

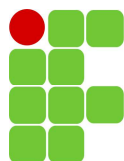
**Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO
Campus Palmas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil**

George Matheus Rodrigues Teixeira

Um estudo de caso sobre a compatibilização de projetos de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural no município de Palmas - TO.

Palmas, TO

2019



**Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO
Campus Palmas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil**

George Matheus Rodrigues Teixeira

Um estudo de caso sobre a compatibilização de projetos de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural no município de Palmas - TO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas

Orientador: Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Palmas, TO

2019

Teixeira, George Matheus Rodrigues

Um estudo de caso sobre a compatibilização de projetos de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural no município de Palmas - TO. / George Matheus Rodrigues Teixeira. - Palmas, 2019.

110 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2019.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Pedroso

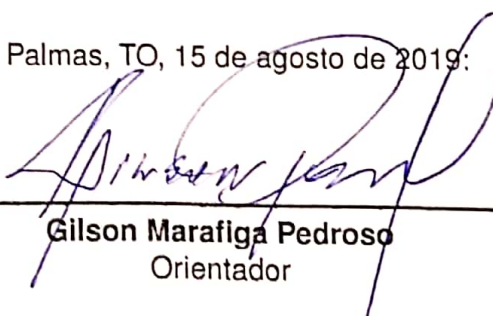
1. alvenaria. 2. estrutural. 3. compatibilização. 4. projetos. 5. Palmas. I. Título.

George Matheus Rodrigues Teixeira

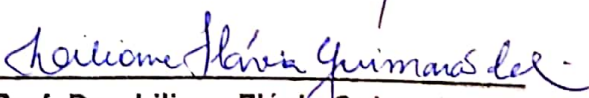
Um estudo de caso sobre a compatibilização de projetos de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural no município de Palmas - TO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas

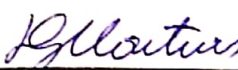
Trabalho aprovado. Palmas, TO, 15 de agosto de 2019:



Gilson Marafija Pedrosa
Orientador



Prof. Dra. Lilliane Flávia Guimarães
Avaliadora 1



Prof. Me. Danilo Gomes Martins
Avaliador 2

Palmas, TO
2019

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão,

à Deus por não me permitir sucumbir ante nenhum pretexto. Ao Sr. Joel e à Sra. Joelma, pelo imensurável amor dado à mim. À minha pequena Isabella, que nunca deixou de me incentivar. Aos meus mestres, por me darem toda a condição para o sucesso. Por fim, aos meus bons e velhos amigos, que não me deixaram em nenhum momento.

*“Não há assunto tão velho
que não possa ser dito algo novo sobre ele.”
(Fiódor Dostoiévski)*

RESUMO

O setor da construção civil busca a máxima otimização através da utilização de novas tecnologias e da redução de custos. Na inicial, uma obra pode possuir uma grande quantidade de projetos, elaborados por diferentes profissionais, o que pode gerar conflito entre tais projetos. Para se evitar tais conflitos, utilizam-se técnicas de compatibilização, buscando tornar os projetos integrados, minimizando a necessidade de adaptações na execução e reduzindo os custos da obra. É diante desse contexto que se buscou estudar e avaliar a compatibilização de projetos do pavimento tipo de um edifício vertical multifamiliar em Palmas – TO, propondo então soluções para as interferências encontradas. A identificação dos conflitos se deu por meio de técnica de sobreposição de projetos, utilizando programa de desenho assistido por computador. Além disso, utilizou-se lista de checagem para auxiliar a identificação de conflitos. Constataram-se interferências entre as interfaces e todos os projetos estudados, sendo tais interferências sinalizadas por meio de desenho e relacionadas na lista de checagem. Após a apresentação das interferências, foram apresentadas propostas para corrigir-las. Por fim, constatou-se a importância da compatibilização de projetos e o impacto que a falta da mesma por causar numa obra, demandando uma série de adaptações que resultam numa elevação de custos.

Palavras-chave: alvenaria, estrutural, compatibilização, projetos, Palmas.

ABSTRACT

The construction industry seeks maximum optimization through the use of new technologies and cost savings. In the early stage, a construction may have a large number of projects, prepared by different professionals, which can generate conflict between such projects. To avoid such conflicts, compatibility techniques are used, seeking to make projects integrated, minimizing the need for adjustments in execution and reducing the costs of the work. It is against this background that we sought to study and evaluate the compatibility of projects of the type pavement of a vertical multifamily building in Palmas - TO, proposing solutions to the interferences found. Conflicts were identified through a project overlay technique using a computer-aided design program. In addition, a checklist was used to assist in identifying conflicts. Interferences were found between the interfaces and all the studied projects, and these interferences were signaled by design and listed in the checklist. After the interference was presented, proposals were presented to correct them. Finally, it was found the importance of the compatibility of projects and the impact that the lack of projects can cause on a project, requiring a series of adjustments that result in an increase in costs.

Keywords: masonry, structural, compatibilization, projects, Palmas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pirâmides do Egito	19
Figura 2 – Edifício Monadnock	20
Figura 3 – Conjunto Habitacional Central Parque Lapa	21
Figura 4 – Sistema Laminar (a) e Sistema Reticulado (b)	21
Figura 5 – Tipos de Blocos - Quanto ao Material	23
Figura 6 – Geometria dos Blocos Cerâmicos	24
Figura 7 – Dimensões de Fabricação dos Blocos Cerâmicos	25
Figura 8 – Dimensões de Fabricação dos Blocos de Concreto	26
Figura 9 – Exemplo do microconcreto na Alvenaria Estrutural	29
Figura 10 – Disposição das armaduras em Alvenaria Estrutural	30
Figura 11 – Esquema de verga e contra-verga em alvenaria estrutural	31
Figura 12 – Tela galvanizada para alvenaria	31
Figura 13 – Área bruta de blocos estruturais	33
Figura 14 – Tolerâncias dimensionais nos blocos de concreto	33
Figura 15 – Forma cúbica para argamassa - 4 cm	35
Figura 16 – Corpo de prova de concreto	36
Figura 17 – Ensaio de Prisma	37
Figura 18 – Zonas Bioclimáticas	39
Figura 19 – Esquema de Compatibilização de Projetos	49
Figura 20 – Aspectos Constituintes da Compatibilização de Projetos	50
Figura 21 – Processos de compatibilização no desenvolvimento de projetos.	51
Figura 22 – Sobreposição de projetos em 2D	52
Figura 23 – Projeto modelado com conceito BIM.	53
Figura 24 – Maquete do edifício do estudo de caso	55
Figura 25 – Fluxo de compatibilização	56
Figura 26 – Planta Baixa - Unidade Autônoma	59
Figura 27 – Planta Baixa - Pavimento Tipo	60
Figura 28 – Planta Baixa - Pavimento Cobertura	61
Figura 29 – Planta Baixa com Móveis - Unidade Autônoma	62
Figura 30 – Projeto Arquitetônico - Quadro de Áreas	63
Figura 31 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Pavimento Tipo	65
Figura 32 – Projeto de Instalações Hidráulicas - Apartamento Tipo	66
Figura 33 – Projeto de Instalações Hidráulicas - Hall Tipo	67
Figura 34 – Projeto de Instalação Sanitária - Apartamento Tipo	68
Figura 35 – Projeto de Instalações Elétricas - Pavimento Tipo	69
Figura 36 – Projeto de Instalações Elétricas - Legenda	70

Figura 37 – Projeto Arquitetônico - Verificação das medidas da porta do Quarto	71
Figura 38 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural - Porta do Quarto	72
Figura 39 – Comparação da Área de Serviços - Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural	72
Figura 40 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural - Área de Serviço	73
Figura 41 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural .	74
Figura 42 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica da unidade autônoma	75
Figura 43 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação dos apartamentos	75
Figura 44 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Hidrossanitário	76
Figura 45 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário - Alimentação dos apartamentos	77
Figura 46 – Lista de Checagem - Projetos de Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário	78
Figura 47 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Elétrico - Sala	79
Figura 48 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Elétrico - Área de Serviço	79
Figura 49 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Elétrico	80
Figura 50 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico - Quadro de Distribuição	81
Figura 51 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico - Interferências em tomadas	81
Figura 52 – Lista de Checagem - Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico . . .	82
Figura 53 – Sobreposição de Projetos Hidrossanitário e Elétrico - Área de Serviço	83
Figura 54 – Lista de Checagem - Projetos Hidrossanitário e Elétrico	84
Figura 55 – Projeto Arquitetônico - Posição proposta para a porta	85
Figura 56 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural - Posição proposta para a porta	86
Figura 57 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Representação proposta para a janela	86
Figura 58 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural - Representação proposta para a janela	87
Figura 59 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica proposta para unidade autônoma	88
Figura 60 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica proposta para unidades autônomas	88
Figura 61 – Sobreposição de Projetos Hidrossanitário e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta para conflito com graute	89
Figura 62 – Projeto Elétrico - Posição proposta para interruptor da sala	90
Figura 63 – Projeto Elétrico - Inserção proposta para tomada da máquina de lavar	90

Figura 64 – Sobreposição de Projetos Elétrico e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta o quadro de distribuição	91
Figura 65 – Sobreposição de Projetos Elétrico e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta para tomada em conflito com graute	91
Figura 66 – Sobreposição de Projetos Elétrico e Hidrossanitário - Solução proposta para traçado do eletroduto	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas da Argamassa	28
Tabela 2 – Tolerâncias dimensionais nos blocos cerâmicos	34
Tabela 3 – Valores máximos admitidos para a transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas	40
Tabela 4 – Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão	41
Tabela 5 – Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno	41
Tabela 6 – Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	41
Tabela 7 – Características dos blocos estruturais	42
Tabela 8 – Comparação do desempenho térmico dos blocos estruturais	42
Tabela 9 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo – Método de engenharia	44
Tabela 10 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	45
Tabela 11 – Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes	46
Tabela 12 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D(2min)T_w$ para ensaios de campo	47
Tabela 13 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas	47
Tabela 14 – Benefícios da Compatibilização	50
Tabela 15 – Exemplo de Lista de checagem de interferências entre projetos	57
Tabela 16 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Especificações Técnicas	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
IRA	<i>Initial Rate of Absorption</i>
NBR	Norma Brasileira
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	PROBLEMA DE PESQUISA	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	OBJETIVOS	18
4.1	Objetivo geral	18
4.2	Objetivos específicos	18
5	ALVENARIA ESTRUTURAL	19
5.1	Aspectos Históricos	19
5.1.1	Definições e Tipos Estruturais	21
5.2	Propriedades e Características dos Materiais	22
5.2.1	Blocos Estruturais	23
5.2.1.1	Blocos Cerâmicos: Características e propriedades	23
5.2.1.2	Blocos de Concreto: Características e propriedades	24
5.2.2	Argamassa de Assentamento	26
5.2.3	Microconcreto (Graute)	27
5.2.4	Armadura	29
5.3	Controle Tecnológico dos Elementos	31
5.3.1	Blocos Estruturais	32
5.3.2	Argamassa de Assentamento	34
5.3.3	Microconcreto (Graute)	35
5.3.4	Prisma	36
6	ALVENARIA ESTRUTURAL E NORMA DE DESEMPENHO - ABNT NBR 15575 (2013)	38
6.1	Desempenho Térmico	38
6.2	Desempenho Acústico	43
7	COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	48
8	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
8.1	Caracterização da Pesquisa	54
8.2	Breve Descrição do Objeto de Estudo	54
8.3	Análise de Compatibilização	55
8.3.1	Estudo dos Projetos	55

8.3.2	Sobreposição de Projetos e Análise Prévia	56
8.3.3	Avaliação do nível de compatibilização dos projetos e de interferências na execução através de lista de checagem	57
8.3.4	Proposição de soluções para a compatibilização dos projetos	58
9	ESTUDO DE CASO	59
9.1	Caracterização e Estudos dos Projetos	59
9.1.1	Caracterização e Estudo do Projeto Arquitetônico	59
9.1.2	Caracterização da Estrutura e Estudo do Projeto de Alvenaria Estrutural	63
9.1.3	Caracterização e Estudo do Projeto de Instalações Hidrossanitárias .	66
9.1.4	Caracterização e Estudo do Projeto de Instalações Elétricas	68
9.2	Análise de Compatibilização através de Sobreposição de Projetos . .	70
9.2.1	Análise de Compatibilização: Projeto Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural	70
9.2.2	Análise de Compatibilização: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário	74
9.2.3	Análise de Compatibilização: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico	78
9.3	Proposição de Soluções para os Conflitos de Compatibilização . . .	85
9.3.1	Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural	85
9.3.2	Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário	87
9.3.3	Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico	89
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXOS	96
	ANEXO A – PROJETOS E SOBREPOSIÇÕES INERENTES AO ESTUDO DE CASO	97

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção, geralmente, possui grande impacto na economia de um país, sendo responsável pela circulação de grandes montantes financeiros. Esse fato traz como consequência uma necessidade constante de autodesenvolvimento do setor, através de estudos, pesquisas e inovações, que buscam sempre novos meios de se atingir a máxima eficiência.

As evoluções técnicas no meio da construção civil, bem como a grande competitividade do mercado, traz à tona a necessidade de apurada gestão sistêmica das obras, com o objetivo de se evitar desperdícios e retrabalhos, e por conseguinte, a elevação de ônus. Desse modo, faz-se necessário a aplicação de técnicas e práticas que busquem a integração e a coordenação dos projetos, que se faça resultar em projetos compatibilizados e que se complementem, a fim de estabelecer uma execução correta das obras.

O conceito de compatibilização de projetos surge com o objetivo de mitigar os problemas supracitados, de forma que os mesmos sejam previstos ainda na fase de projeto do empreendimento, buscando evitar adaptações *in loco* que fujam dos projetos originais. As ferramentas e técnicas de desenvolvimento de projetos integrados e compatibilizados apresentam-se no mercado nos últimos anos, principalmente com o desenvolvimento da plataforma *Building Information Modelling - BIM*, que envolve modelagem em 3D, desenvolvimento colaborativo de projetos, detecção de conflitos de interface, gestão sistêmica do projeto, dentre outros inúmeros benefícios, dando uma nova perspectiva ao setor da engenharia.

De forma paralela e participativa ao desenvolvimento das tecnologias do setor da engenharia, faz-se presente como sistema construtivo sólido e de influência milenar a Alvenaria Estrutural. Tal sistema, orientado e embasado por um conjunto de normas e pesquisas, possui um grande apelo aos conceitos de compatibilização e racionalização. Uma vez que em tal sistema estrutural, as próprias paredes servem como sustentáculo do edifício, não se admite rasgos ou modificações que afetem a integridades das mesmas, resultando na necessidade de uma integração prévia dos demais sistemas com a estrutura. Além disso, os projetos demandam um desenvolvimento com dimensões modulares e parametrizadas, evidenciando ainda mais a necessidade de um processo de coordenação mais acurado.

Todavia, apesar do advento de tecnologias que auxiliam a etapa da compatibilização de projetos, deve-se atentar para a realidade de mercado que, por ora, ainda possui uma grande margem de projetos elaborados de forma tradicional. De acordo

com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018) , mais de 90% das empresas do setor da construção não utilizam a plataforma BIM.

Para o percentual de projetos que não se aplica o conceito BIM, aplicam-se técnicas tradicionais de compatibilização, que envolvem a utilização de ferramentas de desenho assistido por computador em 2D. Dentre tais técnicas, destacam-se de checagem e sobreposição de projetos.

Portanto, em obras que utilizam o sistema construtivo em alvenaria estrutural e que não foram projetadas através da plataforma BIM, deve-se avaliar a compatibilização dos projetos através das ferramentas inerentes aos projetos em 2D, com o objetivo de mitigar o impacto de possíveis incompatibilidades, que tendam a ser bem mais prejudiciais nesse sistema.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

De uma forma geral, as obras de construção civil, das mais simples às mais complexas, possuem uma quantidade considerável de projetos específicos para sua execução, cada qual com sua exigência de detalhamento. Essa miscelânea de projetos, muitas vezes de diferentes autorias, cria situações propícias para interferências entre projetos, podendo acarretar em grandes problemas no momento de execução dos mesmos.

As obras em alvenaria estrutural possuem uma necessidade evidente no que tange à compatibilização de projetos. Uma vez que os painéis de alvenaria são elementos constituintes da própria estrutura, diferentemente da alvenaria de vedação presente nos sistemas convencionais, não se possibilita a quebras e rasgos nos painéis com a finalidade de embutir instalações ou de realizar adaptações. Mohamad, Machado e Jantsch (2017) afirmam que a prática de se rasgar paredes para a passagem de instalações é inconcebível em alvenaria estrutural, devendo tais práticas serem eliminadas.

Além de restringir as possibilidades de adaptações *in loco*, esse sistema construtivo demanda um maior nível de racionalização. Os projetos em alvenaria estrutural devem ser modulares, ou seja, as dimensões dos edifícios devem ser múltiplas das dimensões dos blocos construtivos padronizados, não admitindo cortes e quebras dos blocos.

Desse modo, devido à grande gama de projetos inerentes à uma obra de alvenaria estrutural, a necessidade de haver uma acurada compatibilização dos projetos e a necessidade de uma construção racionalizada e modular, a problemática da pesquisa está na necessidade de saber qual o impacto da compatibilização dos projetos numa obra de alvenaria estrutural.

3 JUSTIFICATIVA

Conforme dados divulgados pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018) , em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), apenas 9,2% das empresas do setor da construção afirmaram utilizar a plataforma BIM em sua rotina de trabalho no primeiro trimestre de 2018. Dessa forma, há um grande percentual de empresas que elaboram seus projetos da forma convencional, utilizando apenas ferramentas de desenho assistido por computador.

Tais projetos são elaborados em 2D, através da utilização apenas de ferramentas de desenho e sem a aplicação de ferramentas de integração simultânea. Além disso, devido ao crescente nível de especialidades, os projetos contam com a participação de vários profissionais. Esses fatores acabam por levar a compatibilização a uma fase posterior à elaboração dos projetos ao invés inserí-la como parte intrínseca ao processo.

Cabe ao profissional responsável pelo processo de compatibilização de projetos, aplicar as técnicas adequadas. Assim, em caso de projetos elaborados fora da plataforma BIM, os profissionais encarregados da compatibilização devem possuir um amplo conhecimento acerca do sistema construtivo utilizado, com o objetivo de antever os possíveis conflitos e ter uma melhor acurácia no processo de verificação de interferências entre interfaces.

De acordo com Fialho (2018), se durante os próximos 10 anos, metade das empresas do setor da construção civil fizerem a implementação da plataforma BIM, projeta-se uma redução na ordem de 10% no custo total das obras, além de um crescimento de 7% do setor.

Desse modo, considerando a existência de um vasto número de projetos feitos fora da metodologia BIM, sujeitos à maiores desperdícios e elevação dos custos, além de se constatar uma carência de trabalhos que avalie a compatibilização em sistemas de alvenaria estrutural, entende-se ser de grande relevância o estudo de caso sobre o tema, em que se possa avaliar a compatibilização de um edifício em alvenaria estrutural e seus impactos.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar a compatibilização dos projetos do pavimento tipo de uma obra multifamiliar em Alvenaria Estrutural no município de Palmas - TO, analisando as interferências entre tais projetos bem como seus reflexos na execução da obra.

4.2 Objetivos específicos

1. Identificar as ocorrências de interferências entre projetos do pavimento tipo devido à falha de compatibilização;
2. Propor soluções e ajustes em prol da melhoria dos elementos de compatibilização estudados, buscando aprimorar os resultados, mitigar retrabalhos e otimizar os projetos para o sistema construtivo em questão.

5 ALVENARIA ESTRUTURAL

5.1 Aspectos Históricos

Durante todo o processo evolutivo da humanidade, observaram-se diversos períodos de inovações e criações tecnológicas, envolvendo diversas gamas de ferramentas, materiais e técnicas. Tal fenômeno também se fez presente nos processos construtivos, constatando-se uma clara evolução e aumento de complexidade das estruturas construídas.

Dentre as mais diversas práticas observadas na história, nota-se a consolidação milenar da alvenaria resistente como técnica dominante, destacando-se em grandes e famosas construções e obras de arte, tal como as pirâmides do Egito, apresentadas na Figura 1, os aquedutos romanos, o Coliseu, dentre outros.

Figura 1 – Pirâmides do Egito



Fonte: Motomura (2018).

Essa consolidação ocorreu pelo fato de que a obtenção de sistemas autopórtantes se dá pela aplicação de formas estruturais básicas, como cúpula, viga, pórtico, abóboda e arco, conforme descrito por Mohamad, Machado e Jantsch (2017). Tais formas possibilitam a aplicação de conhecimentos empíricos e a experiência pessoal dos construtores, em que a forma da estrutura garantia a devida rigidez e a estabilidade da mesma.

Na construção moderna o precursor dos edifícios em alvenaria estrutural é o Edifício Monadnock, apresentado na Figura 2, localizado na cidade de Chicago, possuindo 16 pavimentos, cerca de 65 metros de altura e paredes de até 1,80 metros de espessura.

Figura 2 – Edifício Monadnock



Fonte: Vieira (2006).

No Brasil as construções em alvenaria estrutural surgem no fim da década de 1960 com a aplicação de blocos de concreto, como no Conjunto Habitacional Central Parque Lapa, em São Paulo, apresentado na Figura 3. Antes disso, de acordo com Mohamad (2015), a maioria das edificações nesse sistema eram de até 4 pavimentos, feitas de tijolos maciços e com critérios de execução e dimensionamento baseados na experiência do construtor.

Figura 3 – Conjunto Habitacional Central Parque Lapa

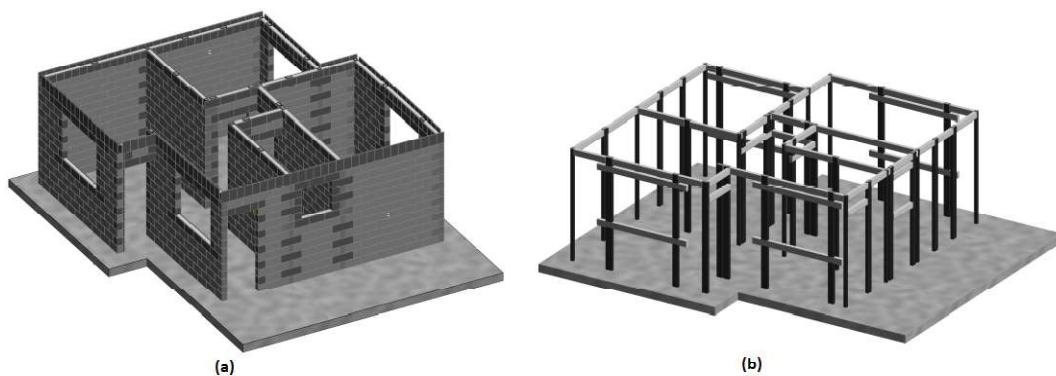


Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.31).

5.1.1 Definições e Tipos Estruturais

Define-se como alvenaria estrutural o sistema construtivo em que a transmissão dos esforços e a sustentação do edifício se dá por elementos laminares, sendo estes a própria alvenaria. Tal sistema se contrapõe aos sistemas reticulados, em que os esforços são transmitidos exclusivamente para as retículas (vigas e pilares), conforme Figura 4, de forma que a alvenaria se limita a exercer o papel de elemento vedante.

