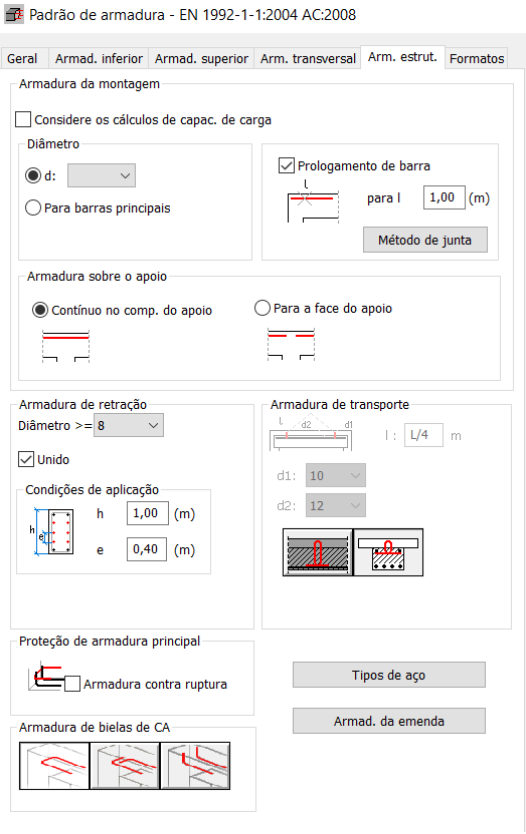


Configurações de armaduras de Vigas



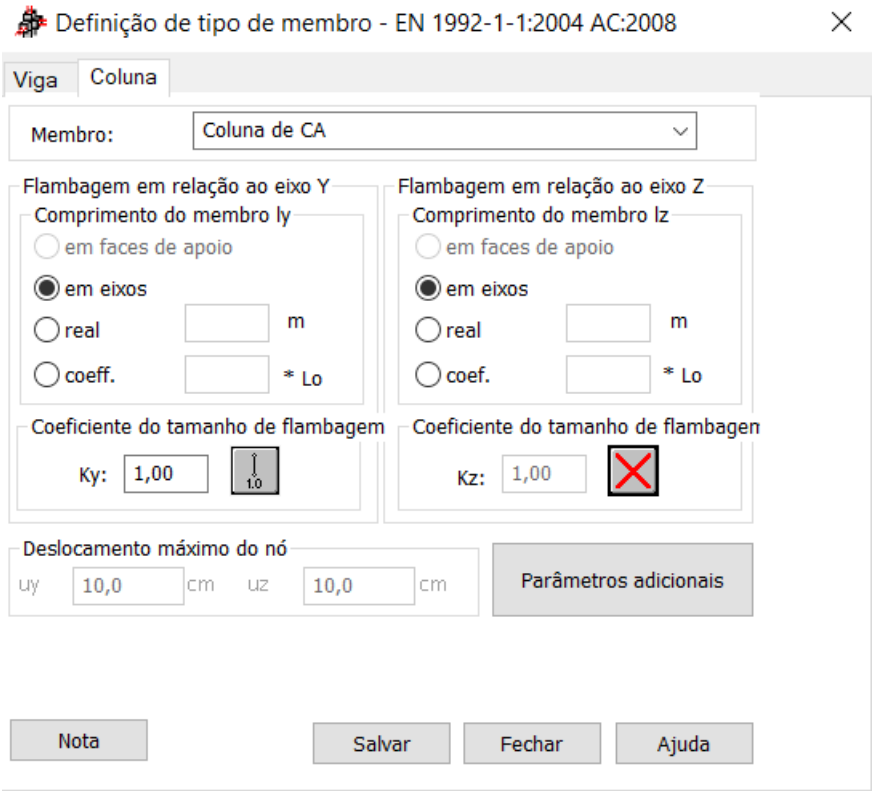




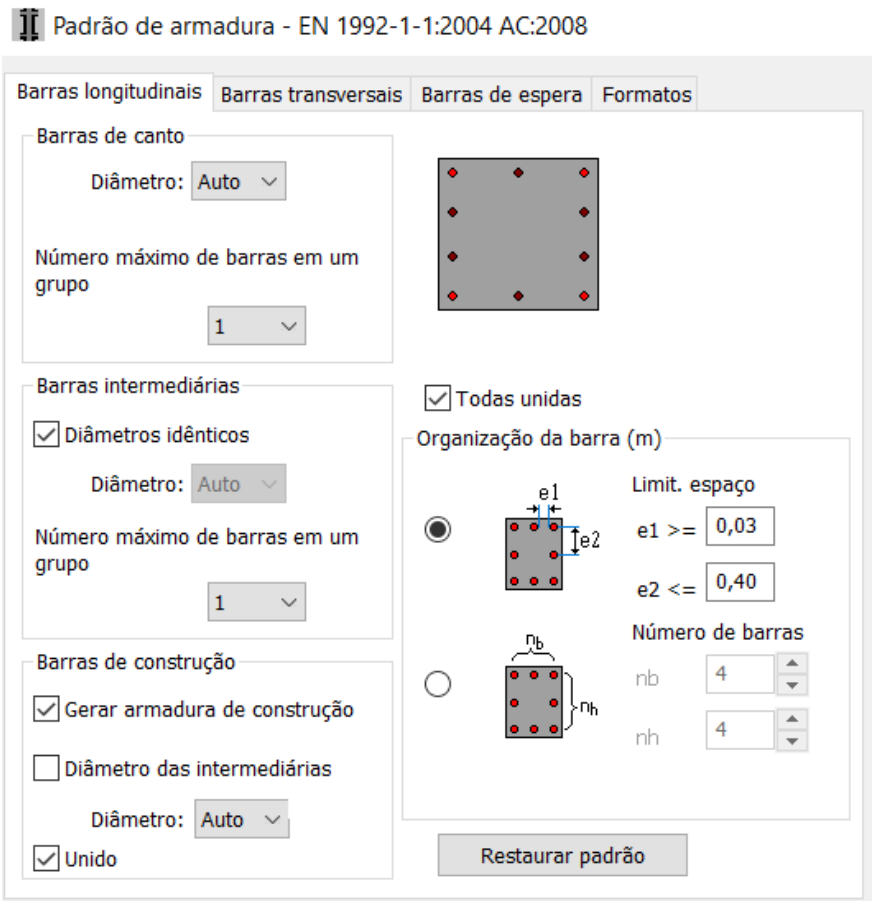


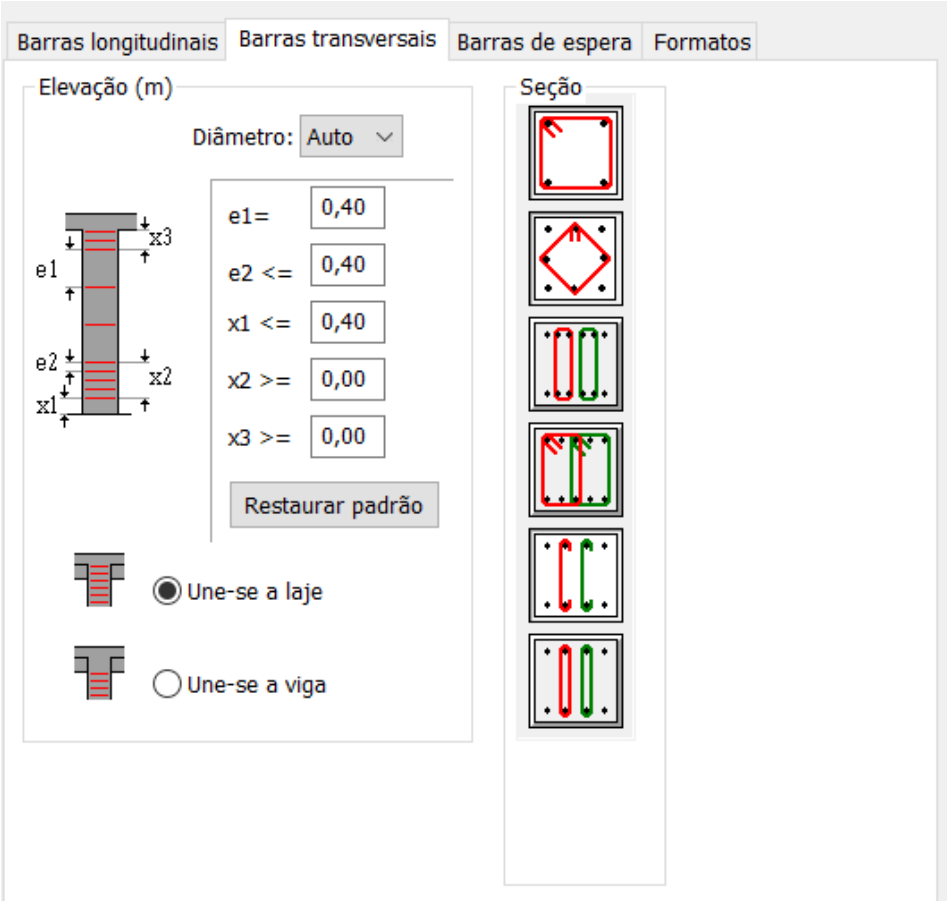
W.2.2 – Pilares

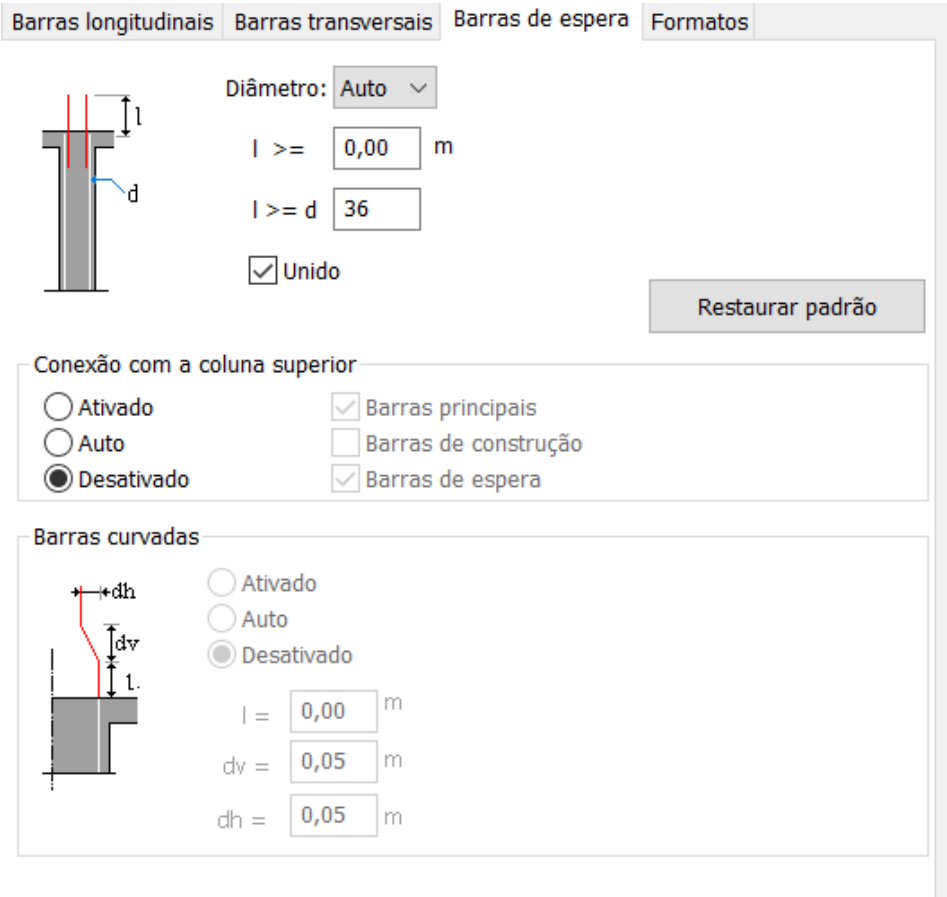
Configurações de Parâmetros de Pilares



Configurações de armaduras de Pilares

