INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

TIAGO FACUNDES MORAES

DETALHAMENTO DE PROJETOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM UTILIZAÇÃO DO SISTEMA BIM EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR

PALMAS
2021

TIAGO FACUNDES MORAES

DETALHAMENTO DE PROJETOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM UTILIZAÇÃO DO SISTEMA BIM EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR

Projeto apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do professor Dr. Gilson Marafiga Pedroso.

Data: ___/___/___

BANCA AVALIADORA

GILSON MARAFIGA PEDROSO:69350140004

Assinado de forma digital por GILSON MARAFIGA PEDROSO:69350140004
Dados: 2021.07.07 00:29:08 -03'00'

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso
IFTO – Campus Palmas

Rebeca Freitas Vasconcelos

Prof. Me. Rebeca Vasconcelos
IFTO – Campus Palmas

Elen O. Vianna

Prof. Dra. Elen Oliveira Vianna
IFTO – Campus Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M828d Moraes, Tiago Facundes
Detalhamento de projetos em alvenaria estrutural com utilização do sistema BIM em uma edificação residencial unifamiliar. / Tiago Facundes Moraes. – Palmas, TO, 2021.
104 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Predroso

1. Alvenaria Estrutural. 2. BIM. 3. Compatibilização de Projetos. I. Predroso, Gilson Marafiga. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

“A tecnologia ensinou uma lição à humanidade: nada é impossível.” (Lewis Mumford)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

RESUMO

O emprego da tecnologia na indústria da construção civil trouxe consigo uma possibilidade maior de produtividade para os sistemas construtivos, em especial para aqueles que já possuem apelo pela racionalização do processo construtivo e elevada agilidade no processo de execução, como é o caso da Alvenaria Estrutural. O conceito BIM veio para revolucionar a didática para execução de projetos, podendo agregar diversas ferramentas e vantagens que auxiliam na elaboração e execução de um empreendimento. Uma dessas vantagens é a possibilidade de detalhar os projetos de forma acessível e bastante intuitiva, uma vez que todos os detalhamentos podem ser gerados e visualizados em 3 dimensões. Este trabalho demonstrou e discutiu, a partir das premissas do conceito BIM, as vantagens de detalhar um projeto de alvenaria estrutural executado em BIM, combinando o sistema construtivo com uma tecnologia, ambos com foco na produtividade da edificação em seus diversos âmbitos, seja na parte estrutural ou mesmo nos projetos complementares.

Palavras chave: Alvenaria Estrutural, BIM, Detalhamentos.

ABSTRACT

The use of technology in the civil construction industry has brought with it a greater possibility of productivity for construction systems, especially for those that already have an appeal for the rationalization of the construction process and high agility in the execution process, as is the case with Structural Masonry. The BIM concept came to revolutionize didactics for project execution, being able to add several tools and advantages that help in the elaboration and execution of an enterprise. One of these advantages is the possibility of going through the projects in an accessible and very intuitive way, since all the details can be generated and visualized in 3 dimensions. This work describes and discussed, from the premises of the BIM concept, the advantages of a structural masonry project built in BIM, combining a construction system with a technology, both focusing on the productivity of the building in its various scopes, in the structural part or even in complementary projects.

Palavras chave: Structural Masonry, BIM, Details.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de modelagem 3D em ambiente BIM	17
Figura 2 - Integração Sistema BIM	19
Figura 3 - Comparativo entre CAD e BIM	21
Figura 4 - Ilustração da evolução do Sistema BIM	23
Figura 5 - Centro cultural da juventude de Nanjing	24
Figura 6 - Mapa do BIM - Centro cultural da juventude de Nanjing	25
Figura 7 - Escritório Regional e internacional da Statoil / a-lab	26
Figura 8 - Planta - Escritório Regional e Internacional da Statoil / a-lab	26
Figura 9 - Biblioteca Nacional de Sejong City	27
Figura 10 - Planta - Biblioteca Nacional de Sejong City	27
Figura 11 - Comunicação entre os diversos profissionais envolvidos em um empreendimento	28
Figura 12 - Interoperabilidade entre profissionais do ramo elétrico e estrutural	29
Figura 13 - Sistema laminar (1) x Sistema Reticulado (2)	31
Figura 14 - Detalhe de bloco de material cerâmico (1) e concreto (2)	31
Figura 15 - Utilização de Shaft para embutir instalações hidrossanitárias	33
Figura 16 - Interação Alvenaria Estrutural e Instalações elétricas	34
Figura 17 - Como é no BIM	35
Figura 18 - Maquete da residência - Vista 3D - Fachada Frontal	37
Figura 19 - Maquete da residência - Vista 3D - Visão traseira	37
Figura 20 - Fluxograma geral do trabalho	39
Figura 21 - Ferramenta do Revit: Caixa de seleção (BX)	43

Figura 22 - Caixa de seleção criada, pronta para detalhamento com inserção de setas de identificação e notas de texto 44
Figura 23 - Planta baixa arquitetônica modulada. 47
Figura 24 - Ferramenta de faixa de vista no Revit. 48
Figura 25 - Vista 3D do projeto de Alvenaria Estrutural 50
Figura 26 - Legenda para os blocos estruturais 51
Figura 27 - Identificação dos blocos estruturais 52
Figura 28 - Vistas 3D da amarração entre 3 paredes do projeto. 53
Figura 29 - Detalhamento de Vergas com enfoque nas armaduras. 55
Figura 30 - Detalhamento da viga de cintamento 57
Figura 31 - Detalhe da interação entre AE e Concreto Armado. 59
Figura 32 - Detalhe das janelas de inspeção para concretagem de blocos estruturais 61
Figura 33 - Detalhamento para instalações embutidas na alvenaria 63
Figura 34 - Detalhamento para instalações elétricas não embutidas na alvenaria 64
Figura 35 - Detalhamento do uso de shaft para esconder tubulações hidrossanitárias 66
Figura 36 - Utilização do sistema PEX para transmissão de água quente e fria 68
Figura 37 - Detalhamento 3D de esquadria (Janela) e interação com AE 70
Figura 38 - Detalhamento em corte da interação esquadria com AE 71
Figura 39 - Detalhamento para revestimento de camadas única. 72
Figura 40 - Interação Laje x AE e a presença de uma viga em Concreto Armado 75
Figura 41 - Interação Laje x AE detalhamento em corte 76

Figura 42 - Interação e funcionamento do bloco tipo canaleta “J” 78

Figura 43 - Detalhamento em corte para execução de cobertura em estrutura de material metálico 80

Figura 44 - Interação platibanda x volumetria de caixa d’água 82

Figura 45 - Interação rufos, pingadeiras e calhas com sistema em AE 84

Figura 46 - Detalhamento construtivo para execução de pontos grauteados 86

Figura 47 - Detalhamento da interação entre AE x Vigas baldrames 87

Figura 48 - Detalhamento das juntas de assentamento dos blocos estruturais 89

Figura 49 - Detalhamento do uso de telas treliçadas para aumento de resistência das paredes estruturais 91

Figura 50 - Detalhamento da utilização de pilares e vigas de blocos estruturais 93

Figura 51 - Detalhamento da utilização enrijecedores 95

Figura 52 - Detalhamento da paginação dos painéis de alvenaria 97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE - Alvenaria Estrutural

ANETRANS - Associação Nacional das Empresas de Engenharia Consultiva de Infraestrutura de Transportes

BIM - *Building Information Modeling* (Modelagem de Informação da Construção)

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CAD - Computer Aided Design ou Desenho Assistido por Computador

IFC – Industry Foundation Classes

PIB - Produto Interno Bruto

PEX - Polietileno Reticulado Flexível)

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO **12**

1.1- Problemática 14

1.2- Justificativa 14

1.3- Objetivos 16

2- REFERENCIAL TEÓRICO **16**

2.1 - Building Information Modeling (BIM) 16

2.1.1 - Conceito BIM 16

2.1.2 - Breve Histórico sobre BIM 19

2.1.3 - Evolução dos Sistemas BIM 21

2.1.4 - Projetos importantes desenvolvidos em BIM: ESTUDOS DE CASO 23

2.2 Interoperabilidade 28

2.3 Alvenaria Estrutural 30

2.3.1 - Integração de projetos na Alvenaria Estrutural 32

3- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **36**

3.1- Objeto de estudo 37

3.2- Caracterização do Trabalho 38

3.3- Roteiro do trabalho 39

3.4- Desenvolvimento pleno do trabalho 41

3.4.1 - Extração de Detalhamentos 41

3.4.2 - Processo de projeto 46

3.4.3 - Apresentação dos Detalhamentos 51

3.4.3.1 - Detalhamento de amarração de paredes 52

3.4.3.2 - Detalhes de Vergas e contra-vergas com enfoque nas armaduras 54

3.4.3.3 - Detalhe da viga de cintamento de alvenaria estrutural 56

3.4.3.4 - Interfaces de pilares, vigas e lajes com a alvenaria estrutural 58

3.4.3.5 - Pontos de inspeção na execução de pontos de graute (1ª e 9ª fiada) 60

3.4.3.6 - Pontos elétricos/lógica embutidas ou não embutidas 62

3.4.3.7 - Instalações com fluidos e uso de shafts e interação com AE 65
3.4.3.8 - Evidenciar o uso de sistemas PEX nas instalações de água fria 67
3.4.3.9 - Entorno de esquadrias (seção de pingadeiras, peitoris etc) 69
3.4.3.10 - Interface AE com revestimentos internos e externos 72
3.4.3.11 - Zona de transição das paredes com a laje de cobertura evidenciando a junta de movimentação 74
3.4.3.12 - Detalhamento de utilização do bloco tipo canaleta J e sua interação 77
com a laje 77
3.4.3.13 - Interação platibanda/oitões com laje de cobertura 79
3.4.3.14 - Interação platibanda com volume dos reservatórios 81
3.4.3.15 - Interação platibanda com pingadeiras, rufos e calhas 83
3.4.3.16 - Seção grauteamento 85
3.4.3.17 - Interação alvenaria estrutural com vigas baldrame/infraestrutura 87
3.4.3.18 - Detalhe da junta vertical e horizontal de assentamento dos blocos de 88
Alvenaria Estrutural 88
3.4.3.19 - Detalhe de uso de telas treliçadas na AE (usada para combater 90
esforços de flexão) 90
3.4.3.20 - Detalhe de uso de pilares e viga de alvenaria estrutural, explorando armaduras de combate ao cisalhamentos 92
3.4.3.21 - Detalhes de enrijecedores em painéis de alvenaria 94
3.4.3.22- Detalhes da paginação de um painel em AE 96

4- RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS 98

5- DIFICULDADES ENCONTRADAS NO TRABALHO 99

6- RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 100

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

1- INTRODUÇÃO

O segmento do mercado de projetos da Engenharia Civil passa por um momento de expansão de demanda, e com isso uma maior exigência de qualidade. Essa demanda traz consigo um dos grandes desafios nos projetos atualmente: a eficiência, a produtividade, a redução de desperdícios de materiais e retrabalhos. Nesse contexto, o BIM (*Building Information Modeling*), aparece como uma das principais soluções para tais problemas. Embora não seja uma inovação no mercado, esse conceito surge como tendência. Trata-se da mudança tecnológica mais suscetível de produzir o maior impacto no setor da construção (EUBIM, 2016).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) define o BIM como: “uma nova plataforma da tecnologia da informação aplicada à construção civil e materializada em novas ferramentas (softwares), que oferecem novas funcionalidades e que, a partir da modelagem dos dados do projeto e da especificação de uma edificação ou instalação, possibilitam que os processos atuais, baseados apenas em documentos, sejam realizados de outras maneiras (baseados em modelos) muito mais eficazes.”

O conceito BIM permite a visualização tridimensional em modelos executados em sua plataforma, organizando as informações de maneira automatizada, integrada e detalhada, permitindo compatibilizar todos os projetos da engenharia de forma acessível. A utilização desse sistema proporciona um alto controle de qualidade e gestão mais eficientes quando se compara com os projetos dados a partir de plataformas tradicionais em 2D, como o Sistema CAD (Desenho Assistido por Computador, do inglês *Computer Aided Design*).

De forma conjunta com as plataformas de conceito BIM, temos a Alvenaria Estrutural. Um sistema construtivo que surgiu com o intuito de ser uma possibilidade para as metodologias estruturais como um sistema laminar, com o objetivo de obter uma obra mais racionalizada, com redução de custo, tempo e desperdício de materiais. Nesse caso, a Alvenaria estrutural substitui o uso de vigas e pilares como parte estrutural do edifício e passa a utilizar os blocos estruturais como principal elemento de sustentação da edificação, e portanto, quem suporta as cargas de um edifício em Alvenaria Estrutural será o próprio conjunto de paredes que formam o prédio.

A utilização do sistema construtivo em Alvenaria Estrutural exige maior

riqueza de detalhes em seus projetos, com base em um conjunto de normas e pesquisas. De acordo com Teixeira (2019), tal sistema tem grande apelo aos conceitos de compatibilização e racionalização de projetos. Uma vez que não se permite realizar rasgos excessivos em paredes, já que elas são responsáveis por suportar as cargas do edifício, ou seja, são parte constituinte do sistema estrutural do prédio. Portanto, a compatibilização de projetos se faz necessária nesse tipo de construção, pois interferências físicas são sinônimos de rasgos, retrabalhos, perda de produtividade e eficiência no sistema. Ademais, os projetos necessitam de um desenvolvimento com dimensões modulares e parametrizadas, evidenciando ainda mais o nível de exigência do sistema.

O Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural possui a grande vantagem de sua alta racionalização do processo construtivo. Desde a concepção do projeto, onde devem ser adotadas dimensões arquitetônicas modulares, ou seja, múltiplas dos blocos estruturais, garantindo que a obra seja feita sem recortes de blocos e evitando possíveis retrabalhos, até a parte executiva, garantindo produtividade ao sistema. Com a possibilidade de utilizar os furos verticais dos blocos para embutir instalações da edificação, a Alvenaria Estrutural está extremamente ligada ao conceito BIM, buscando a máxima produtividade e eficiência do sistema.

1.1- Problemática

O BIM possibilita aos profissionais da arquitetura, engenharia e construção, projetar um empreendimento a partir da modelagem em 3D, com alta riqueza de detalhes, adquirindo informações importantes para o planejamento e gerenciamento da construção, buscando a máxima eficiência e precisão.

Um empreendimento da construção civil se dá por uma gama de projetos específicos produzidos (estruturais, hidrossanitários, elétricos, etc), geralmente, por diferentes profissionais, cada um com sua área de competência. A compatibilização dos projetos em BIM então, é dada a partir da sobreposição das representações gráficas e verificadas possíveis interferências de forma visual ou mecânica.

Ainda que o mercado da engenharia civil tenha a condição de optar por uma tecnologia BIM, tendo em vista todos os seus benefícios, o mercado da construção civil, por ora, ainda utiliza de sistemas construtivos ultrapassados e projetos executados de formas tradicionais. De acordo com o Ministério da Indústria,

Comércio Exterior e Serviços (2018) apenas 5% do PIB da Construção Civil já implantaram o BIM na sua rotina de trabalho. Isso se dá pelo fato de que o mercado brasileiro ainda é resistente à mudanças e possui dificuldades no entendimento e compreensão do que é BIM e dos seus reais benefícios.

Dessa forma, levando em consideração os problemas derivados da falta de integração e detalhamento dos projetos, bem como na dificuldade de análise e planejamento, este trabalho se propõe a fazer um estudo de caso com o intuito de facilitar o entendimento da interação entre os diversos sistemas atribuídos numa edificação, a partir de detalhamentos gerados em ambiente BIM, para a execução de forma facilitada em uma edificação projetada em AE.

1.2- Justificativa

O aumento de eficiência e produtividade, além da redução de desperdícios e retrabalhos são os grandes desafios da engenharia civil atualmente. Uma solução vantajosa para esse desafio seria a combinação do Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural e Tecnologia BIM, utilizando de animações 3D com alta qualidade em detalhes, possibilitando ao usuário a representação gráfica necessária para prever e evitar erros construtivos e ainda, melhorar a análise técnica de um projeto e suas compatibilizações para garantir a produtividade e eficiência de uma obra.

De acordo com a ANETRANS (Associação Nacional das Empresas de Engenharia Consultiva de Infraestrutura de Transportes, 2021), a utilização do conceito BIM aumenta o nível de confiabilidade dos projetos e ainda, auxilia no planejamento e gerenciamento de obras. O resultado é uma alta produtividade e economicidade. Esse modelo tem se consolidado mundialmente como o novo motor na área da infraestrutura.

A execução de projetos em ambiente BIM possibilita obras que terão maior qualidade. O mercado não sofrerá tanto com desperdício de materiais e necessidade de retrabalhos, fazendo com que a utilização do recurso público seja melhor aproveitado na execução dos projetos. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, espera-se que haja um acréscimo de 10% na produtividade do setor e 20% na redução de custos. (FIALHO, 2018)

Em 22 de agosto de 2019, o Governo Federal lançou, via decreto nº 9.983, a Estratégia BIM BR, instituída com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no País. (BRASIL, 2019)

Com o decreto em vigor, a tecnologia BIM passa a ser uma grande tendência para o mercado brasileiro da construção civil. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção, a partir de 2021 o uso dos processos BIM será obrigatório para a elaboração de projetos de arquitetura e engenharia para determinadas obras públicas. (CBIC, 2016)

O presente trabalho baseia-se na utilização do software de plataforma BIM, REVIT 2021 (Autodesk, 2021) para modelar, compatibilizar e detalhar os projetos arquitetônicos e complementares (estrutural, hidrossanitário e elétrico) de um edifício residencial unifamiliar. Considerando que seja uma tecnologia inovadora e que os softwares dessa plataforma ainda estão em fase de exploração por parte dos profissionais e estudantes. Incluindo ainda, o incentivo que empresas de softwares BIM proporcionam aos acadêmicos, professores e profissionais interessados, essa linha de pesquisa se torna relevante.

1.3- Objetivos

1.3.1 - Geral

Explorar o alto nível de detalhamento de projetos de uma edificação em alvenaria estrutural, executados mediante a metodologia BIM.

1.3.2 - Específico

- Desenvolver um projeto de alvenaria estrutural em Revit, que é uma ferramenta BIM, para demonstrar a capacidade gráfica e de detalhamento que o conceito pode fornecer.
- Utilizar o conceito BIM na integração de projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações de um edifício unifamiliar objeto de estudo.
- Gerar um roteiro da execução dos detalhes realizados em Revit, de forma a evidenciar em variadas escalas a importância da exploração dos referidos detalhes com foco na excelência de execução.

2- REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - *Building Information Modeling* (BIM)

2.1.1 - Conceito BIM

De acordo com Faria (2007), o BIM (*Building Information Modeling*) consiste em um conceito destinado à juntar, de forma integrada e racionalizada, todas as informações pertinentes à construção civil, considerando todo o ciclo de vida de uma edificação, desde sua fase de concepção e planejamento, até uma possível demolição.

Destinado à modelagem de projetos, o BIM permite criar modelos virtuais de uma edificação com alta riqueza de detalhes. Tais modelos oferecem a visualização tridimensional combinadas a um sistema de informações detalhadas, possibilitando uma melhor análise e controle de uma obra.

Figura 1 - Representação de modelagem 3D em ambiente BIM



Fonte: Faria, 2007.

Ainda de acordo com Faria (2007), o sistema BIM possui diversas características inovadoras que se sobressaem dos métodos tradicionais de execução de projetos em 2D. Além da apresentação em 3D, que possibilita a verificação de interferências físicas entre os projetos arquitetônicos e complementares, os softwares agregados ao sistema BIM carregam consigo informações referente aos materiais utilizados na execução do projeto, garantindo assim um visual mais realista. A tecnologia ainda permite analisar diversos parâmetros da engenharia, como por exemplo a eficiência energética, análise estrutural e até mesmo orçamentos, a partir de tabelas de quantitativos geradas a partir dos diversos materiais utilizados. Adicionalmente, a plataforma maximiza acertos e evita falhas de projetos comuns se comparado aos projetos modelados em 2D.

Os aplicativos agregados à plataforma BIM possuem como seus principais princípios:

- Interoperabilidade: a chave para a transformação digital na Indústria da Construção;

- Aberto: padrões neutros devem ser desenvolvidos para facilitar a interoperabilidade;

- Confiável: a troca de dados dependem de benchmarks de qualidade independentes;

- Colaboração: fluxos de trabalho são melhorados por formatos de dados ágeis e abertos;

- Flexibilidade: liberdade para escolha da tecnologia cria mais valor para as partes interessadas;

- Sustentabilidade: a sustentabilidade é protegida por padrões de dados interoperáveis de longo prazo.

Com isso, podemos dizer então que esses princípios têm caráter produtivo, racional e integrado, uma vez que os aplicativos centralizam os dados de uma edificação em um único local, armazenando informações aprofundadas de cada parte de um projeto, facilitando assim então, análises e controles mais precisos. Ademais, facilita o compartilhamento dos projetos entre profissionais durante o período de execução.

Figura 2 - Integração Sistema BIM



Fonte: Faria, 2007.

De acordo com a figura 2, podemos perceber o quão integrado é o sistema BIM e como os variados profissionais podem se completar para que tenha um projeto parametrizado e com todas as informações necessárias para a orçamentação de um empreendimento.

O processo evolutivo dos projetos possui um histórico interessante para a criação do sistema BIM, do ponto de vista da utilização das ferramentas para a realização dos projetos de engenharia e arquitetura.

2.1.2 - Breve Histórico sobre BIM

Ao longo de toda a história, podemos perceber a evolução na execução dos projetos relacionados à construção civil, que inicialmente eram desenhados à mão livre em folhas de papel.

Segundo Marcel (2017), com o grande desenvolvimento no setor da tecnologia da informação, após a Segunda Guerra Mundial, proporcionou a criação de sistemas informatizados baseados em CAD (*Computer Aided Design ou Desenho Assistido por Computador*). Então, em 1982, a Autodesk lançou o software AutoCAD, inovando o setor da construção civil e garantindo maior produtividade na execução dos projetos. Como foi criado para substituir o tradicional método de projetar à mão, o CAD é uma ferramenta de desenho, com a qual pode-se desenhar linhas, figuras geométricas e hachuras (preenchimentos) que irão representar o projeto a ser executado.

Com isso, o sistema CAD passou então a dominar o setor da construção civil, deixando para trás o papel e a caneta nanquim, que até então dominavam o mercado. A nova metodologia possibilitou mais liberdade para os projetistas modificarem seus projetos até chegar ao modelo final para execução.

De acordo com Marcel (2017), ainda que o CAD tenha sido um grande avanço na indústria da construção civil, a ferramenta ainda apresenta algumas imperfeições quanto ao entendimento do projeto como um todo, já que o nível de detalhamento que se consegue com essa ferramenta é relativamente pobre. Isso acontece porque ainda é necessário que diversos desenhos em 2D sejam sobrepostos com o intuito de analisar o projeto, dificultando tanto a vida do projetista, quanto no ambiente de obras, principalmente quando se tem projetos mais complexos, com variadas disciplinas interligadas num mesmo projeto.

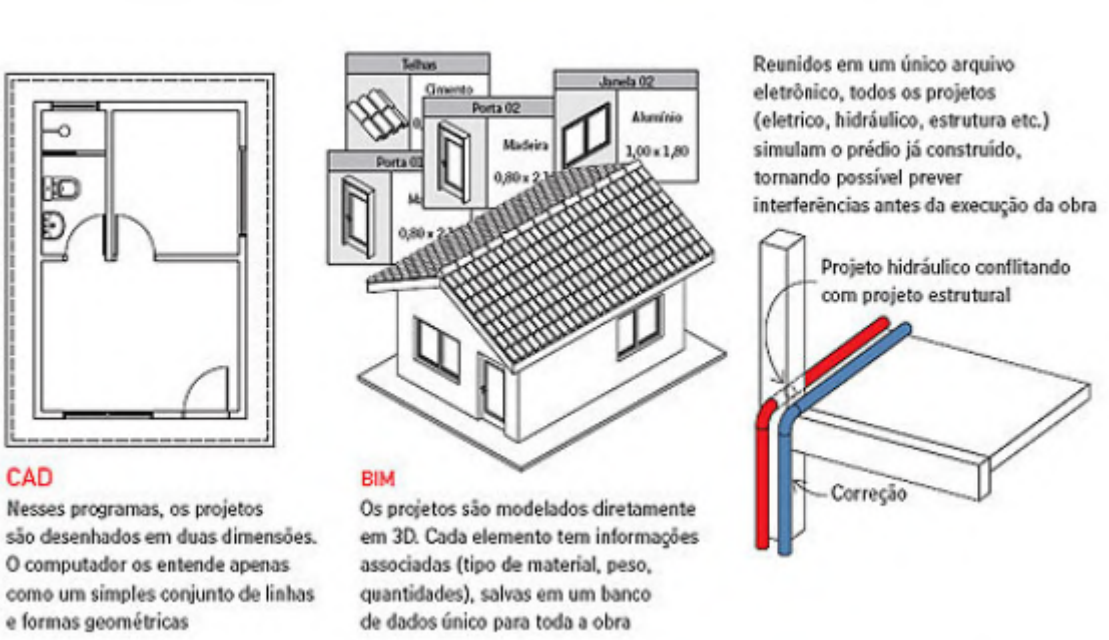
Para a realização de compatibilizações interdisciplinares com a ferramenta CAD, se torna um trabalho muito difícil, podendo gerar problemas de interferências entre tubulações, canos, dutos e estruturas, que serão observadas somente na hora da execução destes serviços. Ademais, é comum ver que no canteiro de obras, a dificuldade de ler e entender os projetos por parte dos responsáveis pela execução do projeto, dando ainda mais brechas para falhas e retrabalhos que não agregam produtividade e economia na obra.

Conforme Eastman (2014), o desenvolvimento do sistema BIM então, começou somente no início dos anos 80, quando em 1975, o norte americano

Charles M. Eastman publica o artigo “Building Description System”, que propunha um sistema inovador informatizado, com as principais essências do conceito BIM. De acordo com Faria (2007), a desvantagem do novo sistema estava na capacidade dos computadores da época, que tinham capacidade de processamento reduzida, o que impediu a popularização do sistema. Ainda, as ferramentas CAD (2D), criaram uma certa resistência por parte dos projetistas, já que os mesmos estavam acomodados com a metodologia criada para substituir o trabalho à mão.

Então, a partir de 1992, com a publicação de Van Nederveen e Tolman surgiu o termo *Building Information Modeling*, ou o conhecido BIM, dessa vez mais difundido, trazendo consigo uma tecnologia mais completa, que induzia uma nova maneira de projetar. Com a possibilidade de simular obras antes mesmo de serem executadas e com inúmeras vantagens no processo racional e executivo do empreendimento.

Figura 3 - Comparativo entre CAD e BIM



Fonte: Faria, 2007.

Apesar das diferenças, o sistema BIM foi se desenvolvendo a cada ano, evoluindo as ferramentas e adicionando múltiplas funções de forma integrada, conforme será discutido a seguir.