Figura 4 – Sistema Laminar (a) e Sistema Reticulado (b)



Fonte: O autor (2019).

Deve-se atentar para a diferença entre alvenaria estrutural e alvenaria resistente. De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a diferença fundamental entre os dois tipos consiste na existência de critérios normativos de dimensionamento e racionalização, na utilização de blocos modulares, na presença de técnicas construtivas adequadas e no controle tecnológico dos materiais, todos inerentes ao conceito de

alvenaria estrutural. Já a alvenaria resistente é concebidas empiricamente, muitas vezes com blocos de vedação, e sem conhecimentos e técnicas adequadas referentes à segurança estrutural.

Segundo Pudencio Junior, Oliveira e Bedin (2002), o sistema construtivo em alvenaria estrutural pode ser classificado de acordo com utilização de armadura passiva ou ativa em sua concepção estrutural. Dessa forma, a alvenaria estrutural pode ser concebida das seguintes formas:

Alvenaria Estrutural Não-Armada: Tipologia em que a absorção dos esforços pela armadura passiva é desconsiderada no dimensionamento, contando apenas com a resistência dos blocos assentados com argamassa. Todavia, pode-se conter armaduras com finalidade construtiva ou de amarração.

Alvenaria Estrutural Armada: Tipologia em que os blocos assentados com argamassa possuem preenchimento de seus alvéolos com graute e armadura, sendo esta considerada no dimensionamento como elemento resistente, além dos pontos de armaduras e graute com função estritamente construtiva e de amarração.

Alvenaria Estrutural Protendida: Tipologia em que as armaduras utilizadas são ativas, possuindo um tensionamento prévio que corrobora com a resistência da estrutura.

5.2 Propriedades e Características dos Materiais

Conforme explana Parsekian e Soares (2010), as características de um painel de alvenaria depende diretamente da composição material de seus elementos constituintes. São eles: blocos estruturais, argamassa de assentamento, microconcreto e armadura.

Dessa forma, é de grande importância a seleção de materiais e elementos de boa qualidade, devendo sempre submetê-los a ensaios específicos para que haja uma garantia técnicas dos mesmos.

Serão apresentados e discutidos individualmente cada um dos elementos citados, expondo suas definições, características e critérios de concepção da alvenaria estrutural.

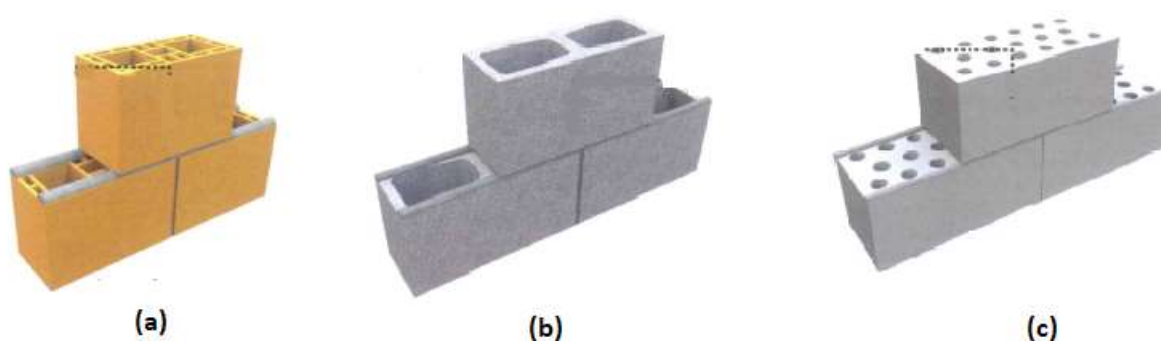
5.2.1 Blocos Estruturais

Os edifícios estruturados por sistema em alvenaria estrutural possuem como principal componente de transferência de cargas os seus painéis laminares (as paredes). Tais painéis, apesar de possuírem um comportamento monolítico, são formados por pequenas unidades modulares, arranjadas conforme a necessidade de projeto. Essas unidades são os blocos, que se classificam de acordo com as modulações de tamanho e do material constituinte.

De acordo com Parsekian e Soares (2010), os blocos representam cerca de 80% à 95% do volume de alvenaria, possuindo grande participação nas características finais dos painéis estruturais, que são: resistência à compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e à penetração de chuvas, isolamento térmico e acústico e estética.

Pudencio Junior, Oliveira e Bedin (2002) explanam três classificações para os blocos, apresentadas na Figura 5, quanto ao material constituinte. São elas:

Figura 5 – Tipos de Blocos - Quanto ao Material



Legenda:

Bloco Cerâmico (a): Bloco constituído de argila, que por sua vez é constituída de óxidos ferrosos, silicato de alumínio e sílica;

Bloco de Concreto (b): Bloco constituído de concreto simples, que por sua vez é constituído de cimento, areia, pedra de pequena granulometria, água e eventuais aditivos;

Bloco sílico-calcário (c): Bloco resultante da prensagem e da cura por vapor a alta pressão de areia quartzosa e cal.

Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.40).

5.2.1.1 Blocos Cerâmicos: Características e propriedades

Os blocos cerâmicos são aqueles formados essencialmente por argilas expostas à altas temperaturas. De acordo com a ABNT NBR 15270(2017), parte 2, os blocos

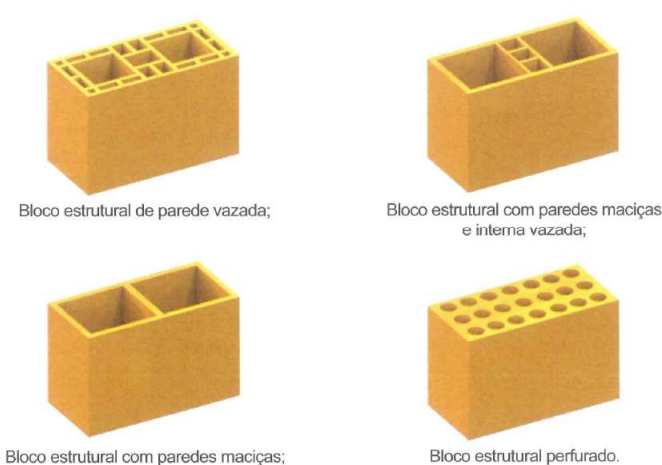
devem atender à critérios que envolvem estabilidade dimensional, absorção de água, planicidade e esquadro.

De acordo com Parsekian e Soares (2010), o processo de produção de blocos envolve várias etapas a serem executadas com o devido controle tecnológico, com a finalidade de se garantir os devidos controles de qualidade. As etapas de execução são: Laboratório, Preparação, Britagem/Moagem, Mistura, Extrusão/Corte, Secagem, Pré-Forno, Forno e Paletização.

Ainda segundo Parsekian e Soares (2010), os blocos cerâmicos devem atender uma série de características físicas para sua aplicação estrutural. Tais características são apresentadas exaustivamente na ABNT NBR 15270 (2017), parte 2. Dentre tais característica destacam-se: resistência mecânica, precisão dimensional, absorção de água e índice de absorção inicial.

Quanto aos formatos, os blocos cerâmicos estruturais podem ser de paredes vazadas, de paredes internas e externas maciças, de paredes externas maciças e internas vazadas e por fim o bloco perfurado, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Geometria dos Blocos Cerâmicos



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.41).

De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), os blocos cerâmicos são fabricados em tamanhos específicos, dentro de módulos dimensionais de 10 cm ou múltiplos de 5 cm, incluindo as juntas horizontais e verticais. As dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos são apresentados pela Figura 7

5.2.1.2 Blocos de Concreto: Características e propriedades

Os blocos de concreto são aqueles cuja matéria prima é uma mistura de cimento, areia, pedra com pequena granulometria e água. De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017) e com a ABNT NBR 6136 (2016), tais blocos podem ser classificados em três classes, conforme descrito abaixo:

Figura 7 – Dimensões de Fabricação dos Blocos Cerâmicos

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação cm					
Módulo dimensional M = 10 cm	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59
Bloco L – bloco para amarração em paredes em L. Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.						

Fonte: ABNT NBR 15270 (2017), parte 2.

Classe A: Bloco de concreto com função estrutural, utilizado em nível superior ou inferior do solo.

Classe B: Bloco de concreto com função estrutural, utilizado exclusivamente acima do nível do solo.

Classe C: Bloco de concreto sem função estrutural, utilizado exclusivamente acima do nível do solo.

Os blocos de concreto devem também atender uma série de características inerentes ao material que o constitui. Dentre tais características destacam-se: Resistência à compressão, absorção de água e retração por secagem. Além disso os blocos devem apresentar uma homogeneidade em sua superfície, além de estarem livres de trincas e imperfeições.

Ainda de acordo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), os blocos de concreto são fabricados em tamanhos específicos, dentro de módulos dimensionais de 10 cm, incluindo as juntas horizontais e verticais, da mesma maneira que os blocos cerâmicos. Para cada conjunto de grupos modulares nomeia-se como família. As famílias dimensionais dos blocos cerâmicos são apresentados pela Figura 8.

Figura 8 – Dimensões de Fabricação dos Blocos de Concreto

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Melo	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L "	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Mela canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016).

5.2.2 Argamassa de Assentamento

Conforme citado anteriormente, estruturas em alvenaria estrutural são compostas por pequenas unidades construtivas (os blocos) que juntas formam painéis estruturais (as paredes). Contudo, para a formação de peças monolíticas, tais unidades devem se unir às outras através de um material com poder aglomerante: a argamassa de assentamento.

De acordo com Mohamad (2015), o monolitismo e a solidez da estrutura são obtidos através transmissão dos esforços verticais e horizontais pela argamassa de assentamento, solidarizando os blocos, além de absorver deformações e regular a superfície de assentamento.

Pudencio Junior, Oliveira e Bedin (2002) define a argamassa como um adesivo responsável por unir as unidades de alvenaria, servindo para transferir os esforços entre elas e acomodar pequenas deformações inerentes da própria alvenaria.

Conforme cita Mohamad, Machado e Jantsch (2017) deve-se atentar para uma série de propriedades das argamassas em seu estado fresco e em seu estado endurecido. São elas:

- Propriedades da Argamassa no Estado Fresco:

Consistência: Classificação quanto à sua trabalhabilidade.

Retenção de Água: Capacidade da argamassa de não perder água para o meio externo ou para o substrato.

Coesão da Mistura: Força de atração entre as partículas sólidas da argamassa, traduzida na capacidade de manter-se sem segregação.

Exsudação: Tendência à separação da água e dos agregados da argamassa, de modo que a água ascende e os agregados descem por força gravitacional, gerando fases separadas na mistura.

- Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido:

Resistência à Compressão: Capacidade da argamassa de resistir à compressão axial.

Aderência Superficial: Capacidade da argamassa de se aderir a um substrato.

Durabilidade: Capacidade da argamassa de resistir às intempéries com o passar do tempo.

Deformabilidade: Capacidade da argamassa de acomodar deformações sem fissurar.

As características acima citadas são obtidas através da seleção rigorosa do tipo de material utilizado na mistura da argamassa. Desta forma, as argamassas podem ser classificadas quando ao seu material de constituição. São elas: argamassas de cal, argamassas de cimento, argamassas mistas e argamassas industrializadas.

As argamassas ainda podem ser classificadas de acordo com os critérios estabelecidos pela American Society for Testing and Materials (ASTM) C 270, em ordem decrescente de resistência, como: M,S,N e O. Tal classificação foi retirada da palavra *Mason*, que significa Pedreiro na língua inglesa. As características mecânicas de cada tipo e as aplicações recomendadas são apresentadas na Tabela 1.

5.2.3 Microconcreto (Graute)

O microconcreto, comumente chamado de graute (do inglês: *grout*), é um importante componente do sistema alvenaria estrutural. De acordo com Mohamad (2015), trata-se de um concreto ou argamassa cuja fluidez seja suficiente para realizar o preenchimento dos alvéolos dos blocos, mantendo sua característica de material compósito garantindo a não separação de seus componentes.

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas da Argamassa

Tipo	Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar na mistura (%)
M	17,2	>75	12
S	12,4	>75	12
N	5,2	>75	14*
O	2,4	>75	14*

* Quando houver armadura incorporada à junta de argamassa, a quantidade de ar incorporado não poderá ser superior a 12 %.

Legenda:

Tipo M: Mistura que resulta em alta resistência, sendo indicada para alvenarias armadas ou não, submetida a grandes cargas de compressão, podendo ser utilizada para estruturas abaixo ou acima do nível do solo.

Tipo S: Mistura que resulta em alta resistência de aderência, sendo indicada para os esforços de tração. Possui bom desempenho para solicitações correntes de compressão, todavia que possa ser solicitada na flexão. É indicada para paredes junto ao solo.

Tipo N: Mistura que resulta em mediana resistência para os esforços de compressão e flexão, possuindo um menor custo, o que a torna indicada para aplicações usuais. É indicada para estruturas acima do nível do solo.

Tipo O: Mistura que resulta em baixa resistência, devido ao alto teor de cal. Não é indicada para uso estrutural e nem para locais com umidade. Sua vantagem é a boa trabalhabilidade e o baixo custo.

Fonte: Mohamad *et al.* (2009, p.829)

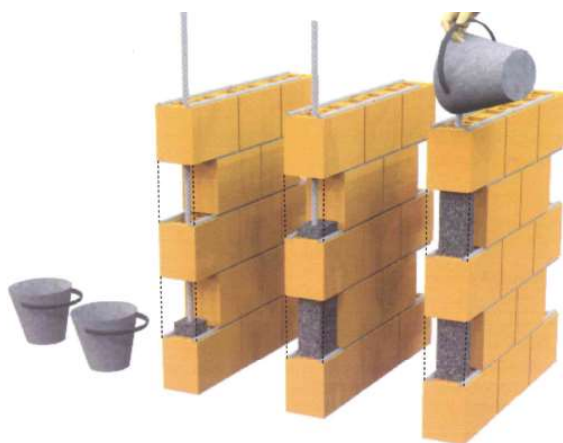
Segundo Parsekian e Soares (2010) os grautes podem ser classificados em "graute fino", quando são compostos exclusivamente por cimento e areia, e "graute grosso", quando é acrescentado brita (em geral de pequena dimensão) à mistura.

Conforme citado por Pudencio Junior, Oliveira e Bedin (2002), a fluidez do graute será definida com base na taxa de absorção inicial dos blocos (IRA) e da dimensão dos vazados. Quanto maior o índice de absorção e menor os vazados, mais fluido deve ser o graute, com o objetivo de compensar a perda de água por absorção e de melhor acomodação no interior dos furos.

Desse modo, em alguns casos demanda-se uma alta relação água/cimento, podendo atingir o patamar de 0,9. A presença da água em quantidade tão elevada na mistura do microconcreto poderá acarretar uma considerável redução em sua resistência mecânica, além de resultar num material mais poroso, devendo-se sempre considerar tais fatores durante a concepção estrutural.

Ainda de acordo com Mohamad (2015), a principal função do graute na alvenaria estrutural é corroborar com a resistência à compressão da parede, podendo também agir como preenchimento dos blocos para aumento de área comprimida nos pontos de concentração de tensões, além de garantir a solidificação de armaduras em caso de alvenaria armada. Destarte, Parsekian e Soares (2010) recomendam que a resistência à compressão do graute não seja inferior a 15 MPa, com o objetivo de se garantir a aderência necessária.

Figura 9 – Exemplo do microconcreto na Alvenaria Estrutural



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.68).

5.2.4 Armadura

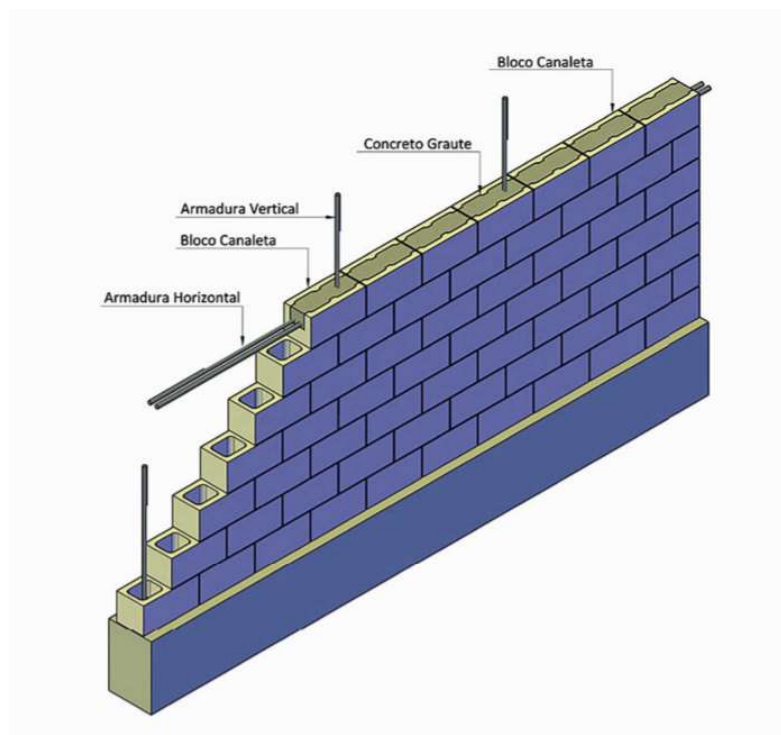
O aço como material de construção e elemento constituinte de estrutura é amplamente utilizado nas mais diversas tipologias construtivas. Uma clássica utilização do aço é observada nas estruturas de concreto armado, onde o mesmo se apresenta em forma de barras e é responsável por resistir aos esforços internos de tração da estrutura.

Semelhante às estruturas de concreto armado, as estruturas em alvenaria estrutural também contam com a utilização de aço como elemento de armadura da estrutura. Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a armadura na alvenaria estrutural é responsável por resistir aos esforços de tração e cisalhamento, podendo também ser utilizada como objeto estruturante nas ligações com elementos não estrutural, com o objetivo de evitar o aparecimento de fissuras.

Ainda segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), o tipo de armadura mais comumente utilizada são as barras em aço CA 50A, devendo sempre haver proteções contra corrosão e com o devido cobrimento especificado.

A disposição das armaduras na alvenaria estrutural poderá ocorrer de algumas formas específicas. Nas alvenarias armadas, as armaduras se apresentam dispostas verticalmente nos pontos de grauteamento, e horizontalmente nas cintas intermediárias e superiores, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10 – Disposição das armaduras em Alvenaria Estrutural

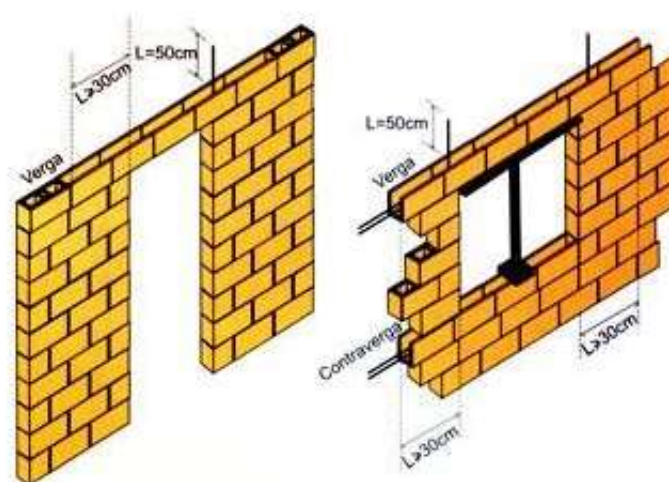


Fonte: Tauil e Nese (2010, p.71).

Além disso, tem-se a utilização de armaduras como elemento estruturante de vãos, na forma de vergas e contravergas, como mostra a Figura 11. Esses elementos são necessários para estruturar os vãos de portas e janelas, reforçando tais pontos de fragilidade.

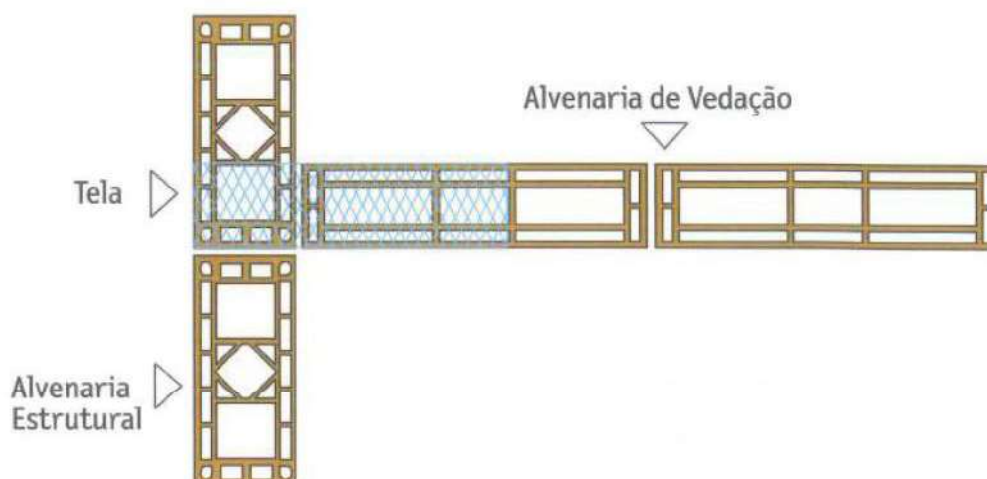
Por fim, tem-se a utilização de armaduras na forma de telas galvanizadas, conforme a Figura 12, que possuem como objetivo a estruturação e amarração das paredes, bem como a estruturação da alvenaria com elementos não estruturais, como as alvenarias de vedação.

Figura 11 – Esquema de verga e contra-verga em alvenaria estrutural



Fonte: Parsekian e Soares (2010, p.208).

Figura 12 – Tela galvanizada para alvenaria



Fonte: Parsekian e Soares (2010, p.101).

5.3 Controle Tecnológico dos Elementos

Em toda cadeia produtiva de bens, seja ela referente à construção civil ou outros setores de produção, há de se buscar um nível de atendimento aos requisitos mínimos de qualidade dos elementos. Para tal, aplica-se técnicas de verificação quantitativa e qualitativa dos elementos inspecionados, muitas vezes utilizando de tratamento estatístico para aferição de qualidade. Portanto, o conjunto dos procedimentos que visam aferir os padrões de atendimento dos elementos, bem como sua acurácia e seus parâmetros estatísticos, denomina-se controle tecnológico.

De acordo com Pozzobon (2003) o processo de controle tecnológico deve ter agilidade e dinamicidade, buscando o repasse imediato das informações recebidas acerca das operações e dos métodos empregados para o processo de produção, de forma que se possa realizar correções necessárias e otimizar as etapas produtivas.

Dessa forma, o controle tecnológico deve ser realizado nas mais diversas frentes de trabalho presentes em obras de alvenaria estrutural, sendo classificadas nos seguintes enquadramentos:

Controle de Produção: Processo de controle tecnológico dos materiais e das técnicas aplicadas na produção de elementos *in loco*, bem como aferição dos resultados dos elementos produzidos em comparação com parâmetros pré-estabelecidos.