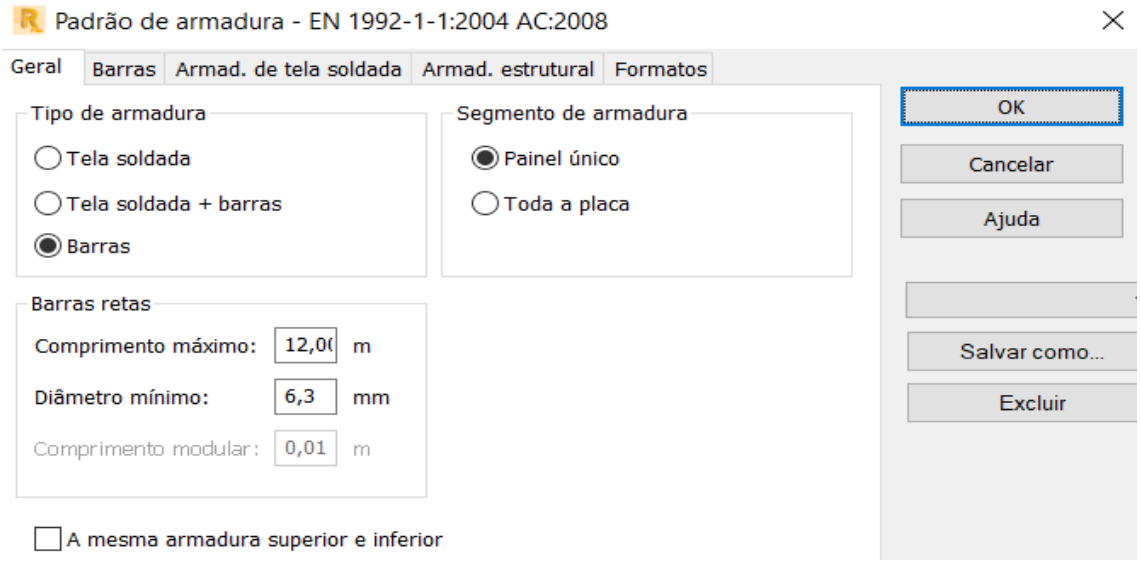


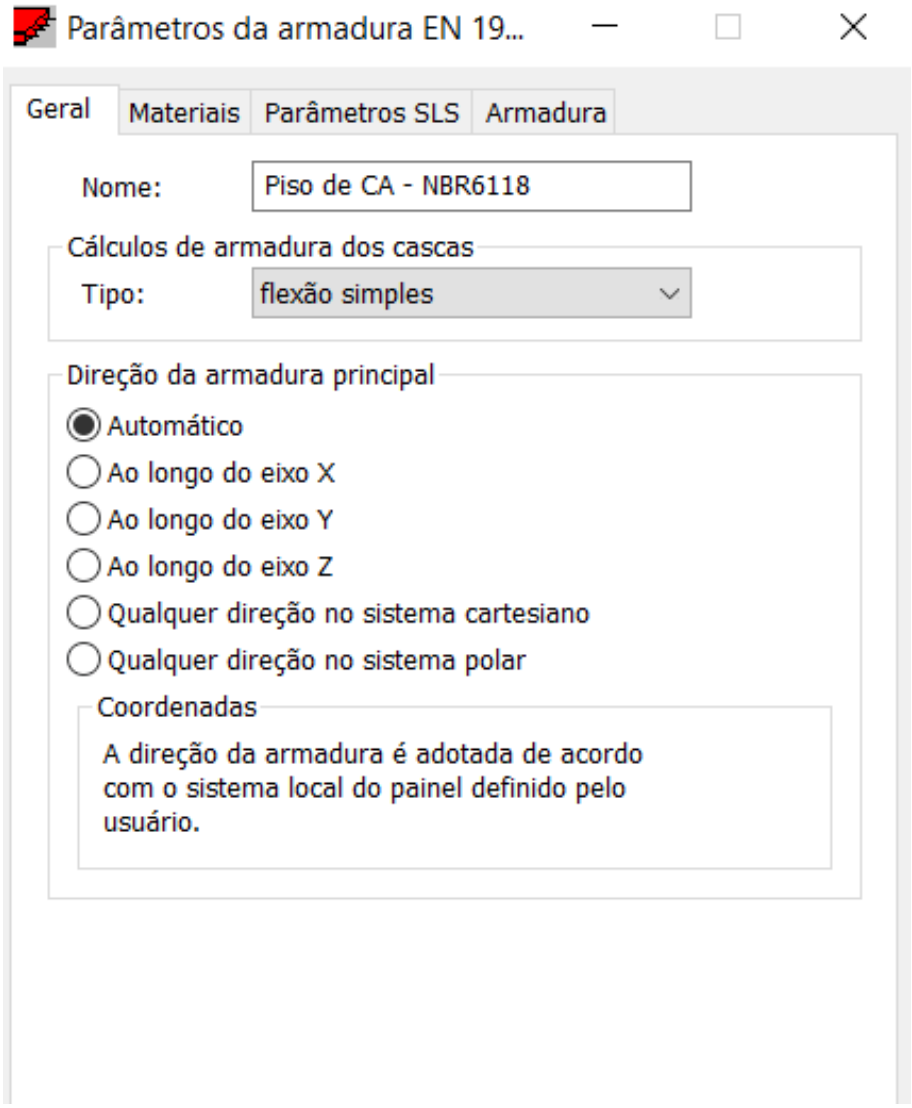

Barras longitudinais
Barras transversais
Barras de espera
Formatos
Elevação (m)
Diâmetro: Auto
e1
x3
e2
x2
x1
e1= 0,40
e2 <= 0,40
x1 <= 0,40
x2 >= 0,00
x3 >= 0,00
Restaurar padrão
Une-se a laje
Une-se a viga
Seção

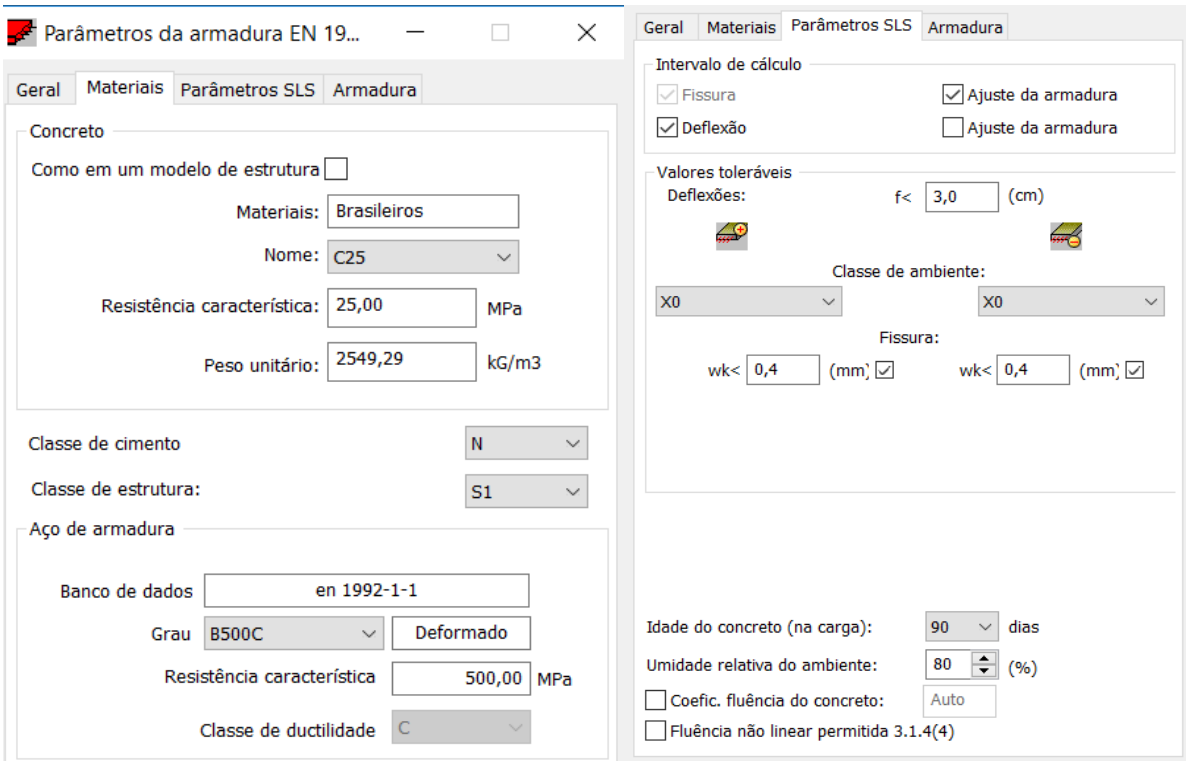

Barras longitudinais
Barras transversais
Barras de espera
Formatos
l
d
Diâmetro: Auto
l >= 0,00 m
l >= d 36
Unido
Restaurar padrão
Conexão com a coluna superior
Ativado
Auto
Desativado
Barras principais
Barras de construção
Barras de espera
Barras curvadas
dh
dv
l
Ativado
Auto
Desativado
l = 0,00 m
dv = 0,05 m
dh = 0,05 m