2.1.3 - Evolução dos Sistemas BIM

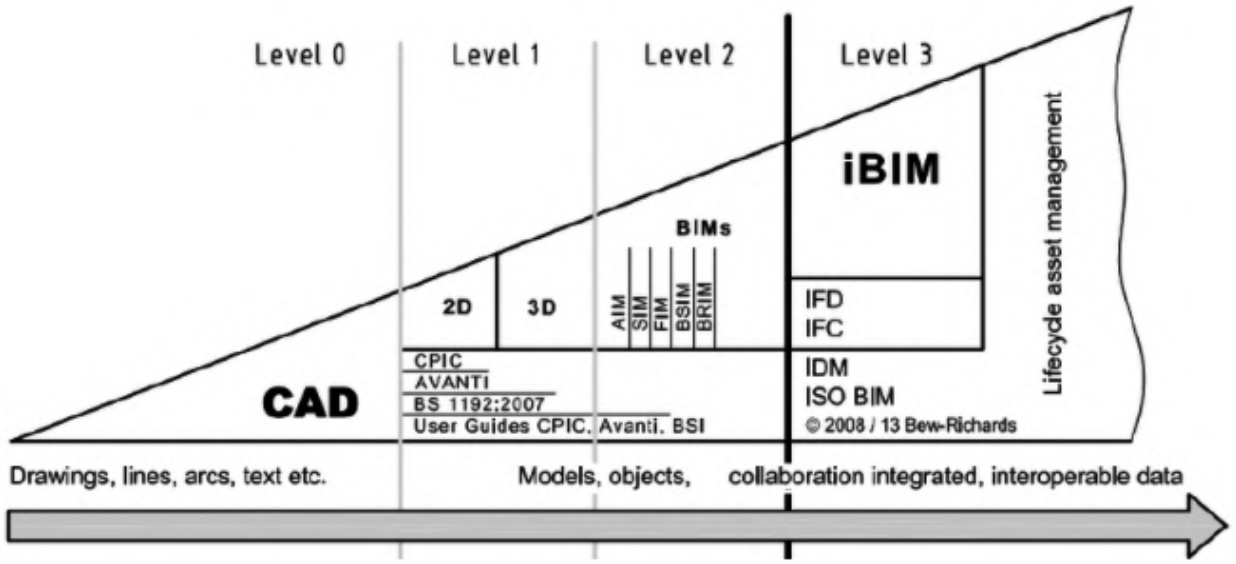
Tobin (2008), indicou três gerações do BIM, com nomenclaturas BIM 1.0, 2.0 e 3.0. Sendo o BIM 1.0 a evolução da metodologia de projetar em ambientes CAD, com modelos bidimensionais, passando então a utilizar modelos em 3D parametrizados com foco na geração automática dos desenhos. No entanto, todo esse processo é feito ainda sem colaboração entre os diversos projetistas que contemplam um empreendimento, executando o projeto de forma individualizada.

Ainda de acordo com Tobin (2008), o BIM 2.0, diferentemente da geração anterior, utiliza a intercomunicação entre os profissionais em ambiente BIM, com a compatibilização de projetos mais estabelecida. Ainda, na geração 2.0, os modelos projetados são associados às diversas dimensões do BIM. Por exemplo com o BIM 4D, onde inclui-se o cronograma da obra, no BIM 5D é incluído a variável custo, a análise de eficiência energética é inclusa na dimensão BIM 6D e por último o BIM 7D, que engloba os projetos como um todo, visando toda a vida útil da estrutura, considerando todo o planejamento pós obra, com custos de manutenções, dados e garantias de equipamentos, entre tantas outras coisas.

Quanto à interoperabilidade dos dados entre os diversos projetistas, o software Revit, desenvolvido pela Autodesk, oferece o recurso WorkSharing, uma ferramenta que permite acesso simultâneo compartilhado entre todos os profissionais participantes.

Finalmente, a era BIM 3.0, considerada por Tobin (2008) a era pós-interoperabilidade, se caracteriza por integrar totalmente todos os agentes envolvidos no empreendimento. No BIM 3.0, o intercâmbio das informações entre os profissionais participantes é realizado através de protocolos de troca de informações como IFC - industry foundation classes - permitindo a leitura de projetos desenvolvidos a partir de diferentes softwares.

Figura 4 - Ilustração da evolução do Sistema BIM



Fonte: BIM Experts

https://www.bimexperts.com.br/post/niveis-de-maturidade-bim-2

A partir do sistema BIM já bem desenvolvido, no level 3, deu-se então a possibilidade de execução de projetos importantes, no qual o BIM se tornou uma ferramenta essencial para a boa compatibilização e execução dos projetos dos empreendimentos.

2.1.4 - Projetos importantes desenvolvidos em BIM: ESTUDOS DE CASO

- **Centro cultural da juventude de Nanjing:**

De acordo com Delaqua (2020), o projeto, que foi realizado pela arquiteta internacional Zaha Hadid e executado na cidade de Nanjing, contempla duas torres e o centro cultural, cercados por uma grande praça com vista para o rio Yangtze. O projeto se desenvolve numa área de 465.000m². Uma torre possui 255 metros de altura, a outra ultrapassa os 300 metros de altura com 68 pavimentos.

Delaqua (2020) afirma que este projeto foi inaugurado em tempo recorde, com apenas 34 meses de obra o empreendimento se encontrava pronto. A equipe projetista utilizou todo seu conhecimento e experiência, juntamente com a tecnologia BIM, para reduzir ao máximo os trabalhos in-loco, explorando a máxima capacidade para ganhos relacionados à gestão de obras.

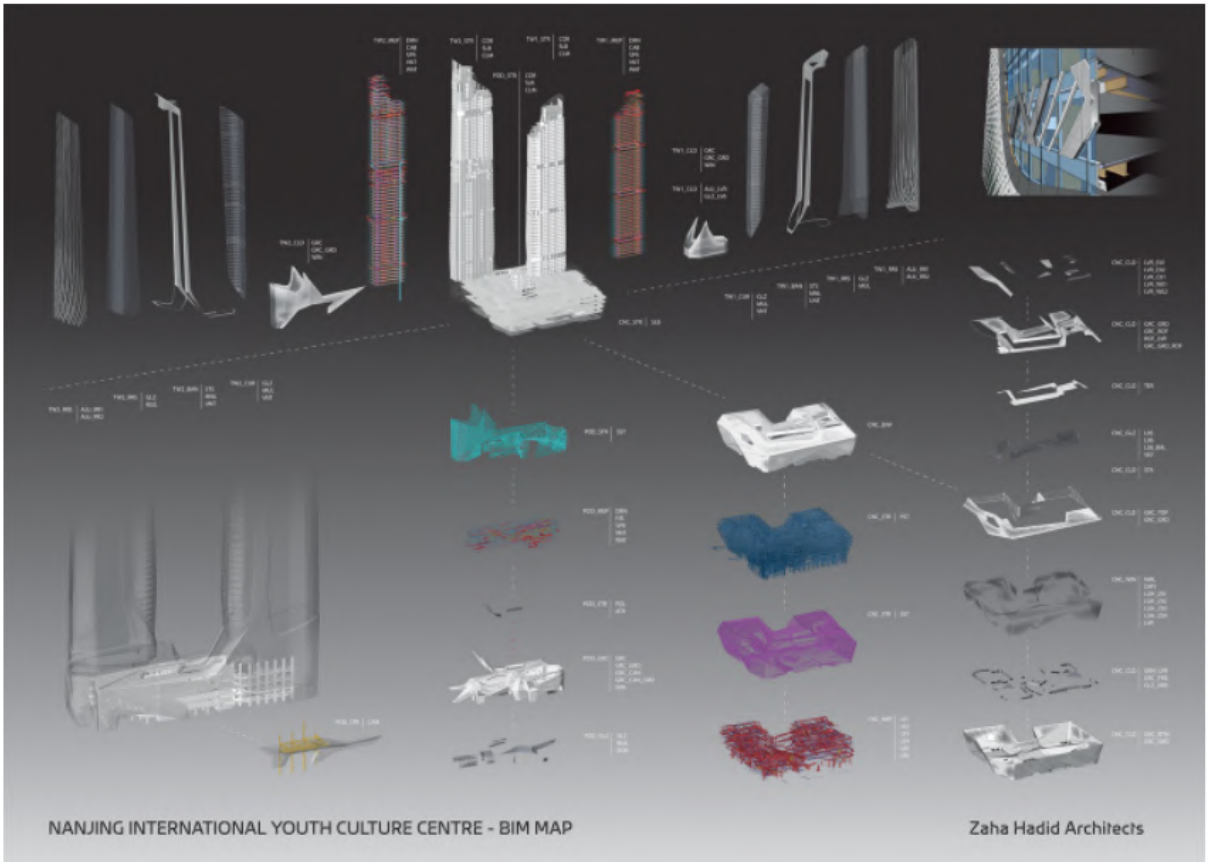
O alto nível de detalhes em um projeto dessa magnitude, explora ainda mais a necessidade de se utilizar um sistema BIM, explorando os diversos conceitos aplicados com intuito de garantir produtividade, gestão de qualidade e tempo, e ainda, melhorar de forma significativa a visualização dos projetos em um modelo 3D.

Figura 5 - Centro cultural da juventude de Nanjing



Fonte: Delaqua (2020)

Figura 6 - Mapa do BIM - Centro cultural da juventude de Nanjing



Fonte: Delaqua (2020)

- **Escritório Regional e Internacional da Statoil:**

Segundo Delaqua (2020), com uma modelagem BIM avançada e alta riqueza de planejamento, o Escritório Regional e Internacional da Statoil, localizado na Noruega, foi executado com formas e soluções arquitetônicas complexas. No entanto, com a ajuda da tecnologia, tudo foi realizado dentro do cronograma físico-financeiro idealizado.

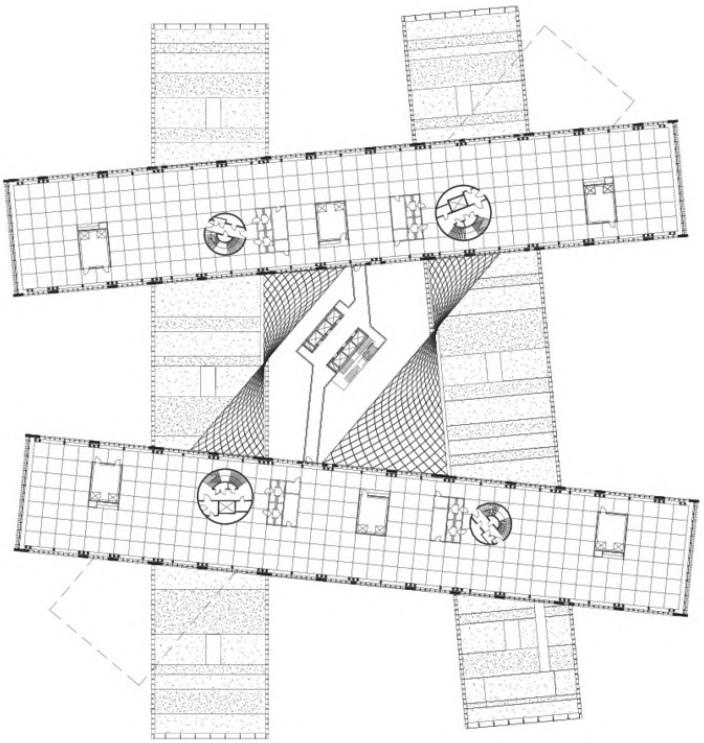
O escritório possui uma área construída de 117.000 m², possuindo a característica de uma forma icônica, a utilização do BIM torna-se viável para a visualização tridimensional e compatibilização de todos os projetos.

Figura 7 - Escritório Regional e Internacional da Statoil / a-lab



Fonte: Delaqua (2020)

Figura 8 - Planta – Escritório Regional e Internacional da Statoil / a-lab



Fonte: Delaqua (2020)

- **Biblioteca Nacional de Sejong City**

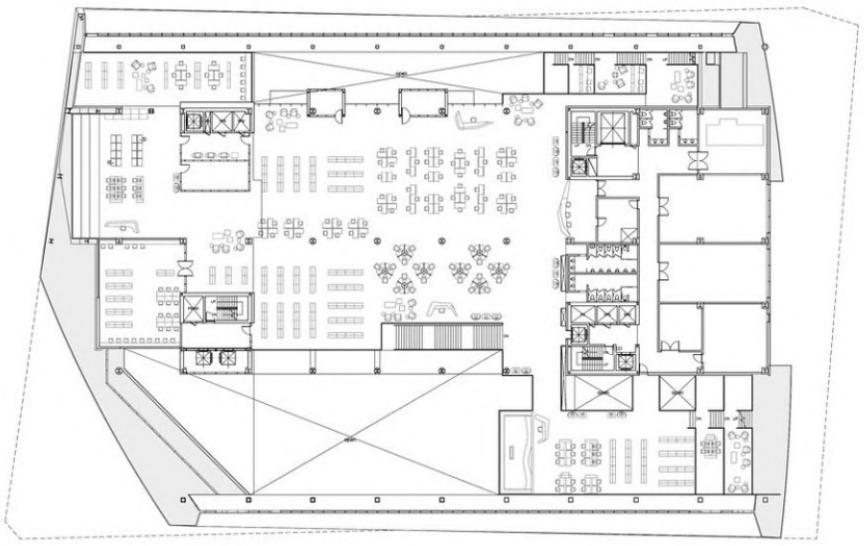
De acordo com Delaqua (2020), com uma arquitetura moderna e ousada, a Biblioteca Nacional de Sejong City, localizada na Coreia do Sul, contempla uma área construída de mais de 20.000 m². Devido à sua forma e geometria exclusivas, os elementos estruturais foram modelados a partir de um software BIM, com o intuito de analisar a sua construtibilidade. A ferramenta proporcionou soluções para simulações pré-construtivas, integrando todas as disciplinas envolvidas no empreendimento.

Figura 9 - Biblioteca Nacional de Sejong City



Fonte: Delaqua (2020)

Figura 10 - Planta –Biblioteca Nacional de Sejong City



Fonte: Delaqua (2020)

Como podemos perceber, projetos de alta complexidade se comportam de forma ainda mais amigável com softwares de plataforma BIM, já que a parametrização dos dados, bem como a interoperabilidade entre os diversos sistemas de engenharia. É o que iremos discutir à diante.

2.2 Interoperabilidade

A interoperabilidade é a habilidade de gerenciar e comunicar produtos eletrônicos e dados de projetos entre organizações (empresas) colaboradoras e indivíduos que, em conjunto, compõem uma equipe para o desenvolvimento de projetos, contratações, construções, manutenção e sistemas de processos de negócios. Interoperabilidade se refere à troca de informações entre os diversos participantes de um projeto durante o ciclo de vida de um empreendimento, através da comunicação direta entre aplicações de softwares. (CBIC, 2016)

Figura 11 - Comunicação entre os diversos profissionais de um empreendimento



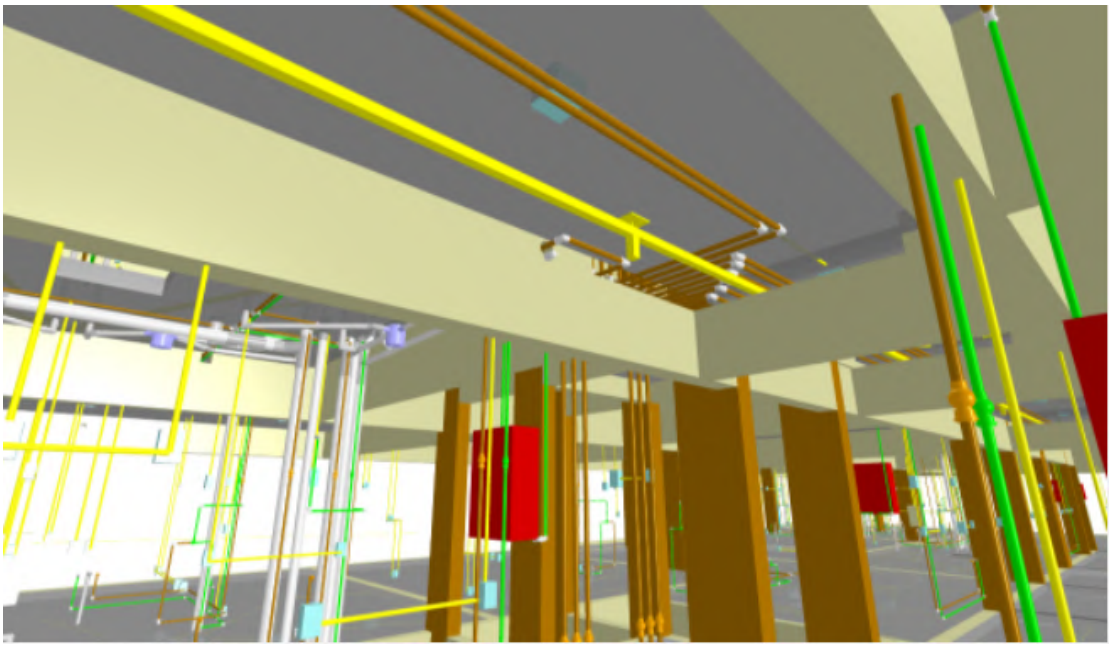
Fonte: SPBIM

Fonte: https://spbim.com.br/o-que-e-ifc/

Nesse contexto, a interoperabilidade se mostra como uma chave de inovação digital no campo industrial da construção civil, uma vez que o fluxo de trabalho é melhorado, permitindo a comunicação entre diversos profissionais através de um ou mais softwares, utilizando a mesma “linguagem”, como demonstra a Figura 11.

Outra perspectiva sobre a interoperabilidade, está relacionada com a intercomunicação entre diferentes sistemas ou softwares. Scheer e Ayres Filho (2009) afirmam que a interoperabilidade deve ser compreendida como um mapeamento dos sistemas internos com troca de dados nas ferramentas envolvidas, importantes para a concepção e execução de projetos que são interligados entre si. Formatos abertos como o Industry Foundation Classes (IFC), que é um modelo de dados registrado pela International Organization for Standardization (ISO) como ISO 16739-1:2018, por exemplo, auxiliam no desenvolvimento de projetos de engenharia (estrutural, elétrico, hidrossanitário, pluvial etc), garantindo a possibilidade de gerar detalhamentos em três dimensões e a interação entre os diversos sistemas escolhidos para o empreendimento. Em outras palavras, arquivos do tipo IFC permitem que a compatibilização de projetos seja feita de forma fácil e intuitiva, mesmo quando os diversos projetos forem realizados por diferentes profissionais, pois a presença do arquivo IFC no software permitirá ao profissional verificar as interferências físicas do projeto em questão.

Figura 12 - Interoperabilidade entre profissionais do ramo elétrico e estrutural



Fonte: Gonçalves Junior (2017)

A Figura 12 ilustra como ocorre a interoperabilidade entre profissionais dos projetos complementares (elétrico e hidrossanitário) com o profissional responsável pelo projeto estrutural de uma edificação. De acordo com Gonçalves Junior (2017), a imagem em questão mostra a compatibilização entre os projetos com uma solução curiosa, de posicionar as vigas do corredor abaixo do nível da laje com o intuito de passar as tubulações hidráulicas, bem como a passagem das calhas do projeto elétrico.

Percebe-se então que o arquivo IFC evita erros relacionados à interferências físicas entre os diversos projetos de um empreendimento e ajuda no processo de compatibilização dos mesmos, fazendo com que os profissionais estejam em perfeita harmonia. O exemplo é demonstrado no software QiBuilder da AltoQi, no entanto, o mesmo pode ocorrer nos diversos softwares que envolvem o sistema BIM, como por exemplo o Revit, que adota a mesma metodologia de trabalho.

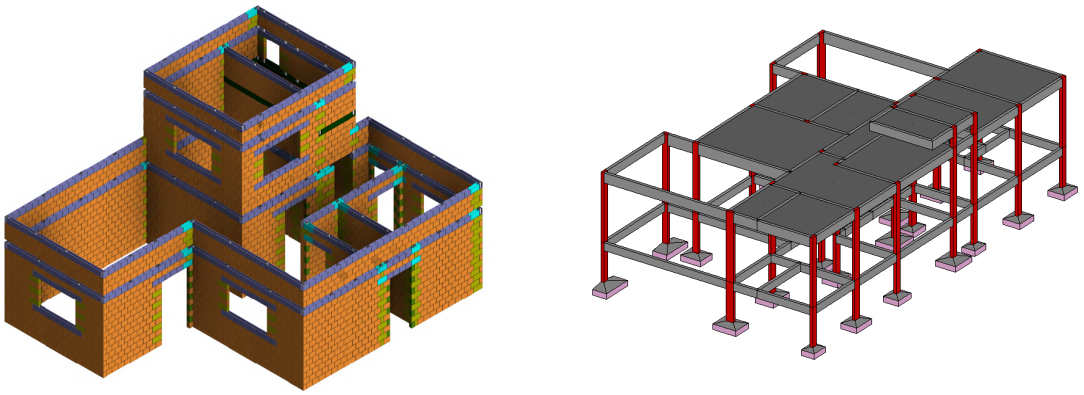
2.3 Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é definida como um sistema construtivo laminar. De acordo com a ABNT NBR 16868-1 (2020), as paredes da edificação fazem parte da função estrutural, ou seja, a sustentação do edifício se dá por elementos laminares, através dos blocos estruturais.

Segundo a ABNT NBR 16868-2 (2020), o controle da execução de obras em alvenaria estrutural deve ser planejado, com foco na compatibilização dos projetos, na qualidade dos materiais e na interoperabilidade entre os profissionais participantes.

O sistema laminar veio para ser uma nova possibilidade enquanto método construtivo. A alvenaria estrutural se originou com o objetivo de obter um processo construtivo mais racionalizado, em que o projeto e a construção estejam sempre em conformidade com as normas pertinentes visando funcionalidade com segurança e com foco especial na economia do empreendimento.

Figura 13 - Sistema laminar (1) x Sistema Reticulado (2)



(1) **(2)**

Fonte: Autor (2021)

A alvenaria estrutural é composta por blocos estruturais, que podem ser encontrados em material cerâmico ou concreto, sempre vazados verticalmente, o que facilita a compatibilização entre estrutura e instalações diversas, bem como na transferência de esforços bloco a bloco.

Figura 14 - Detalhe de bloco de material cerâmico (1) e concreto (2)



(1) **(2)**

Fonte: Autor (2021)

O sistema oferece diversas vantagens, como por exemplo a redução de consumo de fôrmas, maior agilidade construtiva, custo reduzido se comparado ao tradicional sistema de estruturas reticuladas e ainda, somado à uma maior organização e limpeza no ambiente de obra.

A desvantagem da alvenaria estrutural está na limitação quanto às mudanças arquitetônicas futuras. Uma vez que o empreendimento foi desenvolvido em alvenaria estrutural, não se pode demolir uma parede sem, previamente, solicitar

uma análise do engenheiro responsável pela concepção estrutural do edifício.

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é racionalizado, privilegiando a integração das soluções de projetos, evitando retrabalhos e desperdícios de tempo e insumos da construção civil.

Apesar de ser usada há muitos anos, a alvenaria estrutural nos dias atuais alcança altos patamares de produtividade, uma vez que existe a visão sistemática do processo construtivo, onde os projetistas compatibilizam os diversos projetos de engenharia e arquitetura, tornando-se, cada vez mais, um processo altamente industrializado, com o ônus da redução de geração excessiva de resíduos.

2.3.1 - Integração de projetos na Alvenaria Estrutural

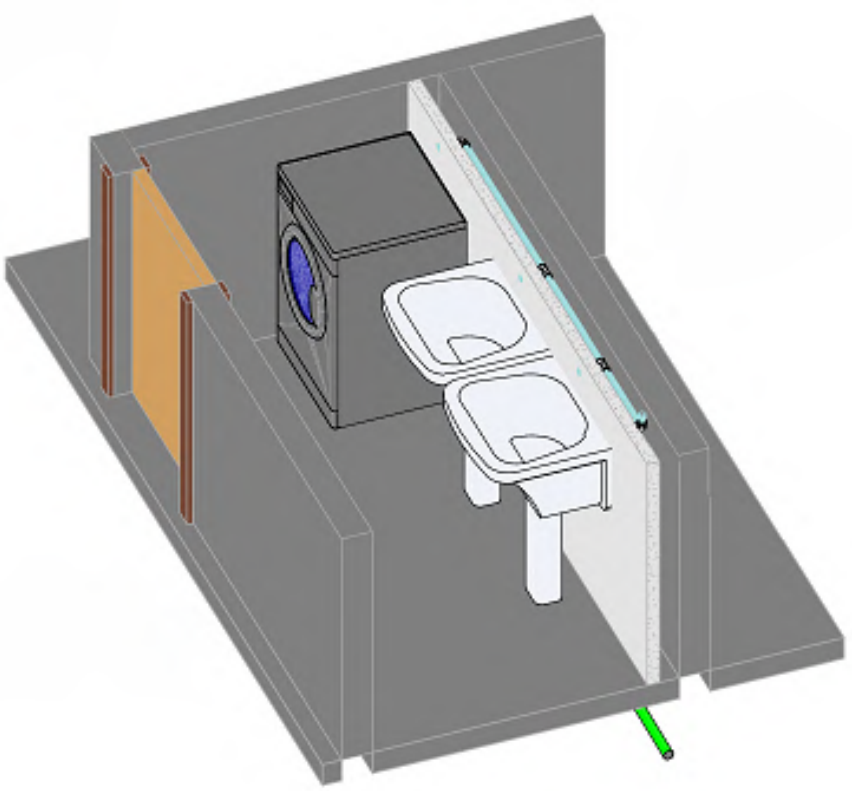
Na concepção de projetos feitos com utilização do sistema construtivo em alvenaria estrutural, é necessário que tenha a perfeita integração entre os profissionais tanto de arquitetura quanto de engenharia, trabalhando de forma integrada, visando uma edificação eficiente, que possua desempenho termo-acústico e desempenho estrutural economicamente viável, que seja capaz de suportar todos os esforços previstos sem gerar patologias que comprometam a estrutura.

No contexto da Arquitetura, é importante que todas as dimensões do projeto sejam modulares, isto é, optar por dimensões da arquitetura múltiplas das dimensões dos blocos estruturais, para garantir que estes sejam assentados de forma racional, sem que haja possíveis quebras de blocos, retrabalhos e gastos indesejados para a obra.

No âmbito das instalações elétricas, hidráulicas, telefônicas e funcionais, os projetos devem estar efetivamente compatibilizados, ou seja, interagindo com a estrutura de forma inteligente e sem interferências, permitindo que essas instalações possam sofrer manutenções sem causar danos à estrutura da edificação.

O uso de shafts para embutir as instalações hidráulicas, por exemplo, se mostra uma resposta eficaz para o sistema, a solução proporciona possibilidade de manutenção nas tubulações hidráulicas sem comprometer a estrutura, sendo ainda, esteticamente agradáveis.

Figura 15 - Utilização de Shaft para embutir instalações hidrossanitárias



Fonte: Autor (2021)

A Figura 15 mostra como a utilização de um shaft forma uma combinação perfeita para evitar que as tubulações sejam instaladas no interior da alvenaria, o que poderia ocasionar problemas como rasgos na parede estrutural ou mesmo uma dificuldade no caso de uma possível manutenção do sistema.