Controle de Aceitação: Processo de verificação das características físicas de elementos produzidos por terceiros, com o objetivo de se garantir o atendimento de parâmetros pré-estabelecidos.

As normas técnicas ABNT NBR 15812 (2010), parte 2 e ABNT NBR 15961 (2011), parte 2, trazem os requisitos mínimos do sistema de controle tecnológico para obras em alvenaria estrutural, bem como os procedimentos de produção, recebimento e estocagem dos materiais. As normas trazem também a exigência do Plano de Controle de Qualidade, para que se tenha procedimentos pré-definidos para o controle de qualidade das construções.

Serão abordados no presente trabalho os procedimentos e os requisitos mínimos para o controle tecnológico de alguns elementos do sistema em Alvenaria Estrutural. São eles: controle de produção de argamassa e microconcreto (graute), controle de resistência e estabilidade dimensional dos blocos e controle de resistência do prisma.

5.3.1 Blocos Estruturais

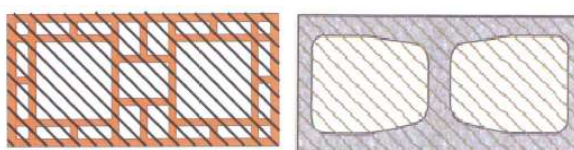
No sistema de alvenaria estrutural a qualidade dos blocos é de extrema importância para a segurança estrutural do edifício, haja vista que os painéis formados por tais blocos são responsáveis por resistir e transmitir os esforços solicitantes. Nesse contexto, Mohamad (2015) considera a resistência à compressão como a principal característica dos blocos para alvenaria estrutural.

As normas técnicas referentes aos blocos estruturais, ABNT NBR 15270 (2017), parte 2 e NBR 6136 (2016), além dos requisitos de resistência dos blocos, apresentam também os requisitos de análises dimensionais, de absorção e de área líquida.

De modo geral os blocos utilizados na construção de um empreendimento são adquiridos de fornecedores especializados e não produzidos em obra. Sendo assim, o atendimento aos critérios normativos é de responsabilidade do fabricante, devendo o comprador realizar ensaios concomitantes para aferição.

Dessa forma, de acordo com as normas ABNT NBR 15270 (2017), parte 2 e NBR 6136 (2016), a resistência à compressão dos blocos estruturais cerâmicos e de concreto simples devem ser consideradas a partir de 3 MPa da área bruta do bloco, destacada na Figura 13.

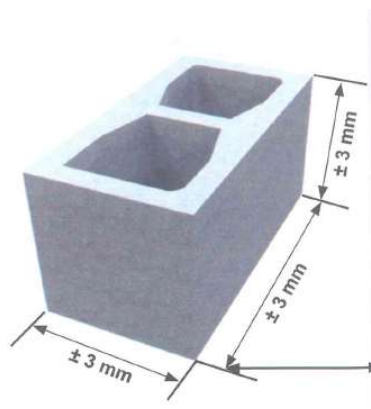
Figura 13 – Área bruta de blocos estruturais



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.47 e p.48).

Em relação à estabilidade dimensional dos blocos de concreto, a ABNT NBR 6136 (2016) define tolerâncias máximas para a variação de dimensional de cada bloco, sendo essa tolerância máxima de 3 mm para cada dimensão, conforme apresenta a Figura 14.

Figura 14 – Tolerâncias dimensionais nos blocos de concreto



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.50).

Já para blocos cerâmicos, a ABNT NBR 15270 (2017), parte 2, traz tolerâncias dimensionais específicas tanto para as unidades de blocos cerâmicos, quanto para a média de 13 blocos justapostos. Tais requisitos são apresentados na Tabela 2.

Por fim, para a cabal garantia da qualidade dos blocos estruturais, deve-se ter um controle rígido da absorção dos mesmos. Dessa forma, de acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017) a absorção mínima para blocos cerâmicos é de 8%, e a máxima é de 22%. Já para os blocos de concreto, a absorção não deve nunca

Tabela 2 – Tolerâncias dimensionais nos blocos cerâmicos

Dimensão	Tolerância dimensionais relacionadas às medidas individuais (mm)	Tolerâncias dimensionais relacionadas à média (mm)
Largura (L)	± 5	± 3
Altura (H)	± 5	± 3
Comprimento (C)	± 5	± 3
Desvio em relação ao esquadro (D)	3	
Planeza das faces ou flecha (F)	3	

Fonte: ABNT NBR 15270 (2017,p.27), parte 1.

ultrapassar o percentual de 10% para agregados comuns, e de 16% (valor individual) ou 13% (valor médio), para agregados leves.

5.3.2 Argamassa de Assentamento

Para o adequado controle tecnológico da argamassa de assentamento, há de se atentar para os requisitos normativos referentes à dosagem e produção, bem como referentes às características mecânicas da mesma. Habitualmente utilizam-se dois tipos de argamassas de assentamento: as argamassas produzidas em canteiro e as argamassas industrializadas, devendo o segundo tipo ter sua qualidade garantida pelo fornecedor e aferida pela construtora.

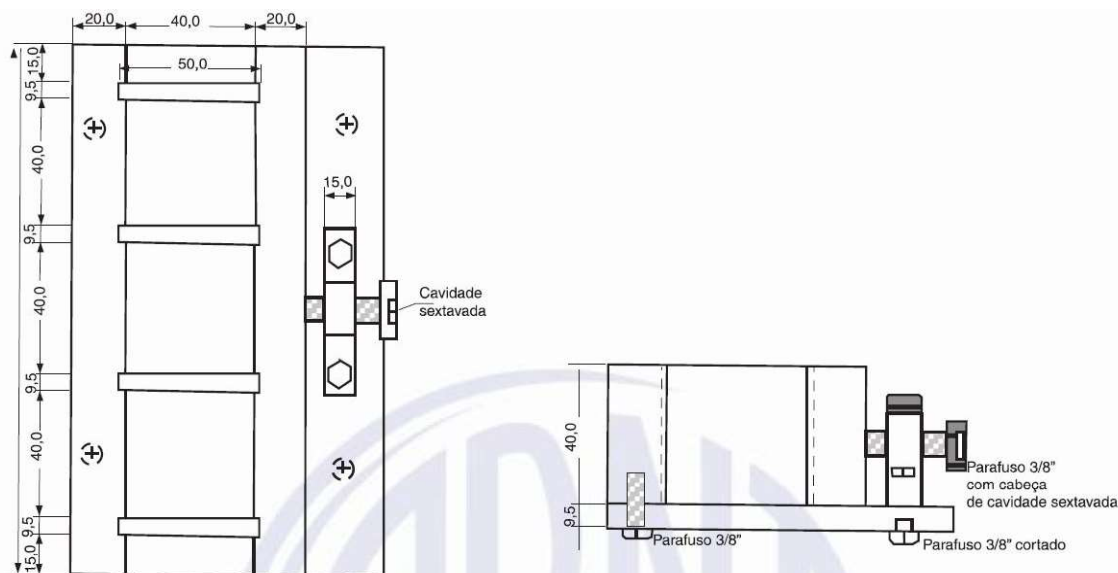
Para as argamassa produzidas em obra compete à própria construtora a garantia e aferição da qualidade da mesma, atendendo as normas ABNT NBR 15961 (2011), parte 2 e ABNT NBR 15812 (2010), parte 2, que determinam que para argamassas produzidas em obra, deve-se ter uma trabalhabilidade compatível com as características dos materiais constituintes da alvenaria e com os equipamentos de produção e transporte. Além disso, determina também que para o processo de dosagem, deve-se aferir a quantidade de cimento e cal obrigatoriamente em massa, e os demais componentes em massa ou volume.

De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), as argamassas de assentamento devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 13281 (2005), estando a resistência à compressão compreendida num intervalo de 1,5 MPa a 70% da resistência característica do bloco definida em projeto.

O ensaio de resistência mecânica das argamassas de assentamento devem ser executados de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005), em que determina a moldagem de corpos de prova cúbico de 4 cm de lado para os ensaios de compressão, como mos-

tra a Figura 15 . Os ensaios devem ser realizados para cada lote de argamassa, que consiste na argamassa utilizada no menor dos seguintes itens: 500 m^2 de área construída em planta por pavimento, dois pavimentos consecutivos, argamassa produzida com mesmo material, mesma dosagem e mesmo processo.

Figura 15 – Forma cúbica para argamassa - 4 cm



Fonte: ABNT NBR 15961 (2011, p.34), parte 2.

5.3.3 Microconcreto (Graute)

Apesar de possuir características específicas para a utilização em alvenaria estrutural, para fins de controle tecnológico, é necessário submeter o microconcreto aos ensaios inerentes aos concretos comuns.

De acordo com as normas técnicas ABNT NBR 15812 (2010), parte 2 e ABNT NBR 15961 (2011), parte 2, o microconcreto deve ser produzido a fim de se garantir resistência característica estabelecida em projeto, além de ter uma consistência adequada para o preenchimento de todos os vazios dos blocos sem que haja segregação. As normas ainda limitam o teor de cal presente na mistura em no máximo 10%, além de prescrever que os agregados tenham dimensões máximas inferiores a 1/3 da menor dimensão dos vazados dos blocos. As normas fixam ainda que para a produção do microconcreto, o cimento, a cal e os aditivos devem obrigatoriamente ser medidos em massa, enquanto os demais componentes podem ser medidos em massa ou volume.

O controle tecnológico do microconcreto deve se basear na análise da resistência à compressão axial de corpos de prova, moldados de acordo com a ABNT NBR 5738 (2015) e ensaiados conforme a ABNT NBR 5739 (2018). Comumente os ensaios

são feitos em corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Corpo de prova de concreto



Fonte: Silva (2009, p.24).

5.3.4 Prisma

As normas ABNT NBR 15961 (2011), parte 2 e 15812 (2010), parte 2, trazem algumas possibilidades de controle tecnológico referentes à resistência mecânica das paredes estruturais. Tratam-se dos ensaios de prisma, pequena parede e parede, sendo o ensaio de prisma o mais difundido e utilizado, e que foi objeto de explanação neste trabalho.

Em alvenaria estrutural, o prisma é o corpo de prova da parede estrutural, sendo formado por dois blocos e uma junta de argamassa, que se dispõe sobre toda a área bruta do bloco, podendo ser completamente grauteado (prisma cheio) ou vazio (prisma oco). No primeiro caso, o fator de equivalência da resistência à compressão horizontal em relação à vertical é unitário. No segundo caso, o fator de equivalência é de 50%.

A resistência mecânica do prisma, assim como a resistência mecânica de cada um de seus componentes separadamente, são dados fundamentais para o dimensionamento da alvenaria estrutural.

De acordo com Parsekian (2012), PARSEKIAN, G. A. (org.) (2012) o ensaio de prisma, demonstrado na Figura 17, deve estar presente em duas fases: na caracterização prévia e no controle de obra.

No primeiro caso, deve-se realizar o ensaio antes do início da obra, com o objetivo de evitar que o primeiro pavimento (o mais solicitado) seja construído com incertezas. Já na fase de controle de obra, deve-se realizar ensaios de 12 prismas por cada pavimento, a fim de se monitorar e controlar a qualidade das características mecânicas dos painéis.

Figura 17 – Ensaio de Prisma



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p.68).

6 ALVENARIA ESTRUTURAL E NORMA DE DESEMPENHO - ABNT NBR 15575 (2013)

Com a publicação e a entrada em vigor ABNT NBR 15575 (2013), ficaram estabelecidos no âmbito da construção civil, requisitos normativos para o mínimo desempenho esperado das edificações no decorrer de sua vida útil. Tais requisitos englobam o desempenho técnico desde a estrutura dos edifícios, passando pelos sistemas de vedações, e abrangendo os sistemas complementares dos mesmos.

Dentre os diversos requisitos apresentados na norma de desempenho, alguns são sistematicamente ligados às construções em alvenaria estrutural. São eles: Desempenho térmico e desempenho acústico.

Santos *et al.* (2015) ressalta a importância de estudos acerca do comportamento térmico da alvenaria estrutural, haja vista que há uma grande gama de blocos produzidos no Brasil, devendo-se saber qual o tipo e qual material mais adequado para cada região do país, devido à grande variabilidade climática oriunda da sua extensão territorial.

Analogamente, entende-se que o estudo do desempenho acústico dos edifícios em alvenaria estrutural também se faz de suma importância. A norma de desempenho igualmente trata desse tema, estabelecendo os limites e as características de transmitância sonora para que se garanta o conforto em cada ambiente da residência.

6.1 Desempenho Térmico

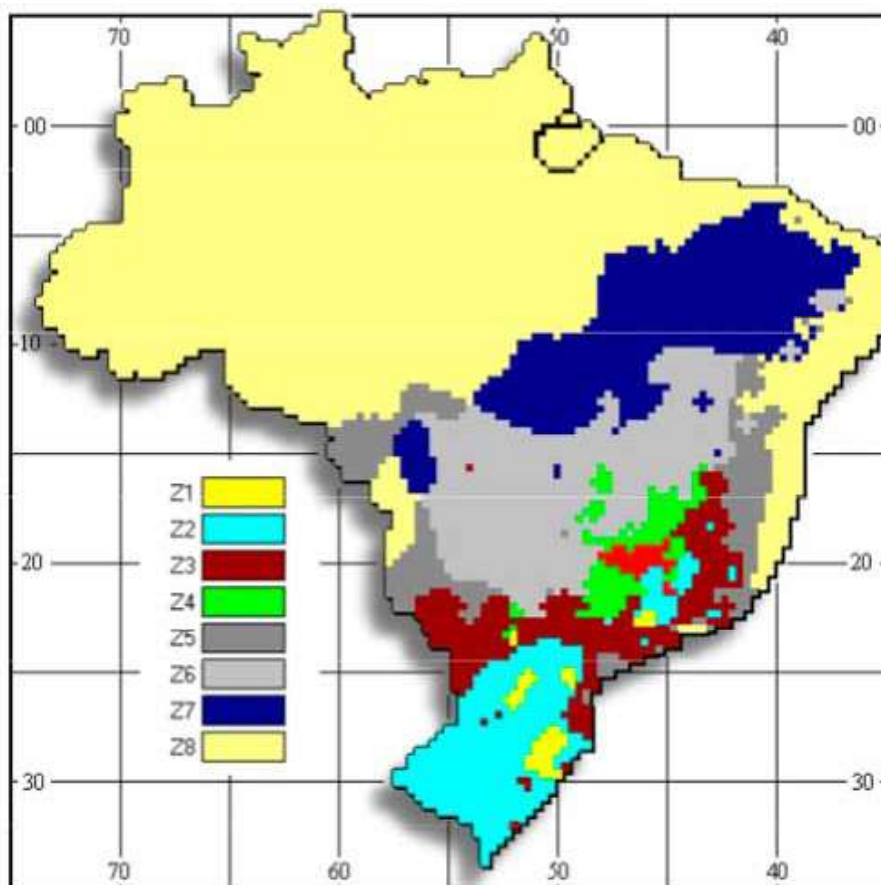
O desempenho térmico de uma edificação está estritamente ligado com o conceito de conforto térmico. Para Frota e Schiffer (2001) o estado de conforto térmico ocorre quando a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente acontece sem o emprego de maior esforço por parte do organismo. Ou seja, quando há perda excessiva ou insuficiente de calor para o ambiente, o organismo necessita de um maior esforço para garantir sua termorregulação, surgindo então o desconforto.

Dessa maneira, a temperatura do ambiente é um elemento crucial para a garantia do conforto térmico. Com isso, as características arquitetônicas e construtivas dos edifícios devem atender aos padrões mínimos de desempenho apresentados na ABNT NBR 15575 (2013).

Para a avaliação do desempenho térmico de um determinado edifício, deve-se considerar a zona bioclimática que o mesmo está inserido. A ABNT NBR 15220 (2005),

parte 3, classifica o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas, conforme a Figura 18. Os resultados da avaliação de desempenho podem divergir conforme altera-se a zona bioclimática. Portanto, o correto enquadramento é de suma importância para a acurácia da avaliação.

Figura 18 – Zonas Bioclimáticas



Fonte: ABNT NBR 15220 (2005, p.03), parte 3.

Como metodologia de avaliação térmica dos edifícios, a ABNT NBR 15575 (2013) traz três procedimentos: dois normativos e um informativo. O primeiro procedimento normativo consiste na verificação do atendimento aos critérios de envelopamento da obra, com base em análise das paredes e da cobertura, que constam nas partes 4 e 5, respectivamente, da ABNT NBR 15575 (2013). São verificadas a transmitância térmica e a capacidade térmica. Transmitância térmica é definida como a taxa de transmissão de calor através da área unitária de um elemento durante uma unidade de tempo. Já a capacidade térmica refere-se à quantidade de calor aplicada em uma área unitária de um elemento, que resulte na variação de uma unidade de temperatura.

Além dos parâmetros citados, outros podem ser aferidos, como a resistência térmica, o atraso térmico e o fator solar. Resistência térmica refere ao inverso da transmitância térmica, sendo o valor que representa a resistência à passagem do calor através de um elemento. O atraso térmico é definido como o tempo que uma

determinada variação térmica leva para se manifestar na face oposta do elemento. Por fim, fator solar é definido como a o percentual de radiação transmitida pelo elemento em relação à radiação que incide sobre o mesmo.

Para o presente trabalho foi apresentado apenas a análise das paredes. Os requisitos mínimos de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores máximos admitidos para a transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas

Zonas Bioclimáticas	Transmitância Térmica U - (W/m ²)	Capacidade Térmica CT - (kJ/m ²)
Zonas 1 e 2	$U \leq 2,5$	CT ≥ 130
Zonas 3, 4, 5, 6 e 7	$\alpha \leq 0,6 / U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6 / U \leq 2,5$	
Zona 8	$\alpha \leq 0,6 / U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6 / U \leq 2,5$	Sem requisito

α - absorptância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.27), parte 4.

Já o segundo método normativo é recomendado quando ocorre o não atendimento do primeiro. Tal método consiste em simulação computacional com base em parâmetros apresentados no anexo da norma, sendo recomendado o *software Energy-Plus*. A simulação considera o edifício como um todo, estabelecendo requisitos de temperaturas para o inverno e verão, embasando a análise nas seguintes propriedades: condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absorptância à radiação solar, resistência ou transmitância térmica de elementos e características fotoenergéticas. Os requisitos mínimos de temperatura para o inverno e para o verão são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

O terceiro e último método enquadra-se exclusivamente como caráter informativo. Trata-se do procedimento de medição direta da temperatura nos ambientes do edifício ou em protótipos do mesmo. Não serve como substituto de nenhum dos métodos descrito, porém, deve atender aos requisitos apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Por fim, a norma apresenta também os requisitos mínimos de aberturas para ventilação em ambientes prolongados, para quando tais requisitos não estão dispostos em legislação específica local. Os valores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 4 – Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,mín.} \leq (T_{e,mín.} + 1^{\circ}\text{C})$

$T_{i,máx.}$ É o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,máx.}$ É o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 $T_{i,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 Nota Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3, Figura 16 do presente guia.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.62), parte 1.

Tabela 5 – Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ}\text{C})$	

$T_{i,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 Nota Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3, Figura 16 do presente guia.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.63), parte 1.

Tabela 6 – Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 - Aberturas médias	Zona 8 - Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso - Região Norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso - Região Nordeste e Sudeste do Brasil

Nota: Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.28), parte 4.

Desde a publicação da norma de desempenho, foram testados diversos tipos de paredes com base nos requisitos apresentados. Kappaun (2012) comparou o desempenho térmico de painéis de blocos de concreto e de blocos cerâmicos. A características físicas dos blocos estudados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Características dos blocos estruturais

	Bloco estrutural cerâmico	Bloco estrutural de concreto
Dimensões (cm)	14 x 19 x 29	14 x 19 x 29
Resistência a compressão	7,0 MPa	≥4,0 MPa
Peso (g)	6.039	9.915
Área bruta (cm ²)	406	409,88
Densidade (kg/m ³)	1957	2400
Fonte:	Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda	Tecmold Ltda

Fonte: Kappaun (2012, p.64).

Kappaun (2012) explana na Tabela 8 o resultado do estudo comparativo de desempenho térmico, através do método simplificado, dos blocos citados. O autor apresenta valores relacionados à resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Tais valores são para paredes feitas com blocos de mesma dimensão, porem de materiais distintos: concreto e cerâmica.

Tabela 8 – Comparação do desempenho térmico dos blocos estruturais

	Bloco de concreto	Bloco cerâmico
Resistência térmica da parede - (m ² .K)/W	0,1769	0,3083
Resistência térmica total - (m ² .K)/W	0,3469	0,4783
Transmitância térmica U – W/(m ² .K)	2,8827	2,0907
Capacidade térmica C – KJ/(m ² .K)	264,3171	194,1747
Atraso térmico ϕ (h)	4,19	4,54
Fator solar FS (%)	2,88	2,09

Fonte: Kappaun (2012, p.73).

6.2 Desempenho Acústico

Em termos gerais, os sons são ondas mecânicas propagadas através do ar. Obedecendo os preceitos da Ondulatória Básica, como toda onda, o som possui amplitude (quanto maior, mais intenso o som) e frequência (quanto maior, mais agudo o som). O tímpano humano possui um limite de conforto quando se trata de sons. Desta feita, a ABNT NBR 15575 (2013) apresenta também requisitos para o desempenho acústico dos edifícios.

De acordo com CBIC (2013), os critérios apresentados pela norma possuem o objetivo de atenuação acústica dos ruídos de impactos em lajes de piso além do isolamento de sons aéreos dos pisos e do conjunto fachada-cobertura. A norma prescreve ainda a necessidade de isolamento entre paredes de divisa em edificações geminadas, além de isolamento entre paredes que dividem área comum e área privativa de edificações multifamiliares. Para o presente trabalho, explanar-se-á apenas os requisitos acústicos referentes às paredes dos edifícios.

A ABNT NBR 15575 (2013) apresenta três métodos de avaliações que envolvem o desempenho acústico das paredes. São eles: avaliação de som aéreo, através da verificação de campo (método de engenharia ou método simplificado) ou através da verificação de laboratório. Apresenta também critérios de desempenho acústico, que consiste na avaliação da isolação sonora entre paredes (através de ensaio de campo e de laboratório), e por fim, na análise da isolação sonora de fachadas (através do ensaio de campo e de laboratório).

Acerca da verificação do isolamento ao som aéreo, os dois métodos de campo visam medir o isolamento global ao som aéreo da vedação externa. O método de engenharia realiza o procedimento através de instrumentação acústica própria para a realização do ensaio. Os passos dos ensaios são descritos na ISO 140 (1997), partes 4 e 5. Já o método simplificado é utilizado quando não há a disponibilidade de equipamentos para a realização do método de engenharia e seus procedimentos são descritos na ISO 10052 (2004). Por fim, há o método de ensaio de laboratório, que é considerado de precisão, pois consiste na análise de valores de referência de cálculo de dados precisos de capacidade de isolamento acústico de cada um dos elementos de vedação. Tal método é descrito na ISO 10140 (2010), parte 2.

Em relação ao critério de desempenho acústico referente à isolação sonora de paredes entre ambientes, a ABNT NBR 15575 (2013) traz os requisitos para quando avaliado em ensaio de campo (através dos métodos de campo supracitados) e também para quando avaliado em ensaio de laboratório. Refente ao ensaio de campo, o índice utilizado é o $D_{nT,w}$, que é a diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes,

para ensaio de campo.