W.2.3 – Lajes

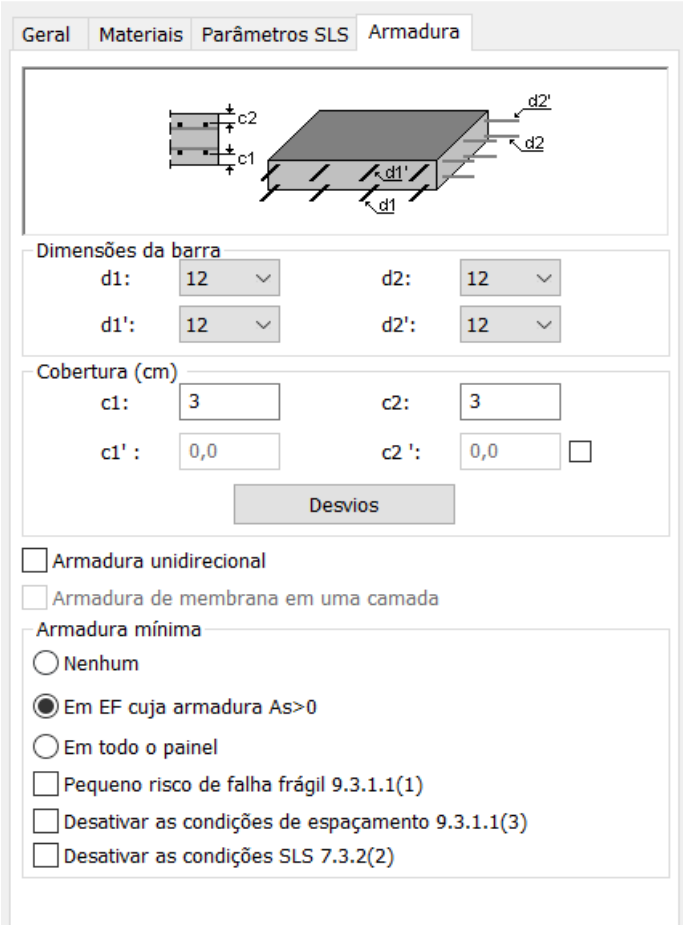
Configurações de parâmetros de Lajes





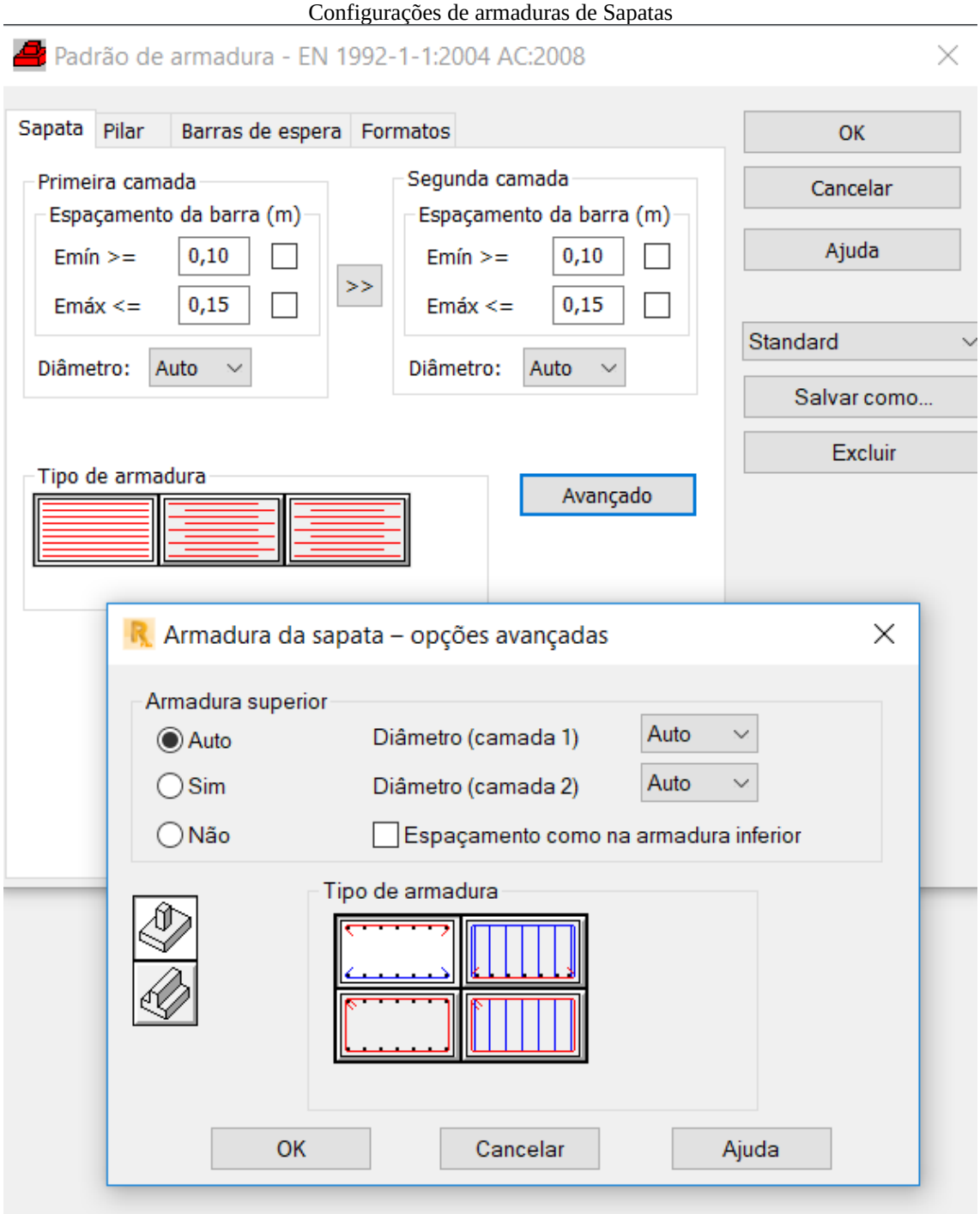


Configurações de armaduras de Lajes

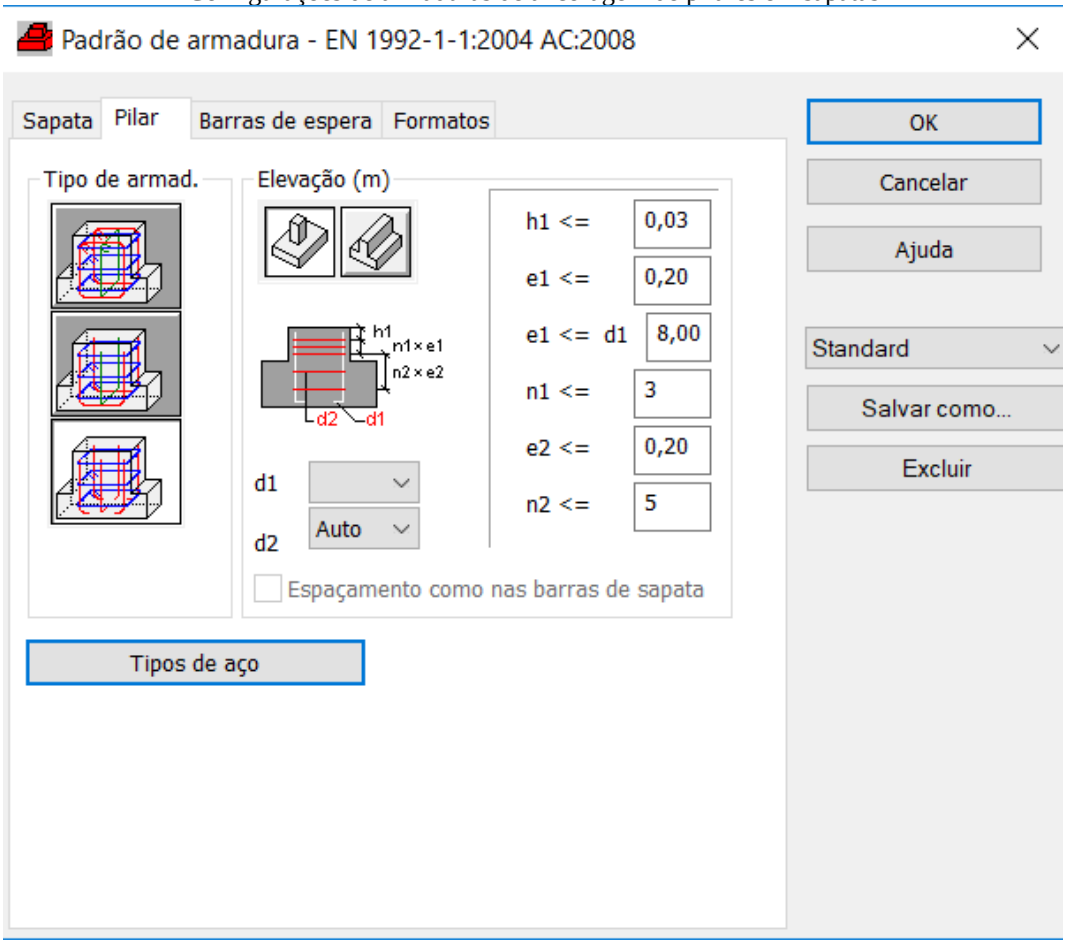


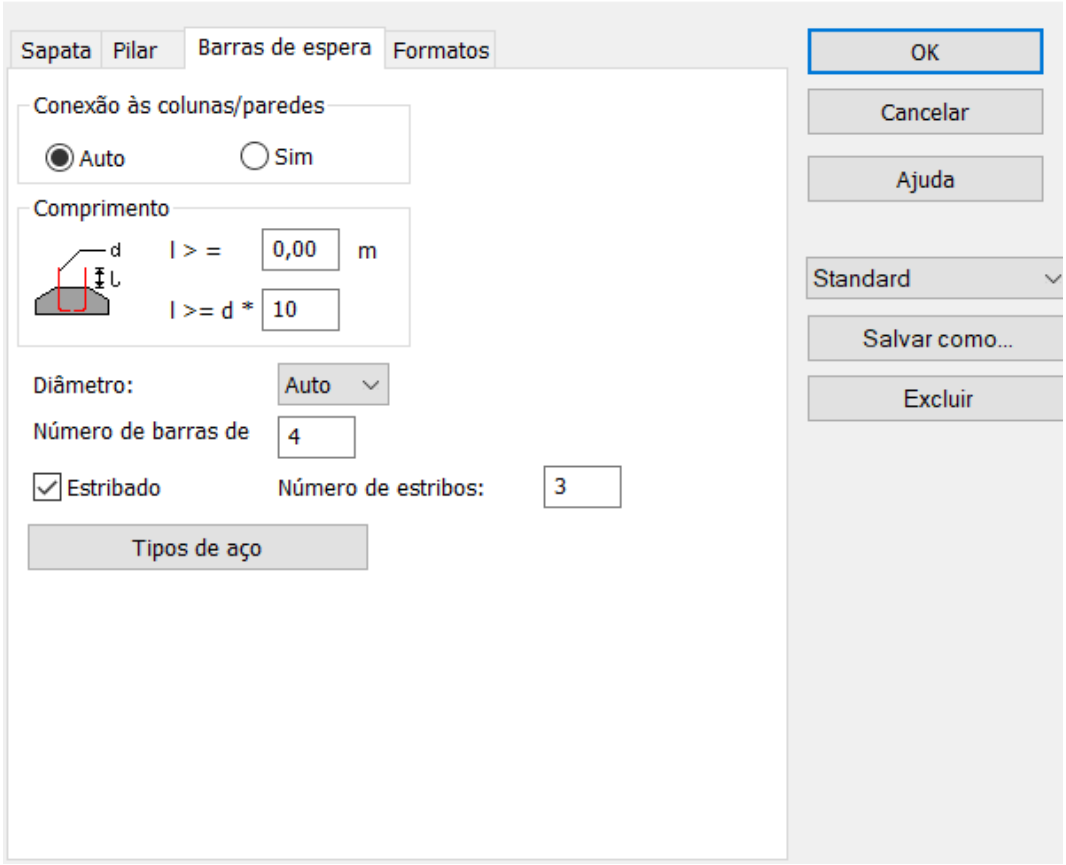
W.2.4 – Sapatas

Configurações de armaduras de Sapatas



Configurações de armaduras de ancoragem de pilares em sapatas





ANEXO A – VALORES MÍNIMOS DE CARGAS VERTICAIS EM EDIFICAÇÕES

Unid.: kN/m²

Local		Carga
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	2 1,5
4 Bibliotecas	Sala de leitura Sala para depósito de livros Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	2,5 4 6
5 Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6 Cinemas	Platéia com assentos fixos Estúdio e platéia com assentos móveis Banheiro	3 4 2
7 Clubes	Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos Sala de assembléia com assentos móveis Salão de danças e salão de esportes Sala de bilhar e banheiro	3 4 5 2
8 Corredores	Com acesso ao público Sem acesso ao público	3 2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro Despensa, área de serviço e lavanderia	1,5 2
12 Escadas	Com acesso ao público Sem acesso ao público (ver 2.2.1.7)	3 2,5
13 Escolas	Anfiteatro com assentos fixos Corredor e sala de aula Outras salas	3 2
14 Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
17 Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
18 Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de ϕ indicados em 2.2.1.6	3
19 Ginásios de esportes		5

Fonte: ABNT NBR6120 (2000). (Errata)

ANEXO B – TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGA

Válida para concretos com $f_{ck} \leq 35MPa$ e Aço CA-50

$\delta \Rightarrow$	0,05		0,10		0,15		0,20	
$\mu \Downarrow$	ω	ω'	ω	ω'	ω	ω'	ω	ω'
0,02	0,02		0,02		0,02		0,02	
0,04	0,04		0,04		0,04		0,04	
0,06	0,06		0,06		0,06		0,06	
0,08	0,08		0,08		0,08		0,08	
0,10	0,11		0,11		0,11		0,11	
0,12	0,13		0,13		0,13		0,13	
0,14	0,15		0,15		0,15		0,15	
0,16	0,18		0,18		0,18		0,18	
0,18	0,20		0,20		0,20		0,20	
0,20	0,23		0,23		0,23		0,23	
0,22	0,25		0,25		0,25		0,25	
0,24	0,28		0,28		0,28		0,28	
0,26	0,31		0,31		0,31		0,31	
0,28	0,34		0,34		0,34		0,34	
0,30	0,37	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01
0,32	0,39	0,03	0,39	0,03	0,39	0,03	0,39	0,03
0,34	0,41	0,05	0,41	0,05	0,41	0,05	0,42	0,06
0,36	0,43	0,07	0,43	0,07	0,44	0,08	0,44	0,09