No caso dos eletrodutos, estes podem ou não ser embutidos nos furos verticais dos blocos de alvenaria, já que não será necessário causar grandes rasgos nos planos de paredes, apenas um pequeno furo no bloco ao qual será fixada a caixa de embutir. A Figura 16 ilustra o detalhamento da interação entre os blocos de alvenaria estrutural e as instalações elétricas no caso de eletrodutos com passagem no interior dos blocos de AE.

Figura 16 - Interação Alvenaria Estrutural e instalações elétricas

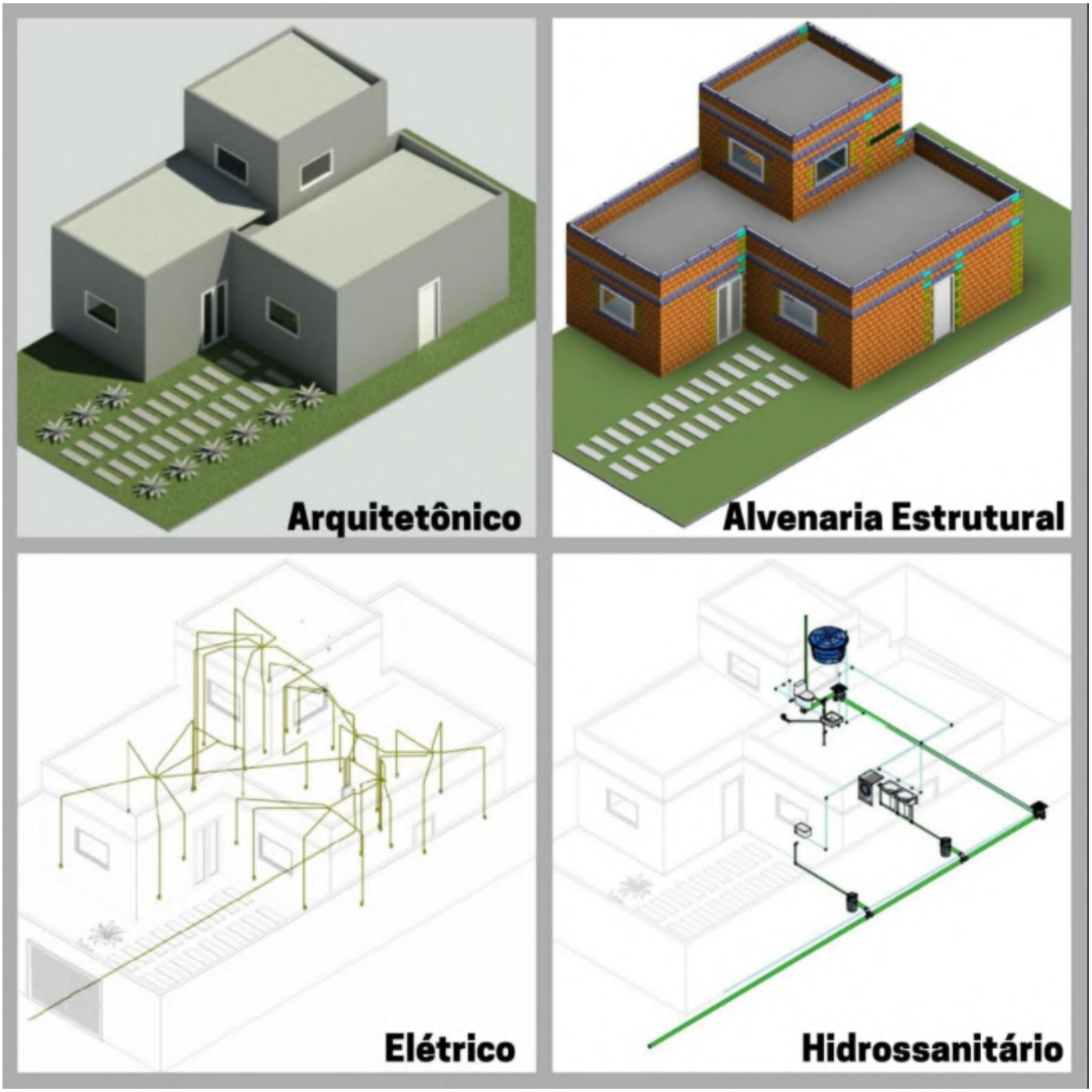


Fonte: Autor (2021)

A imagem foi construída a partir de um software BIM, o Revit 2021, demonstrando sua importantância para o processo de concepção dos diversos projetos de um empreendimento em alvenaria estrutural, uma vez que o sistema permite elaborar os projetos de forma compatibilizada, racional, informativo e com uma gama de detalhes que em métodos tradicionais de concepção de projetos, como por exemplo o CAD, se torna uma tarefa muito mais árdua.

A Figura 17 evidencia como funcionam os diversos projetos desenvolvidos no software Revit 2021. Além das vantagens da tripla dimensão, é possível gerar inúmeros detalhamentos que irão facilitar o processo executivo na obra. Uma vez que os projetos podem ser vinculados uns aos outros para verificar possíveis interferências físicas ou até mesmo dificuldades executivas. Portanto, com a perfeita compatibilização, é de se esperar que haja um ganho significativo de produtividade nos trabalhos a se executar na obra.

Figura 17 - Como é no BIM



Fonte: Autor (2021)

Com base na fundamentação teórica então, podemos definir os procedimentos metodológicos para a realização do presente trabalho, com o intuito de não só de fundamentar uma pesquisa, mas de praticar os conhecimentos abordados na bibliografia.

3- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados para a realização deste trabalho possuem o propósito de alcançar os objetivos propostos na pesquisa de forma a acrescentar na formação acadêmica.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica exploratória, com o intuito de maximizar os conhecimentos na temática do BIM combinado ao sistema construtivo em Alvenaria Estrutural, levando em consideração a sua aplicabilidade na construção civil.

Posteriormente então, serão estabelecidas diretrizes a serem seguidas para o desenvolvimento e modelagem de um projeto de uma edificação unifamiliar de pequeno porte em alvenaria estrutural com foco nas soluções que os softwares BIM proporcionam com relação ao ganho de produtividade e à alta riqueza de detalhamentos dos projetos desenvolvidos.

O software que utiliza a tecnologia BIM escolhido para realizar a modelagem e desenvolvimento dos projetos combinados ao sistema construtivo de alvenaria estrutural neste trabalho foi o Autodesk Revit 2021 (AUTODESK, 2021). O Revit possui versão estudantil e este foi um critério decisivo para a escolha do software, uma vez que a Autodesk incentiva os estudantes de Engenharia Civil a ingressarem no conceito BIM para fins de pesquisa de forma gratuita. Ademais, o software Revit possui excelente interoperabilidade entre os outros softwares com tecnologia BIM, permitindo a geração de arquivos em formato IFC, facilitando assim a verificação de interferências físicas entre os diversos sistemas adotados.

Outro software utilizado foi o *Enscape* 2021 (ENSCAPE, 2021), que tem como finalidade a renderização de projetos desenvolvidos a partir do Revit. O Enscape é capaz de renderizar um projeto em tempo real a partir de um *plug-in* diretamente no software da Autodesk, demonstrando uma alta interação entre os programas. No trabalho utilizou-se do Enscape como uma ferramenta de imersão para demonstrar os detalhes executivos com a maior qualidade gráfica possível, com o intuito de ambientar os projetos de engenharia e arquitetura com a vida real.

3.1- Objeto de estudo

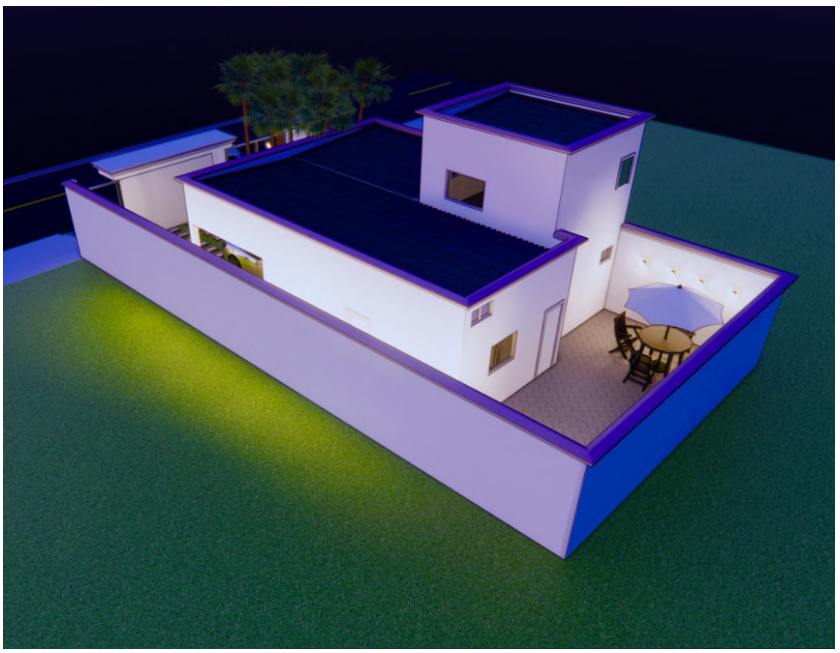
O objeto de estudo utilizado é uma residência unifamiliar, projetada para a cidade de Palmas-TO. O projeto possui uma área construída de 90m², com um lote padrão de 200m². As figuras 18,19 e 20 demonstram as imagens ilustrativas referente ao projeto arquitetônico executado.

Figura 18 - Maquete da residência - Vista 3D - Fachada Frontal



Fonte: Autor (2021)

Figura 19 - Maquete da residência - Vista 3D - Visão traseira



Fonte: Autor (2021)

Este projeto utilizado foi desenvolvido para a disciplina de Alvenaria Estrutural, componente curricular do 10º período do curso de Engenharia Civil no IFTO. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de um possível projeto de extensão, onde foi produzido um projeto final que pudesse ser doado para uma entidade de fomento social com o intuito de atender comunidades carentes ou assemelhadas.

O projeto arquitetônico apresentado foi utilizado como base para a execução e desenvolvimento do projeto em alvenaria estrutural, e este por sua vez, serviu de base para o desenvolvimento dos projetos de engenharia, contemplando a interoperabilidade com os sistemas hidrossanitário, elétrico, cobertura metálica e concreto-armado com foco na interação entre as disciplinas e buscando corrigir possíveis interferências físicas entre os diversos sistemas empregados na concepção, utilizando de soluções economicamente viáveis e com alta eficiência na manutenção, sem comprometer a resistência dos painéis de alvenaria, como por exemplo o uso de shafts para embutir instalações hidrossanitárias.

Para o desenvolvimento do projeto arquitetônico, em primeiro lugar definiu-se a família dos blocos estruturais a se utilizar no projeto, para então dar seguimento nos modelos arquitetônicos. A família adotada para o trabalho possui o bloco padrão de 11,5x19x24cm, com modulação arquitetônica múltipla de 12,5cm, a fim de se obter a compatibilização perfeita entre as paredes estruturais quando relacionadas com as medidas arquitetônicas, evitando assim o uso excessivo de blocos compensadores. Com isso então, pode-se dar continuidade na concepção arquitetônica com a criação da planta baixa modulada.

3.2- Caracterização do Trabalho

A caracterização do trabalho, segundo a classificação de Gerhardt e Silveira (2009), quanto à natureza e técnica de análise de dados da pesquisa define–se a pesquisa como qualitativa, sem quaisquer análises numéricas.

Com isso, o trabalho possui foco na desmistificação do sistema construtivo em alvenaria estrutural, mostrando que o conceito BIM pode melhorar a eficácia de um empreendimento da indústria civil, navegando pelas diversas disciplinas de projetos e analisando a importância do detalhamento de projeto somada às compatibilizações necessárias com finalidade de evitar possíveis erros em obra por motivos de falta de detalhamentos construtivos nos projetos desenvolvidos.

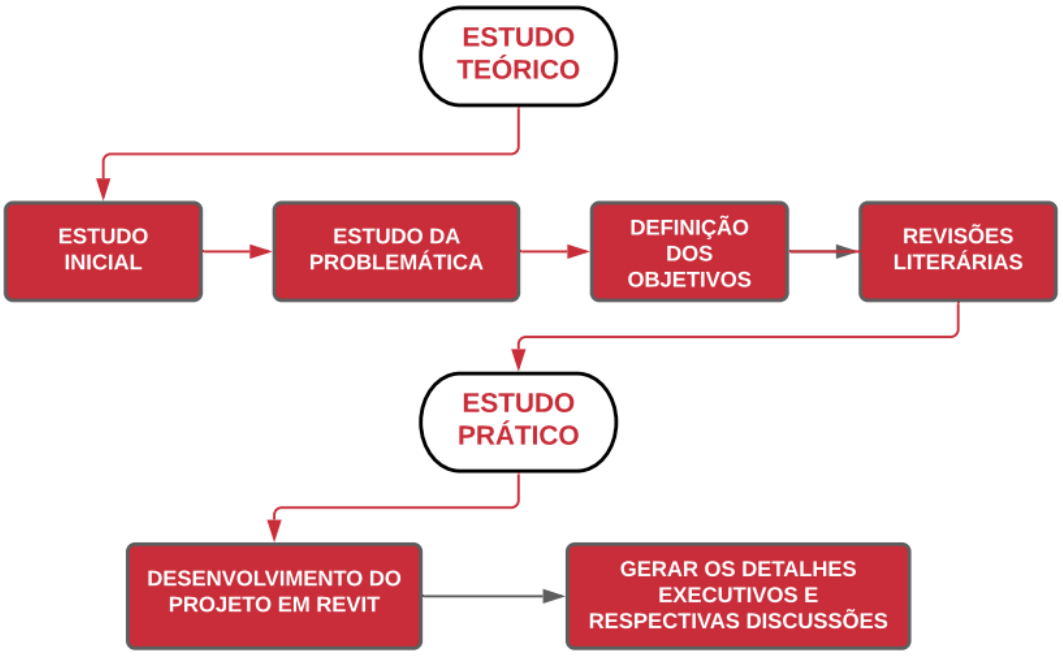
O processo metodológico utilizado para a realização do estudo possui caráter de pesquisa aplicada, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009). Isso porque o trabalho aborda tanto o estudo teórico quanto o estudo prático, possuindo como princípio a modelagem de um projeto de alvenaria estrutural em Revit e a geração de detalhes executivos para análises e discussões.

Todo o processo de revisão teórica será envolvido através de pesquisas bibliográficas, com a intenção de analisar toda a parte conceitual sobre os diversos tópicos abordados na pesquisa para então a aplicação dos conhecimentos em software.

3.3- Roteiro do trabalho

O trabalho está subdividido em dois principais estudos, sendo um teórico e outro prático, onde o estudo teórico possui intenção de introduzir e dar base teórica nas temáticas abordadas pelo trabalho, enquanto o estudo prático se trata do desenvolvimento pleno dos projetos e seus respectivos detalhamentos. O fluxograma apresentado na figura 20 mostra os tópicos abordados para cada passo do trabalho.

Figura 20 - Fluxograma geral do trabalho



Fonte: Autor (2021)

O estudo prático dos detalhamentos extraídos a partir dos projetos arquitetônico, estrutural e complementares deverão ser posteriormente analisados, de forma crítica, com o viés da execução e da interação dos sistemas utilizados, demonstrando de forma ilustrativa, com imagens geradas a partir do software Revit 2021 (AUTODESK, 2021), apresentando técnicas construtivas com alta qualidade gráfica e riqueza de detalhes.

Os detalhamentos construtivos a serem explorados para análise do trabalho serão:

1- Detalhes de Amarração de paredes;
2- Detalhes de Vergas e contra-vergas com enfoque nas armaduras;
3- Detalhes de vigas de cintamento de alvenaria estrutural com blocos tipo canaleta;
4- Interfaces de pilares, vigas e lajes com a alvenaria estrutural;
5- Pontos de inspeção na execução de pontos de graute (1ª e 9ª fiada);
6- Pontos elétricos/lógica embutidas ou não embutidas;
7- Instalações com fluidos e uso de shafts e interação com AE;
8- Evidenciar o uso de sistemas PEX nas instalações de água fria;
9- Entorno de esquadrias (seção de pingadeiras, peitoris etc);
10- Interface AE com revestimentos internos e externos
11- Zona de transição das paredes com a laje de cobertura evidenciando a junta de movimentação;
12- Detalhamento de utilização do bloco tipo canaleta J e sua interação com a laje;
13- Interação platibanda/oitões com laje de cobertura;
14- Interação platibanda com volume dos reservatórios;
15- Interação platibanda com pingadeiras, rufos e calhas;
16- Seção grauteamento;
17- Interação alvenaria estrutural com vigas baldrame/infraestrutura;
18- Detalhe da junta vertical e horizontal de assentamento dos blocos de AE;
19- Detalhe de uso de telas treliçadas na AE (usadas para combater esforços de flexão);
20- Detalhe de uso de pilares e vigas de alvenaria estrutural, explorando armaduras de combate ao cisalhamento;
21- Detalhes de enrijecedores em painéis diferenciados;

3.4- Desenvolvimento pleno do trabalho

Com toda a metodologia traçada, inicia-se então, o desenvolvimento pleno dos projetos e suas respectivas análises qualitativas de acordo com cada detalhamento gerado. Abaixo será discutido os resultados e discussões referente aos detalhamentos gerados a partir do software Revit 2021 (AUTODESK, 2021).

3.4.1 - Extração de Detalhamentos

O software Revit permite a extração automática de todos os detalhamentos de projetos e suas devidas compatibilizações realizadas em modelos BIM, essa funcionalidade representa qualidade gráfica, precisão e agilidade de acesso às informações e metodologias construtivas utilizadas para determinados serviços. Poderão ser gerados detalhamentos com indicação de notas de texto e setas que facilitarão a indicação dos elementos construtivos, otimizando assim toda a parte executiva de um projeto, um dos processos mais importantes da construção civil.

O conceito BIM hoje, é uma metodologia que permite o desenvolvimento computadorizado de projetos de arquitetura e engenharia com ferramentas que permitem o detalhamento final em prancha que visam facilitar a execução dos serviços elaborados previamente evitando que erros aconteçam no processo construtivo e com grande apelo à produtividade de todo o processo.

Todos os detalhamentos podem ser gerados em 3 (três) dimensões, com alta qualidade gráfica e elaborados a partir da ferramenta de “Caixa de seleção”, disponibilizada no Revit 2021 (AUTODESK, 2021). É importante ressaltar que para a execução dos detalhamentos, todos os projetos devem estar executados e vinculados ao projeto desejado, no caso do trabalho o foco está na alvenaria estrutural, então todos os projetos complementares estão vinculados com o projeto de AE com a máxima compatibilização dos projetos possível, para que os detalhes gerados estejam em conformidade com a realidade de projeto e de fato proponham uma maior produtividade da execução dos projetos na prática.

As figuras 21 e 22 demonstram como é o funcionamento da ferramenta de caixa de seleção, o qual permite fazer a configuração e geração de detalhamentos construtivos de formas variadas. É uma ferramenta intuitiva, com o uso da criatividade pode-se obter uma infinidade de detalhamentos que, se bem produzidos, podem aumentar a produtividade e o entendimento da metodologia construtiva

utilizada para a execução do projeto. Para gerar os detalhamentos, basta selecionar os elementos desejados para detalhamento e posteriormente clicar na ferramenta mencionada.

A caixa de seleção funciona como as vistas em corte, muito comum no âmbito da engenharia, no entanto, ela possui perspectiva em 3D, ou seja, a ferramenta atua como uma caixa de corte, permitindo a visualização e detalhamento da obra em três dimensões.

Figura 21 - Ferramenta do Revit: Caixa de seleção (BX)

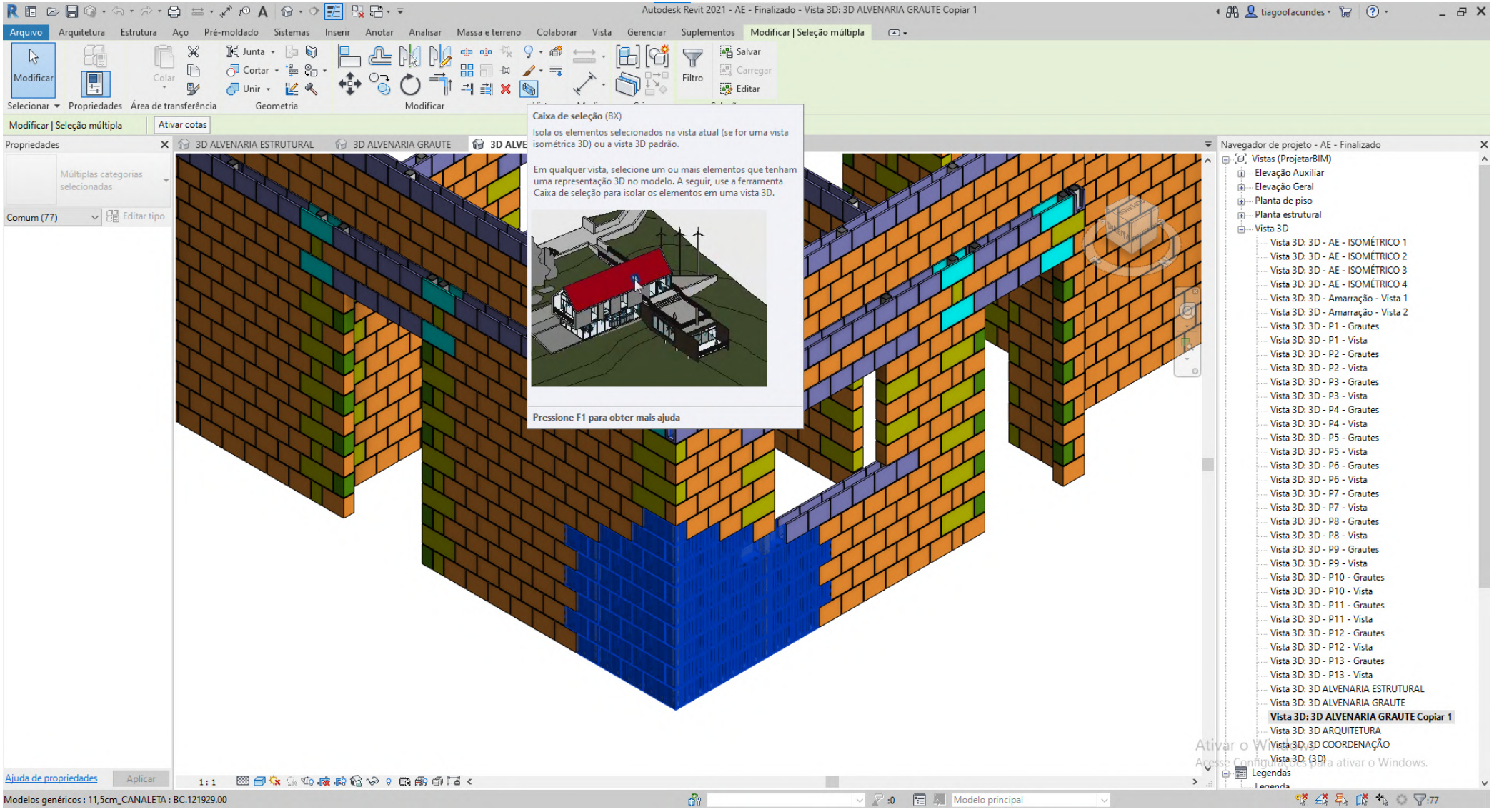
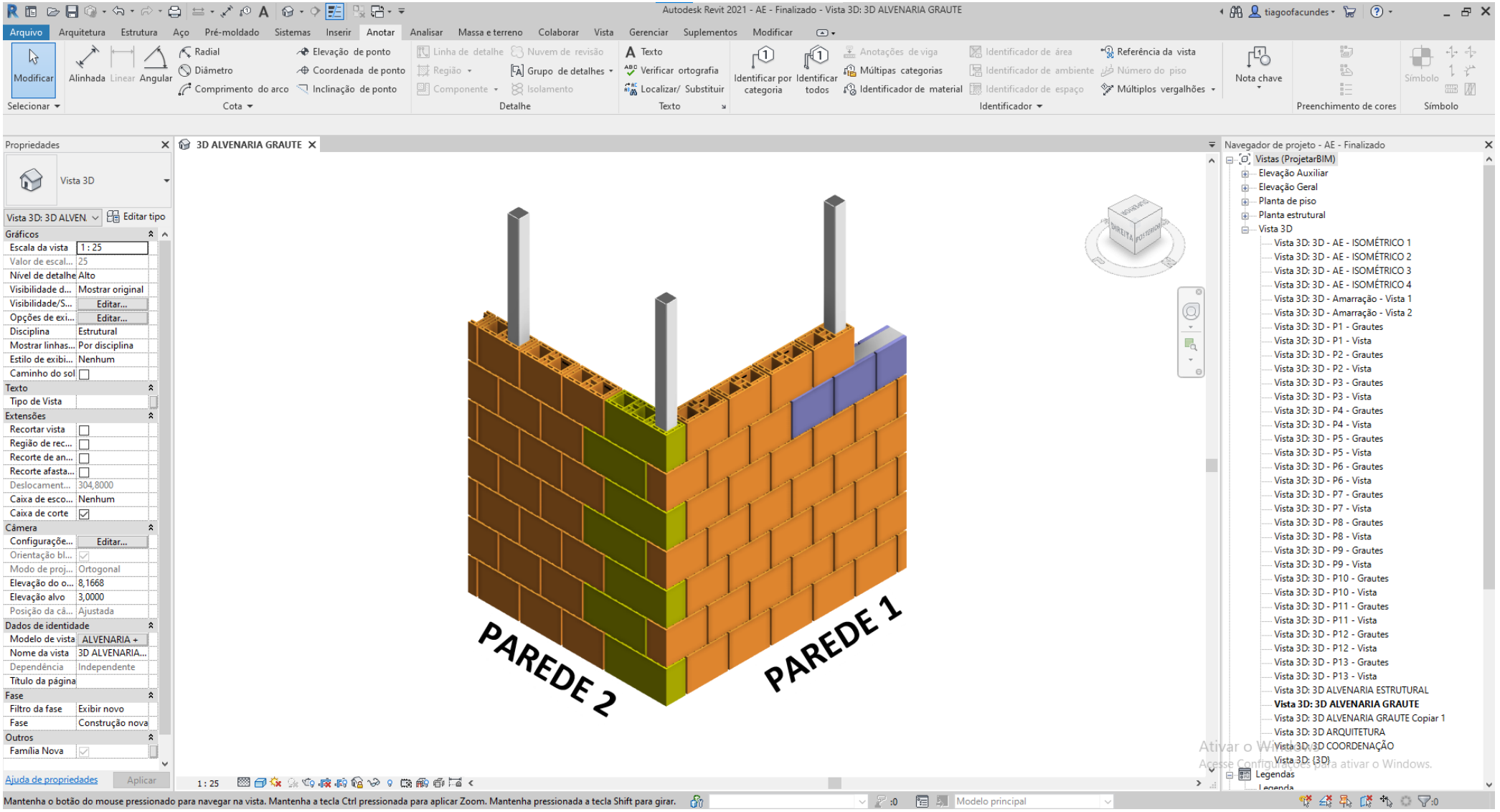


Figura 22 - Caixa de seleção criada, pronta para detalhamento com inserção de setas de identificação e notas de texto



Como podemos ver, a grande vantagem quando projetamos com o Revit, é que podemos realizar os projetos de forma intuitiva, como uma construção virtual, com o ônus da parametrização dos projetos, que reúne informações associadas a cada material utilizado na elaboração do projeto, o que facilita na parte de orçamentos do empreendimento, uma vez que os softwares BIM possuem a possibilidade de geração automática de quantitativos de materiais utilizados para a execução da obra relacionado ao projeto executado.