Em suma, tal índice refere-se à valores resultantes das medições *in loco* através das normas pertinentes. Tal requisito é apresentado na Tabela 9, juntamente com a indicação do nível de desempenho para cada faixa de valor. Os valores apresentados dependem do tipo do elemento a ser analisado e do ambiente em que tal elemento se encontra.

Tabela 9 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo – Método de engenharia

Elemento	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.57), parte 4.

Já para o ensaio de laboratório, o índice utilizado é o R_w , que é o índice de redução sonora ponderado dos componentes, que determina a capacidade de redução de ruídos aéreos. Os requisitos referentes à esse item, juntamente com os níveis de desempenho, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w^* dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
(*) valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo		

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.59), parte 4.

Alguns estudos analisam o desempenho acústico do critério acima explanado com o objetivo de avaliar o comportamento das diversas tipologias construtivas. CBIC (2013) apresenta na Tabela 11 alguns valores indicativos para os sistemas mais utilizados.

Tabela 11 – Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes

Tipo de parede	Largura do bloco / tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R _w (dBA)
Blocos vazados de concreto	9 cm	argamassa 1,5 cm em cada face	180 kg/m ²	41
	11,5 cm		210 kg/m ²	42
	14 cm		230 kg/m ²	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	argamassa 1,5cm em cada face	120 kg/m ²	38
	11,5 cm		150 kg/m ²	40
	14 cm		180 kg/m ²	42
Tijolos maciços de barro cozido*	11 cm	argamassa 2cm em cada face	260 kg/m ²	45
	15 cm		320 kg/m ²	47
	11 + 11 cm**		450 kg/m ²	52
Paredes maciças de concreto armado	5 cm	sem revestimento	120 kg/m ²	38
	10 cm		240 kg/m ²	45
	12 cm		290 kg/m ²	47
Drywall	2 chapas + lã de vidro	sem revestimento	22 kg/m ²	41
	4 chapas		44 kg/m ²	45
	4 chapas + lã de vidro		46 kg/m ²	49

(*) Valores indicados pela Universidade de Coimbra.
(**) Parede dupla 11 + 11 cm, com espaço interno de 4 cm preenchido com manta de lã de rocha 70 kg/m³.

Fonte: CBIC (2013, p.162).

Por fim, a norma apresenta parâmetros para a isolamento sonora das fachadas e da cobertura, também para os ensaios de campo e para o ensaio de laboratório. De acordo com CBIC (2013), tais requisitos avaliam a atenuação acústica entre o ruído padrão gerado externamente e a intensidade sonora registrada no interior do edifício, em área de dormitório. Os valores são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D(2min)_{Tw}$ para ensaios de campo

Classe de ruído	Localização da Habitação	dB	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
Nota 1 - Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos. Nota 2 - Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos			

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.56), parte 4.

Tabela 13 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas

Classe de ruído	Localização da habitação	R _w * dB	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

(*) valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p.58), parte 4.

7 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para a execução de qualquer tipo de obra de engenharia que atenda critérios de segurança, usabilidade e desempenho, é necessário que haja um projeto ou um conjunto de projetos daquilo que se quer produzir. Tal necessidade se faz mais evidente conforme se eleva o porte e/ou a complexidade do produto a ser feito. Quanto maior e mais complexa se faz uma edificação, faz-se também necessário uma maior quantidade de projetos e com um maior nível de detalhamento.

A diversidade de projetos necessários para a execução de uma obra e a especialização cada vez mais refinada dos profissionais faz com que para um mesmo conjunto de projetos haja um considerável número de projetistas. Tal fato somado aos efeitos da evolução tecnológica e da globalização, permite que diversos profissionais corroborem para o desenvolvimento do projeto, podendo os mesmos estar em locais diversos, com filosofias de trabalho distintas e métodos divergentes, surgindo então a necessidade de compatibilização entre tais projetos. Mikaldo Junior e Scheer (2008) discorre sobre as razões que justificam a compatibilização de projetos.

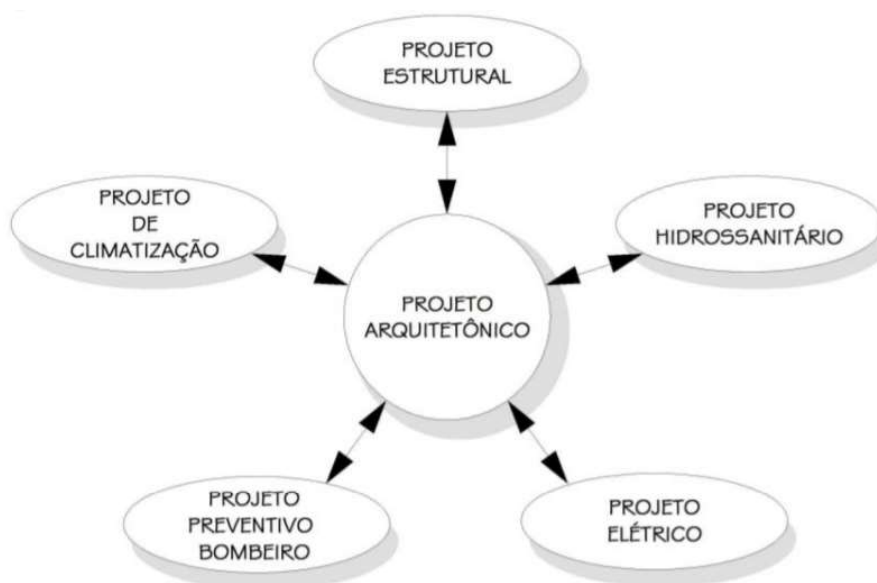
Embora a necessidade de coordenar e compatibilizar projetos seja originada pela separação entre a atividade projetual e a execução, [...], há outros motivos que a justificam na atualidade, tais como: especialização cada vez maior das diferentes áreas de projetos; conformação de equipes de projeto situadas em diferentes localidades; número crescente de soluções tecnológicas sendo agregadas nos empreendimentos). (MIKALDO JUNIOR; SCHEER, 2008, p.21).

Sousa (2010) descreve a compatibilização como resultado da integração entre as interfaces dos projetos de arquitetura, estrutural e os complementares de um edifício, o que é esquematizado na Figura 19. Segundo o autor, o objetivo da compatibilização é reduzir ou eliminar problemas de interferências físicas e perdas de funcionalidades dos ambientes.

A classificação da qualidade de um projeto está diretamente ligada com o nível de compatibilização do mesmo, uma vez que quanto mais compatibilizado e integrado o projeto se apresenta, menor será o nível de interferência entre as interfaces construtivas e, por conseguinte, menos retrabalho, o que suprime os desperdícios e os custos da obra.

Thomaz (2001) aponta o alto índice de falhas de execução nas construções brasileiras. Para o autor tais falhas são produtos da escassez de qualidade e quantidade de detalhamentos nos projetos, bem como a falta de compatibilização dos mesmos.

Figura 19 – Esquema de Compatibilização de Projetos



Fonte: Giacomelli (2014, p.03).

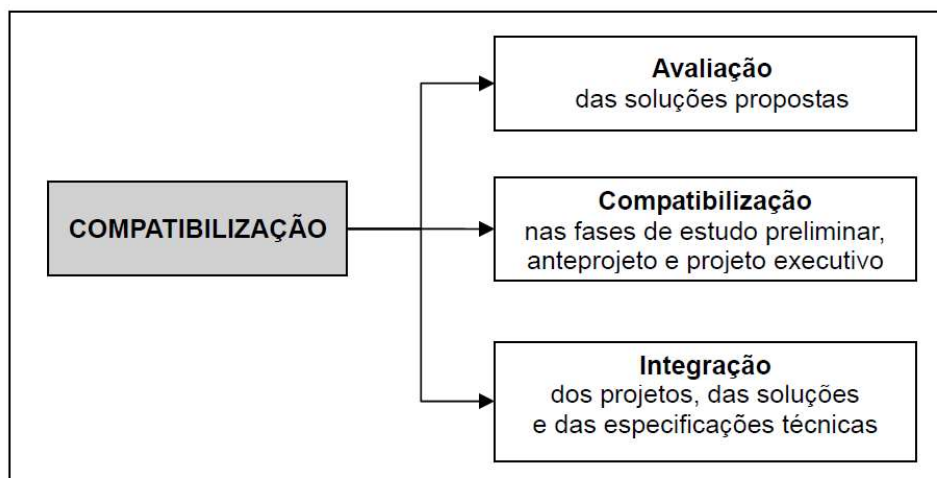
A compatibilização de projetos realizado como etapa subsequente ao desenvolvimento dos projetos, de maneira isolada, tem sua eficácia limitada, devendo ser entendido como parte precedente à etapa de projeto, fazendo seus resultados avançar para além desta, com reflexos significativos na etapa executiva.

De acordo com Silva (2004, p.56), "A compatibilização de projetos se inicia na fase de estudos preliminares, prossegue na fase de anteprojetos e termina com a compatibilidade parcial e final na fase dos projetos executivos."

Segundo o autor, a compatibilização possui três aspectos constituintes: Avaliação das soluções propostas; Compatibilização nas fases de estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo; e Integração dos projetos, das soluções e das especificações técnicas, como exposto na Figura 20

Rodríguez e Heineck (2003) descrevem que existem três processos de compatibilização presentes no desenvolvimento dos projetos de uma obra, demonstrados na Figura 21. A primeira compatibilização se apresenta na fase de estudo preliminar do projeto, buscando integrar as diretrizes de estudos preliminares de cada um dos projetos. A segunda compatibilização deve ocorrer na fase de anteprojeto, buscando uma compatibilização mais precisa entre os anteprojetos específicos, dando um embasamento consistente para a elaboração dos projetos legais. Por fim, a terceira e última fase de compatibilização se apresenta após a fase de projetos legais, ou seja, na fase dos projetos executivos. Essa última compatibilização visa solucionar de maneira definitiva as últimas interferências entre interfaces presentes no projeto, estando os projetos prontos para serem executados após o fim da mesma.

Figura 20 – Aspectos Constituintes da Compatibilização de Projetos



Fonte: Silva (2004, p.58).

O processo de compatibilização dos projetos traz consideráveis benefícios para a obra. Giacomelli (2014) cita que a compatibilização gerencia e integra os projetos arquitetônicos com os complementares. Além disso, o autor destaca a otimização de tempo, material, mão de obra, manutenção e execução, haja vista que tal processo permite a constatação de falhas de interposições, além de evidenciar as incoerências geométricas entre os sistemas construtivos. Com isso, há de se notar uma considerável diminuição nos embates entre os projetos da obra, bem como a redução de retrabalhos no canteiro. Os benefícios da compatibilização são elencados na Tabela 14

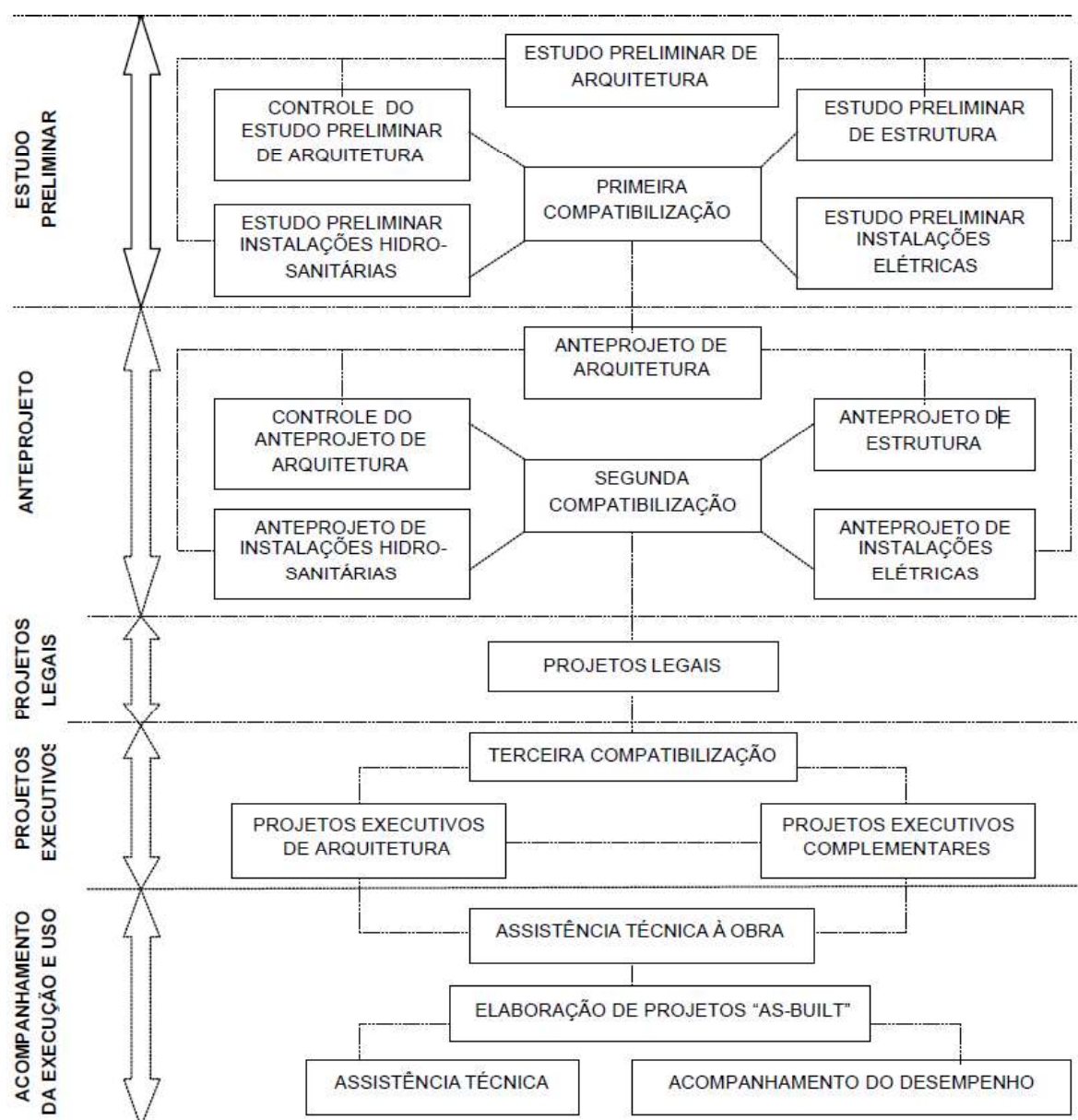
Tabela 14 – Benefícios da Compatibilização

Otimiza	Tempo Material Mão de Obra Manutenção Execução
Constata	Falhas de Interposições Incoerências Geométricas entre os Sistemas Construtivos
Diminui	Embates entre projetos intrínsecos à determinada obra Retrabalho no canteiro de obra
Gerencia e Integra	Projeto arquitetônico e projetos complementares Obtenção de padrões de controle

Fonte: Giacomelli (2014, p.03)

Apesar de se ter uma convergência na literatura acerca da necessidade da compatibilização de projetos a fim de se verificar as interferências entre as interfaces de projetos, de acordo com Mikaldo Junior e Scheer (2008) não há um consenso a respeito do escopo da compatibilização, uma vez que os autores que estudam o tema

Figura 21 – Processos de compatibilização no desenvolvimento de projetos.



Fonte: Rodríguez e Heineck (2003, p.03).

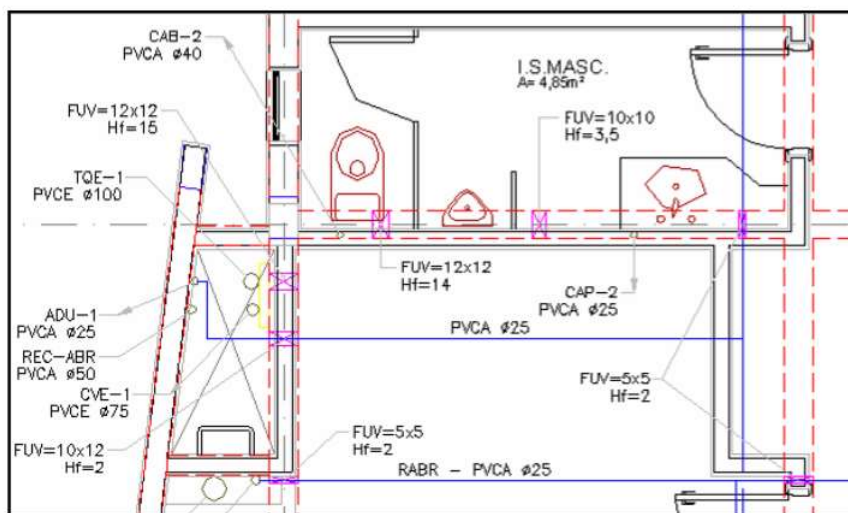
citam diversos meios de fazê-la, como a sobreposição dos projetos em 2D através de ferramentas CAD, a integração de projetos modelados em 3D e a aplicação do método Análise do Modo e Efeito da Falha - FMEA.

Um dos principais motivos do não consenso das técnicas está relacionado com a evolução das ferramentas de projetos. Numa época não muito distante, quando a utilização de ferramentas CAD não fazia parte da realidade dos projetistas, todos os projetos eram feitos manualmente, o que tornava o processo de compatibilização incipiente.

Conforme as ferramentas e a tecnologia evoluem, novas realidades surgem. No momento em que as ferramentas CAD eram o meio mais avançado de projeto, a

sobreposição de projetos em 2D como técnica de compatibilização se fazia a mais recomendada. Tal procedimento consiste na aplicação de lista de checagem que auxiliam na verificação de pontos de interferências entre os projetos sobrepostos, facilitando a visualização e a interpretação das mesmas, como observa-se no exemplo da Figura 22.

Figura 22 – Sobreposição de projetos em 2D

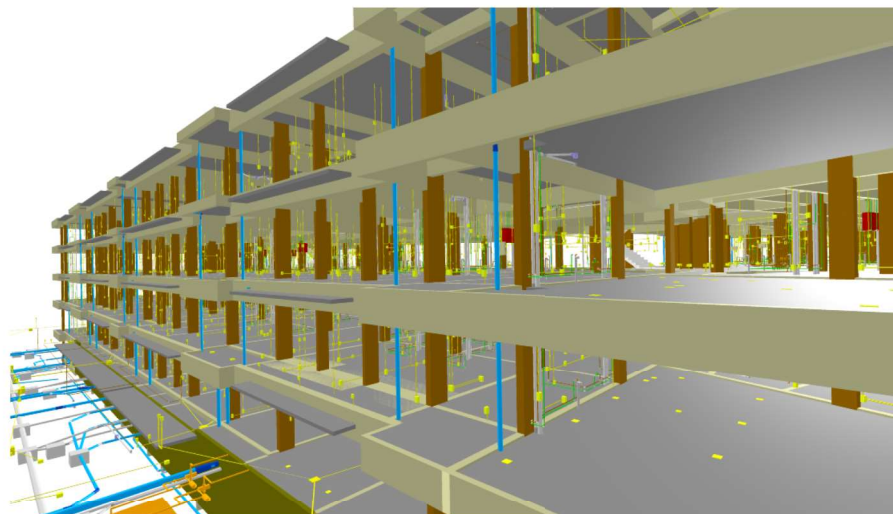


Fonte: Mikaldo Junior e Scheer (2008, p.84).

Atualmente com o advento dos *softwares* de modelagem 3D, interagindo com plataformas *Building Information Modeling (BIM)*. Tal plataforma refere-se à uma metodologia de desenvolvimento de projetos, através de ferramentas, tecnologias e processos integrados, em que o todas as etapas do projeto são concebidas de forma colaborativa, permitindo diversas análises de conflito entre interfaces, além de possibilitar uma gestão físico-financeira com melhor acurácia.

A integração entre as diversas partes do projeto ocorre de maneira simultânea dentro do próprio projeto, reduzindo significativamente as interferências. Nesta tipologia, os *softwares* apresentam as interferências instantaneamente durante o desenvolvimento, dando ciência ao projetista da inconformidade entre interfaces no momento de sua concepção, promovendo uma visão integral do projeto, como na Figura 23. Desse modo, o processo de tomada de decisões e alternativas para as correções necessárias torna-se mais fácil e assertivo.

Figura 23 – Projeto modelado com conceito BIM.



Fonte: Gonçalves Junior (2017)

Contudo, apesar do conceito BIM não ser extremamente novo, a adoção do mesmo ainda está sendo difundida e não é predominante no atual cenário. De acordo com Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018), através de um estudo encomendado à Fundação Getúlio Vargas (FGV), até março de 2018 apenas 9,2% das empresas do setor da construção utilizam a plataforma BIM em sua rotina de trabalho. Em uma análise ao referido estudo, Castelo, Marcellini e Viana (2018) explana que 33% das empresas que não utilizam BIM, sequer conhecem a tecnologia, mostrando que o aproveitamento dessa metodologia está muito aquém de sua capacidade.

8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

8.1 Caracterização da Pesquisa

De acordo com a classificação de Gerhardt e Silveira (2009), quanto à abordagem, a pesquisa é classificada como uma pesquisa qualitativa, uma vez que se fará uma análise crítica sobre o nível de compatibilização, sem uma preocupação com representatividade numérica. Em relação à natureza, classifica-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que o objetivo da mesma envolve uma aplicação prática, com ênfase na solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos, enquadra-se como uma pesquisa descritiva, haja vista que o propósito da pesquisa é descrever fatos e fenômenos da realidade. Por fim, tratando-se da classificação quanto aos procedimentos, tal pesquisa é posta como um estudo de caso, haja vista que as análises e ponderações feitas serão referentes a um único objeto na forma encontrada.

8.2 Breve Descrição do Objeto de Estudo

O objeto do estudo de caso consiste num edifício habitacional vertical multifamiliar, em alvenaria estrutural, composto por um pavimento térreo e mais 11 pavimentos. O térreo se caracteriza por ser um pilotis em concreto armado, destinado a vagas de garagem dos moradores. O pavimento tipo é repetido do pavimento 1 ao pavimento 10, composto por 4 apartamentos tipo de 55 m^2 . Já o pavimento 11 é composto por 2 apartamentos tipos e 2 espaços recreativos para uso comum dos moradores. A maquete eletrônica do edifício é apresentada na Figura 24. O objeto de estudo foi caracterizado mais detalhadamente na seção 9, "Estudo de Caso".

Figura 24 – Maquete do edifício do estudo de caso



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

8.3 Análise de Compatibilização

8.3.1 Estudo dos Projetos

No início da fase de análise de compatibilização, é de suma importância que haja uma leitura detalhada e uma análise profunda dos projetos inerentes ao empreendimento, para que haja um entendimento de cada sistema do edifício individualmente, para entender a forma de funcionamento simultâneo dos mesmos. As pranchas de todos os projetos e sobreposições apresentados no texto estão presentes no Anexo A.