0,38	0,45	0,09	0,45	0,09	0,46	0,10	0,47	0,12
0,40	0,47	0,11	0,48	0,12	0,48	0,12	0,49	0,15
0,42	0,49	0,13	0,50	0,14	0,51	0,15	0,52	0,17
0,44	0,51	0,15	0,52	0,16	0,53	0,17	0,54	0,20
0,46	0,53	0,17	0,54	0,18	0,55	0,19	0,57	0,23
0,48	0,55	0,19	0,57	0,21	0,58	0,22	0,59	0,26
0,50	0,58	0,22	0,59	0,23	0,60	0,24	0,62	0,29
0,52	0,60	0,24	0,61	0,25	0,62	0,26	0,64	0,31
0,54	0,62	0,26	0,63	0,27	0,65	0,29	0,67	0,34
0,56	0,64	0,28	0,65	0,29	0,67	0,31	0,69	0,37
0,58	0,66	0,30	0,68	0,32	0,70	0,34	0,72	0,40
0,60	0,68	0,32	0,70	0,34	0,72	0,36	0,74	0,43

Fonte: J.M de Araújo (2004).

ANEXO C – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE PILAR

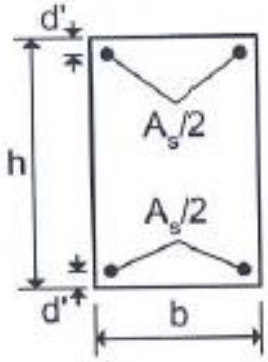
Fonte: J.M de Araújo (2004).

número de camadas=2 ; δ=0,05

$\delta = d'/h \qquad \sigma_{cd} = 0{,}85 f_{cd}$

$$\nu = \frac{N_d}{bh\sigma_{cd}} \qquad \mu = \frac{M_d}{bh^2\sigma_{cd}}$$

$$A_s = \frac{\omega bh\sigma_{cd}}{f_{yd}}$$



Valores de ω

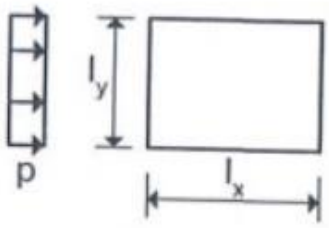
	$\mu \Downarrow$								
$\nu \Downarrow$	**0,00**	**0,10**	**0,20**	**0,30**	**0,40**	**0,50**	**0,60**	**0,70**	**0,80**
0,00	0,00	0,22	0,45	0,67	0,89	1,12	1,34	1,56	1,79
0,10	0,00	0,13	0,35	0,57	0,80	1,02	1,24	1,47	1,69
0,20	0,00	0,04	0,27	0,49	0,71	0,93	1,16	1,38	1,60
0,30	0,00	0,00	0,21	0,43	0,66	0,88	1,10	1,32	1,54
0,40	0,00	0,00	0,18	0,40	0,62	0,84	1,07	1,29	1,51
0,50	0,00	0,00	0,18	0,41	0,63	0,86	1,08	1,30	1,53
0,60	0,00	0,00	0,21	0,46	0,70	0,93	1,15	1,38	1,61
0,70	0,00	0,00	0,26	0,52	0,76	1,00	1,23	1,46	1,69
0,80	0,00	0,05	0,33	0,59	0,83	1,07	1,31	1,54	1,77
0,90	0,00	0,14	0,40	0,66	0,91	1,15	1,39	1,62	1,85
1,00	0,00	0,23	0,48	0,74	0,99	1,23	1,47	1,71	1,94
1,10	0,11	0,32	0,57	0,82	1,07	1,31	1,55	1,79	2,02
1,20	0,22	0,42	0,66	0,91	1,16	1,40	1,64	1,88	2,11
1,30	0,33	0,52	0,75	1,00	1,24	1,49	1,73	1,96	2,20
1,40	0,43	0,62	0,85	1,09	1,33	1,57	1,81	2,05	2,29
1,50	0,54	0,72	0,94	1,18	1,42	1,66	1,90	2,14	2,38
1,60	0,65	0,82	1,04	1,27	1,51	1,75	1,99	2,23	2,47
1,70	0,76	0,92	1,14	1,37	1,61	1,85	2,08	2,32	2,56
1,80	0,87	1,02	1,24	1,47	1,70	1,94	2,18	2,41	2,65
1,90	0,98	1,12	1,34	1,56	1,80	2,03	2,27	2,51	2,74
2,00	1,09	1,22	1,44	1,66	1,89	2,13	2,36	2,60	2,84

Fonte: J.M de Araújo (2004).*

* Outros casos de combinações de números de camadas e parâmetro δ, podem ser verificados nos Apêndices 1 e 2 do Volume 3 da obra Curso de Concreto Armado, de J.M de Araújo (2004).