Levando em consideração a grande evolução da indústria de projetos nos últimos anos, através da forte inclusão do Sistema BIM no processo de concepção de empreendimentos civis, temos hoje a possibilidade de detalhar os projetos realizados a partir de uma plataforma BIM de forma fácil, rápida e acessível, considerando que os detalhamentos podem escalar um modelo de negócio e ainda, desmistificar o sistema construtivo em AE. (GONÇALVES, 2018)

A concepção dos empreendimentos em Revit ainda, permite que o projeto seja visualizado de forma mais realista, facilitando a identificação dos elementos para uma pessoa que ainda não domina os materiais e as técnicas construtivas ou mesmo para a visualização de clientes em geral. Mostrando novamente que o conceito BIM é uma ferramenta que auxilia na boa prática em obra dos funcionários responsáveis pela execução dos serviços na obra, bem como na transparência de projetos quanto aos seus clientes proprietários da edificação. (GONÇALVES, 2018)

Ademais, o projeto em Revit possibilita um planejamento da obra de forma mais detalhada, fazendo com que os riscos de erros construtivos ou retrabalhos sejam, se não eliminados, reduzidos consideravelmente. Isso se dá graças ao detalhamento dos projetos e fácil visualização dos elementos e serviços a serem executados. De forma associada ao detalhamento construtivo, as planilhas geradas a partir dos softwares BIM permitem melhor acompanhamento da construção e maior liberdade quando se trata de mudanças no decorrer de uma obra. Todo o sistema construtivo então passa a ser racionalizado e prevê possíveis erros, o que facilita a condução da obra de forma produtiva e ajuda o engenheiro responsável a tomar as melhores decisões para cada situação.

3.4.2 - Processo de projeto

A princípio foi elaborado o projeto arquitetônico com modulação múltipla de 12,5cm para que todos os blocos sejam posicionados de forma racionalizada, sem que ocorram sobras de medidas nas paredes, evitando ao máximo o uso de blocos compensadores. Com uma arquitetura bem modulada, todo o projeto se desenvolve de forma mais fácil, além de proporcionar a perfeita interação entre as diversas paredes que um projeto compõe. Posteriormente então, executou-se o projeto de AE com utilização da família de blocos de largura 12,5 cm, tendo como bloco padrão as dimensões de 12,5x24x19cm (Largura x Comprimento x altura). A figura 24 demonstra a modulação desenvolvida para o projeto em questão.

Para a elaboração do projeto estrutural, inicia-se com a inserção dos níveis para as diversas camadas de blocos, bem como para os níveis de piso, que podem ser obtidos a partir do projeto arquitetônico. A ferramenta está localizada na barra de propriedades do programa em questão, como mostra a figura 24.

Logo após o desenvolvimento da alvenaria estrutural, foram elaborados os projetos complementares, primeiramente com o hidrossanitário, de forma que as tubulações interagissem com os blocos estruturais de forma independente, ou seja, as tubulações devem ficar externas às paredes, uma vez que facilitamos a manutenção do sistema sem comprometer a parte estrutural da edificação e ainda permite-se a realização de um bom acabamento quando utilizamos shafts para esconder as tubulações. Por último o projeto elétrico, este pode ou não ser realizado com interação dentro dos blocos de alvenaria estrutural, já que a manutenção desse sistema pode ser feita sem criar rasgos nas paredes estruturais.

Figura 23 - Planta baixa arquitetônica modulada.

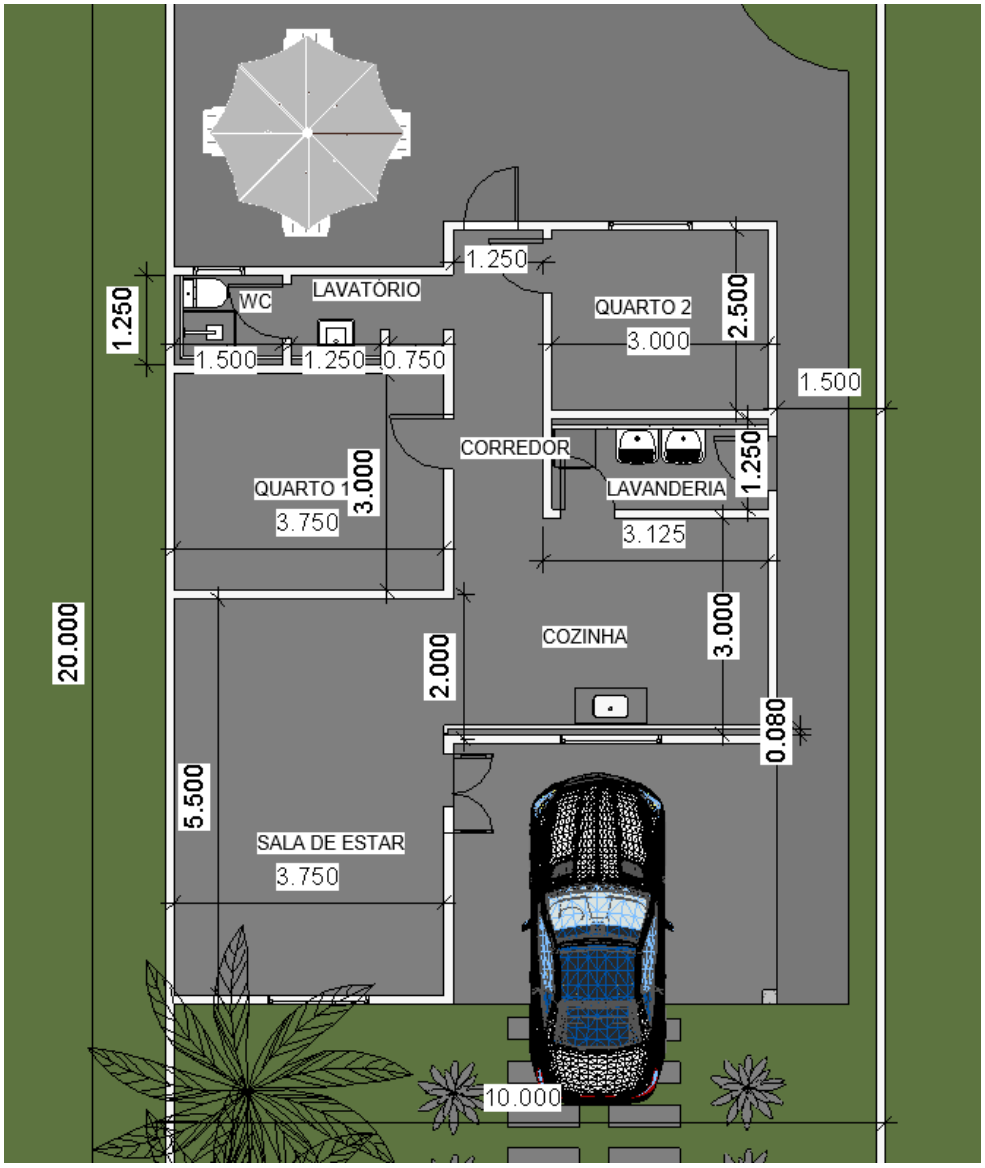
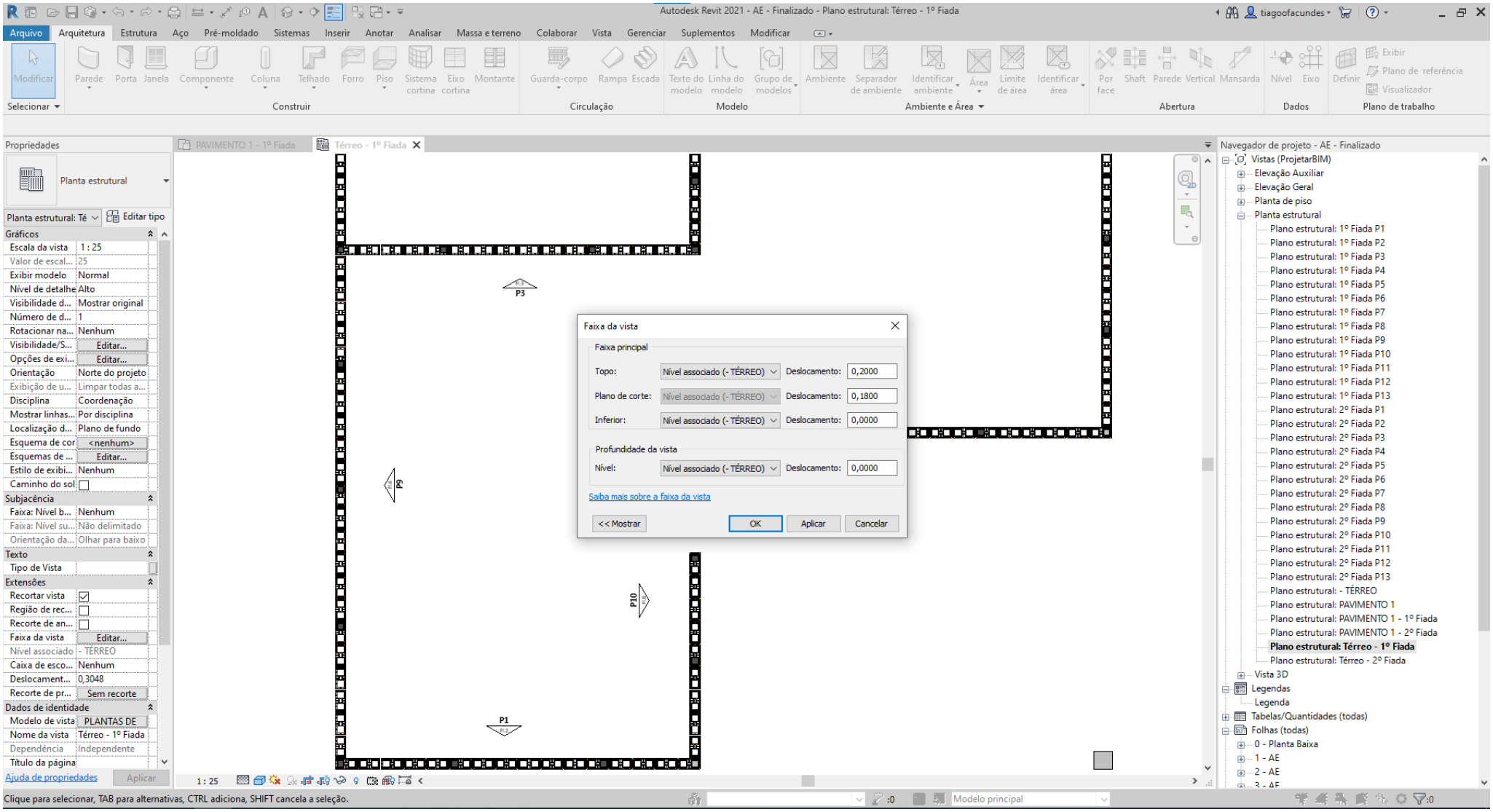


Figura 24 - Ferramenta de faixa de vista no Revit.

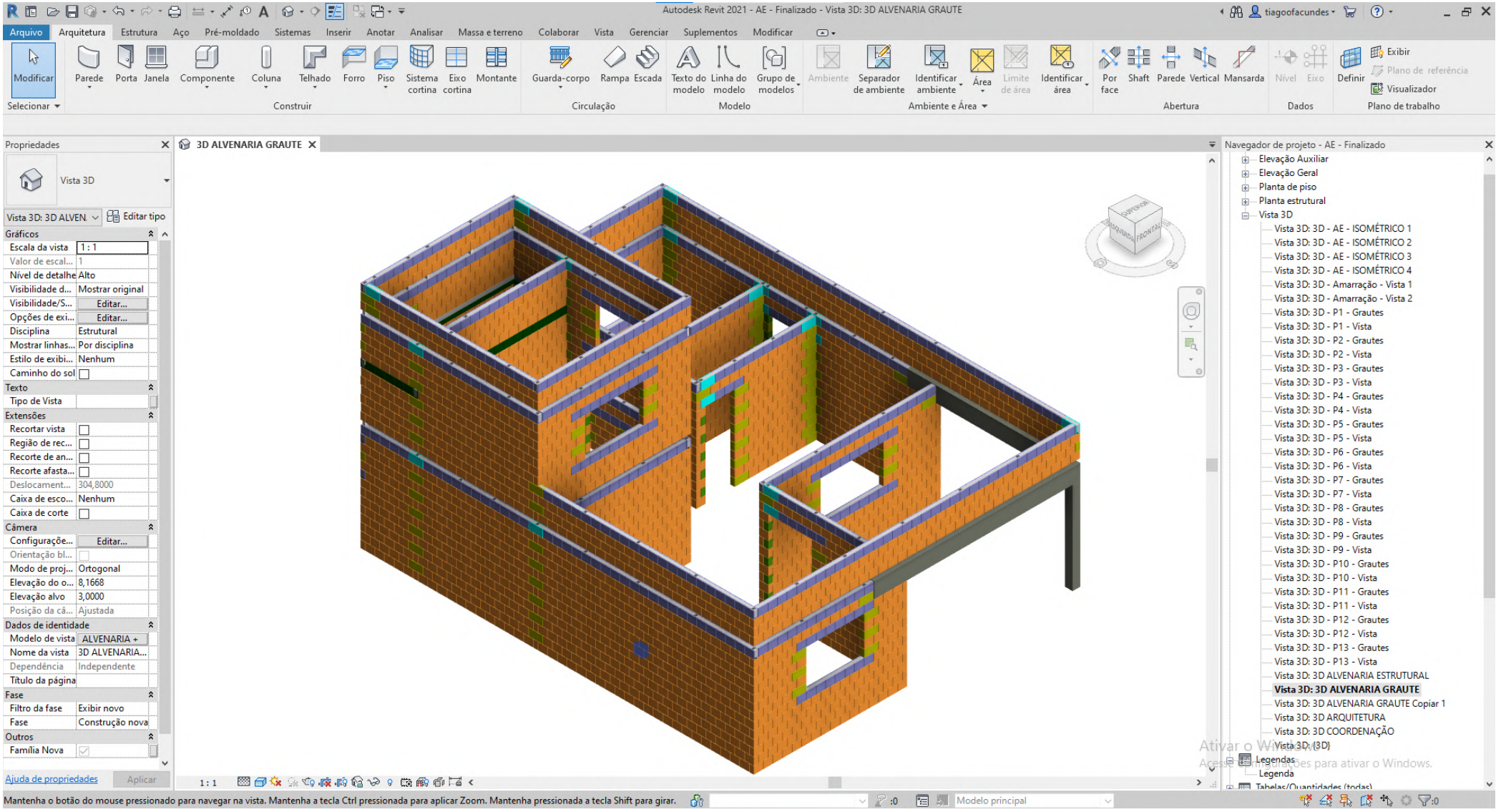


O processo apresentado anteriormente na Figura 24 é repetido para a execução da segunda fiada dos blocos estruturais, assim como para os pavimentos superiores em seus respectivos níveis de piso. É importante ressaltar que a segunda fiada é desenvolvida de forma a intercalar a posição dos blocos com relação à primeira fiada, evitando a ocorrência de juntas-prumo.

As demais fiadas podem ser, simplesmente, uma cópia da primeira e segunda fiada, feitas anteriormente. Com isso têm-se um amontoado de paredes estruturais intertravadas entre si e então, posteriormente é feito todo o processo de abertura das portas e janelas para a inserção de pontos de graute, que é uma espécie de pilar estrutural em concreto armado, vergas e contravergas que possuem como função principal dar resistência às paredes e colaborar com as forças de compressão existentes em uma edificação.

A figura 25 mostra o projeto de alvenaria estrutural já desenvolvido e pronto para receber a compatibilização dos demais projetos que foram desenvolvidos a partir do projeto em AE. Os projetos são compatibilizados através da ferramenta de “Vínculos do Revit”, com ela é possível linkar todos os projetos desejados, sendo possível a visualização tridimensional de todos os projetos interagindo entre si. Com isso então, temos o projeto preparado para a fase de geração da plotagem dos projetos e ainda, a geração dos detalhamentos desejados.

Figura 25 - Vista 3D do projeto de Alvenaria Estrutural



3.4.3 - Apresentação dos Detalhamentos

Neste tópico será apresentado então, toda a lista de detalhamentos explicitadas na metodologia do trabalho, que foi definida previamente, bem como a discussão e análise das respectivas imagens para embasar a ilustração com o intuito de gerar clareza na intenção do detalhamento gerado.

Os detalhamentos tem apelo à produtividade do sistema construtivo em alvenaria estrutural, uma vez que ainda há pouca mão de obra qualificada para essa metodologia construtiva. Portanto, as imagens geradas possuem o intuito de facilitar o entendimento da interação entre os diversos sistemas atribuídos numa edificação para a execução de forma facilitada para uma edificação projetada em AE.

Para os detalhamentos apresentados a seguir, a figura 27 mostra a legenda de identificação dos blocos de alvenaria estrutural. Para cada tipologia de bloco adotou-se uma cor para identificá-lo de forma a evitar possíveis erros na alocação dos blocos estruturais tanto na fase de projeto quanto na fase executiva da obra.

Figura 26 - Legenda para os blocos estruturais

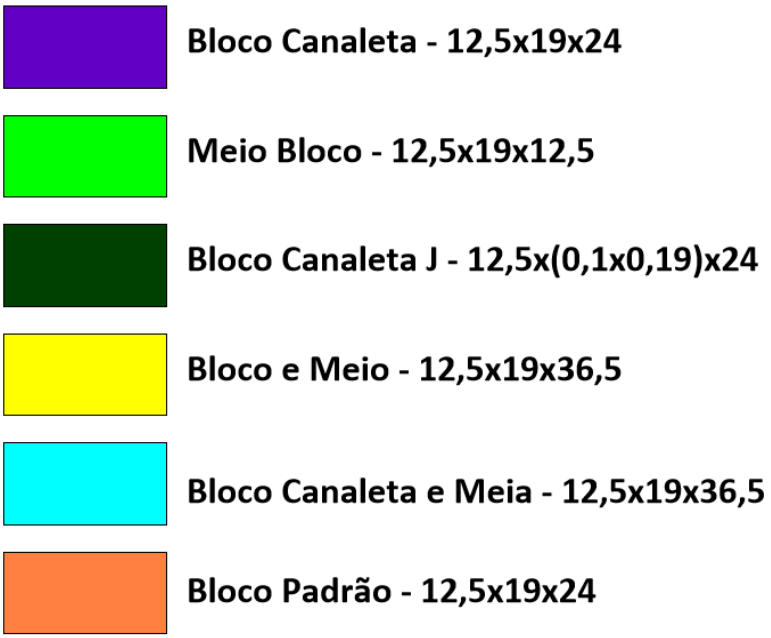
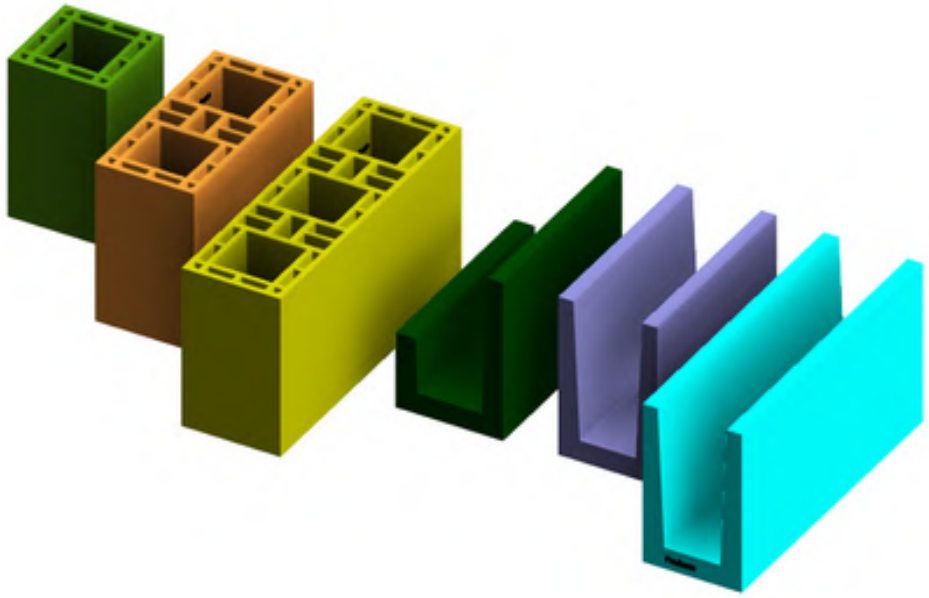


Figura 27 - Identificação dos blocos estruturais



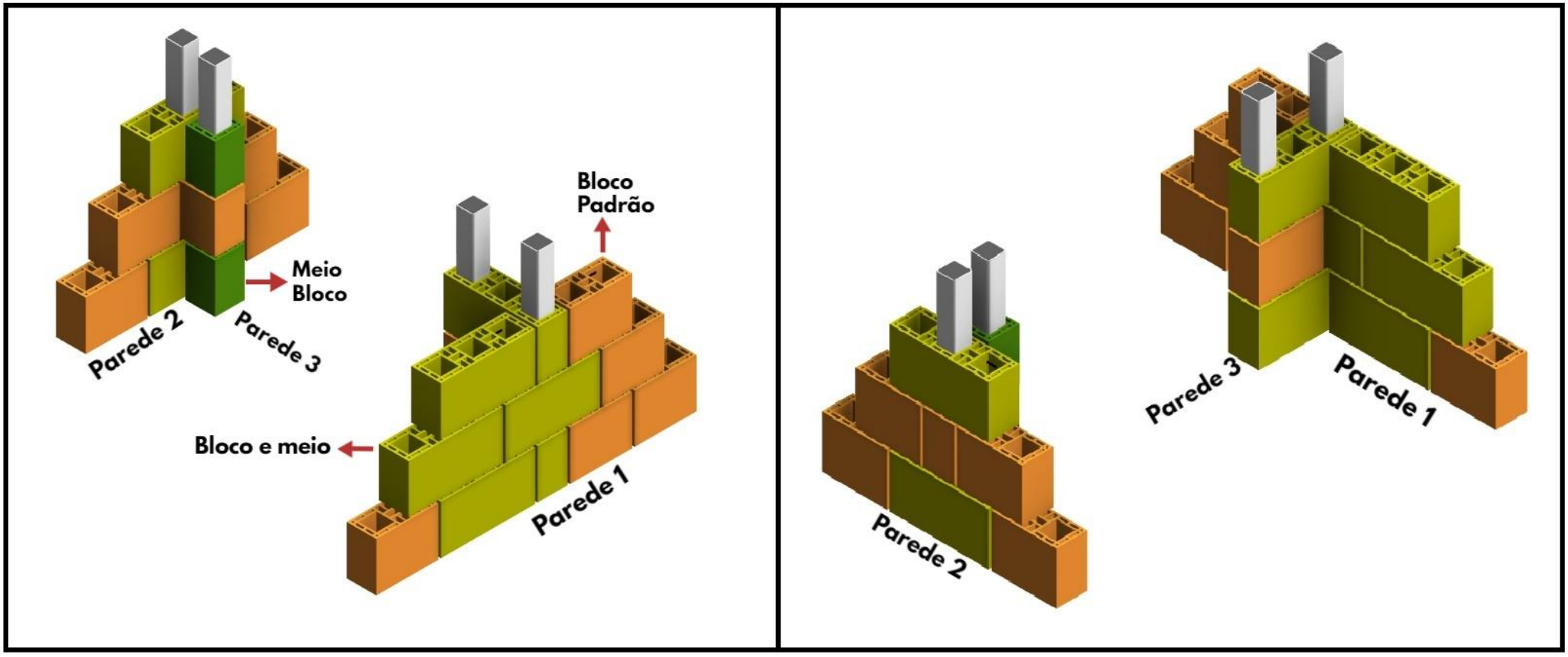
3.4.3.1 - Detalhamento de amarração de paredes

A figura 28 ilustra a interação entre três paredes do projeto de alvenaria estrutural desenvolvido, juntas, elas formam duas interseções em forma de “T”, onde obrigatoriamente devemos utilizar o bloco e meio, com dimensões de 12,5x36,5x19cm (largura x comprimento x altura), para garantir o travamento entre as paredes e fazendo com que as mesmas trabalhem em conjunto.

A interação das paredes entre si possui influência determinante na concepção estrutural quando tratamos do processo de distribuição das ações verticais. Isso ocorre porque o caminho das ações é dependente das interseções de paredes, de forma que haja o máximo de conexão entre elas para permitir que as mesmas trabalhem em conjunto para conduzir as cargas, de forma satisfatória, até a fundação do edifício.

A imagem pode ser executada para todas as interações entre paredes e objetiva evitar o posicionamento errado de algum bloco estrutural na fase executiva do projeto. Com isso podemos deixar mais claro o posicionamento dos blocos estruturais e dos pontos de graute para todas as formas de intertravamento entre as paredes, seja ele em formato de “L”, “Cruz” ou “T”, aumentando a produtividade executiva, já que a visualização em 3D permite um maior entendimento até mesmo para os leigos.

Figura 28 - Vistas 3D da amarração entre 3 paredes do projeto.