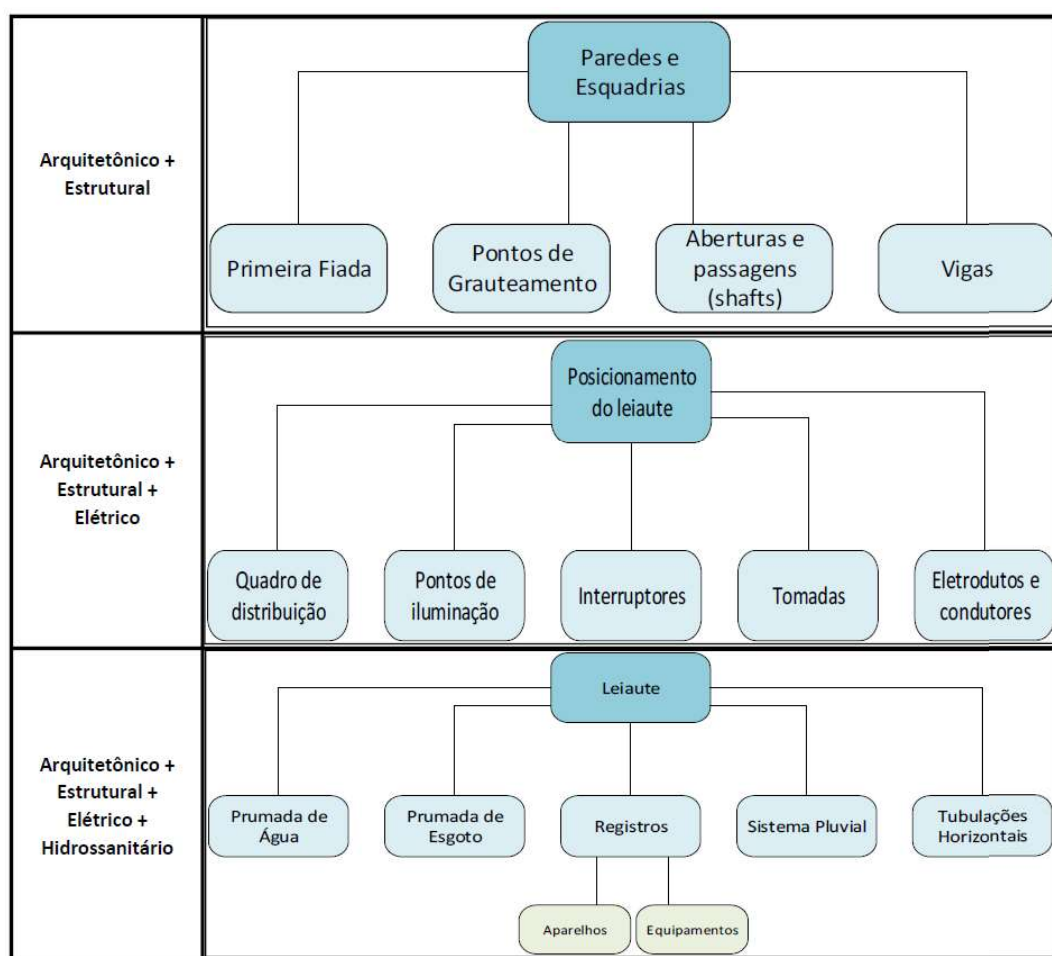
Para este fim, foi utilizada a ferramenta Autodesk Autocad 2020 - Versão Estudante para a leitura dos projetos elaborados em CAD. Os projetos analisados foram os projetos de arquitetura, alvenaria estrutural, elétrico, lógico e hidrossanitário, referentes ao pavimento tipo.

8.3.2 Sobreposição de Projetos e Análise Prévia

Após uma análise detalhada e individual dos projetos durante a fase anterior, foi realizada uma análise mais aprofundada e minuciosa. O objetivo que anteriormente era o entendimento de cada projeto, passou a ser de análise crítica do conjunto de projetos de forma monolítica. Para tanto, foi utilizada a técnica de sobreposição dos desenhos em 2D no ambiente CAD, buscando identificar de maneira prévia as interferências entre os mesmos.

Entretanto, para que se tivesse máxima eficiência nas análises de interferências, as sobreposições de projetos não ocorreram de maneira desordenada. As sobreposições ocorreram baseadas no proposto por Giacomelli (2014), sendo apresentadas as sequências das mesmas na Figura 25. Após a sobreposição, foi realizada uma análise dos elementos conflitantes, destacando-os para que pudesse ser avaliado seu nível de interferência.

Figura 25 – Fluxo de compatibilização



Fonte: Adaptado de Giacomelli (2014, p.07).

8.3.3 Avaliação do nível de compatibilização dos projetos e de interferências na execução através de lista de checagem

A presente fase da análise de compatibilização utilizou os dados e observações obtidos da fase anterior. Contudo, os objetos de análise (interferências entre projetos) foram avaliados por meio de lista de checagem. Tal lista tem como objetivo auxiliar na descrição das interferências, identificadas em fase anterior ou na fase presente, bem como descrever as possíveis causas e as consequências de tal interferência. As listas de checagem foram aplicadas nas combinações de projetos sobrepostos já descritos na fase anterior, devendo seguir o modelo da Tabela 15, baseada na metodologia de Pinto (2016).

Tabela 15 – Exemplo de Lista de checagem de interferências entre projetos

Elemento - Arquitetura	Elemento - Elétrica	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta
Paredes	Quadro de Distribuição				
	Tomadas				
	Interruptores				
	Iluminação				
	Eletrodutos				
Esquadrias	Quadro de Distribuição		x	Quadro posicionado no local da janela	Alterar quadro para local adequado.
	Tomadas				
	Interruptores		x	Interrptor posicionado em local de janela	Mover o interruptor 20 cm para esquerda.
	Iluminação				
	Eletrodutos				
Leiaute	Quadro de Distribuição				
	Tomadas		x	Disposição dos móveis em desacordo. Falta tomada da TV.	Rearranjar tomada de acordo com leiaute arquitetônico.
	Interruptores				
	Iluminação				
	Eletrodutos				

Fonte: Adaptado de Pinto (2016, p.32).

Foram dispostos os principais elementos de cada projeto numa coluna da tabela apresentada, de forma que a se realizar com as verificações através de cruzamento de dados, avaliando as possíveis interferência elemento-elemento. Uma vez constatada a interferência entre elementos, foi assinalado em vermelho tal item, em local apropriado,

com subsequente descrição do problema e possível solução para o mesmo. Quando não houve interferência, a interface em análise foi assinalada em verde. Após realizar a verificação entre todos os elementos de todos os projetos propostos, findou-se a fase de checagem.

8.3.4 Proposição de soluções para a compatibilização dos projetos

A análise e avaliação dos projetos, bem como a interpretação dos problemas encontrados e de suas consequências demandam também uma proposição de soluções. Dessa forma, a última etapa do estudo consistiu na síntese de sugestões de alterações nos projetos em que foram identificadas interferências, com o objetivo de suprimir as mesmas e mitigar a necessidade de retrabalho, servindo como referência para empreendimentos semelhantes.

Portanto, foi pontuado individualmente cada um dos problemas encontrados, recorrendo-se sobre como proceder para solucionar o mesmo e apresentando exemplos das soluções propostas.

9 ESTUDO DE CASO

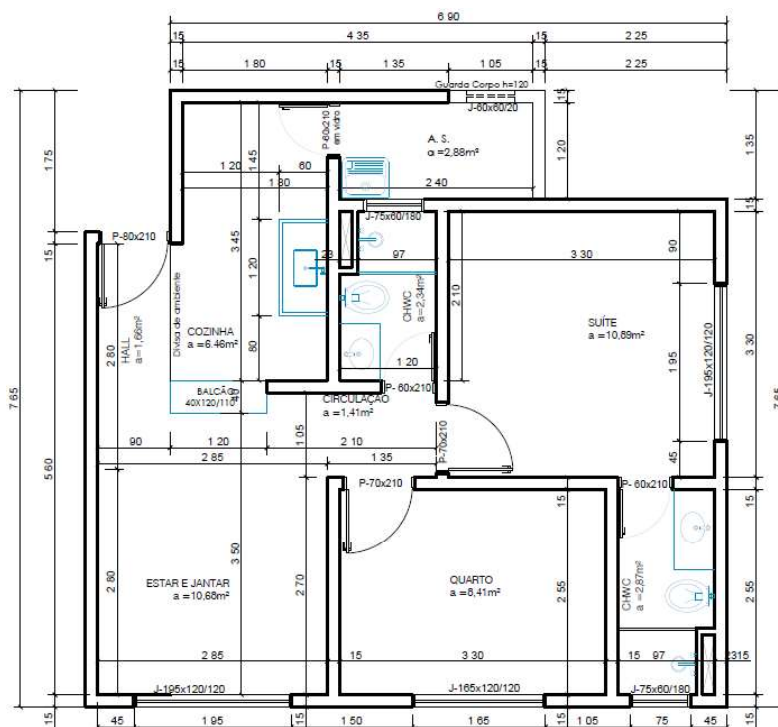
9.1 Caracterização e Estudos dos Projetos

9.1.1 Caracterização e Estudo do Projeto Arquitetônico

O objeto do estudo de caso consiste no pavimento tipo de um edifício habitacional vertical multifamiliar, em alvenaria estrutural, composto por um pavimento térreo e mais 11 pavimentos, localizado no município de Palmas - TO.

Tal edifício é composto por um pilotis no pavimento térreo, num total de 254,64 m^2 , com função de estacionamento, havendo uma vaga para cada apartamento. O empreendimento possui 10 pavimentos tipos com 4 unidades autônomas em cada pavimento. Cada unidade possui 55 m^2 e é composta por dois quartos, sendo um dos quartos uma suíte, uma sala, uma cozinha, uma circulação, uma área de serviço e um banheiro, conforme mostra a Figura 26.

Figura 26 – Planta Baixa - Unidade Autônoma

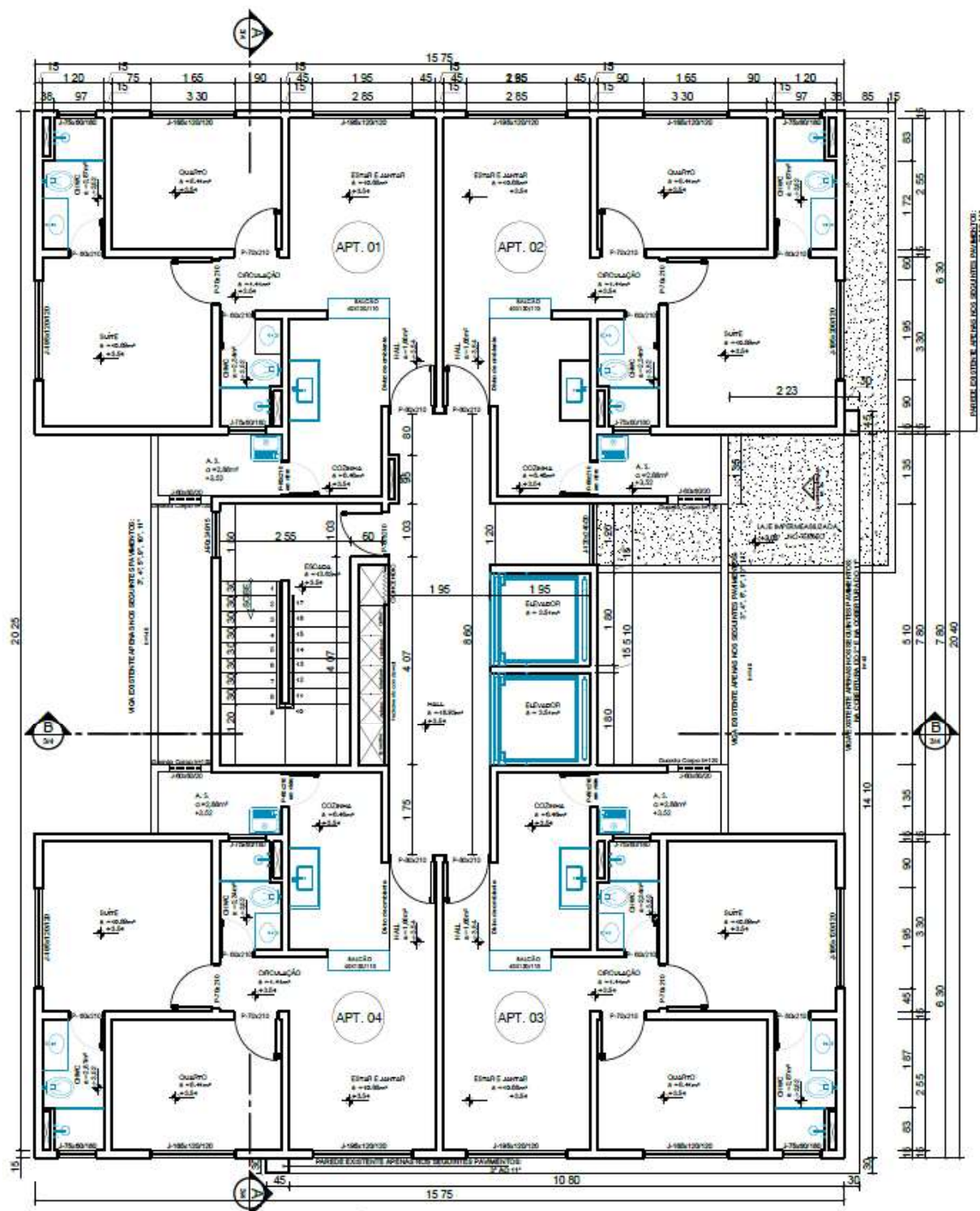


Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Além disso, possui no pavimento tipo, um *hall* de circulação de 18,93 m^2 , dando acesso à dois elevadores e à escada de emergência, possuindo também um *shaft* para

passagens das prumadas de instalações do edifício. Dessa forma, o pavimento tipo possui uma área total de $240,93 \text{ m}^2$, podendo ser observado na Figura 27.

Figura 27 – Planta Baixa - Pavimento Tipo

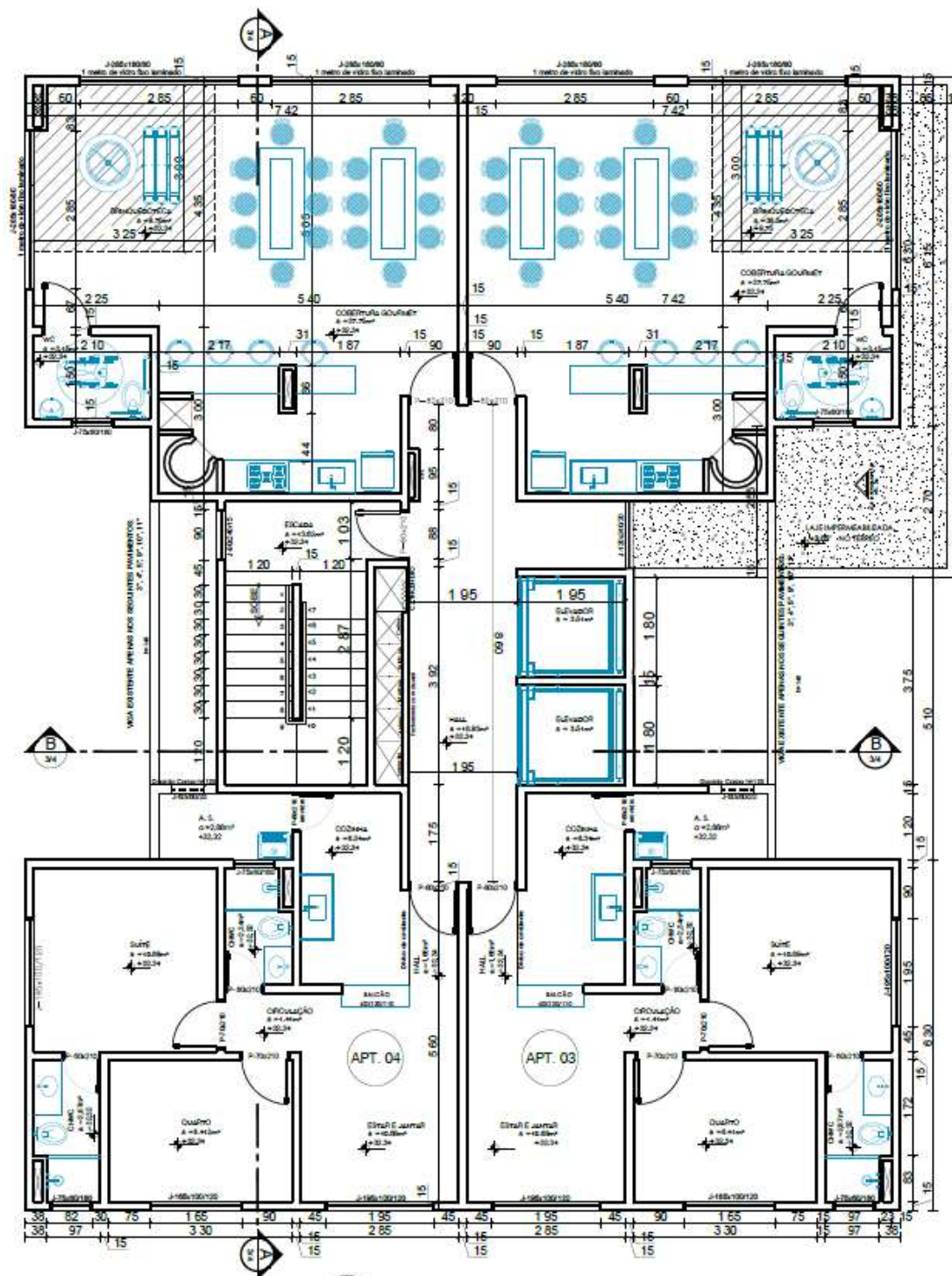


Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

O projeto arquitetônico apresenta no último pavimento 2 unidades autônomas e *hall* de circulação com características idênticas às citadas. Contudo, possui duas

Coberturas *Gourmet* de 55 m^2 cada, destinadas ao uso comum dos moradores, sendo apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Planta Baixa - Pavimento Cobertura

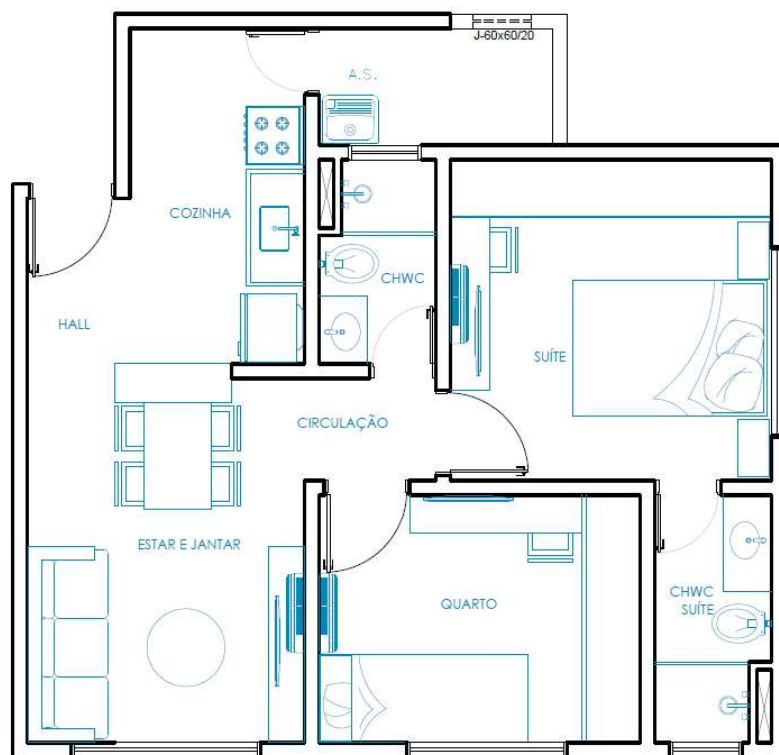


Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Portanto, o edifício em questão apresenta um total de 42 unidades autônomas. O leiaute de cada unidade, inclusive a posição provável dos móveis e a posição de peças hidrossanitárias, é apresentado junto ao projeto arquitetônico, servindo como

orientador para os projetos complementares, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Planta Baixa com Móveis - Unidade Autônoma



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Por fim, o edifício apresenta um pavimento barrilete com área de $9,95 \text{ m}^2$, destinado ao posicionamento de equipamentos e instalações inerentes ao prédio. Possui também uma caixa d'água dividida em dois núcleos, totalizando $15,34 \text{ m}^2$. O quadro de áreas presente no projeto arquitetônico do edifício é apresentado na Figura 30, constando informações acerca de área construída de todos os pavimentos, além da área do terreno, taxa de ocupação e outras informações inerentes à arquitetura.

Figura 30 – Projeto Arquitetônico - Quadro de Áreas

PAVIMENTO TÉRREO:	COMPUTÁVEL*	NÃO COMPUTÁVEL*
GARAGEM COBERTA		206,90 m ²
ESCALADA		13,62 m ²
DML E BANHEIROS	10,60 m ²	
CIRCULAÇÃO	10,14 m ²	
ELEVADORES		7,02 m ²
ÁREA TÉCNICA		2,15 m ²
GUARITA		4,21 m ²
TOTAL POR PAVIMENTO	20,74 m ²	233,90 m ²
TOTAL GERAL:		254,64 m ²

PAVIMENTO TIPO 10 X	COMPUTÁVEL*	NÃO COMPUTÁVEL*
APARTAMENTO TIPO	4 X 55,50m ²	
CIRCULAÇÃO	18,93 m ²	
TOTAL POR PAVIMENTO	240,93 m ²	
TOTAL GERAL (10 VEZES):		2.409,30 m ²

12º PAVIMENTO	COMPUTÁVEL*	NÃO COMPUTÁVEL*
APARTAMENTO TIPO	2 X 55,50m ²	
CIRCULAÇÃO	18,93 m ²	
TERRAÇO GOURMET		2 X 55,50 m ²
TOTAL	129,93 m ²	111,00 m ²
TOTAL GERAL:		240,93 m ²

PAVIMENTO TÉCNICO	COMPUTÁVEL*	NÃO COMPUTÁVEL*
BARRILETE		9,95 m ²
CAIXA D'ÁGUA		15,34 m ²
TOTAL		25,29 m ²
TOTAL GERAL:		25,29 m ²

ÁREA TOTAL	COMPUTÁVEL*	NÃO COMPUTÁVEL*
TOTAL:	2.559,97 m ²	370,19 m ²
TOTAL GERAL:		2.930,16 m ²

TERRENO	1.141,55 m ²
ÁREA CONSTRUÍDA	2.930,16 m ²
ÁREA DO TÉRREO	254,64 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	22,30%
ÁREA COMPUTÁVEL	2.559,97 m ²
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO	2,24

Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

9.1.2 Caracterização da Estrutura e Estudo do Projeto de Alvenaria Estrutural

Em relação à estrutura do edifício, destacam-se dois sistemas construtivos utilizados: alvenaria estrutural e concreto armado convencional. O sistema de alvenaria estrutural é predominante em todo o corpo do edifício, porém, utiliza-se o sistema de concreto armado nas lajes maciças do empreendimento, em vigas localizadas na escada, no elevador e nas áreas de serviço das unidades autônomas, e de forma predominante no pavimento térreo. Devido ao projeto arquitetura demandar um pilotis para estacionamento no pavimento térreo, utilizaram-se pilares de concreto armado como elementos estruturais, com o objetivo de utilizar os espaços entre pilares como vagas de estacionamento. No pavimento tipo, que é o objeto de estudo do trabalho, o sistema predominante é o de alvenaria estrutural. Portanto, na análise de compatibilidade dos projetos, foi utilizado o projeto de alvenaria estrutural como referencial para análise da estrutura.