ANEXO D – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE LAJES

Tabela A2.1 - Laje retangular simplesmente apoiada no contorno com carga uniformemente distribuída



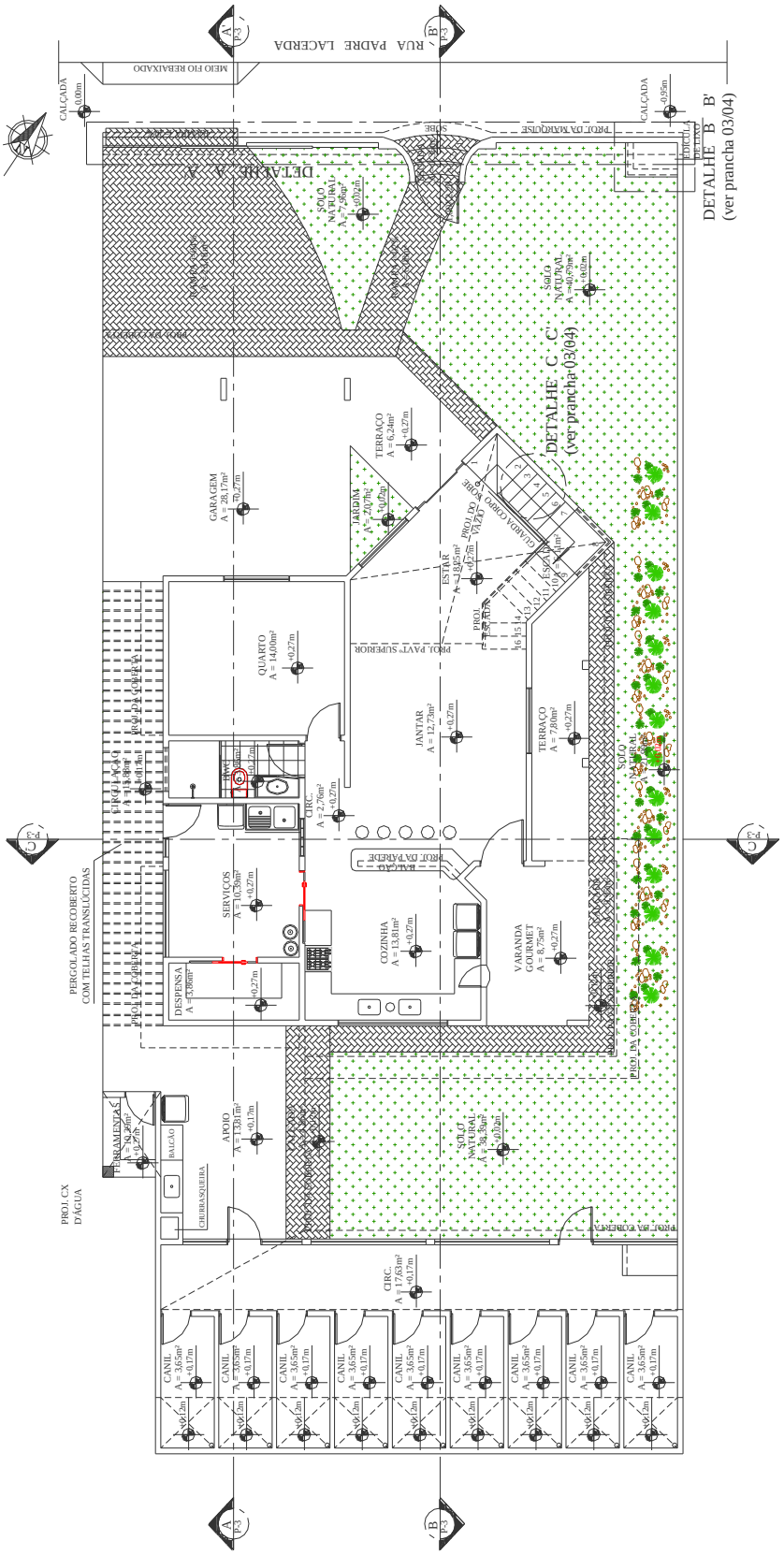
l_x/l_y	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
0,50	10,13	100,0	36,7	52,8	269	366	1,00	0,73
0,55	9,38	93,4	38,8	51,8	268	353	1,00	0,72
0,60	8,65	86,9	40,7	50,6	267	340	1,00	0,70
0,65	7,94	80,5	42,3	49,4	266	326	0,97	0,69
0,70	7,26	74,3	43,5	47,9	265	315	0,91	0,68
0,75	6,62	68,3	44,2	46,3	263	303	0,85	0,68
0,80	6,03	62,7	44,6	44,6	261	291	0,81	0,67
0,85	5,48	57,6	44,9	42,8	259	281	0,78	0,68
0,90	4,98	52,8	45,0	41,0	256	270	0,75	0,69
0,95	4,51	48,3	44,7	39,1	253	260	0,72	0,70
1,00	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71

l_y/l_x	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
1,00	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71
0,95	4,51	44,7	48,3	39,1	260	253	0,70	0,72
0,90	4,98	45,0	52,8	41,0	270	256	0,69	0,75
0,85	5,48	44,9	57,6	42,8	281	259	0,68	0,78
0,80	6,03	44,6	62,7	44,6	291	261	0,67	0,81
0,75	6,62	44,2	68,3	46,3	303	263	0,68	0,85
0,70	7,26	43,5	74,3	47,9	315	265	0,68	0,91
0,65	7,94	42,3	80,5	49,4	326	266	0,69	0,97
0,60	8,65	40,7	86,9	50,6	340	267	0,70	1,00
0,55	9,38	38,8	93,4	51,8	353	268	0,72	1,00
0,50	10,13	36,7	100,0	52,8	366	269	0,73	1,00

Fonte: J.M de Araújo (2004).*

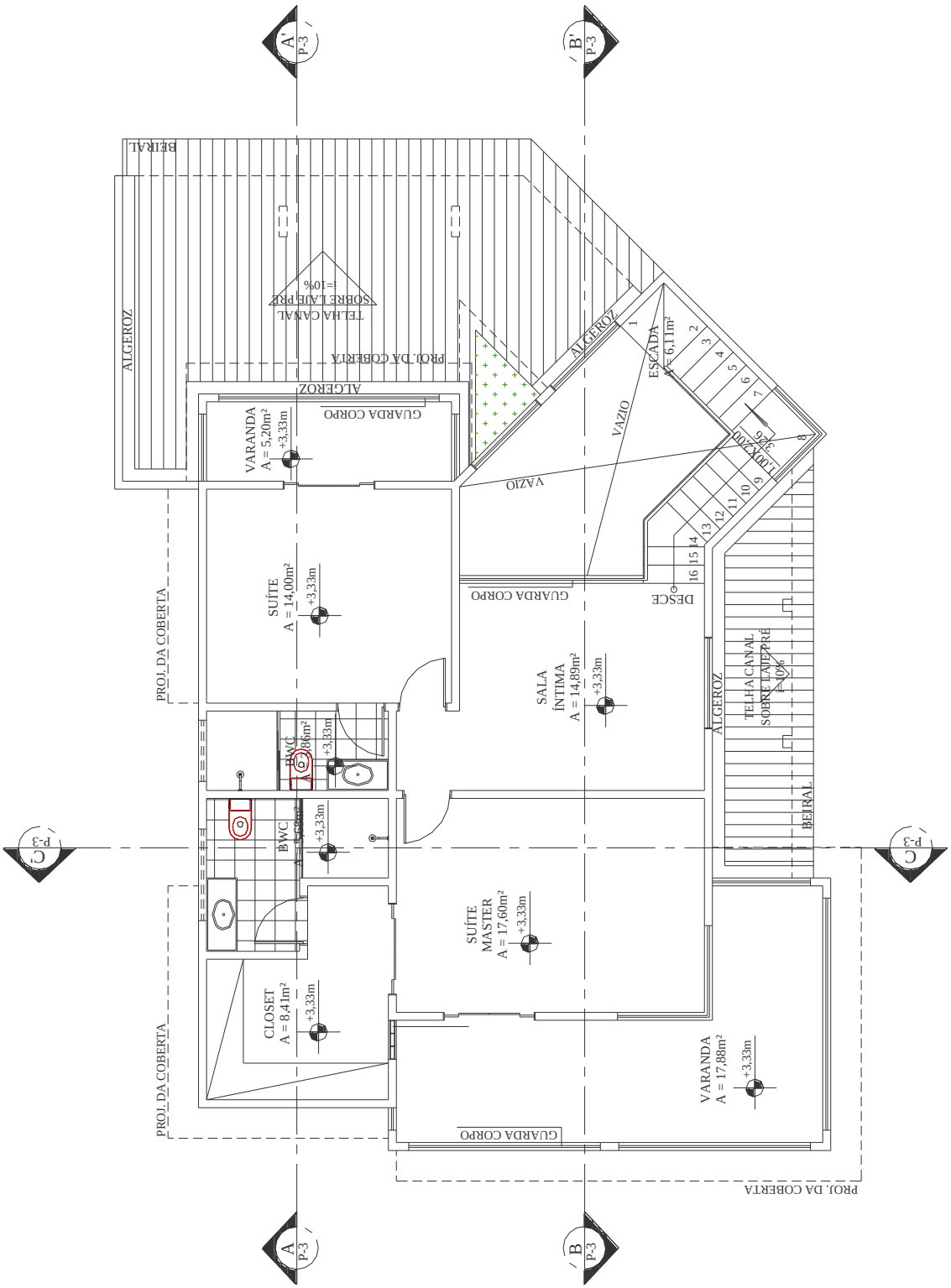
* Outros casos de combinações de apoios, podem ser verificados no Apêndice 2 do Volume 2 da obra Curso de Concreto Armado, de J.M de Araújo (2004).