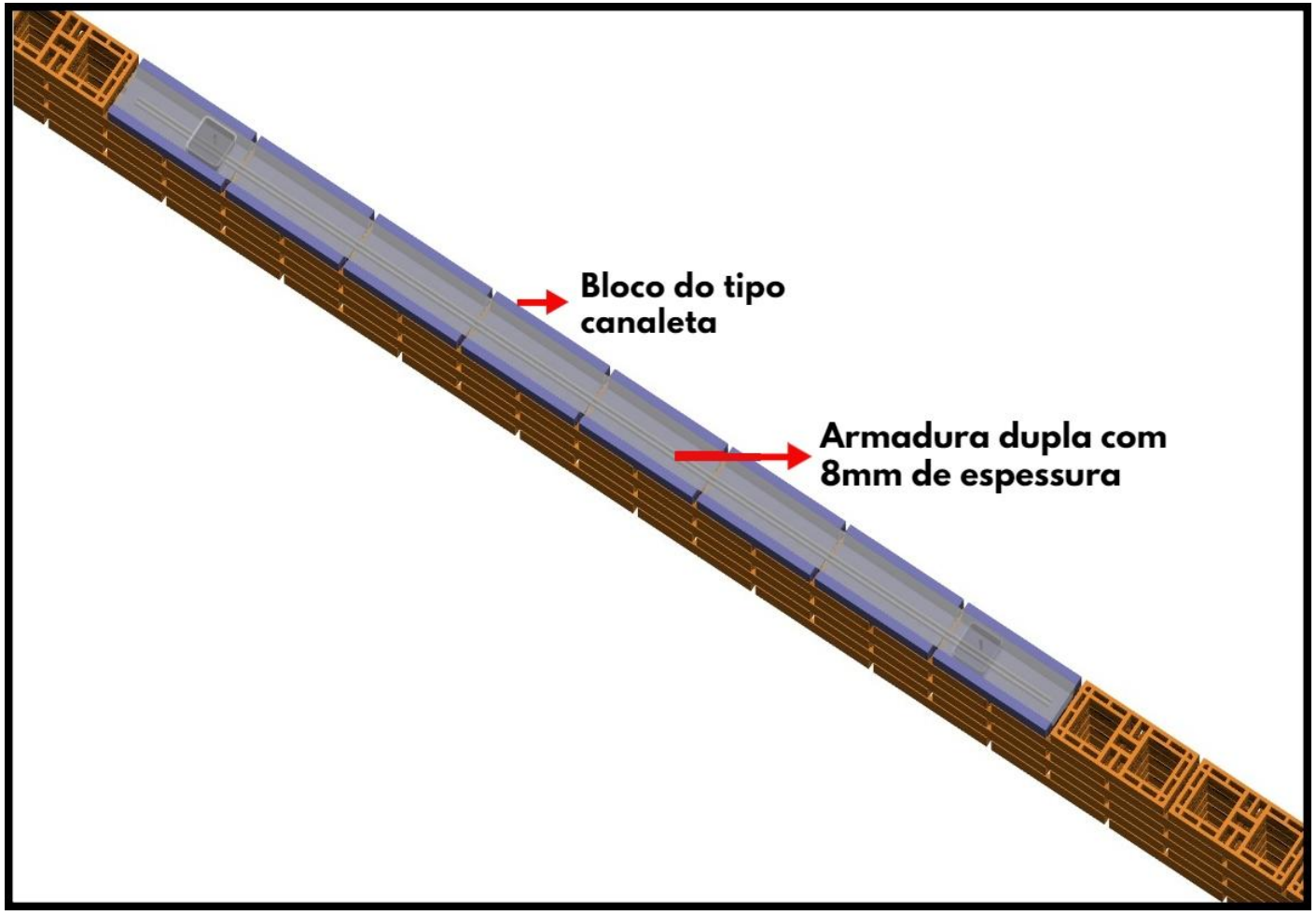
3.4.3.2 - Detalhes de Vergas e contra-vergas com enfoque nas armaduras

As armaduras na alvenaria estrutural, em especial nas vergas e contravergas, são responsáveis por resistir aos esforços de flexão existentes na edificação. Com base nisso, é muito importante que as armaduras estejam bem posicionadas dentro do concreto para que elas cumpram sua função da forma em que foi previamente dimensionada.

A figura 29 explicita como deve estar o posicionamento das armaduras na contraverga de uma janela. Para o trabalho em questão foram utilizados vergalhões duplos de 8 milímetros de espessura para resistir aos esforços de flexão em todas as vergas, contravergas e vigas de cintamento. É importante utilizar espaçadores para as barras de aço em relação às interfaces dos blocos para garantir o recobrimento de acordo com a distância exigida de projeto para a devida proteção do aço, dessa forma, evitando possíveis problemas com a corrosividade das armaduras.

A grande vantagem do sistema construtivo em AE, quando nos tratamos das vergas e contravergas, é a utilização dos blocos tipo canaleta, que serve como uma espécie de fôrma para garantir a geometria desejada da estrutura quando aplica-se o concreto, não sendo necessário então a utilização de carpinteiros numa obra de alvenaria estrutural, diminuindo então um custo de obra e aumentando a produtividade do sistema, uma vez que o processo de fixação dos blocos canaletas é bastante simples e ágil.

Figura 29 - Detalhamento de Vergas com enfoque nas armaduras.



3.4.3.3 - Detalhe da viga de cintamento de alvenaria estrutural

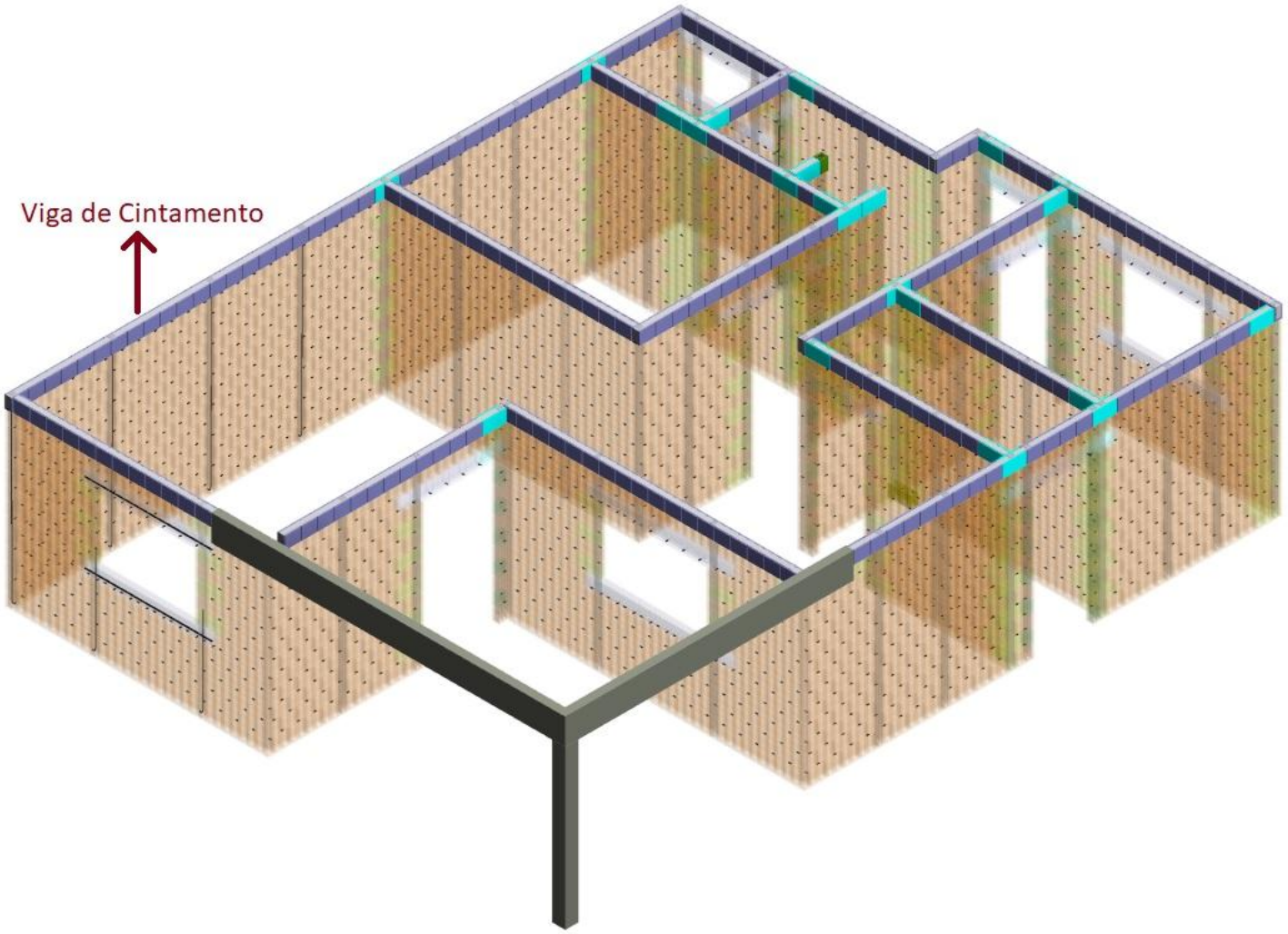
As vigas de cintamento, demonstradas na figura 30, são elementos estruturais utilizados nas edificações que possuem como função principal amarrar as alvenarias, fazendo com que paredes concorrentes possam exercer trabalho solidário entre si, o que confere maior rigidez ao sistema, uma vez que aumenta-se a área resistente das paredes.

As vigas de cintamento são essenciais na execução de um projeto, pois faz parte de um conjunto estrutural responsável por captar as cargas derivadas da laje e transmiti-las para os painéis de alvenaria estrutural, que por sua vez levarão os carregamentos para a infraestrutura do edifício.

Elas devem estar presente em todas as paredes da edificação e são executadas da mesma forma que as vergas e contravergas, com o auxílio dos blocos do tipo canaleta preenchidos de concreto, o que facilita a escala produtiva do processo de execução.

Ressalta-se a importância da presença dos vergalhões no interior dos blocos canaleta de acordo com a exigência de projeto, pois eles irão combater os esforços de tração e flexão presentes na estrutura.

Figura 30 - Detalhamento da viga de cintamento



3.4.3.4 - Interfaces de pilares, vigas e lajes com a alvenaria estrutural

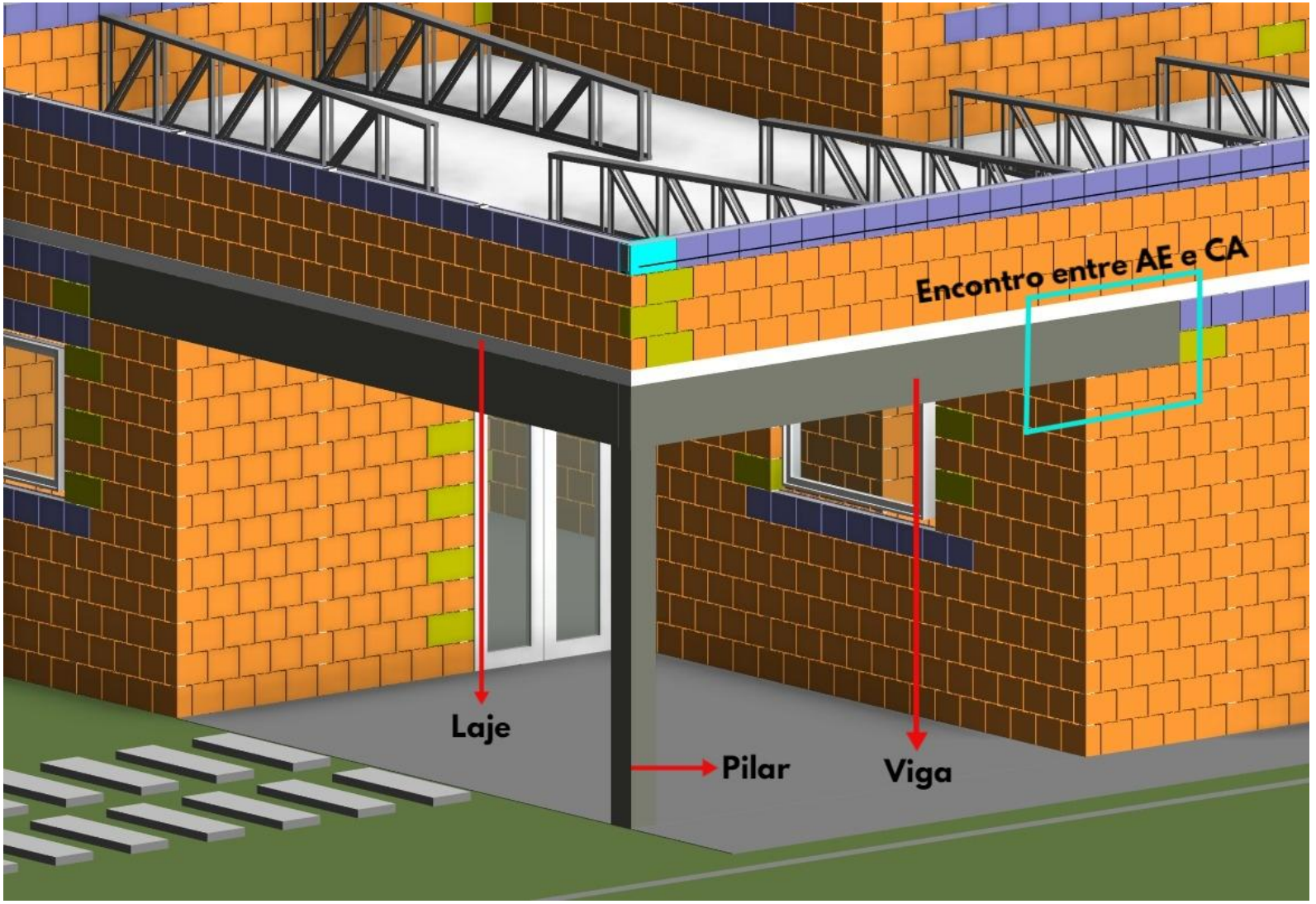
A interação dos sistemas construtivos em alvenaria estrutural e concreto armado podem ser ótimas soluções para os casos que tenham a necessidade calculada e dimensionada para tal. No projeto em questão, foi utilizado uma solução com uso de pilar e viga para a sustentação da cobertura da garagem, já que não se tinha paredes suficientes para resistir às cargas verticais. Situações como essas são bem comuns quando se tratam de obras em alvenaria estrutural, uma vez que a necessidade de grandes vãos na arquitetura são os maiores desafios para a utilização do sistema laminar. Com isso então, têm-se a combinação entre os dois sistemas para suportar as cargas em ambientes que exijam maiores vãos.

É de extrema importância que as estruturas em concreto armado interajam com o sistema em alvenaria estrutural de forma a transferir as cargas entre os variados sistemas. Na prática, precisamos que as lajes distribuam seus esforços para as vigas de cintamento e as vigas, por sua vez, descarreguem seus esforços sobre pilares e/ou paredes.

A conexão de vigas com paredes estruturais deve ser de forma que as vigas adentrem nas paredes e apoie nelas para transferir os esforços solicitantes. Para o projeto em questão foi adotado uma medida de 60 centímetros, ou o equivalente a três blocos, para o apoio das vigas nas paredes, como mostra a figura 31.

Outra particularidade para a combinação dos sistemas em concreto armado e alvenaria estrutural está associado às dimensões de projeto para a execução dos pilares e vigas, pois caso as peças estruturais tenham capacidade de se encaixarem nas paredes estruturais de forma modular, têm-se um trabalho com apelo mais produtivo. No caso do projeto em questão as vigas possuem dimensões moduladas de 12,5x40cm (base x altura), ou o equivalente a dois blocos estruturais empilhados. Isso faz com que haja o perfeito encaixe entre os dois sistemas e evita processos improdutivos, como por exemplo a quebra de blocos estruturais para preencher vazios verticais.

Figura 31 - Detalhe da interação entre AE e Concreto Armado



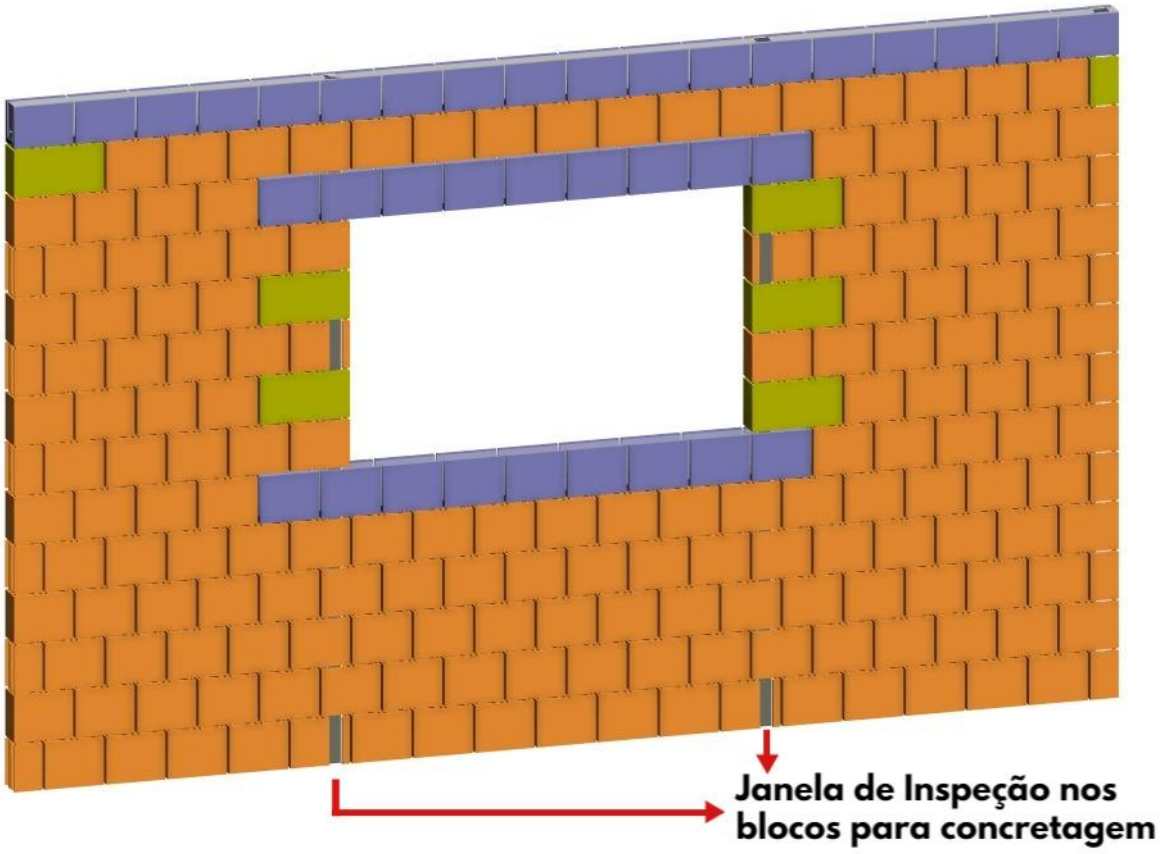
3.4.3.5 - Pontos de inspeção na execução de pontos de graute (1ª e 9ª fiada)

Os pontos de inspeção na execução dos pontos de graute são pequenas janelas abertas nos blocos estruturais, na 1ª e 9ª fiada, com o intuito de investigar a efetividade da concretagem para garantir que o concreto está preenchendo por inteiro o espaço desejado. Os espaços são formados a partir dos furos verticais nos blocos estruturais, quando posicionados de forma alternada, os blocos estruturais formam uma espécie de forma para receber o concreto.

É muito importante detalhar este passo construtivo e levá-lo para a obra, pois deve-se sempre garantir a qualidade da concretagem para evitar que pontos de graute sejam mal executados, já que é algo que pode comprometer a resistência e qualidade da parte estrutural de uma edificação, uma vez que as cargas não seriam transmitidas para as fundações da forma em que foi projetada.

A figura 32 demonstra como pode ser feita a execução das janelas de inspeção nos pontos de graute para o momento da concretagem. O rasgo pode ser feito com o auxílio de ferramentas cortantes presentes na construção, como por exemplo maquitas. É importante ressaltar que a seção de corte não deve ser maior do que a face do ponto de graute, uma vez que a intenção da janela é verificar a concretagem da peça sem causar problemas construtivos.

Figura 32 - Detalhe das janelas de inspeção para concretagem de blocos estruturais



3.4.3.6 - Pontos elétricos/lógica embutidas ou não embutidas

Os pontos elétricos, quando trata-se de alvenaria estrutural, têm uma boa interação entre os dois sistemas, já que os furos verticais dos blocos estruturais permitem a alocação de eletrodutos e podem servir de passagem para os fios elétricos. Outra opção também seria deixar os eletrodutos expostos, faceando as paredes, sendo esta uma forma fácil de fazer manutenções quando necessário. Muitos contestam esta forma de executar as tubulações elétricas por conta do acabamento estético, no entanto, atualmente existem eletrodutos com materiais mais sofisticados que permitem um ótimo acabamento, como por exemplo os eletrodutos de aço galvanizado.

Para o sistema elétrico embutido nos blocos estruturais, deve-se atentar para a necessidade de rasgos nas paredes estruturais, já que é algo pouco tolerado e por isso a importância de ter todos os projetos bem compatibilizados, já que evita erros no processo executivo. Para evitar isto então, deve-se optar preferencialmente por caminhos verticais ao invés de caminhos horizontais, dessa forma aproveita-se dos furos verticais para a passagem dos eletrodutos e não há a necessidade de criar rasgos que comprometam a resistência da estrutura. Outro benefício também seria o aumento da produtividade e redução de geração de resíduos sólidos, já que rasgos nas paredes são consideravelmente pouco produtivos e geram acúmulo de resíduos, algo que aumenta a poluição ambiental e ainda gera custos adicionais de recolhimento de entulhos desnecessariamente.

A figura 33 mostra o detalhamento para instalações elétricas embutidas na alvenaria, evidenciando a entrada dos eletrodutos na viga de cintamento. A figura 34, por sua vez, foca no detalhamento dos eletrodutos externos à alvenaria estrutural, uma metodologia que possui mais facilidade na manutenção do sistema elétrico sem prejudicar a estrutura.

Figura 33 - Detalhamento para instalações embutidas na alvenaria

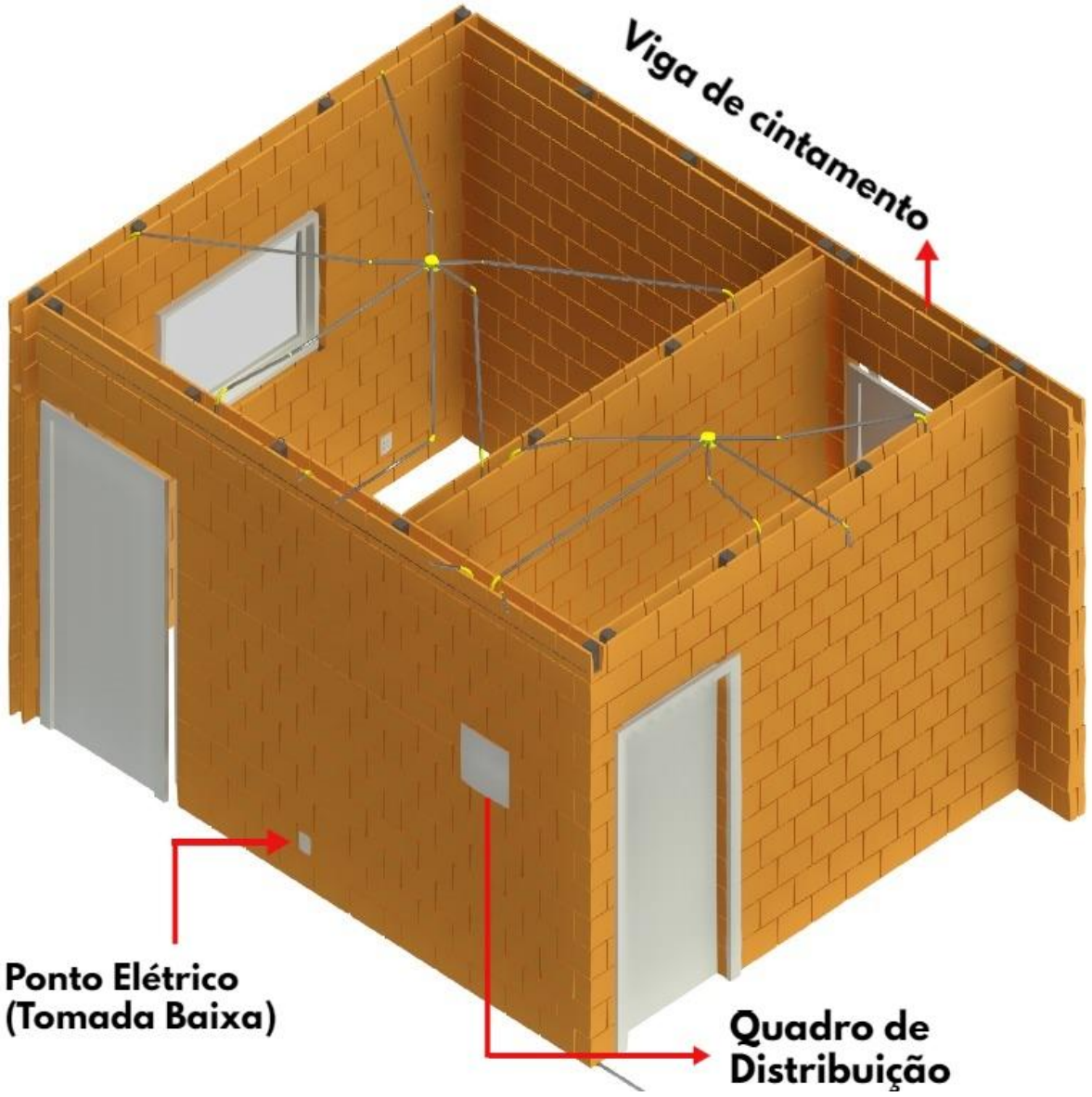


Figura 34 - Detalhamento para instalações elétricas não embutidas na alvenaria



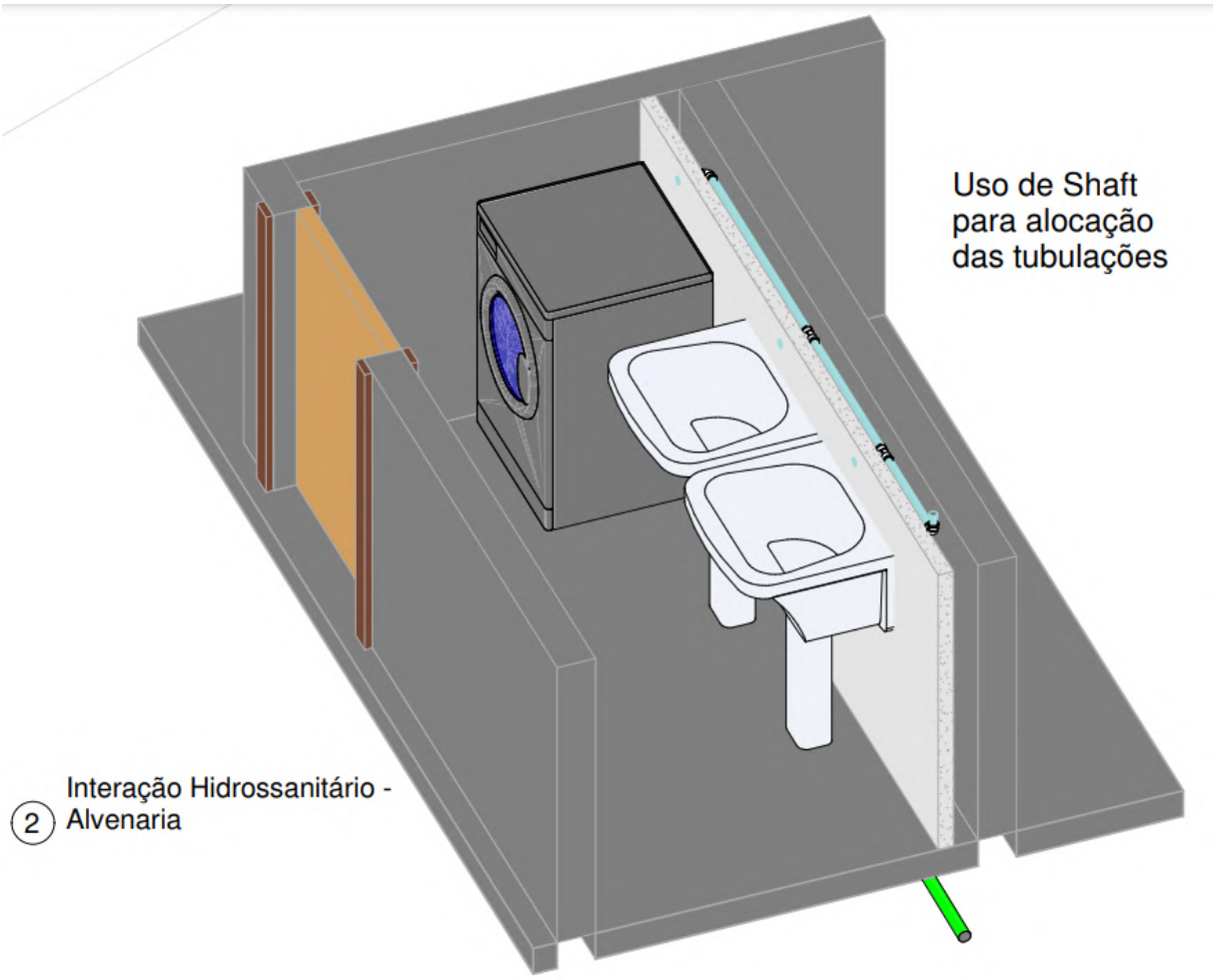
3.4.3.7 - Instalações com fluidos e uso de shafts e interação com AE

As instalações com fluidos ou instalações hidrossanitárias, são desenvolvidas e executadas na alvenaria estrutural de forma independentes à estrutura, ou seja, não se deve criar tubulações hidráulicas no interior das paredes estruturais. Isto porque qualquer problema que possa acontecer nas tubulações, ou mesmo manutenções periódicas, podem comprometer a parte estrutural da edificação, já que para ser acesso às tubulações seria preciso rasgar as paredes de forma indesejada.