Em relação à concepção do projeto de alvenaria estrutural, utilizaram-se blocos da família 15 x 30 cm. Nessa família, a largura do bloco é de 14 cm, a altura de 19 cm e o comprimento do bloco principal é de 29 cm. Além disso, utilizaram-se também meios blocos, blocos e meio, canaletas tipo U e canaletas tipo J. A resistência característica dos blocos utilizados varia, em virtude do local de utilização, de 4,5 MPa a 15 MPa.

Na concepção estrutural, foram estabelecidos pontos de grauteamento verticais e horizontais. Os grautes verticais são moldados através do preenchimento dos furos dos blocos com microconcreto fabricado em obra, variando de 15 MPa a 30 MPa, em virtude do local de aplicação. Além disso, em todos os pontos de grauteamento vertical, utilizou-se armadura com diâmetro de 10 mm ou 12,5 mm. Já em relação aos grautes horizontais de cintamento, o projeto demandou execução em todas as paredes na última fiada. Nas paredes externas, além do cintamento na última fiada, o projeto demandou grauteamento na fiada intermediária. A planta de primeira fiada, que apresenta a disposição dos blocos e os pontos de grauteamento vertical, é apresentada na Figura 31.

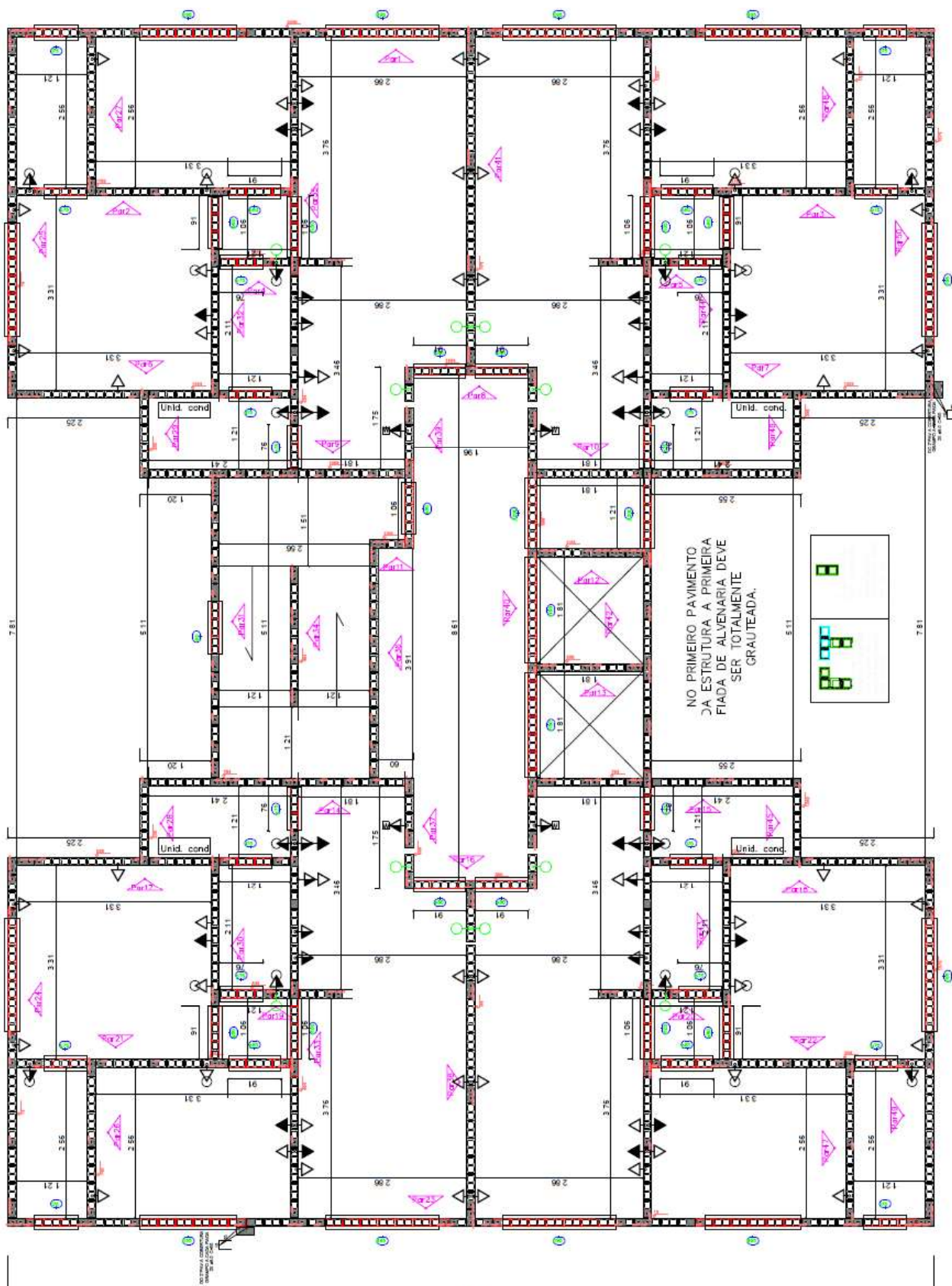
As especificações dos blocos, do aço, do microconcreto e da argamassa utilizados em cada pavimento são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Especificações Técnicas

ANDAR	BLOCO fbk	AÇO GRAUTE (Ø)	CONCRETO GRAUTE (fgk)	ARGAMASSA RESISTÊNCIA fak
TÉRREO	---	---	---	---
1	15 MPa	12,5 mm	30 MPa	10,5 MPa
2	12 MPa	12,5 mm	24 MPa	8,4 MPa
3	12 MPa	12,5 mm	24 MPa	8,4 MPa
4	9 MPa	12,5 mm	18 MPa	6,3 MPa
5	9 MPa	12,5 mm	18 MPa	6,3 MPa
6	9 MPa	12,5 mm	18 MPa	6,3 MPa
7	6 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
8	6 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
9	6 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
10	4,5 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
11	4,5 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
BARRILETE	4,5 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa
RESERVATÓRIO	4,5 MPa	10,0 mm	15 MPa	4,2 MPa

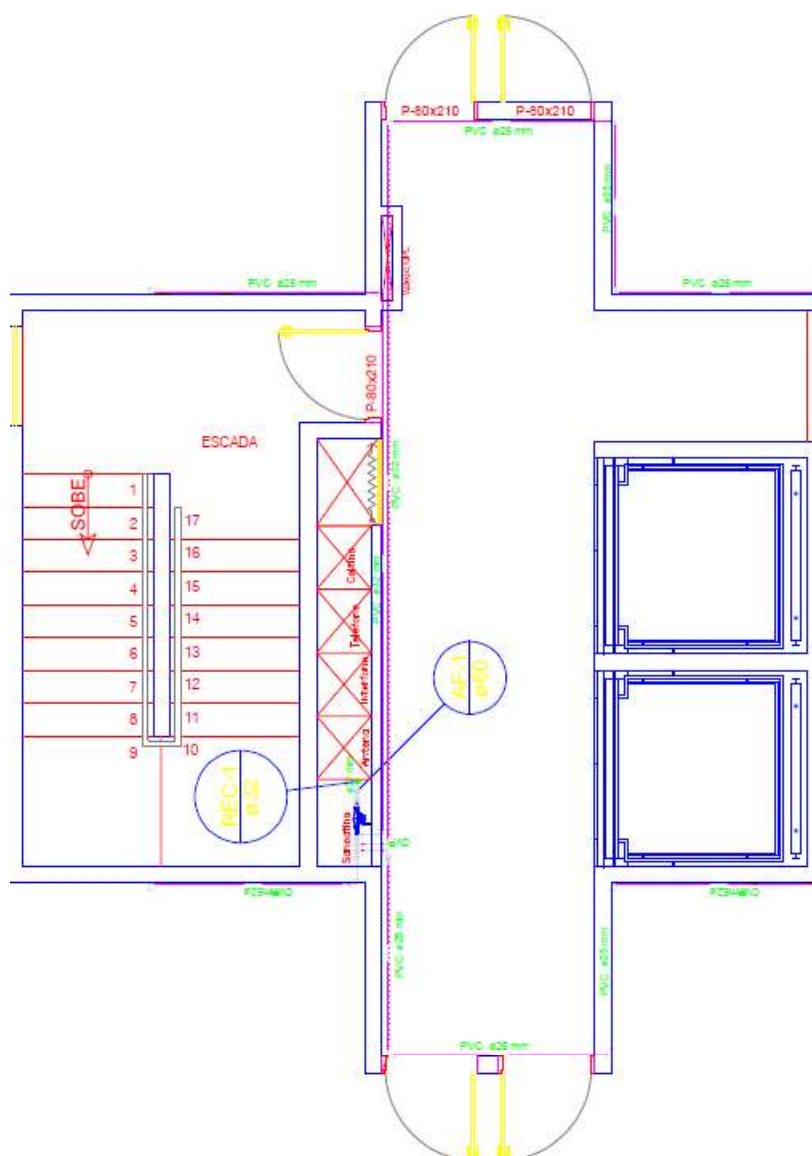
Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 31 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Pavimento Tipo



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

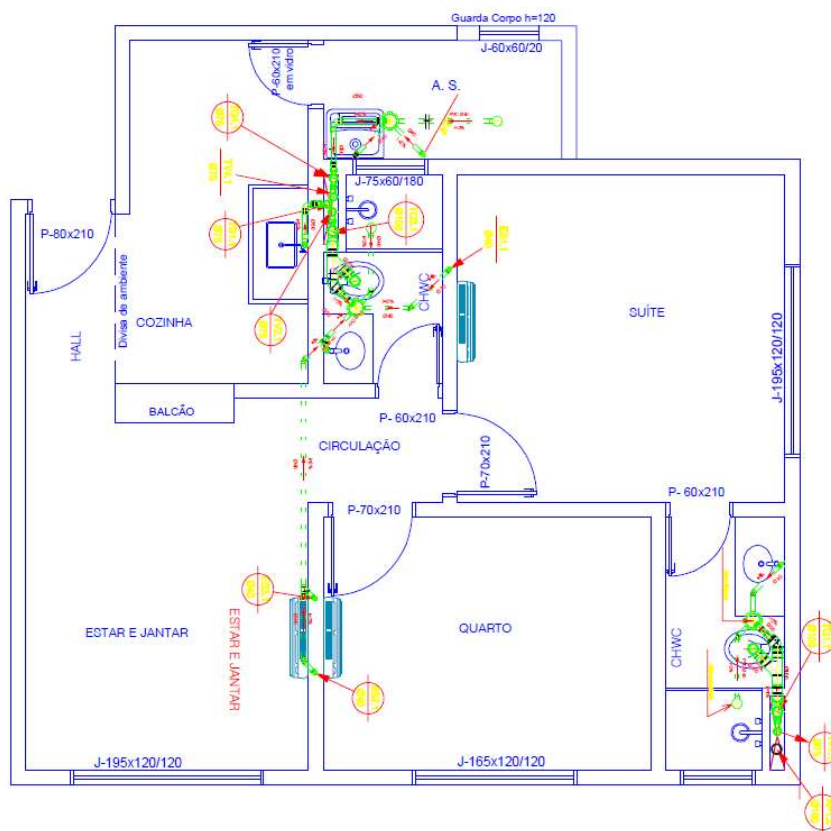
Figura 33 – Projeto de Instalações Hidráulicas - Hall Tipo



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Em relação ao sistema sanitário, o projeto estabelece que todas as prumadas de queda de águas servidas devem ser acomodadas dentro de *shafts*, posicionados nos banheiros dos apartamentos. Em cada *shaft* encontram-se prumadas de esgoto, de gordura (nos que atendem à cozinha), e de ventilação. Exceto as tubulações de esgotamento da rede frigorígena, todas as tubulações verticais foram posicionadas fora das paredes estruturais, utilizando-se carenagens para cobrir as tubulações que ficaram externas. As tubulações horizontais foram fixadas na laje, sendo ocultas por forro rebaixado de placas de gesso e sancas. A planta de instalação sanitária apresentada no projeto pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 – Projeto de Instalação Sanitária - Apartamento Tipo



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

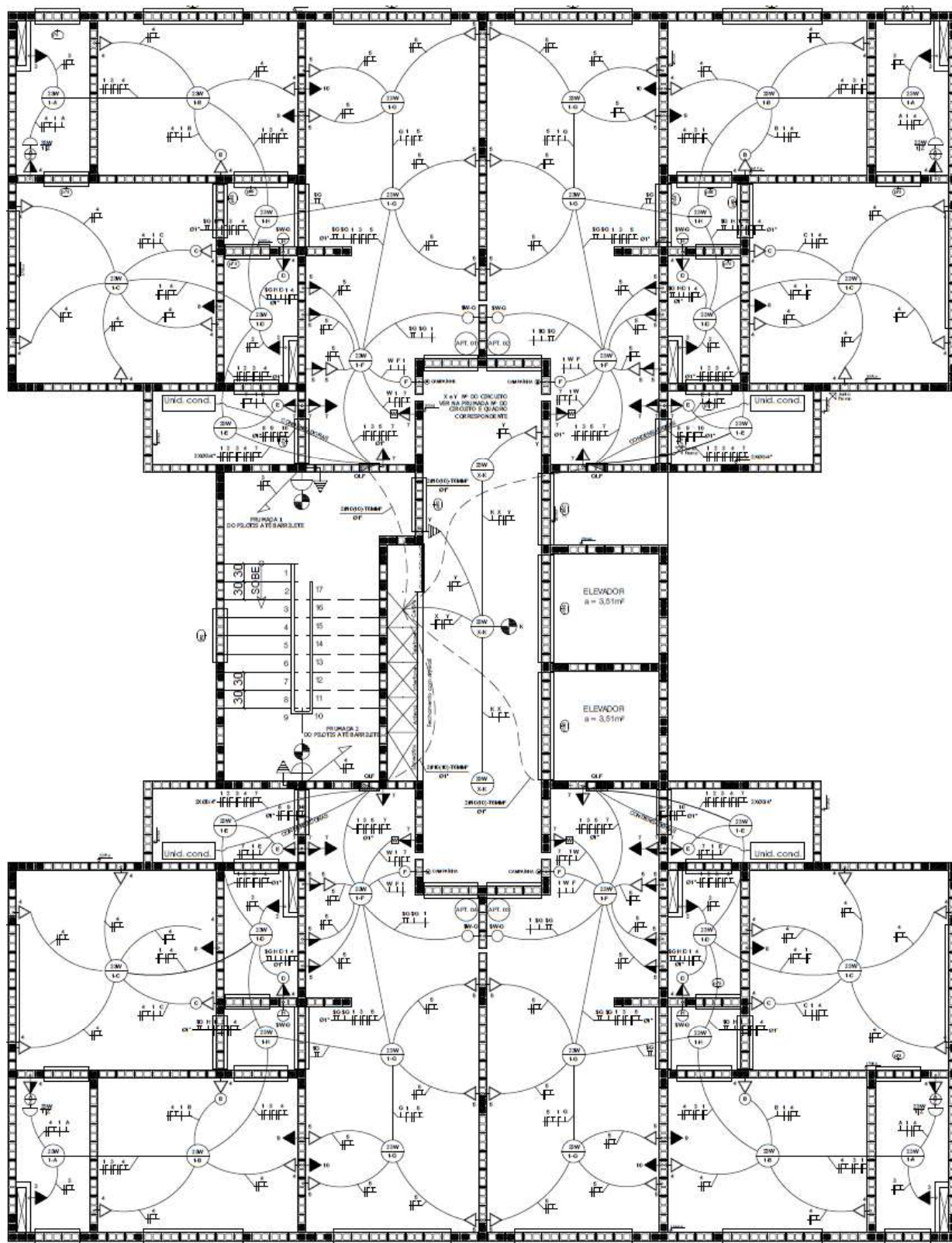
9.1.4 Caracterização e Estudo do Projeto de Instalações Elétricas

Contrapondo os demais projetos, que foram elaborados por Engenheiros Civis, o projeto de instalações elétricas foi elaborado por um Engenheiro Eletricista, utilizando como base o leiaute arquitetônico e estrutural, com o objetivo de mitigar as incompatibilidades.

O projeto elétrico do pavimento tipo conta com toda a disposição das luminárias, tomadas e interruptores, além da identificação dos eletrodutos embutidos em lajes, dos condutores e dos circuitos. Foi padronizada a utilização de lâmpadas de 23 W, eletrodutos de 3/4 de polegada ou 1 polegada e condutores flexíveis de $2,5 \text{ mm}^2$, exceto em alguns pontos específicos.

As prumadas de alimentação das unidades autônomas e das áreas comuns foram posicionadas no interior do *shaft* do *hall* do pavimento. Já as prumadas de iluminação de emergência, foram posicionadas no interior do corpo da escada, individualmente, a fim de se garantir seu pleno funcionamento em situações necessárias. As legendas utilizadas no projeto de instalações elétricas, bem como a planta do pavimento tipo, são apresentadas nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Projeto de Instalações Elétricas - Pavimento Tipo



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 36 – Projeto de Instalações Elétricas - Legenda

	CAIXA 4X2" PVC COM ESPELHO 4X2" COM PULSADOR A 1,30m DO PISO.
	CAIXA OCTOGONAL PVC DUPLA E LUMINÁRIA 60W OU 100W.
	CAIXA 4X2" PVC COM ESPELHO 4X2" E CAMPAINHA A 2,50m DO PISO ACABADO.
	CAIXA 4X2" PVC COM LUMINÁRIA TIPO ARANDELA COM LÂMPADA DE 26W h= 2,50m DO PISO
	CAIXA 4X2" PVC COM SENSOR DE PRESENÇA NO TETO OU PAREDE.
	CAIXA 4X2" PVC COM INTERRUPTOR DUAS SEÇÕES E ESPELHO 4X2" h= 1,15m do PISO CENTRO DA CX
	CX 4X2" PVC COM INTERRUPTOR PARALELO E ESPELHO 4X2" h= 1,15m DO PISO AO CENTRO DA CX
	CX 4X2" PVC COM INTERRUPTOR UMA SEÇÃO E ESPELHO 4X2" h= 1,15m DO PISO AO CENTRO DA CX
	CAIXA 4X2" PVC C/ TOMADA 2P+T E ESPELHO 4X2" NO TETO OU 2,50m DO PISO QUANDO EM PAREDE PARA BLOCO AUTÔNOMO DE EMERGÊNCIA DE 16 W
	CAIXA 4X2" PVC COM TOMADA 2P+T E ESPELHO 4X2", h= 2,50m DO PISO PARA AR CONDICIONADO
	CAIXA 4X2" PVC COM TOMADA 2P+T E ESPELHO 4X2", h= 0,30m DO PISO AO CENTRO DA CX
	CAIXA 4X2" PVC COM TOMADA 2P+T E ESPELHO 4X2", h= 1,15m DO PISO AO CENTRO DA CX
	ELETRODUTO PVC EMBUTIDO NA LAJE OU ACIMA DO FORRO OU NA PAREDE
	ELETRODUTO PVC EMBUTIDO NO PISO
	CAIXA 4X4" PVC - CAIXA PASSAGEM
	QUADRO DISTRIBUIÇÃO EMBUTIDO NA PAREDE PARA DISJUNTORES
	CONDUTORES: RETORNO, FASE, NEUTRO E TERRA
	CX. PASSAGEM ALVENARIA
	CX. PASSAGEM ALVENARIA 20X20X30cm PARA ATENDER PORTÃO ELÉTRICO

Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

9.2 Análise de Compatibilização através de Sobreposição de Projetos

9.2.1 Análise de Compatibilização: Projeto Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural

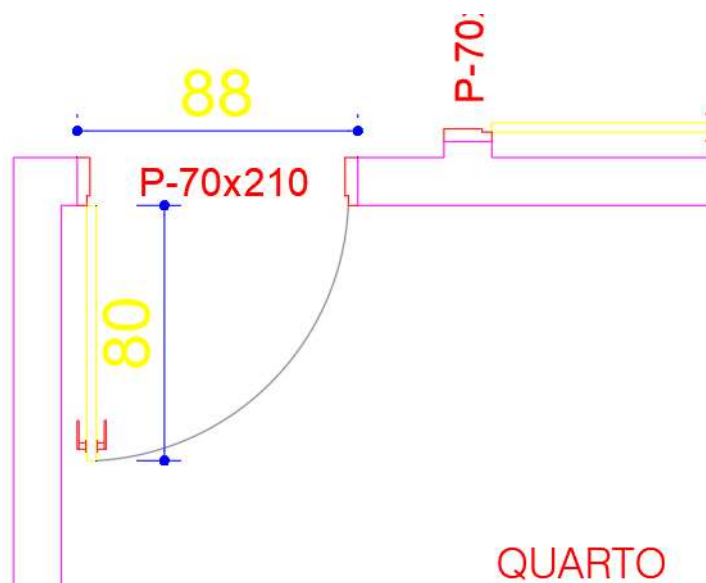
No processo de análise de compatibilização de projetos, iniciou-se por verificar a integração entre o projeto de arquitetura e o projeto de alvenaria estrutural. Devido ao fato da análise de compatibilização ser exclusivamente do pavimento tipo, e o pavimento tipo ser composto por 4 unidades idênticas mais um *hall*, as sobreposições das pranchas foram feitas com as plantas somente de uma unidade autônoma e do hall, a fim de facilitar a visualização dos desenhos. Após o atento estudo de cada projeto, verificaram-se os pontos de interferência encontrados na sobreposição através de uma

lista de checagem que contempla os principais elementos de cada projeto.

A interferência relacionada à compatibilização que se identificou, refere-se à posição de determinadas portas e janelas presentes no projeto arquitetônico e que não condizem com o projeto de alvenaria estrutural.