ANEXO E – PLANTA BAIXA DO TÉRREO - CAD



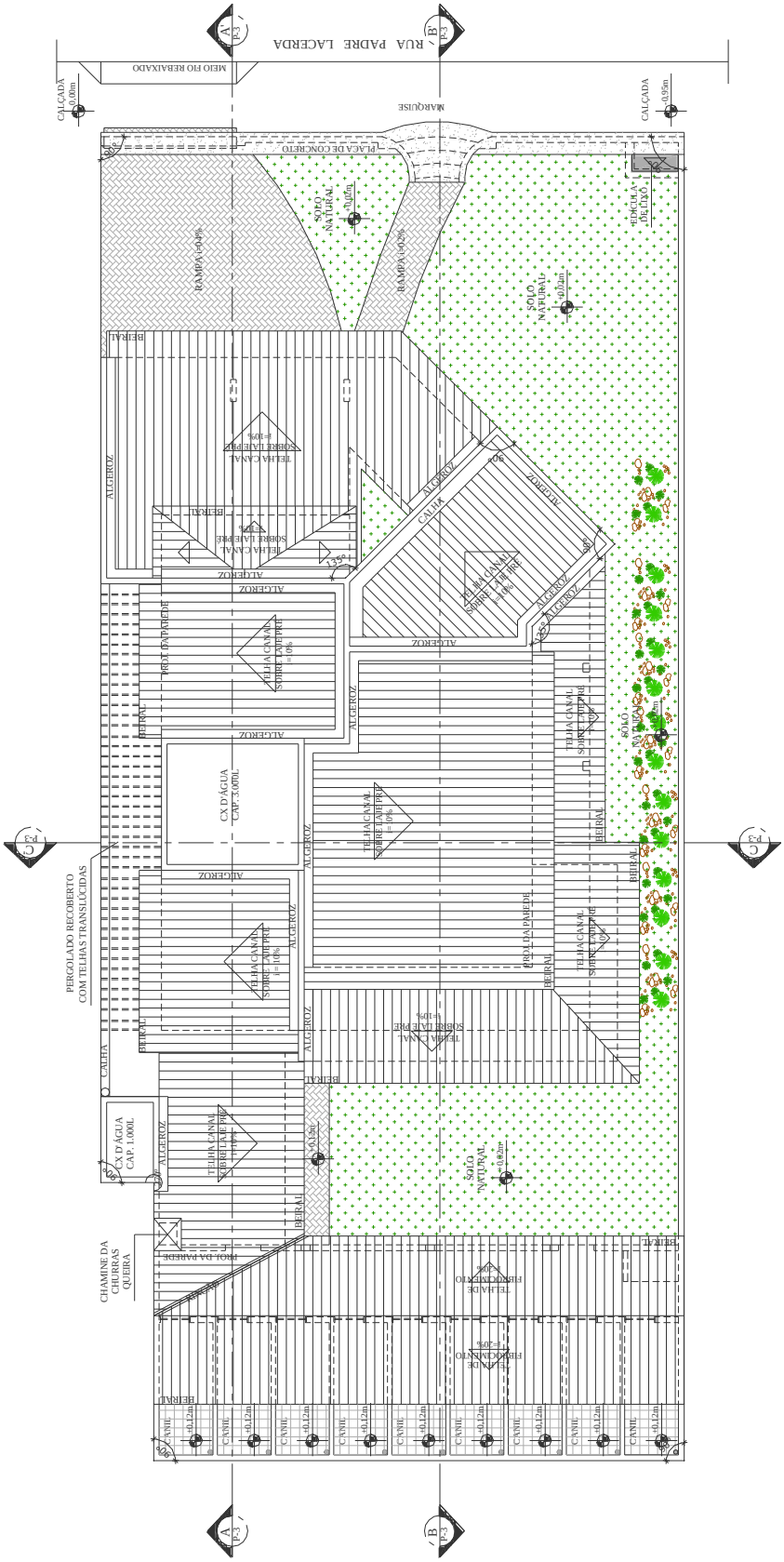
Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017

ANEXO F – PLANTA BAIXA DO 1º PAVIMENTO - CAD



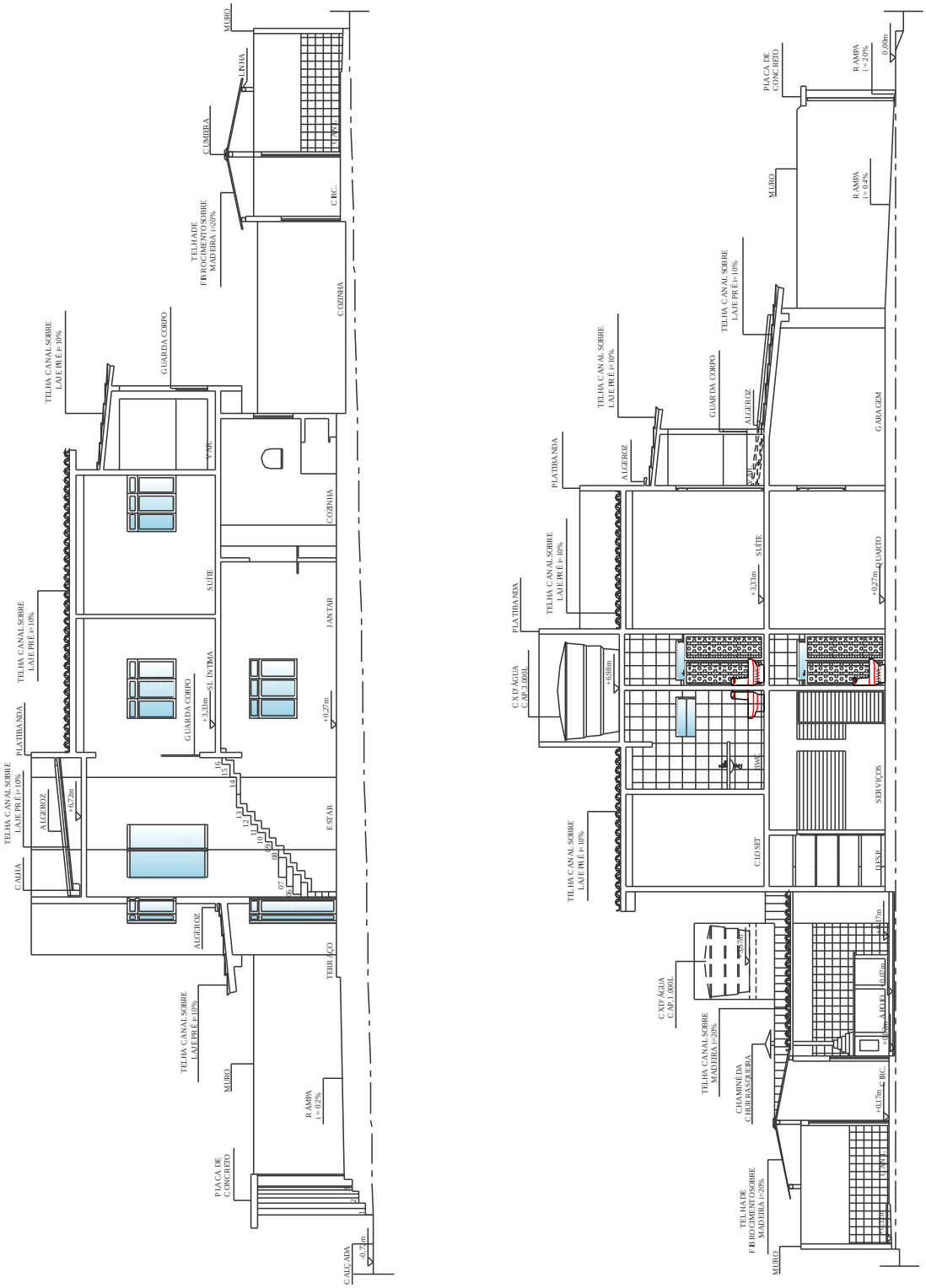
Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017