O problema deste método utilizado é que as tubulações aparentes não são muito agradáveis aos olhos esteticamente falando. No entanto, para resolver este problema, pode-se utilizar de shafts para realizar o acabamento estético desejado, escondendo as tubulações sem comprometer a resistência das paredes estruturais.

Basicamente, o shaft é a criação de uma abertura vertical composta por uma parede de gesso acartonado, ou outra de acordo com o projeto, para a passagem de tubulação das construções. O shaft tem o objetivo de esconder todas as tubulações, facilitando o trabalho de manutenção periódica e dando acabamento ao ambiente em que está localizado. A figura 35 demonstra como é o detalhamento e uso do shaft combinado ao sistema de alvenaria estrutural.

Figura 35 - Detalhamento do uso de shaft para esconder tubulações hidrossanitárias



3.4.3.8 - Evidenciar o uso de sistemas PEX nas instalações de água fria

O inovador sistema de tubulações hidráulicas para edificações em geral, denominado sistema PEX (Polietileno reticulado flexível), utilizado para substituir as tradicionais tubulações em PVC (Policloreto de vinil) e realizar a condução de água fria e quente, também pode-se conduzir gases convencionais para o uso de cozinha, por exemplo.

A grande vantagem associada ao sistema PEX está ligado à flexibilidade das tubulações para a realização de um projeto hidráulico, uma vez que se reduz consideravelmente a utilização de conectores hidráulicos e com isso se torna um processo mais simples e produtivo de executá-lo. Ainda, com a redução dos conectores hidráulicos, têm-se uma menor probabilidade de patologias associadas ao sistema de distribuição de fluidos, uma vez que os conectores são a parte crítica das tubulações.

Ao contrário do que parece, as tubulações flexíveis possuem alta resistência à temperatura e pressão, podendo ser tranquilamente utilizadas para os diversos tipos de edificação. O material PEX em geral possui vida útil de 50 anos, o que garante a qualidade do sistema.

Com todo o apêlo produtivo que este sistema possui, pode ser facilmente combinado ao sistema de alvenaria estrutural para que se tenha uma obra ainda mais produtiva e com garantia de qualidade.

A figura 36 exemplifica a utilização do sistema PEX evidenciando a flexibilidade das tubulações utilizadas, possuindo foco na produtividade de todo o sistema, bem como na qualidade e melhoria das pressões hidráulicas, uma vez que o sistema reduz significativamente a quantidade de conectores nas tubulações e com isso há um ganho de pressão hidráulica. A imagem não foi elaborada a partir do software REVIT 2021 (AUTODESK, 2021), porém, o sistema PEX surge como uma possibilidade para os sistemas hidráulicos adotados no trabalho.

Figura 36 - Utilização do sistema PEX para transmissão de água quente e fria



Fonte: Sergio El Beck

3.4.3.9 - Entorno de esquadrias (seção de pingadeiras, peitoris etc)

As esquadrias, num sistema de alvenaria estrutural, funcionam basicamente da mesma forma que em outros modelos construtivos, porém, com uma racionalização mais presente. Isso ocorre por conta da modulação arquitetônica que adotamos, com isso têm-se que as aberturas são medidas são igualmente modulares. Com a racionalização do processo construtivo, não tolera-se quebra de blocos ou quaisquer rasgos para a execução das esquadrias.

Para o projeto em questão, adotou-se peitoris com medidas de 1,20 metro, ou seja, um total de cinco fiadas para as janelas dos ambientes internos, com exceção do banheiro, que conta com um peitoril de 1,80 metros.

É muito importante a utilização de pingadeiras nas aberturas de janelas em todos os sistemas construtivos, pois elas são elementos de acabamento e servem de proteção das paredes, já que evitam o contato com a água. No caso da alvenaria estrutural deve-se atentar ainda mais a este quesito, uma vez que as paredes são a própria estrutura da edificação e não devem possuir contato direto com a água, o que poderia ocasionar a deterioração da alvenaria por conta do acúmulo de água indesejado. As figuras 37 e 38 buscam evidenciar o detalhamento no entorno das esquadrias para garantir a proteção necessária que os painéis de alvenaria exigem.

Figura 37 - Detalhamento 3D de esquadria (Janela) e interação com AE

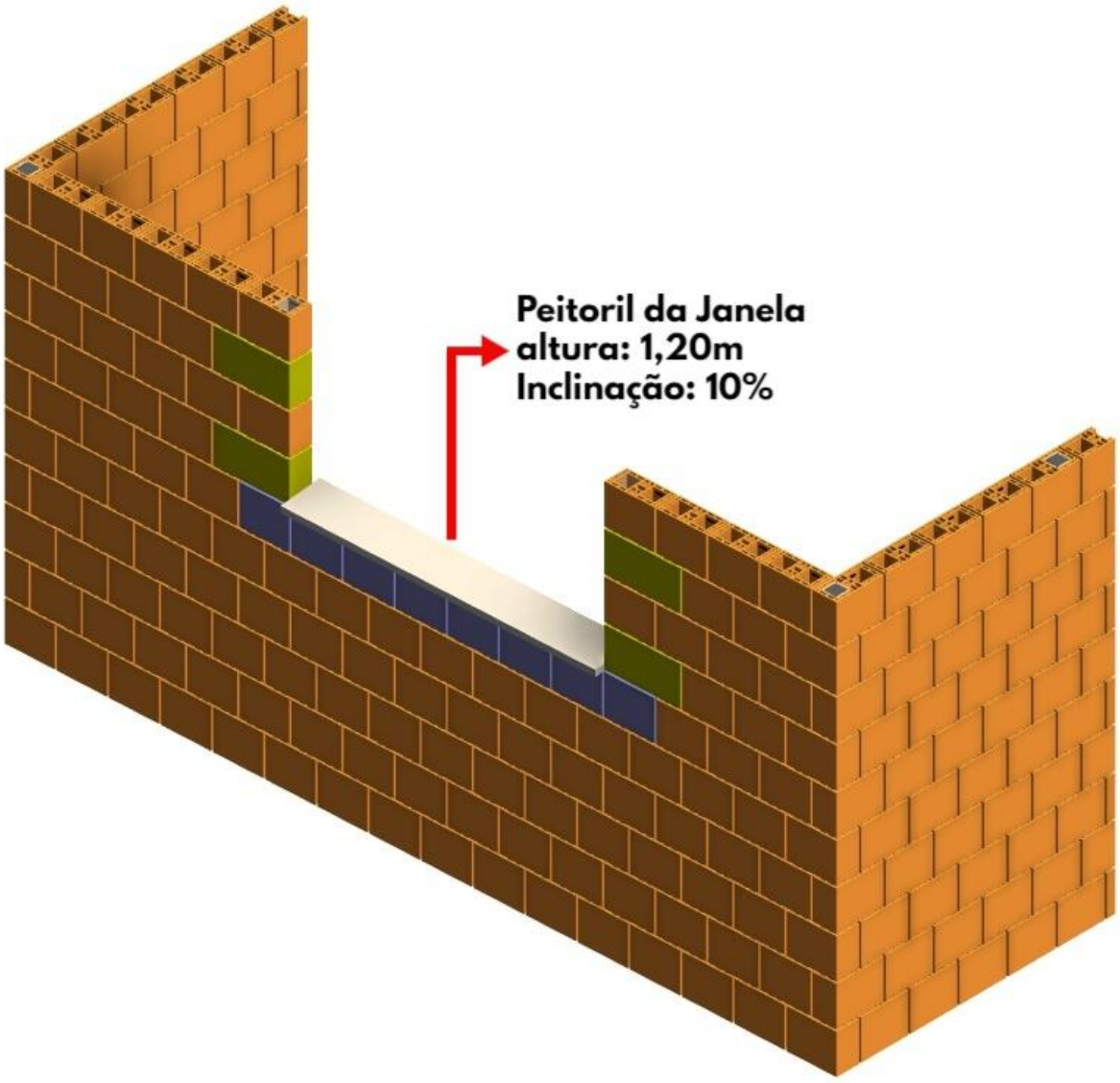
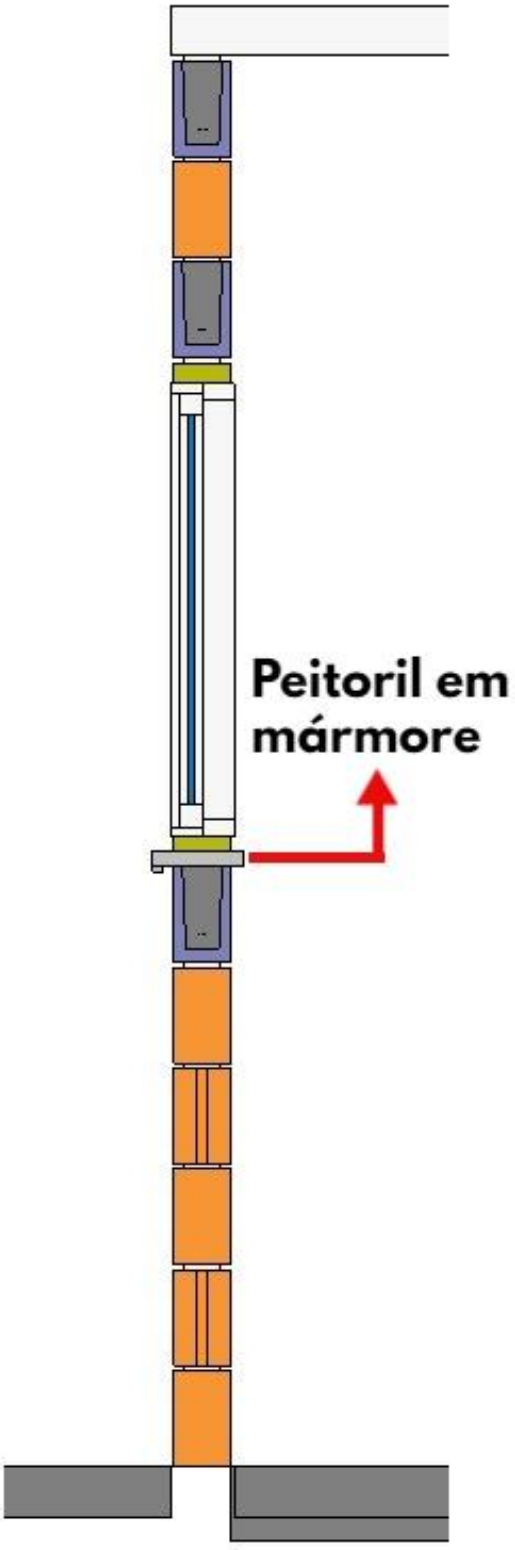


Figura 38 - Detalhamento em corte da interação esquadria com AE



3.4.3.10 - Interface AE com revestimentos internos e externos

Os painéis de alvenaria estrutural, apesar de serem elementos estruturais, também podem e devem ser revestidos. O revestimento é importante porque se trata de uma camada de proteção para a parte estrutural e dá o acabamento necessário conforme projeto arquitetônico.

Para combinar ao sistema de alvenaria estrutural, busca-se optar então pelos métodos que proporcionam maior praticidade ao sistema, com redução de custos e aumento na agilidade executiva, sem que perca a qualidade e segurança envolvida nos projetos.

Uma das opções para revestimento das paredes de alvenaria estrutural é a utilização de camada única, como detalhado na figura 39.

Figura 39 - Detalhamento para revestimento de camadas única.



Fonte: BIM Expert
https://stobrasil.com.br/blog/2017/09/10/construcoes-com-alvenaria-estrutural-ganham-novas-opcoes-de-revestimentos/

No passo 1 se utiliza de um chapisco industrial rolado, o qual garante maior produtividade ao sistema e não gera tantos desperdícios se comparado ao sistema tradicional de chapisco lançado aos painéis de vedação.

No passo 2 é utilizado uma tela de reforço em material metálico, ferramenta esta usada para combater esforços de tração e flexão presentes no revestimento e garante a qualidade do sistema de revestimento sem a ocorrência de fissuras decorrentes das dilatações térmicas. Em cidades como Palmas-TO, é muito importante a utilização de sistemas como este para evitar tais problemas, visto que é uma cidade de alta volatilidade térmica e consequentemente, causa mais problemas derivados da variação de temperatura.

No passo 3 há a presença de uma argamassa orgânica colorida que reveste e ao mesmo tempo decora, funcionando como 2 em 1, sem a necessidade de realizar pintura sobre o revestimento.

Por último, no passo 4, é adotado uma camada de material repelente à água, garantindo estanqueidade e qualidade visual ao sistema de revestimentos internos ou externos.

A redução de etapas, além de reduzir o custo de insumos para a realização do revestimento, garante a produtividade que o sistema em alvenaria estrutural exige, com alta racionalização do processo, evitando acúmulo de resíduos e desperdícios e agilizando o processo executivo.

3.4.3.11 - Zona de transição das paredes com a laje de cobertura evidenciando a junta de movimentação

O detalhamento da zona de transição das paredes com a laje de cobertura é muito importante ser desenvolvido, pois deve-se deixar claro para o encarregado da parte executiva da obra que os elementos estruturais de paredes e lajes devem trabalhar de forma independente. Isso ocorre porque se tratam de materiais diferentes, logo possuem módulos de elasticidade também diferentes e consequentemente suas dilatações térmicas não são compatíveis. Então por isso deve-se executar uma junta de dilatação entre os dois elementos estruturais para que possam dilatar sem a ocorrência de trincas ou até mesmo rachaduras nos elementos estruturais.

Este é um detalhamento muito importante com apelo preventivo, com o intuito de pré-visualizar possíveis erros na execução da obra e evitá-los. O detalhamento pode garantir que uma obra não tenha atrasos, retrabalhos e custos adicionais por falta de clareza no projeto estrutural do empreendimento, em especial por conta da falta ou má execução da junta de movimentação. As figuras 40 e 41 mostram a interação da laje com o sistema construtivo em AE, incluindo a presença de uma viga de concreto armado, no qual está apoiada há uma distância de 60 centímetros ou o equivalente a 3 (três) blocos estruturais do tamanho padrão no painel de alvenaria.

Figura 40 - Interação Laje x AE e a presença de uma viga em Concreto Armado

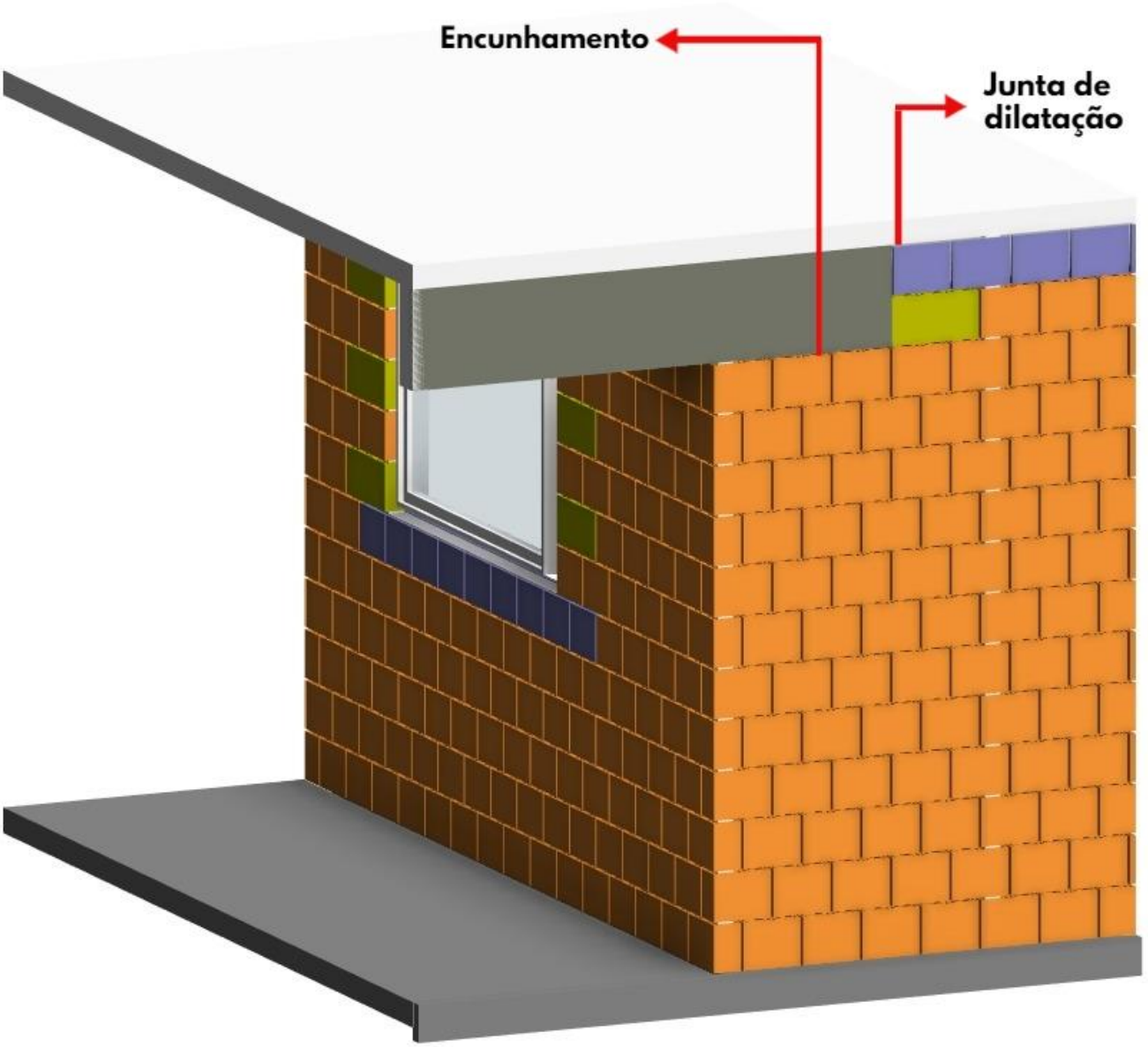
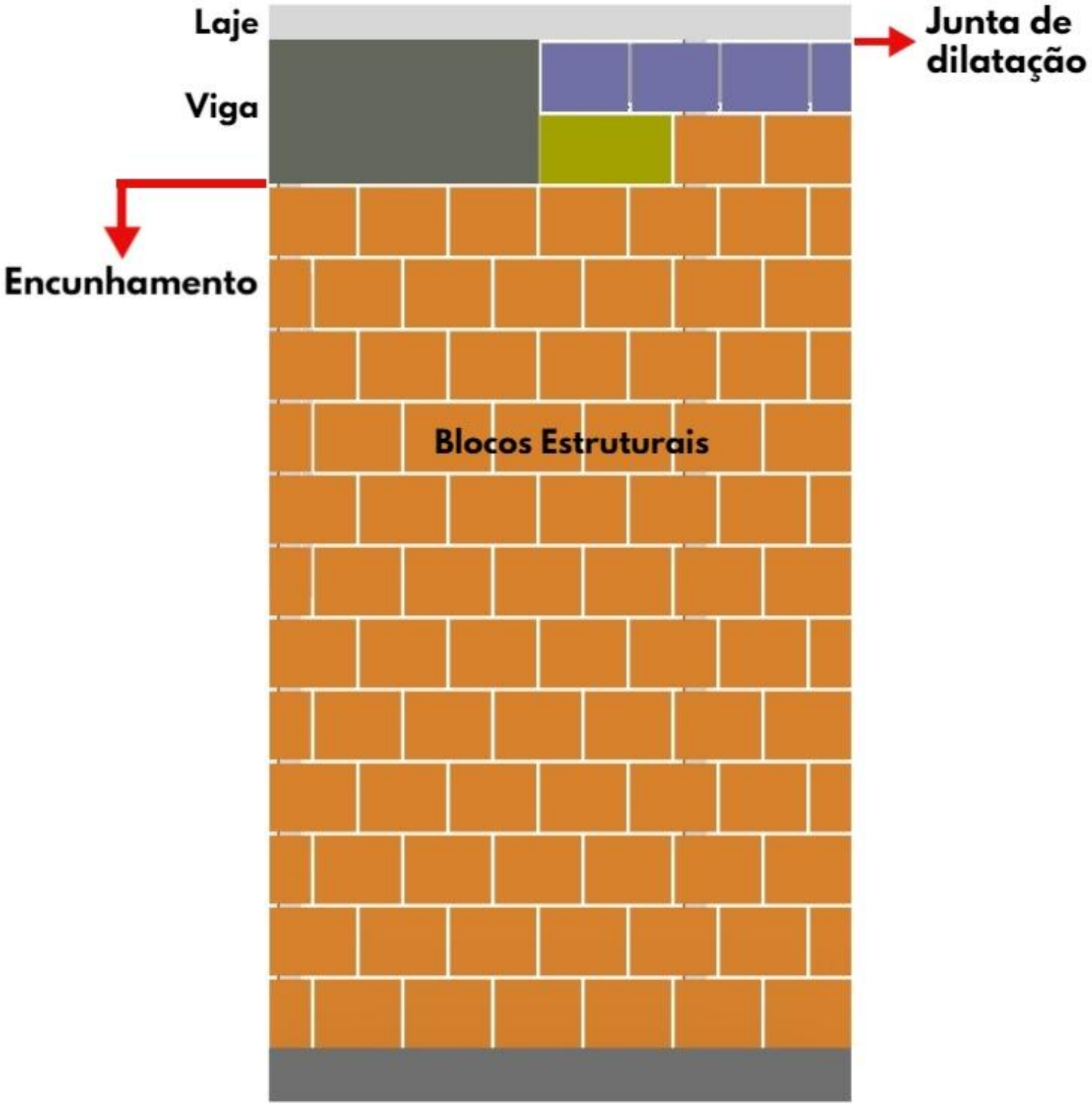


Figura 41 - Interação Laje x AE detalhamento em corte



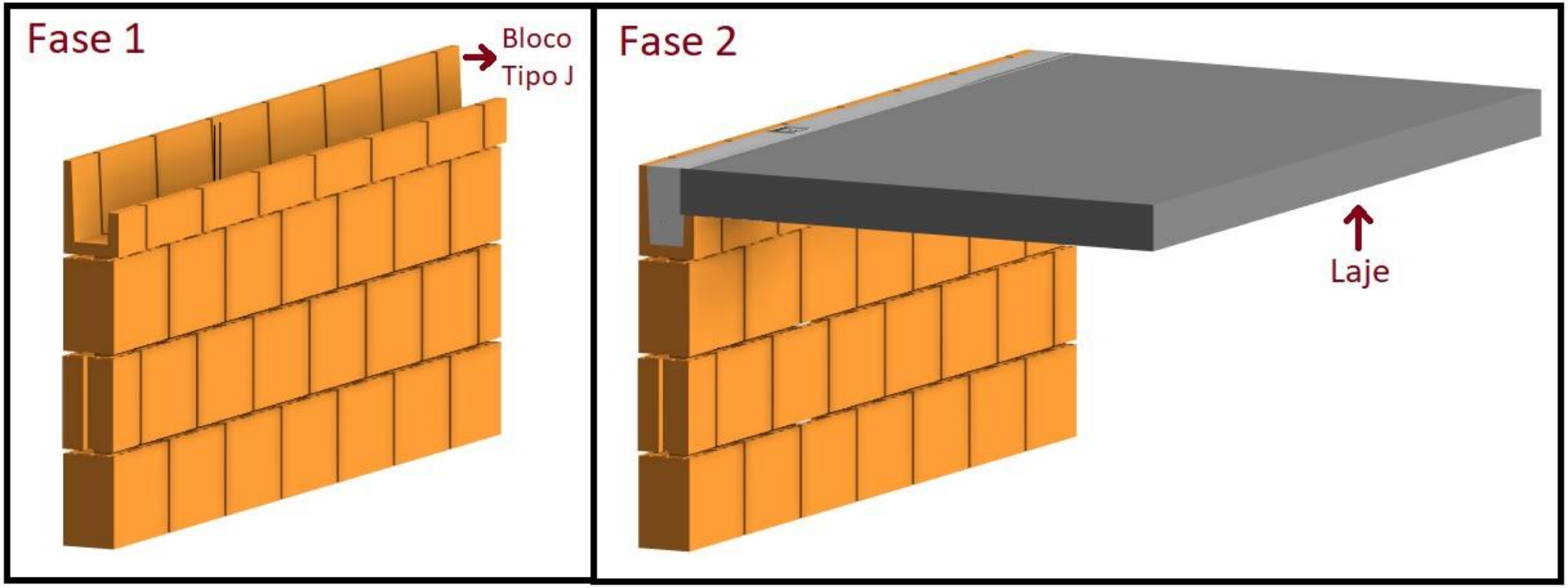
3.4.3.12 - Detalhamento de utilização do bloco tipo canaleta J e sua interação com a laje

O bloco tipo canaleta em formato “J” é um dos blocos e metodologias interessantes para o apoio de lajes. No projeto em questão foi utilizado esta metodologia para o suporte de caixa d’água a fim de exemplificar a funcionalidade do bloco. A figura 42 demonstra o funcionamento deste tipo de bloco, com as seguintes fases:

1 - Na primeira fase, o bloco está simplesmente alocado na parede, preparado para receber a concretagem da viga de cintamento e da laje.

2 - Na segunda fase, por sua vez, o bloco canaleta tipo “J” já encontra-se concretado com a presença da laje de apoio da caixa d’água, bem como a viga de cintamento.