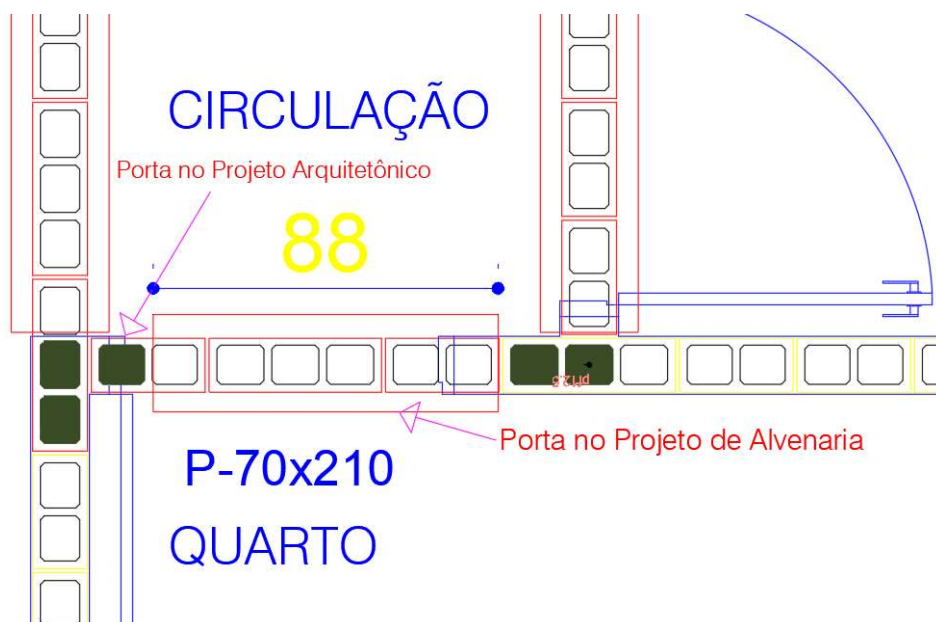
No Quarto, foi previsto um conjunto de porta pronta de 78 centímetros, sendo 70 centímetros de folha mais 8 centímetros de batentes. Contudo, apesar da indicação textual se referir à uma porta de 70 centímetros, o desenho apresenta uma folha de 80 centímetros mais 8 centímetros de batentes. Tal fato isoladamente já retrataria uma incoerência do projeto arquitetônico neste ponto. Contudo, ao se confrontar com o projeto de alvenaria estrutural, percebe-se ainda que o mesmo prevê uma posição diferente para o conjunto de porta pronta, resultando num deslocamento de 11,25 cm, e estando posicionada no mesmo local de um graute vertical. Tais fatos podem ser observados nas Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Projeto Arquitetônico - Verificação das medidas da porta do Quarto



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

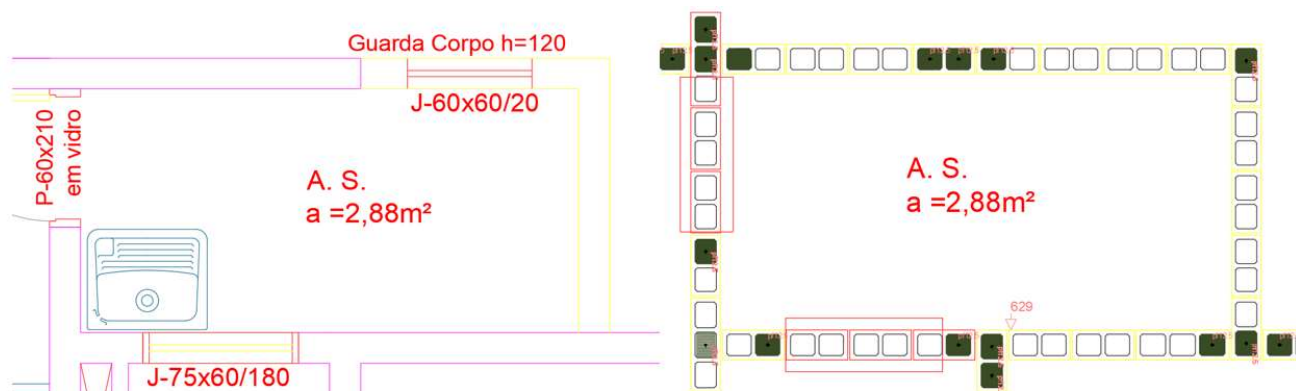
Figura 38 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural - Porta do Quarto



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

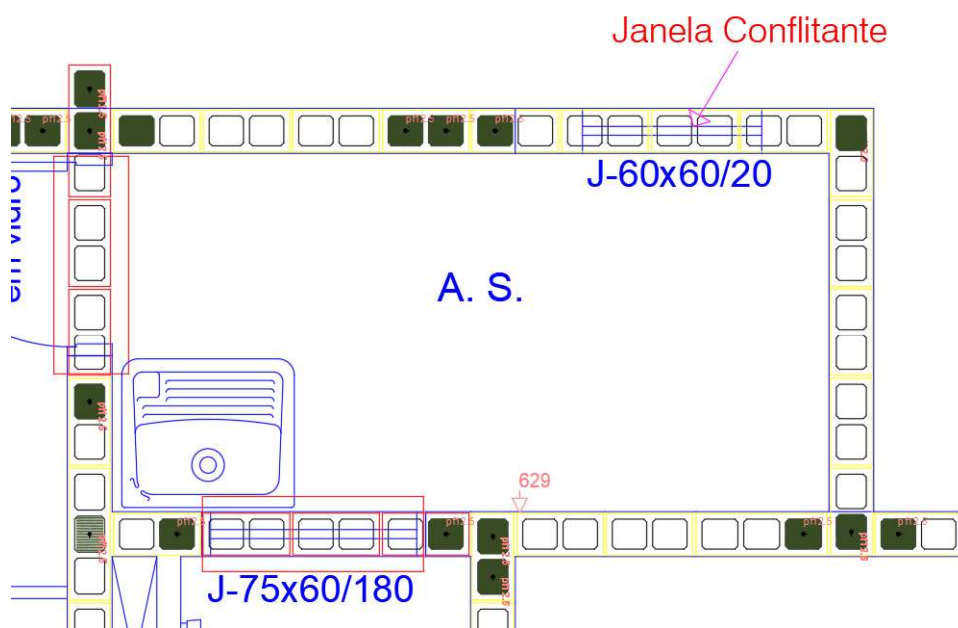
Além disso, na área de serviço, foi prevista uma janela quadrada de 60 centímetros, posicionada à 20 centímetros do piso. Entretanto, essa janela não aparece no projeto de alvenaria estrutural, resultando num evento de incompatibilidade, que pode ser observado nas Figuras 39 e 40.

Figura 39 – Comparação da Área de Serviços - Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 40 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural - Área de Serviço



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

A lista de checagem inerente à análise entre os projetos de arquitetura e de estrutura, apresentada na Figura 41, foi utilizada para auxiliar as constatações de incompatibilidade.

Além disso, recomendações iniciais foram propostas na mesma a fim de auxiliar na etapa de soluções, sinalizando o local do conflito e explanando a causa do mesmo.

Figura 41 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Alvenaria Estrutural

Projeto Arquitetônico x Projeto Estrutural						
Elemento - Arquitetura	Elemento - Estrutura	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Paredes	Primeira Fiada					
	Pontos de Graute					
	Aberturas e Passagens					
	Vigas de Cintamento					
Portas e Janelas	Primeira Fiada		x	Porta do quarto não coincidente entre os projetos / Janela da área de serviço ausente no projeto estrutural	Adequar a posição das portas internas na arquitetura/Adicionar a janela na área de serviço	
	Pontos de Graute		x	Porta do quarto posicionada em ponto de grauteamento vertical	Adequar a posição da porta	
	Aberturas e Passagens					
	Vigas de Cintamento					
Leiaute	Primeira Fiada					
	Pontos de Graute					
	Aberturas e Passagens					
	Vigas de Cintamento					

Fonte: O Autor.

9.2.2 Análise de Compatibilização: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário

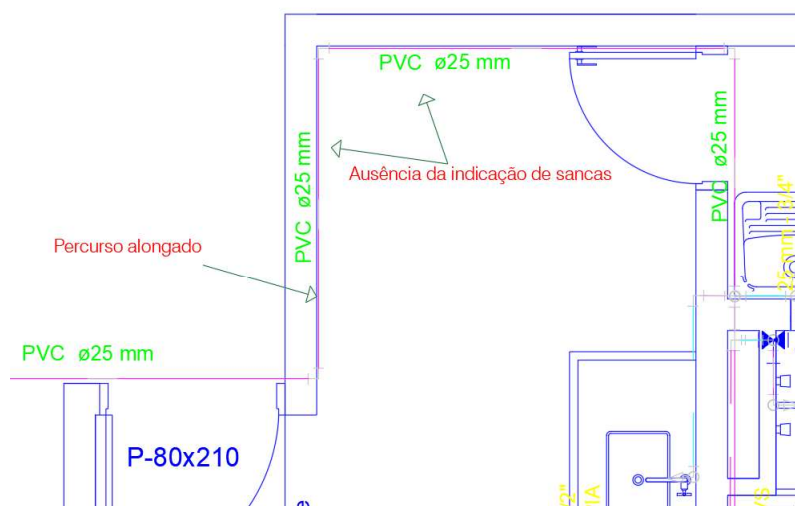
Na verificação das interfaces relacionadas aos projetos de arquitetura, de alvenaria estrutural e hidrossanitário, a análise foi realizada em duas partes: a parte entre a arquitetura e o projeto hidrossanitário e a parte entre a alvenaria estrutural e o projeto hidrossanitário.

Para a primeira parte, observou-se na análise entre os elementos arquitetônicos e hidrossanitários, inadequações inerentes ao traçado das tubulações hidráulicas que alimentam as unidades autônomas. Conforme descrito na parte de Estudo dos Projetos, as tubulações hidráulicas foram propostas para serem fixadas na laje ao invés de embutidas. Dessa forma, constatou-se que não há nos projetos uma previsão da utilização de elementos para a ocultação das tubulações. Através de questionamento verbal à empresa proprietária do empreendimento, verificou-se que a solução adotada foi a ocultação da tubulação hidráulica por um forro rebaixado nos banheiros, áreas de

serviço e no *hall* do pavimento e sancas nos demais ambientes.

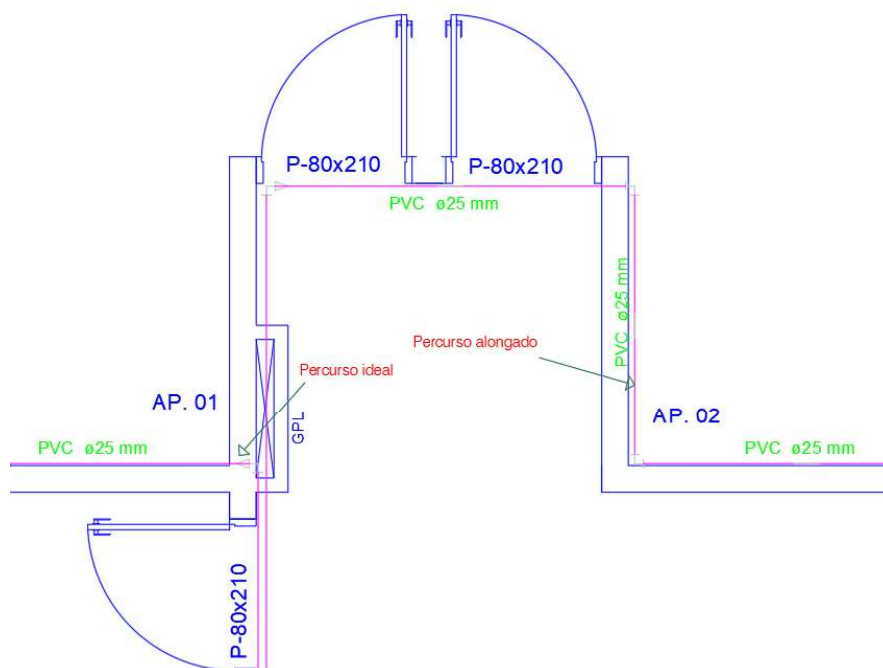
Desse modo, percebeu-se que para nos apartamentos 02 e 03 a tubulação foi proposta com um percurso mais longo, demandando uma utilização maior de sancas, conforme apresentam as Figuras 42 e 43.

Figura 42 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica da unidade autônoma



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 43 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação dos apartamentos



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Portanto, como produto da análise realizada, elaborou-se a lista de checagem de compatibilização inerente ao projeto arquitetônico e hidrossanitário, sendo a mesma apresentada na Figura 44.

Figura 44 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Hidrossanitário

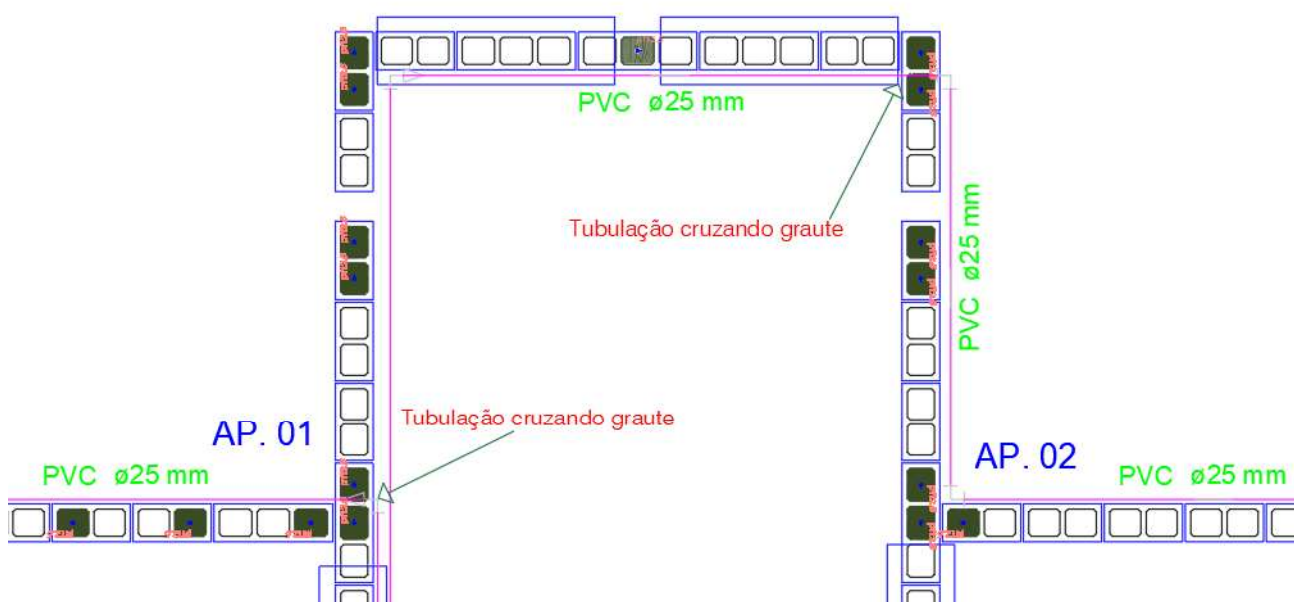
Projeto Arquitetônico x Projeto Hidrossanitário						
Elemento - Arquitetura	Elemento - Hidrossanitário	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Paredes	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Esquadrias	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Leiaute	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais		x	Trajeto desnecessariamente alongado, demandando maiores sancas / Falta de indicação das sancas	Alterar o traçado da tubulação e realizar indicação do posicionamento das sancas e do rebaixamento de forro	

Fonte: O autor.

Na segunda parte da análise de compatibilização, verificou-se interferências entre os projetos de alvenaria estrutural e hidrossanitário. Tal verificação resultou na constatação de dois problemas: tubulação hidráulica posicionada no mesmo local que um ponto de grauteamento e ausência da previsão de passagem de tubulações nas paredes estruturais.

Conforme observado na Figura 45, a tubulação hidráulica que alimenta a unidade autônoma, está posicionada no mesmo local que um ponto de grauteamento, ocasionando interferência entre o tubo e o microconcreto.

Figura 45 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário - Alimentação dos apartamentos



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Por fim, a lista de checagem referente à análise dos projetos de alvenaria estrutural e hidrossanitário, além das sugestões iniciais para soluções, é apresentada na Figura 46.

Figura 46 – Lista de Checagem - Projetos de Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário

Projeto Estrutural x Projeto Hidrossanitário						
Elemento - Estrutura	Elemento - Hidrossanitário	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Primeira Fiada	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Pontos de Graute	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais		X	Tubulação horizontal atravessando ponto de graute	Modificar traçado da tubulação	
Aberturas e Passagens	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Vigas de Cintamento	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					

Fonte: O autor.

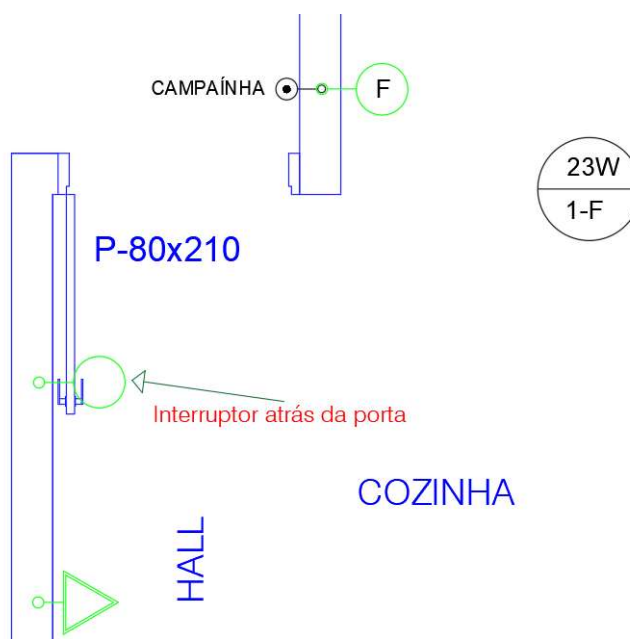
9.2.3 Análise de Compatibilização: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico

Para esta etapa da análise de compatibilização, que passa a envolver o projeto elétrico, o procedimento foi semelhante ao da etapa anterior. Analisou-se as interfaces da seguinte maneira: arquitetônico com elétrico, alvenaria estrutural com elétrico e hidrossanitário com elétrico.

Na análise entre os projetos arquitetônico e elétrico, contatou-se duas interferências. A primeira interferência refere-se ao interruptor das lâmpadas da sala, que ficou

posicionado atrás da porta. Numa situação de porta fechada, não haverá problemas na utilização do interruptor. Entretanto, numa situação de porta aberta, o mesmo fica oculto pela porta. Tal fato não se trata de uma interferência construtiva, mas sim de uma interferência na utilização, conforme apresenta a Figura 47.

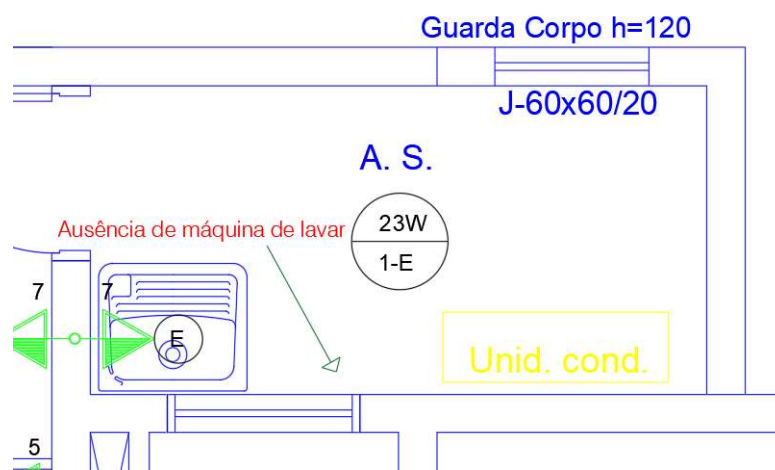
Figura 47 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Elétrico - Sala



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

O segundo ponto, que também está relacionado com a utilização dos ambientes, refere-se à ausência de uma indicação no projeto arquitetônico de uma máquina de lavar na área de serviço, gerando subsequente ausência de uma tomada para este fim em tal ambiente, conforme apresenta a Figura 48. A lista de checagem do análise entre projeto arquitetônico e elétrico é apresentada na Figura 49.

Figura 48 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e Elétrico - Área de Serviço



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 49 – Lista de Checagem - Projetos Arquitetônico e Elétrico

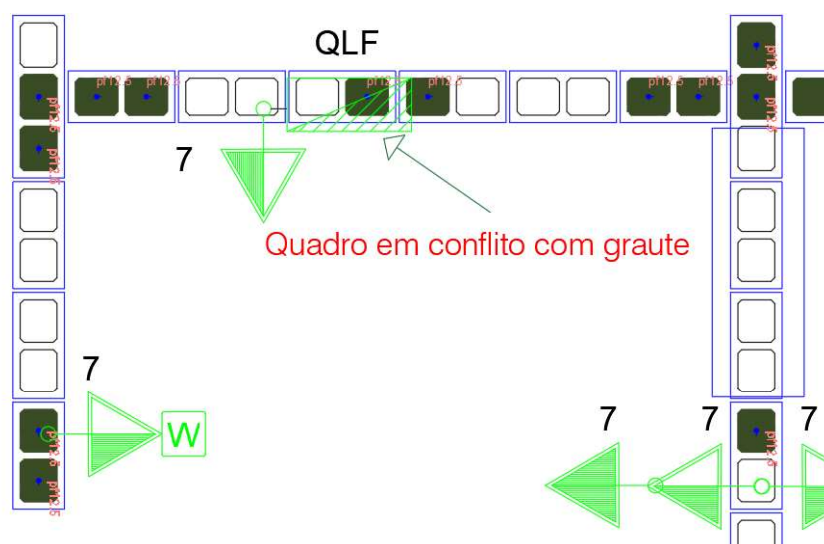
Projeto Arquitetônico x Projeto Elétrico						
Elemento - Arquitetura	Elemento - Elétrica	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Paredes	Quadro de Distribuição					
	Tomadas					
	Interruptores					
	Iluminação					
	Eletrodutos					
Esquadrias	Quadro de Distribuição					
	Tomadas					
	Interruptores		x	Interrptor posicionado atrás da porta	Mover o interruptor para local adequado	
	Iluminação					
	Eletrodutos					
Leiaute	Quadro de Distribuição					
	Tomadas		x	Falta de tomada para a máquina de lavar	Acrescentar tomada para a máquina	
	Interruptores					
	Iluminação					
	Eletrodutos					

Fonte: O autor.

Ao verificar à compatibilização dos projetos de alvenaria estrutural e elétrico, observaram-se algumas interferências. Primeiramente constatou-se o quadro de distribuição está posicionado no mesmo local que pontos de grauteamento vertical, conforme apresenta a Figura 50.

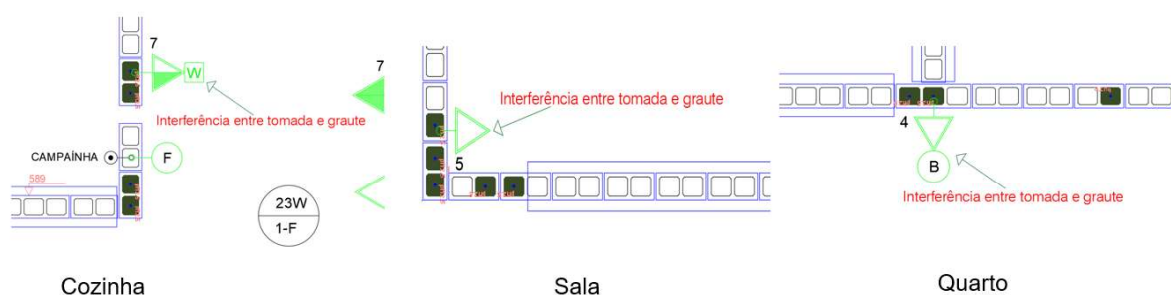
Posteriormente, foi verificada a existência de tomadas posicionadas no mesmo local que pontos de grauteamento vertical no Quarto, na Sala e na Cozinha, sendo que no Quarto tal interferência também acontece com um interruptor, conforme se observa na Figura 51. A lista de checagem de interferências entre os projetos de alvenaria estrutural e elétrico pode ser observada na Figura 52.