ANEXO G – PLANTA DE COBERTA - CAD



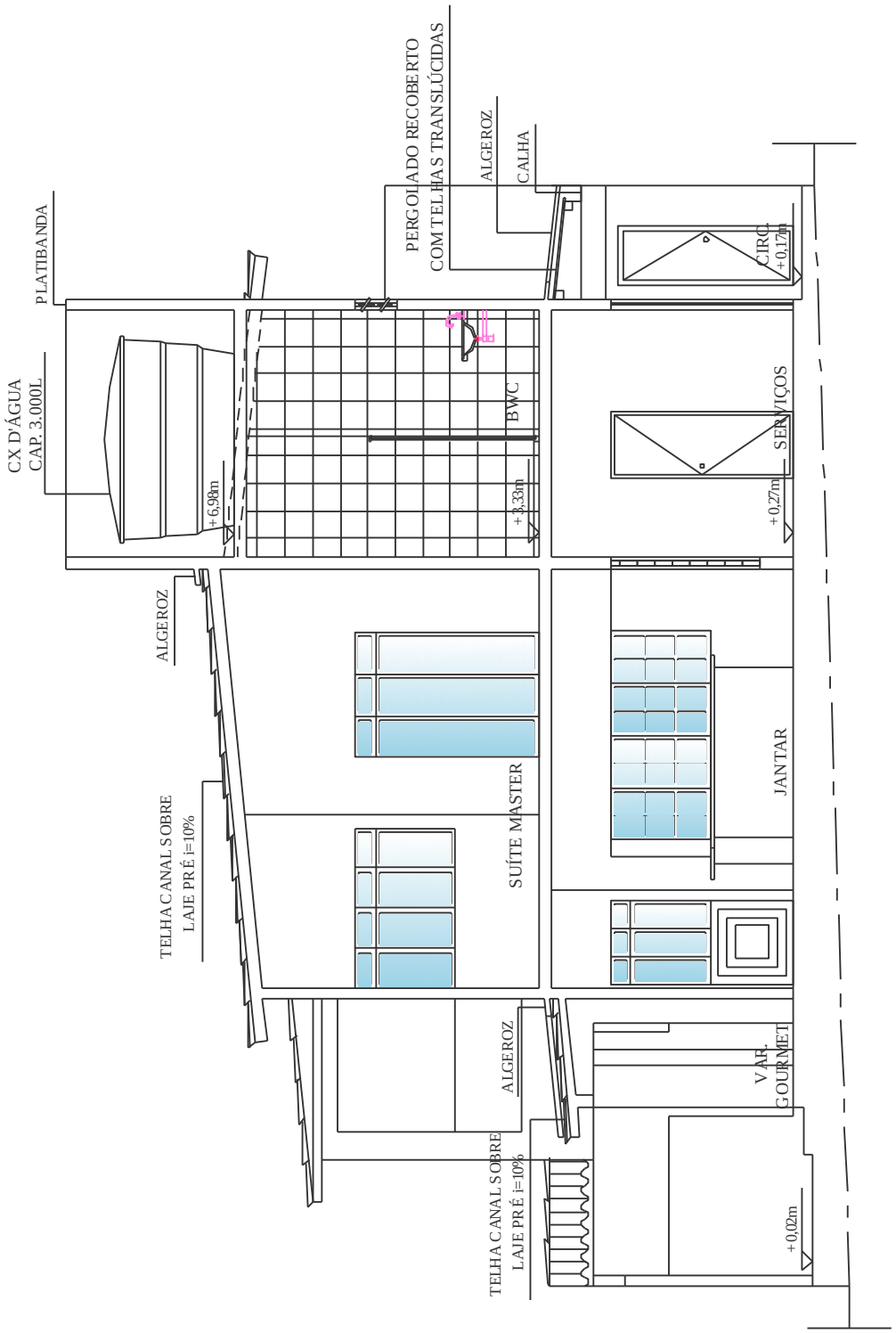
Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017

ANEXO H – CORTES LONGITUDINAIS - CAD



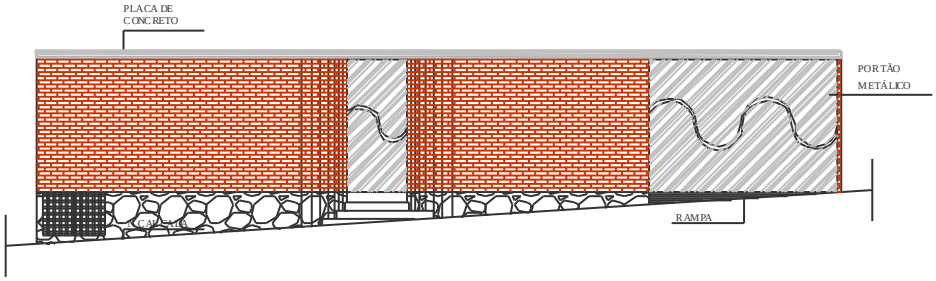
Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017

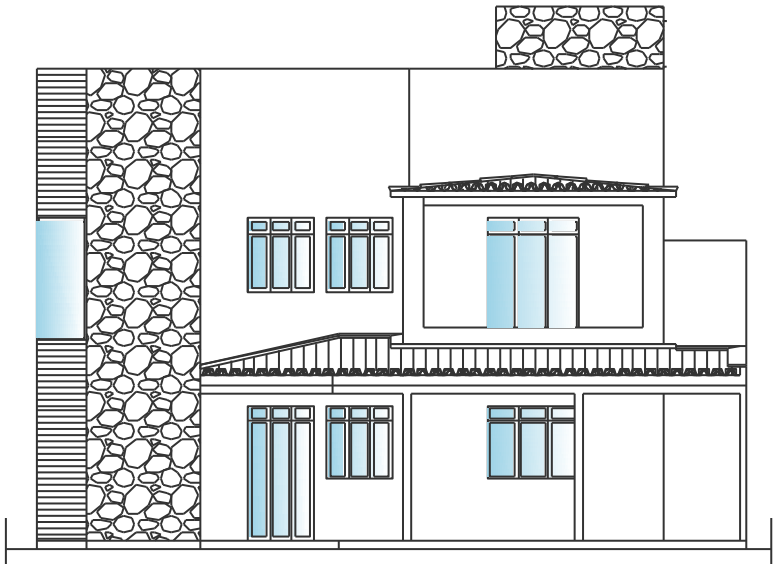
ANEXO I – CORTES TRANSVERSAIS - CAD



Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017

ANEXO J – ELEVAÇÕES - CAD





Fonte: Acervo técnico de R. E. da Silva (2017). Registro: Nº 5760916 de 13/05/2017