Figura 42 - Interação e funcionamento do bloco tipo canaleta “J”



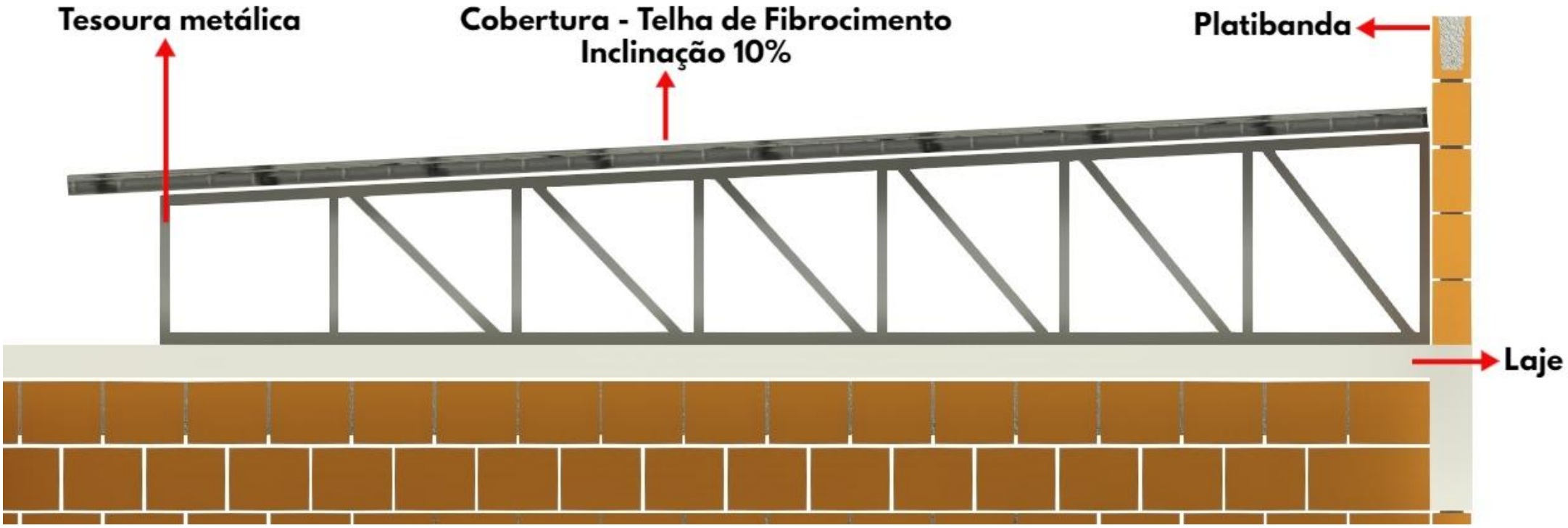
3.4.3.13 - Interação platibanda/oitões com laje de cobertura

A cobertura adotada para o trabalho em questão utiliza estrutura de tesouras metálicas e a vedação em telhas de fibrocimento. As tesouras metálicas interagem com a laje de cobertura de forma simplesmente apoiada, como mostra a figura 43.
As cargas da cobertura serão distribuídas para as paredes estruturais, que por sua vez, irão descarregar sobre as fundações.

Uma das vantagens desse sistema de cobertura é a produtividade que se tem, já que o processo executivo trata-se de uma montagem simples dos elementos da cobertura. Tal característica combina muito com o modelo construtivo em AE, já que a produtividade é algo muito importante para o sistema.

Para vencer o desafio do isolamento térmico, recomenda-se o uso de telhas do tipo "sanduichadas" com material poliuretano para dificultar a passagem de calor para a edificação. Este tipo de telha é bastante recomendado para cidades com alta volatilidade térmica, como é a cidade de Palmas-TO.

Figura 43 - Detalhamento em corte para execução de cobertura em estrutura de material metálico



3.4.3.14 - Interação platibanda com volume dos reservatórios

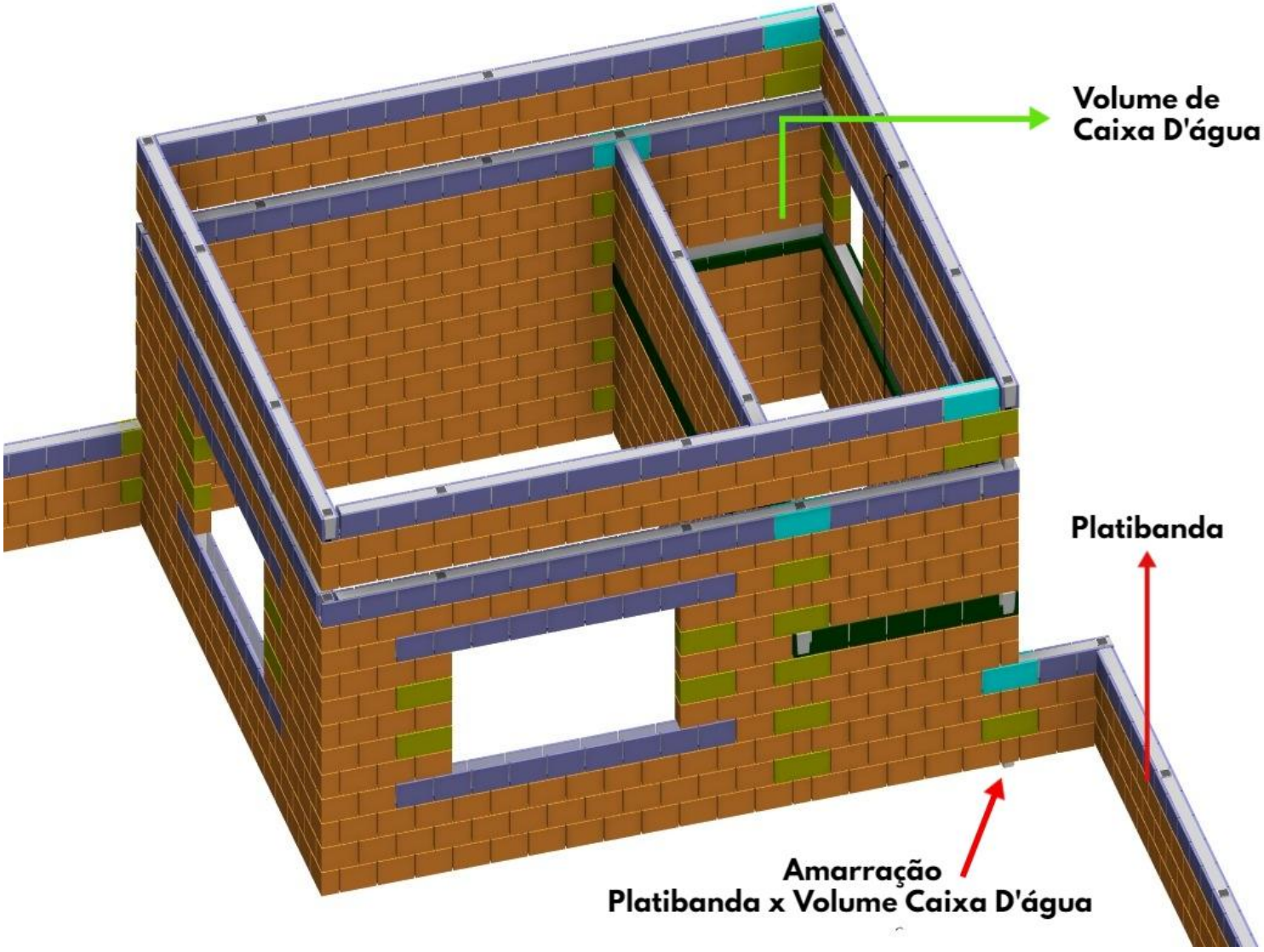
A caixa d'água é algo que ocupa bastante espaço e exige alta rigidez nas paredes que a suportam.

Para o aumento da rigidez, pode-se aumentar a quantidade de pontos de graute utilizado para a sustentação da laje da caixa d'água.

A interação da platibanda com as paredes da caixa d'água se dá de forma bem simples a partir do momento em que o projeto arquitetônico está completamente modulado. A utilização dos blocos de 24cm de comprimento alternados com os blocos de 36,5cm permitem o perfeito alinhamento e com isso tem-se a amarração dos blocos estruturais. Posteriormente é executado os pontos de graute nos nos encontros de platibandas e paredes da caixa d'água para o aumento de rigidez.

Para o projeto em questão, a volumetria de caixa d'água acompanha a volumetria do segundo pavimento de um dos quartos da edificação, ficando ainda mais robusta, como mostra a figura 44.

Figura 44 - Interação platibanda x volumetria de caixa d’água



3.4.3.15 - Interação platibanda com pingadeiras, rufos e calhas

As platibandas servem de apoio para a fixação de elementos como pingadeiras, rufos e calhas. Todas elas possuem finalidade de captar águas pluviais e destinar aos tubos de queda, que serão posteriormente direcionados para a fachada frontal, mas especificamente para a rua.

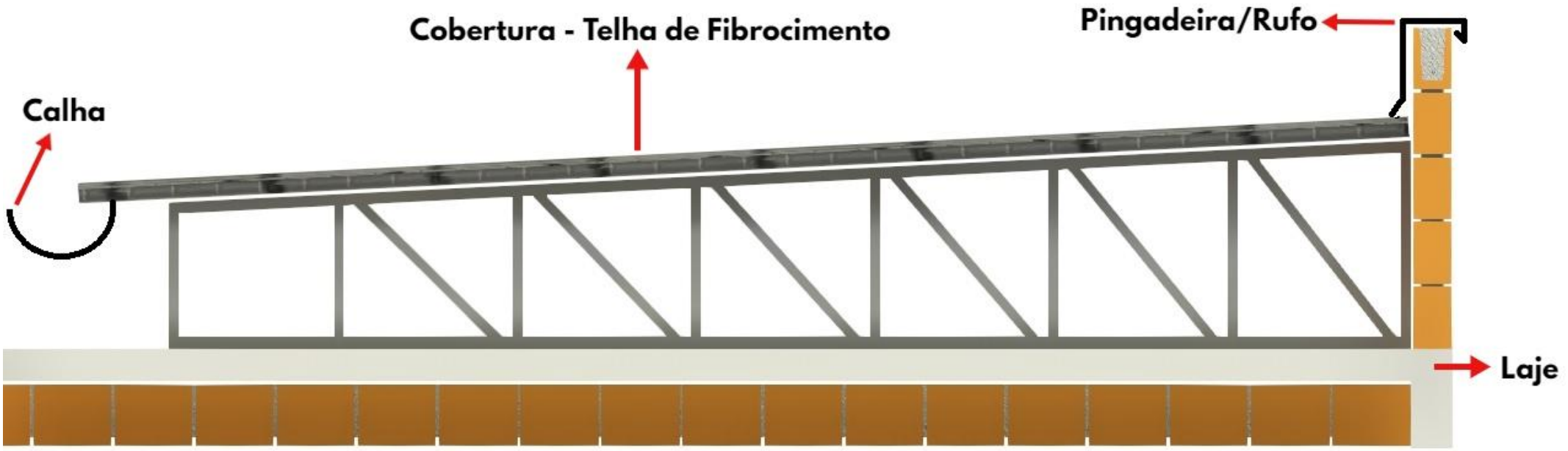
No caso das pingadeiras, elas são responsáveis por dar estanqueidade às paredes compostas por blocos estruturais, evitando assim o acúmulo de umidade, o que poderia ocasionar em reações químicas que podem abaixar a vida útil daquela região. Elas devem estar posicionadas em cima da última fiada da platibanda, com queda para dentro da edificação.

Os rufos, por sua vez, são elementos que darão estanqueidade à laje, eles fecham os pequenos vãos entre as telhas de fibrocimento e a platibanda e não permitem a passagem de águas provenientes de chuvas.

Para garantir a produtividade que um sistema em alvenaria estrutural exige, pode-se usar de materiais para rufos, pingadeiras e calhas em material metálico. Tal solução fornece vantagem executiva e peso inferior aos tradicionais métodos, como por exemplo o uso de pingadeiras pré moldadas em concreto.

A figura 45 ilustra as pingadeiras, rufos e calhas adotadas para o trabalho em questão com objetivo de facilitar o entendimento do posicionamento de tais peças com foco na construtibilidade da cobertura garantindo a estanqueidade da residência.

Figura 45 - Interação rufos, pingadeiras e calhas com sistema em AE



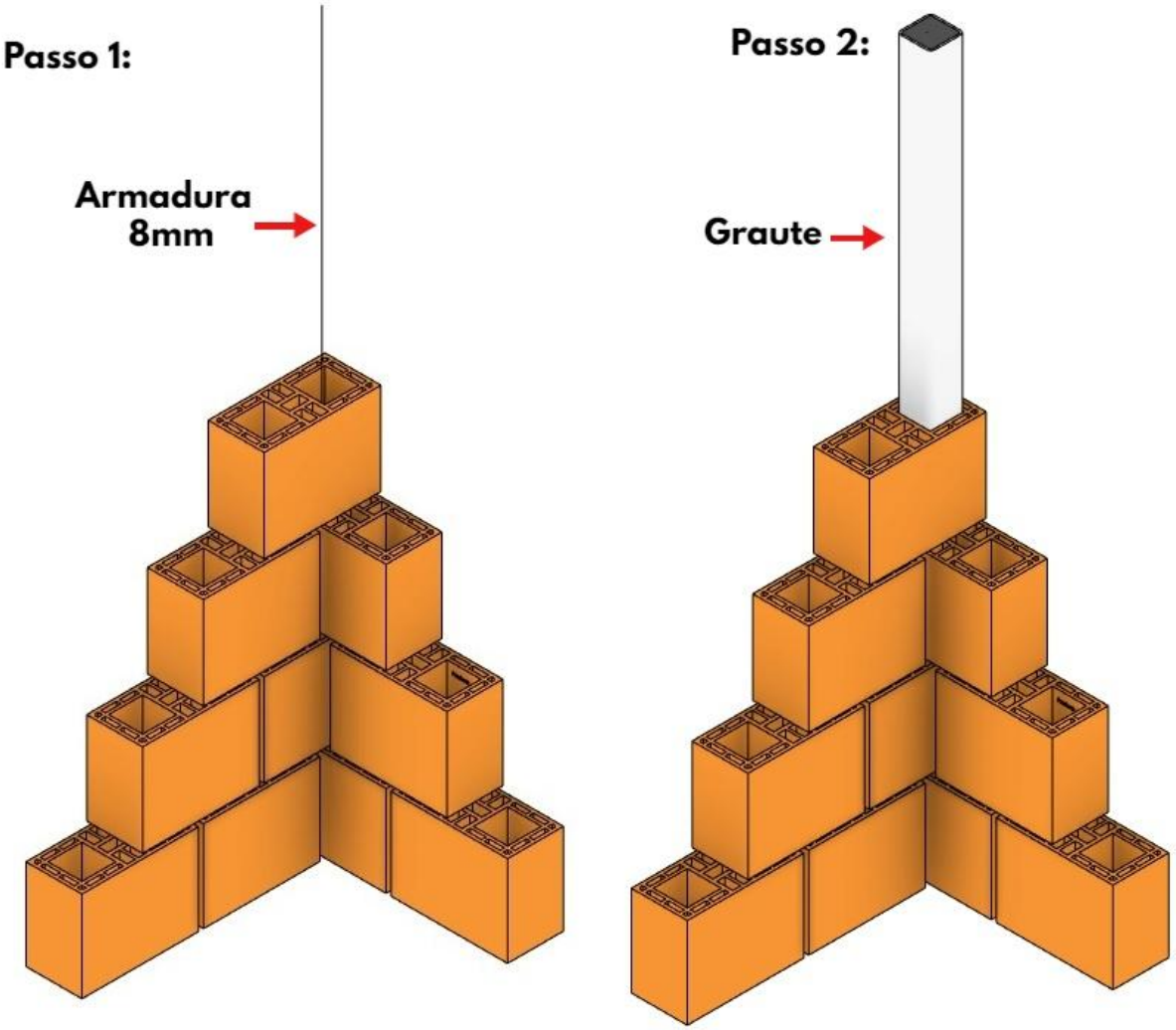
3.4.3.16 - Seção grauteamento

Os pontos de graute são compostos por um dos materiais que compõem projetos em alvenaria estrutural, eles são agregados de pequena dimensão. Normalmente, é utilizado com o intuito de preencher os vazios dos blocos (furos verticais) e, com isso, tem por finalidade aumentar a capacidade resistente da alvenaria e, quando necessário, solidarizar a armadura.

A boa execução da seção de grauteamento, ou pontos de graute, são de extrema importância para garantir que a estrutura seja resistente como foi dimensionada. Com isso, deve-se detalhar este passo construtivo para que erros construtivos sejam evitados.

Para o detalhamento deste passo construtivo, a figura 46 demonstra os 2 principais passos para a execução de um ponto de graute. No primeiro passo demonstra a presença da armadura de 8mm utilizada para o projeto em questão, é ela quem dá suporte para os esforços de tração e flexão presentes na edificação e garante a estabilidade necessária para o bom funcionamento dos pontos de graute. No passo 2 por sua vez, têm-se o ponto de graute já com a presença do concreto. Vale ressaltar que para a execução do grauteamento os blocos estruturais devem estar devidamente posicionados até a altura definida em projeto, já que os próprios blocos estruturais servem de formas para a execução da concretagem dos pontos grauteados.

Figura 46 - Detalhamento construtivo para execução de pontos grauteados

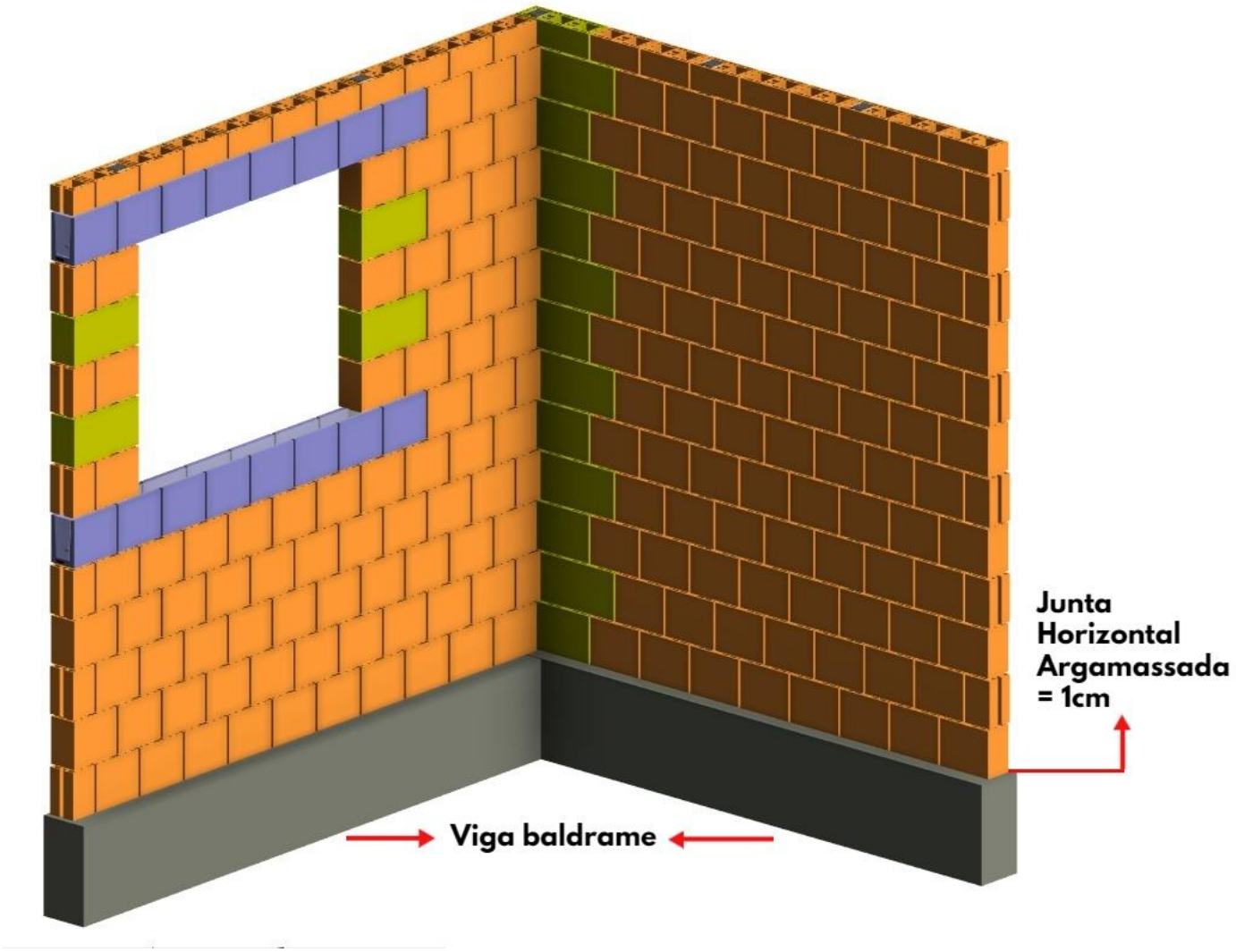


3.4.3.17 - Interação alvenaria estrutural com vigas baldrame/infraestrutura

As paredes de alvenaria estrutural são meios de transmissão de cargas para as vigas baldrames e infraestrutura consequentemente. É muito importante então, detalhar a interação entre os painéis de alvenaria e as vigas baldrame para que as cargas sejam transmitidas, entre os dois sistemas, sem qualquer interrupção.

As paredes de alvenaria são realizadas sobre as vigas baldrames com a presença de uma junta horizontal de 1 cm argamassada, que faz o papel de ligar os blocos estruturais à viga baldrame. A interação é bastante simples para a grande maioria dos casos, no entanto, deve-se atentar para que nenhum erro seja cometido e comprometa a eficiência estrutural da edificação. A figura 47 busca evidenciar os detalhes para que estes erros sejam evitados.

Figura 47 - Detalhamento da interação entre AE x Vigas baldrames



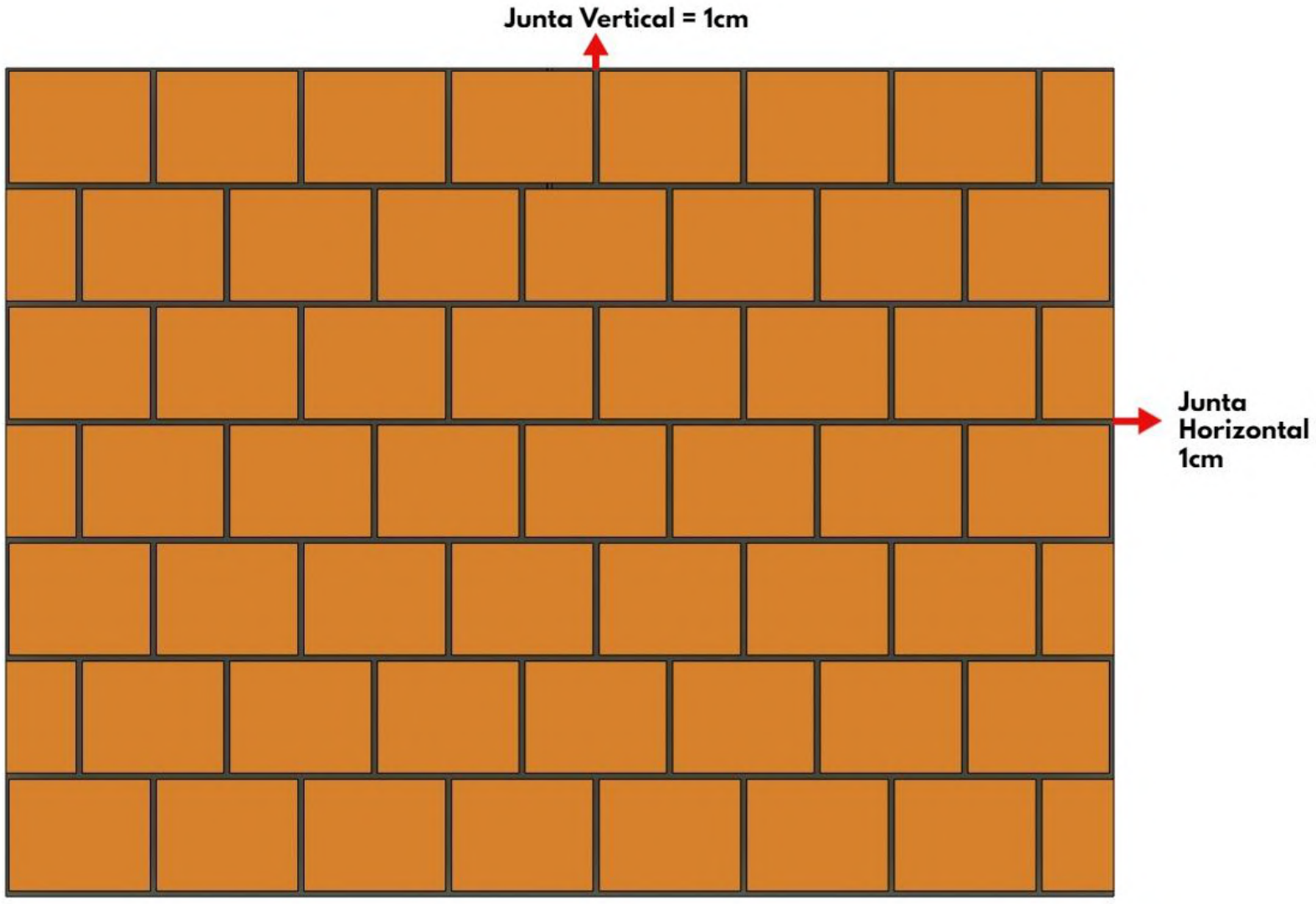
3.4.3.18 - Detalhe da junta vertical e horizontal de assentamento dos blocos de Alvenaria Estrutural

O assentamento dos blocos de alvenaria, por mais simples que pareçam, devem ser extremamente padronizados, pois quando tratamos de AE a modulação arquitetônica é muito importante.

Uma vez que a planta arquitetônica está modulada, deve-se ter quantidades inteiras de blocos para a execução da primeira fiada de blocos estruturais, por isso, é relevante pensarmos em detalhar este passo construtivo pela padronização que a alvenaria estrutural exige. Caso ocorram falhas de argamassas despadronizadas, isto é, argamassas com espessuras diferentes da medida de projeto, irão ocorrer falhas nas medidas das paredes. Por isso a importância de se detalhar e executar este passo com rigorosa padronização para a boa execução de projeto.

Tanto as juntas verticais de assentamento quanto as horizontais devem ser coladas com argamassa cimentícia, traço conforme projeto, com espessura de 1cm, como mostra a figura 48.

Figura 48 - Detalhamento das juntas de assentamento dos blocos estruturais



3.4.3.19 - Detalhe de uso de telas treliçadas na AE (usada para combater esforços de flexão)

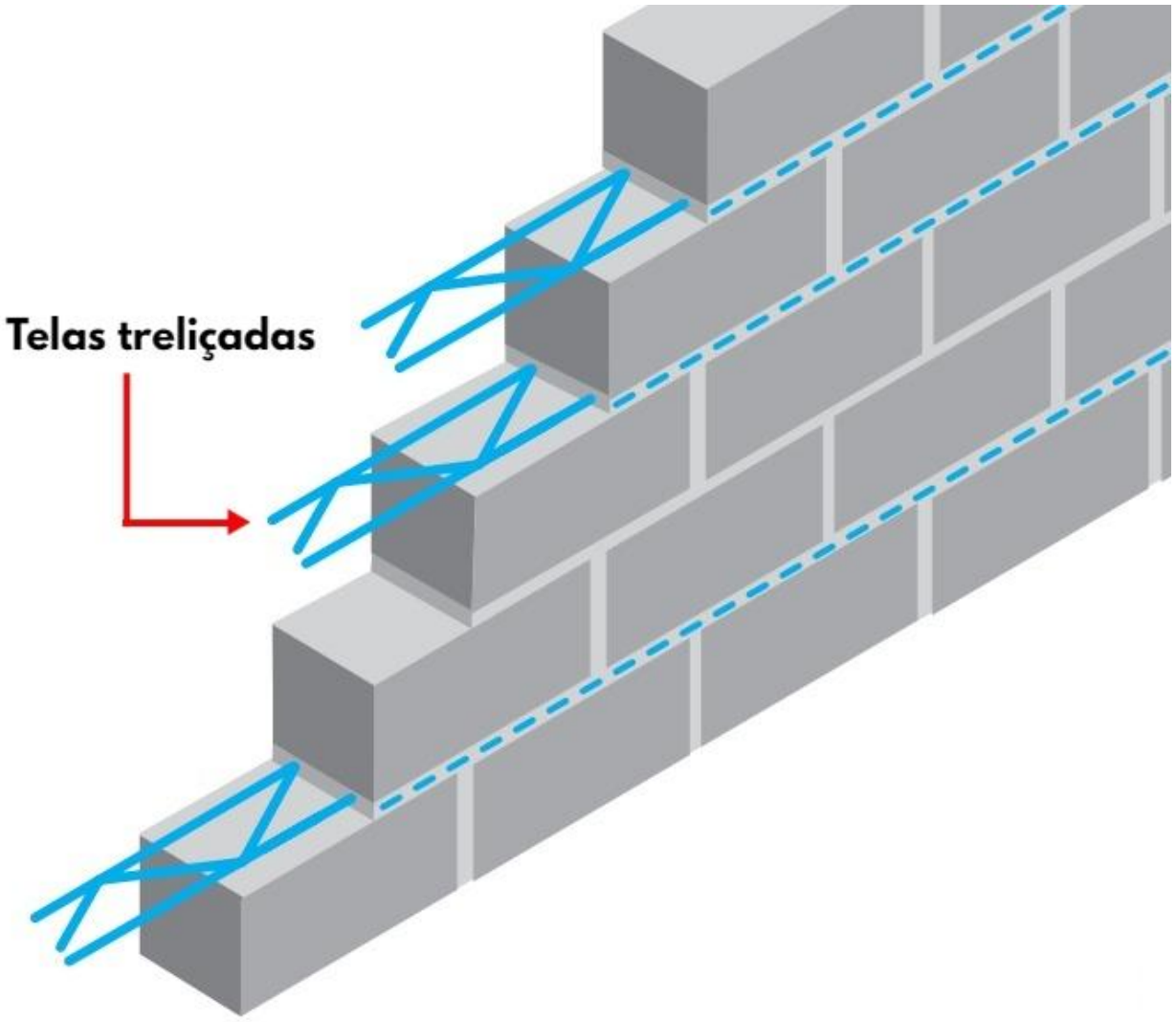
As telas treliçadas planas são formadas por fios longitudinais, separados entre si por outro fio em forma de sinusoide. Compostos por material metálico, as treliças tem o intuito de combater os esforços de flexão possivelmente presentes no painel de alvenaria estrutural. Elas são capazes de proporcionar um melhor desempenho estrutural quando combinadas aos painéis de alvenaria quando submetidas a esforços de tração e cisalhamento.

A aplicação das telas treliçadas é bem simples, basta posicioná-las nas juntas horizontais de assentamento dos blocos estruturais durante a execução das mesmas.

O uso dessa ferramenta demonstra uma excelente opção para situações de cargas pontuais sobre as paredes de AE. Elas dão maior resistência aos painéis e evitam trincas, pois com a presença do material metálico internamente à argamassa de assentamento, as cargas são melhor distribuídas para a infraestrutura da edificação sem causar danos indesejados.

Abaixo, a figura 49 demonstra como é posicionada a tela treliçada para o aumento de resistência das paredes de alvenaria estrutural.

Figura 49 - Detalhamento do uso de telas treliçadas para aumento de resistência das paredes estruturais



3.4.3.20 - Detalhe de uso de pilares e viga de alvenaria estrutural, explorando armaduras de combate ao cisalhamentos

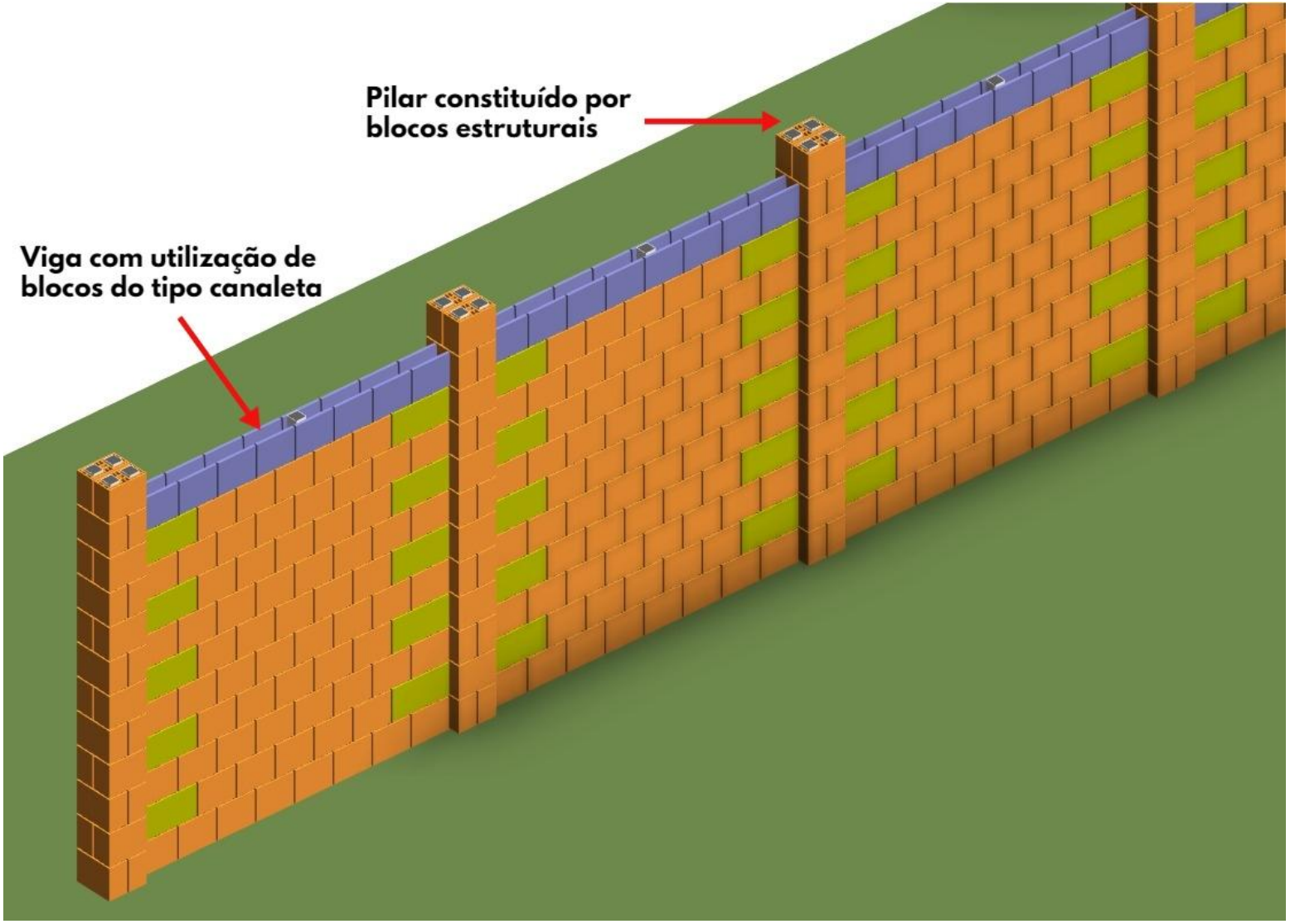
Indicado para situações de baixa demanda de resistência, os pilares e vigas compostos por blocos de alvenaria estrutural adicionados de concreto em seus vazios. Este é um método mais produtivo, se comparado ao tradicional método em concreto armado, já que a estrutura consiste simplesmente na montagem dos blocos e posteriormente a concretagem com utilização do graute. Entretanto, a desvantagem dessa metodologia está na limitação de uso quanto às demandas de cargas.

Em locais onde apresentam grandes demandas de cargas pode ser mais indicado a utilização de outros métodos construtivos, como por exemplo o concreto armado ou mesmo estruturas metálicas.

Esta metodologia é bastante utilizada para a execução de muros e/ou paredes que não contenham muita demanda de resistência. Já que é um processo mais produtivo, se comparado aos tradicionais muros em alvenaria de vedação em blocos cerâmicos com pilares estruturais em concreto armado.

A figura 50 exemplifica um muro com a utilização de pilares e vigas constituídos de blocos estruturais, demonstrando como se dá a interação entre os painéis de alvenaria e os pilares estruturais.

Figura 50 - Detalhamento da utilização de pilares e vigas de blocos estruturais



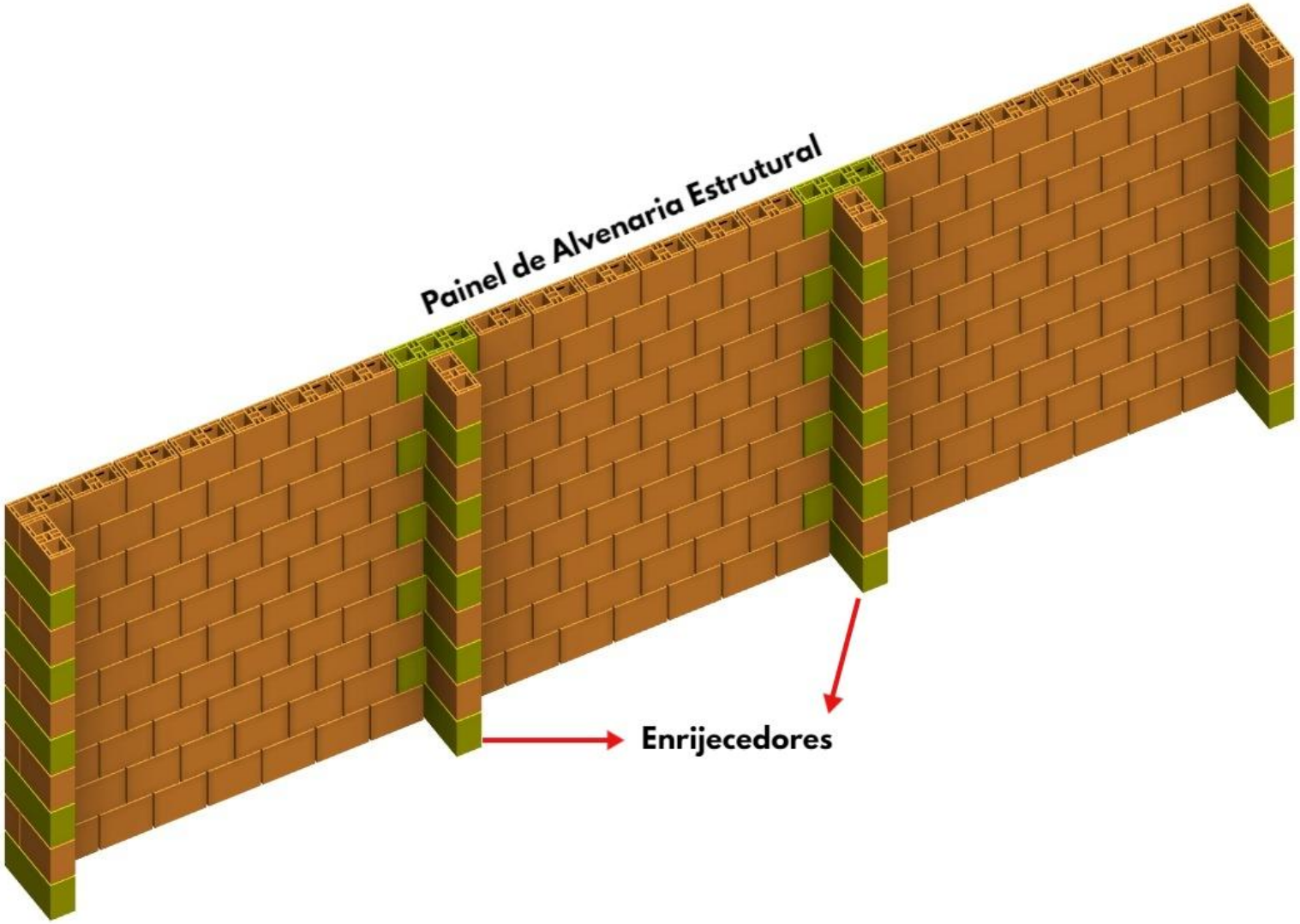
3.4.3.21 - Detalhes de enrijecedores em painéis de alvenaria

Os enrijecedores são bastante utilizados para a execução de muros de arrimo, onde há a necessidade de sustentar forças horizontais aos painéis de alvenaria estrutural. Elementos que como o próprio nome sugere, eles possuem poder de enrijecimento nas paredes estruturais e atuam de forma a dar maior sustentabilidade ao painel, uma vez que se possui.

As peças de enrijecimento são compostas pelos próprios blocos estruturais intertravados no sentido perpendicular ao comprimento do painel estrutural. O tamanho das peças deve ser dimensionado para tal de acordo com a carga horizontal exigida para o caso do projeto.

Para a exemplificação em questão, como mostra a figura 51, utilizou-se dos blocos estruturais em tamanho padrão (12,5x24x19cm, sendo largura x comprimento x altura) e Bloco e meio (12,5x36,5x19cm). É importante ressaltar que os blocos devem estar intertravados entre si para que os painéis trabalhem em conjunto com os enrijecedores.

Figura 51 - Detalhamento da utilização enrijecedores



3.4.3.22- Detalhes da paginação de um painel em AE

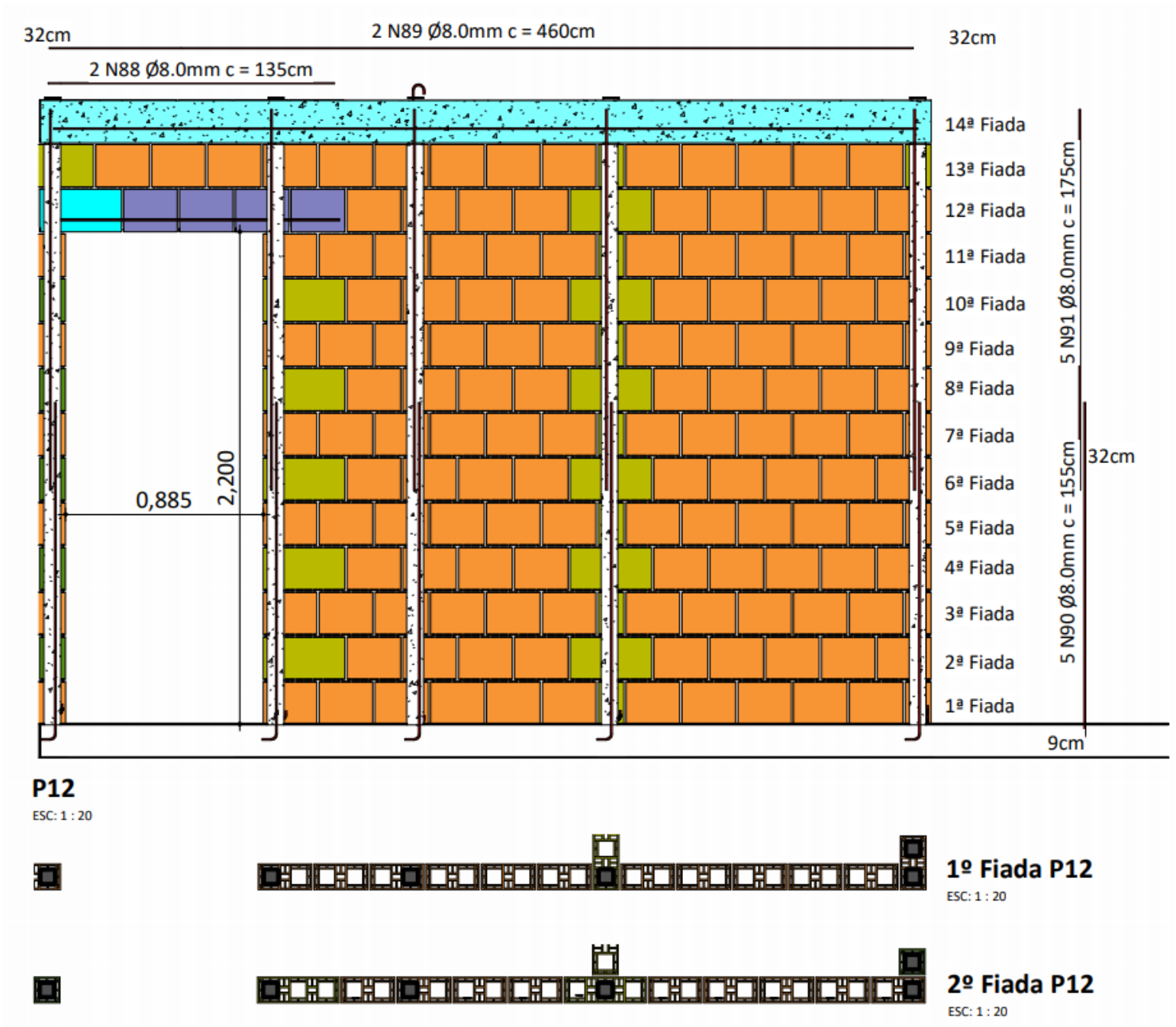
As paginações das paredes são de extrema importância para a execução de um projeto em AE, pois elas são a base para a leitura e identificação de todos os blocos utilizados, bem como as armaduras com suas determinadas dimensões e bitolas.

De acordo com Mohamad (2017), o autor do projeto de alvenaria estrutural deve detalhar as elevações de paredes gerando plantas de primeira e segunda fiada. Nas elevações devem conter a posição dos blocos estruturais, a existência de pontos hidráulicos ou elétricos, vergas, contravergas, pontos de grautes e as armaduras.

Ainda segundo Mohamad (2017), o emprego desses detalhes visam o incremento da construtibilidade da edificação, evitando improvisos no canteiro de obras que poderiam ocasionar falhas construtivas e orçamentárias.

A figura 52 esclarece como é o detalhamento de uma elevação de parede, com foco em toda a parte construtiva da parede, evidenciando a posição dos blocos da primeira e segunda fiada, bem como as armaduras utilizadas e suas respectivas identificações e medidas adotadas.

Figura 52 - Detalhamento da paginação dos painéis de alvenaria



4- RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente evolução da tecnologia no contexto da engenharia civil nas últimas décadas, com a inclusão de ferramentas que aumentam, de forma bastante significativa, a produtividade e eficiência de toda a cadeia construtiva têm se mostrado com cada vez mais importância. Isso porque a cadeia construtiva está deixando para trás uma metodologia primitiva e adotando então projetos e conceitos que diminuem o custo e aumentam a produtividade de uma obra. O BIM passa a ser um grande marco na elaboração de projetos, e seu uso tende a ser cada vez maior.

A grande racionalização dos processos construtivos é algo desejável para toda a cadeia produtiva quando se trata de obras civis. Com isso pode-se perceber uma eficiência elevada nas práticas adotadas no canteiro de obras, com menor custo e prazos menores. Isso ocorre porque há uma considerável redução de erros e retrabalhos na obra, bem como na redução de geração de resíduos sólidos.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou discutir e analisar os benefícios de se detalhar os projetos de alvenaria estrutural em ambiente BIM, alertando da importância de melhorar a experiência dos profissionais que executam a alvenaria estrutural, a fim de requintar a construtibilidade do sistema.

Os projetos do trabalho em questão, utiliza o sistema construtivo em alvenaria estrutural e foram executados em ambiente BIM, o que possibilitou a geração de variados detalhamentos construtivos com visualização tridimensional que mostram que essa combinação pode agregar bastante no âmbito da indústria civil, especialmente quando trata-se de produtividade e eficiência construtiva, diante dos vários benefícios que o conceito BIM oferece com fácil acesso tanto para profissionais quanto para estudantes da área. Contudo, as ferramentas BIM, apesar de muitas das vezes serem fáceis e intuitivas, podem exigir maior necessidade de capacitação dos profissionais para utilização do conceito.

5- DIFICULDADES ENCONTRADAS NO TRABALHO

Ao realizar o trabalho, algumas dificuldades foram encontradas e podem ser melhor especificadas em trabalhos futuros, objetivando dessa forma, a solidarização entre os colegas de curso para o estudo geral de todas as esferas que a Engenharia Civil pode proporcionar.

Primeiramente, para a execução dos projetos no software REVIT 2021 (AUTODESK, 2021) é necessário a configuração de *templates* ou modelos de configurações pré-estabelecidos para a disciplina adotada em questão, em outras palavras, para cada projeto deve-se ter um *template* diferente à ser utilizado. Com isso então têm-se a dificuldade em encontrar tais templates para elaboração dos projetos complementares, como é o caso do sistema PEX, que foi abordado de forma a dar embasamento teórico para possíveis soluções quando se refere a compatibilização dos projetos hidráulicos e de alvenaria estrutural, sem o desenvolvimento pleno do projeto, causado pela dificuldade em encontrar o template para utilização.

Ainda, a abordagem do software utilizado requer uma alta qualificação e experiência do profissional/estudante que irá realizar o estudo e desenvolvimento dos projetos, uma vez que o software possui diversas vertentes e o trabalho em questão necessitou do conhecimento das diversas áreas de projeto encontradas em uma edificação. Para cada sistema utilizado há uma metodologia diferente à ser utilizada. Dessa forma, é necessário a capacitação do responsável pela execução dos projetos em suas diversas especialidades abordadas.

6- RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se um estudo mais aprofundado acerca da abordagem prática de todas as dimensões e variáveis abordadas no conceito BIM - do 3D ao 7D -, inserindo informações aos projetos, como por exemplo o cronograma físico-financeiro da obra, com o intuito de integrar ao máximo as fases dos projetos de engenharia com a prática de um processo construtivo.

Ainda, para complementar o trabalho desenvolvido, pode-se realizar a abordagem e utilização de outros softwares que complementam o uso do Revit, como por exemplo um software com foco no dimensionamento da alvenaria estrutural, uma vez que o Revit ainda é limitado nesse âmbito e portanto, é necessário a interação com outros softwares que permitam o dimensionamento pleno das paredes estruturais, fazendo com que o projeto fique ainda mais completo.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Modelagem BIM é alternativa para reverter cenário atual da construção civil.** Brasília: Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2018. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/modelagem-bim-e-alternativa-para-reverter-cenario-atual-da-construcao-civil>

____. **ABNT NBR 16868-1**: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

____. **ABNT NBR 16868-2**: Alvenaria estrutural - Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.

ANETRANS, **Disseminação do BIM – Estratégia BIM no Brasil.** Disponível em: <https://anetrans.com.br/estrategia-nacional-de-disseminacao-do-bim-estrategia-bim-no-brasil/>. Acesso em: 18 fev. 2021.

AUTODESK. **Revit 2021.** Disponível em: <https://www.autodesk.com/> Acesso em: 29/03/2020

BECK, Sergio El. **Sistema de tubos PEX - Fim da quebradeira, das conexões e dos vazamentos.** Disponível em : **<**https://www.sergioelbeck.com.br/sistema-pex-sem-conexoes-vazamentos-e-quebradeiras/> Acesso em: 05/07/2021

BRASIL. **Decreto 9.983, de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br /ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm> Acesso em 18 fev. 2020

CBIC, **Colaboração e Integração BIM (Volume 3)**. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção. 2016c. Disponível em <http://cbic.org.br/bim/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

CBIC, **Fundamentos BIM (Volume 1)**. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção. 2016a. Disponível em <http://cbic.org.br/bim/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

CBIC, **Implementação BIM (Volume 2)**. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção. 2016b. Disponível em <http://cbic.org.br/bim/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

DELAQUA, Victor. **10 Projetos nos quais o BIM foi essencial**. ArchDaily Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/920630/10-projetos-nos-quais-o-bim-foi-essencial>. Acesso em: 26 jul. 2021.

EASTMAN et al. **Manual de BIM.** 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483p. Tradução do BIM Handbook.

ENSCAPE. **Enscape 2021.** Disponível em: <https://enscape3d.com/>

EUBIM, Task Group. **Manual relativo à aplicação da Modelação da Informação da Construção no Setor Público Europeu**. 2016. Disponível em: <http://www.eubim.eu/wp-content/uploads/2018/03/GROW-2017-01356-00-00-PT-TRA-00.pdf> . Acesso em: 05 fev. 2021.

FARIA, Renato. **Construção integrada**. Revista Téchne. São Paulo: Pini, n. 127, p. 44-49, out. 2007.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GONÇALVES JUNIOR, F. **BIM na prática: case de sucesso TRÊS ENG.** 2017.

Portal Mais Engenharia. Disponível em: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/bim-na-pratica-case-de-sucesso-tres-eng/>. Acesso em: 01 Mar 2021.

JUNIOR, Francisco Gonçalves. **BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia.** AltoQi, 2018. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>

MARCEL, Raoni. **Introdução Histórico e Softwares BIM.** Disponível em: <https://www.ignisengenharia.com.br/index.php/it/pages/item/43-a-importancia-do-bim-na-industria-da-construcao-civil>. Acesso em: 21 fev. 2021.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - BIM**. [s.n.], 2018. 1–33 p. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim>.

MOHAMAD, Gihad; MACHADO, Diego William Nascimento; JANTSCH, Ana Cláudia Akele. **Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento**. São Paulo/SP: Blucher, 2017, 167p.

SANTOS, Vitor Manoel dos. **Sistema PEX e as inovações nas instalações prediais.** Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/sistema_pex_e_as_inovacoes_nas_instalacoes_prediais.pdf> Acesso em: 19/06/2021

SCHEER, S.; AYRES FILHO, C. **Abordando a BIM em níveis de modelagem**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 9., 2009. São Carlos. São Paulo: USP, 2009.

Sem autor: **Construções com alvenaria estrutural ganham novas opções de revestimentos**. STO BRASIL, 2017. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/sistema_pex_e_as_inovacoes_nas_instalacoes_prediais.pdf> Acesso em: 19/06/2021

TEIXEIRA, George Matheus Rodrigo. **Um estudo de caso sobre a compatibilização de projetos de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural no município de Palmas - TO**. 2019. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Palmas, 2019.

TOBIN, J. **Proto-building: To BIM is to build**. AECbytes "Building the Future" Article, May 28, 2008.

VAN NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. **Modelling multiple views on buildings**. Automation in Construction, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092658059290014B?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jul. 2020.