Figura 50 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico - Quadro de Distribuição



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

Figura 51 – Sobreposição de Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico - Interferências em tomadas



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

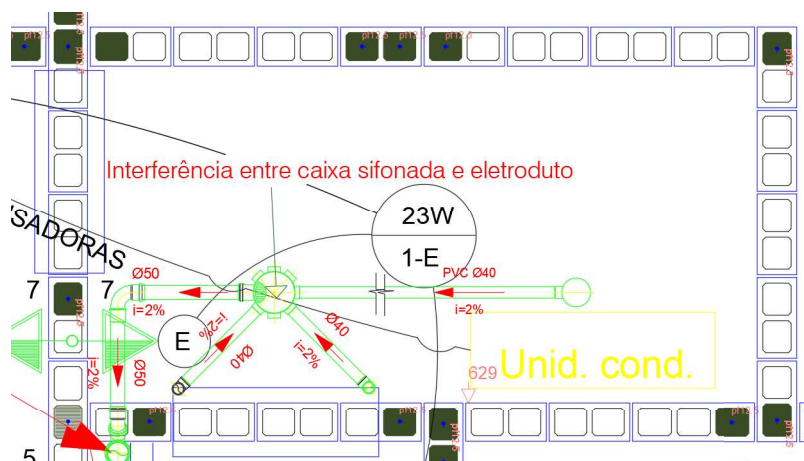
Figura 52 – Lista de Checagem - Projetos de Alvenaria Estrutural e Elétrico

Projeto Estrutural x Projeto Elétrico						
Elemento - Estrutura	Elemento - Elétrica	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Primeira Fiada	Quadro de Distribuição					
	Tomadas					
	Interruptores					
	Iluminação					
	Eletrodutos					
Pontos de Graute	Quadro de Distribuição		x	Quadro posicionado em ponto de grauteamento	Modificar a posição do quadro	
	Tomadas		x	Tomadas posicionadas em pontos de graute	Modificar a posição das tomadas	Locais: Cozinha, sala e quarto
	Interruptores		x	Interruptores posicionados em pontos de graute	Modificar a posição dos interruptores	Local: Quarto
	Iluminação					
	Eletrodutos		x	Eletrodutos verticais posicionados em pontos de graute	Modificar a posição dos interruptores/tomadas que são alimentados por tais eletrodutos	
Aberturas e Passagens	Quadro de Distribuição					
	Tomadas					
	Interruptores					
	Iluminação					
	Eletrodutos					
Vigas de Cintamento	Quadro de Distribuição					
	Tomadas					
	Interruptores					
	Iluminação					
	Eletrodutos					

Fonte: O autor.

Por fim, analisando a compatibilização dos projetos hidrossanitário e elétrico, constatou-se apenas uma interferência. Todos os eletrodutos do projeto elétrico são embutidos em laje e todas as tubulações, exceto os drenos dos condicionadores de ar, são externos à estrutura. Porém, alguns elementos do projeto hidrossanitário encontram-se embutidos em laje, como ralos e caixas sifonadas. Dessa forma, constatou-se a interferência entre a caixa sifonada da área de serviço e um eletroduto, conforme mostra a Figura 53.

Figura 53 – Sobreposição de Projetos Hidrossanitário e Elétrico - Área de Serviço



Fonte: Empresa do Estudo de Caso.

A lista de checagem dessa etapa, contendo as interferências encontradas bem como as recomendações prévias para a solução de tais interferências, é apresentada na Figura 54.

Figura 54 – Lista de Checagem - Projetos Hidrossanitário e Elétrico

Projeto Elétrico x Projeto Hidrossanitário						
Elemento - Elétrico	Elemento - Hidrossanitário	Compatível	Elementos Conflitantes	Interferência física	Solução Proposta	Observações
Quadro de Distribuição	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Tomadas	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Interruptores	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Iluminação	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos					
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					
Eletrodutos	Prumada de Água					
	Prumada de Esgoto					
	Registros - Aparelhos e Equipamentos			Eletroduto embutido em laje posicionado no mesmo local que a caixa sifonada	Modificar o traçado do eletroduto	Local: Área de Serviço
	Sistema Pluvial					
	Tubulações Horizontais					

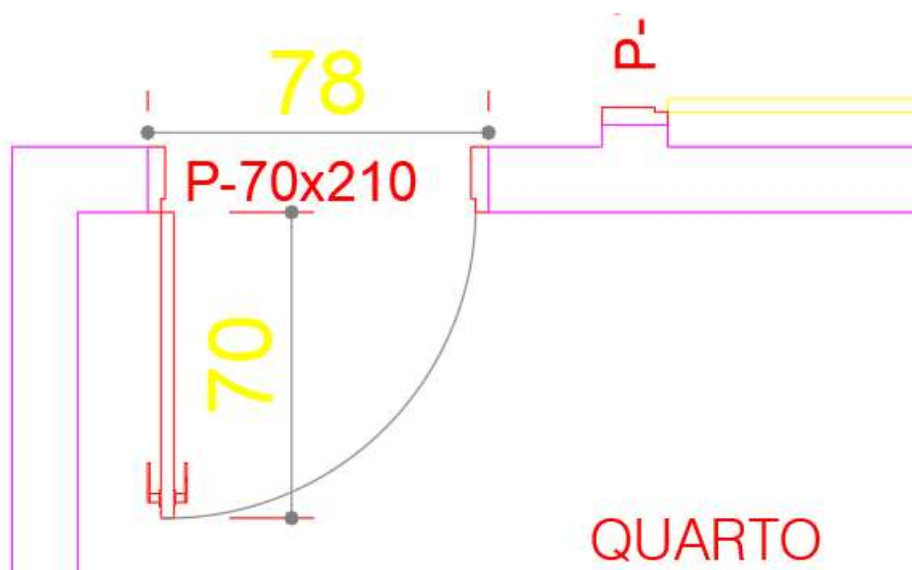
Fonte: O autor.

9.3 Proposição de Soluções para os Conflitos de Compatibilização

9.3.1 Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural

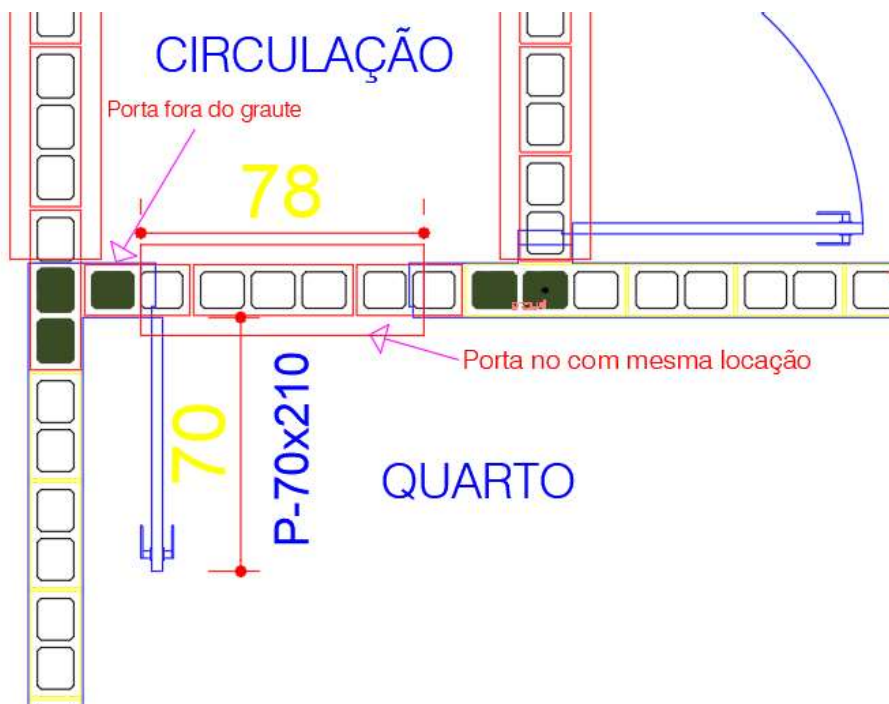
Para as incompatibilidades inerentes aos projetos de arquitetura e estrutural, as soluções propostas visam adequar o posicionamento e as dimensões dos itens apresentados na fase de análise. Desse modo, recomenda-se a alteração dos tamanhos das portas para aquela expressa textualmente. Além disso, recomenda-se que a locação do vão da porta do quarto seja coincidente em ambos os projetos, inclusive sendo posicionada em local que não conflite com o ponto de grauteamento vertical. Por fim, recomenda-se inserir a representação da janela da área de serviço no projeto de alvenaria estrutural. A disposição correta recomendada para cada elemento pode ser observada nas Figuras 55, 56, 57 e 58.

Figura 55 – Projeto Arquitetônico - Posição proposta para a porta



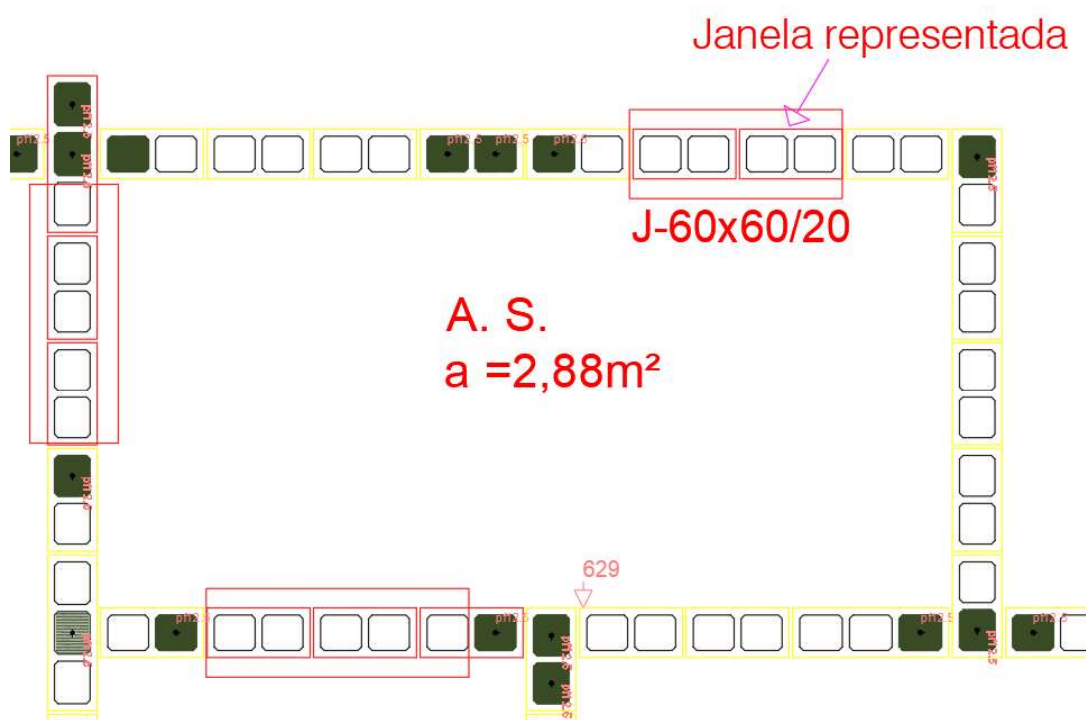
Fonte: O autor.

Figura 56 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural - Posição proposta para a porta



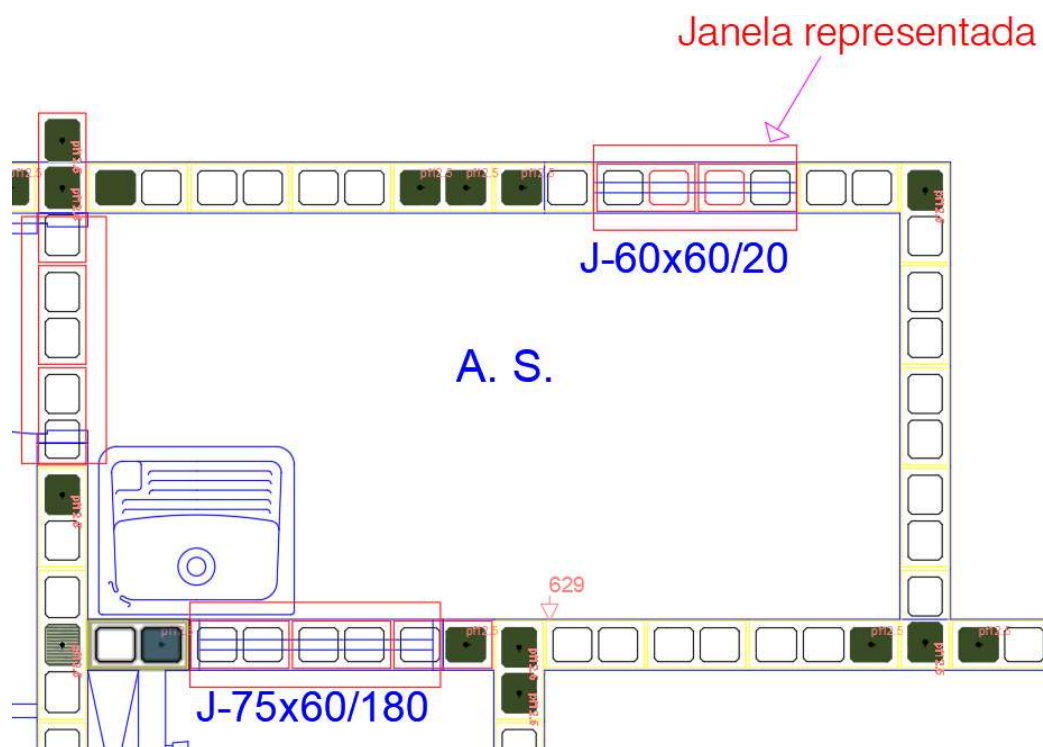
Fonte: O autor.

Figura 57 – Projeto de Alvenaria Estrutural - Representação proposta para a janela



Fonte: O autor.

Figura 58 – Sobreposição de Projetos Arquitetônico e de Alvenaria Estrutural - Representação proposta para a janela

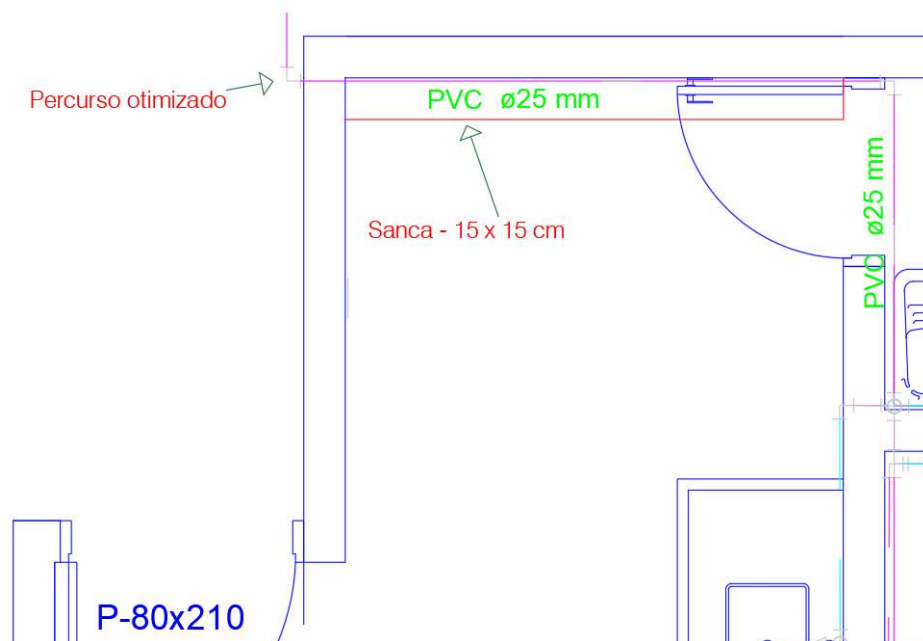


Fonte: O autor.

9.3.2 Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural e Hidrossanitário

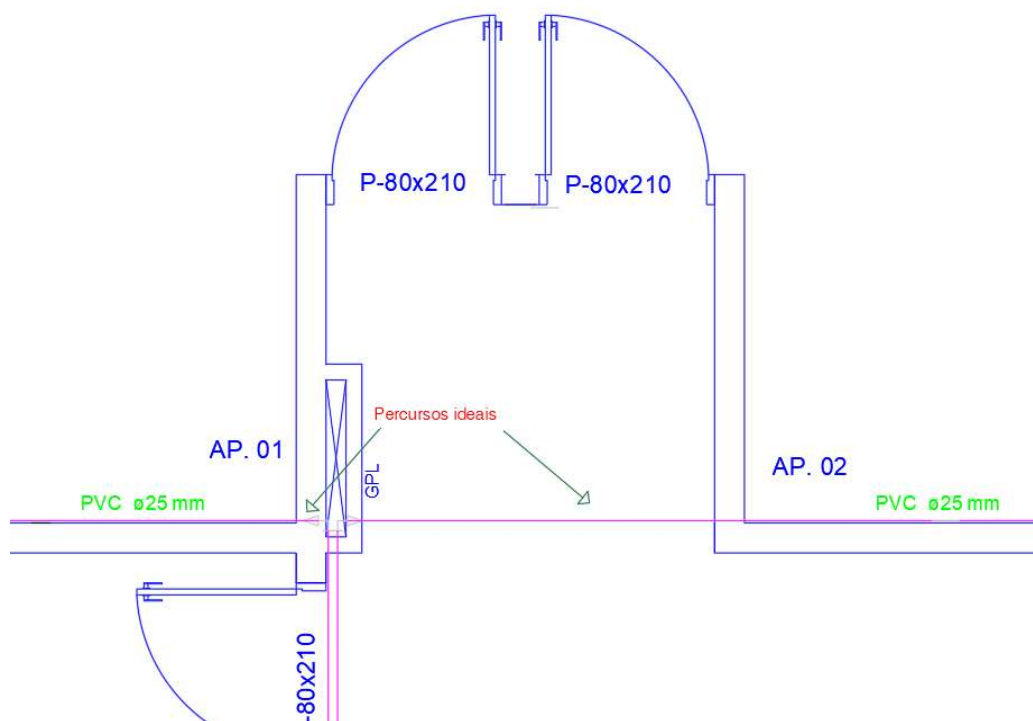
Para a solução das interferências entre o projeto hidrossanitário e as interfaces arquitetônica e estrutural, recomenda-se a alteração do percurso das tubulações de alimentação das unidades, conforme mostra a Figura 59 e 60. Além disso, recomenda-se a modificação da posição do ponto de grauteamento no ponto de acesso dessa tubulação, com a devida anuência projetista estrutural, conforme a Figura 61.

Figura 59 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica proposta para unidade autônoma



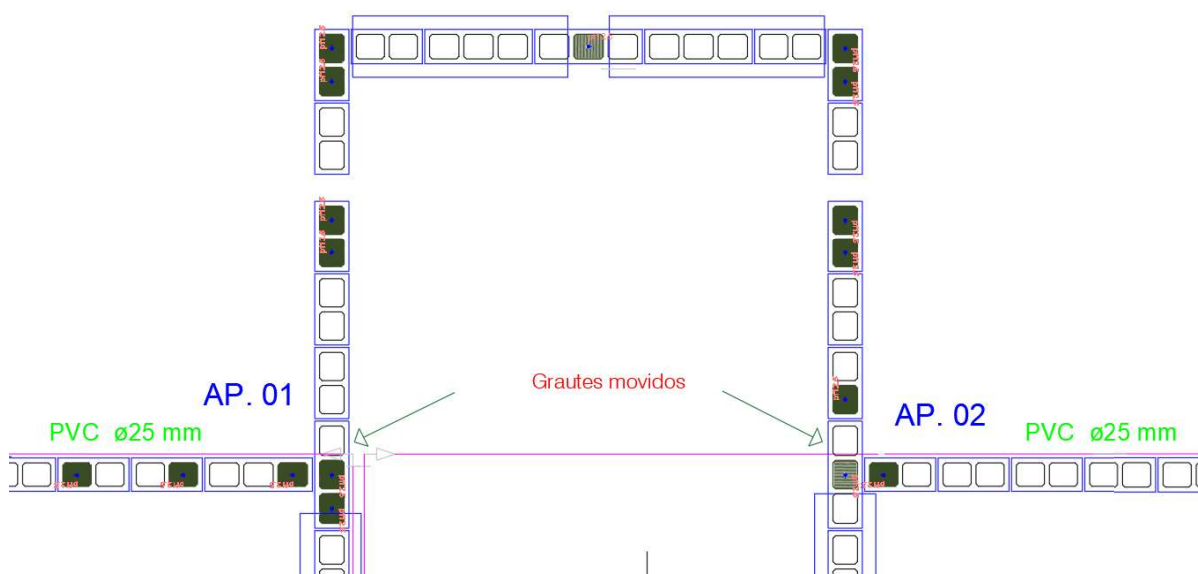
Fonte: O autor.

Figura 60 – Projeto Hidrossanitário - Alimentação hidráulica proposta para unidades autônomas



Fonte: O autor.

Figura 61 – Sobreposição de Projetos Hidrossanitário e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta para conflito com graute



Fonte: O autor.

9.3.3 Proposição de Soluções: Projetos Arquitetônico, Alvenaria Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico

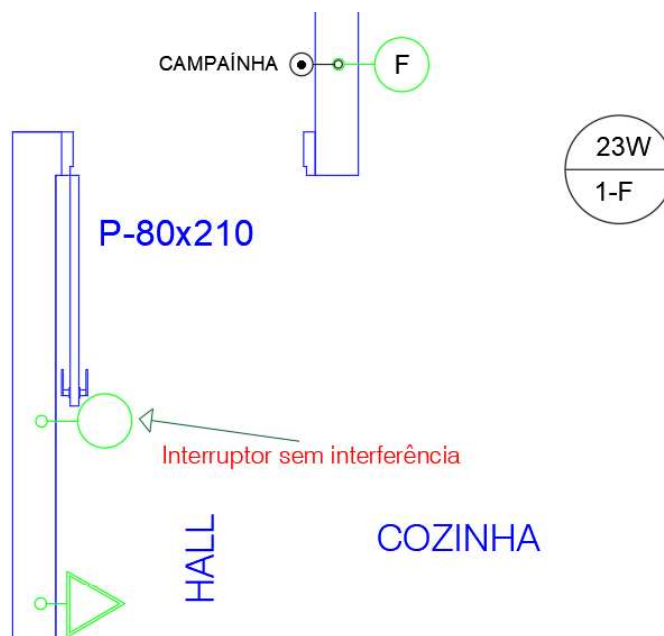
Para as interferências inerentes à interface arquitetônica e elétrica, recomenda-se alterar o posicionamento do interruptor da sala, de modo que o mesmo não seja interferido pela porta de entrada, conforme a Figura 62. Além disso, recomenda-se a inserção de uma tomada na área de serviço para a máquina de lavar, conforme a Figura 63.

Já para as interferências relacionadas ao projeto de alvenaria estrutural e ao projeto elétrico, recomenda-se a modificação da posição do quadro de distribuição para local fora de conflito com o ponto de grauteamento, conforme se observa na Figura 64.

Em relação ao posicionamento de tomadas e interruptores em pontos de grauteamento vertical, recomenda-se a mudança no posicionamento desses elementos elétricos, a fim de sanar a interferência, conforme se observa na Figura 65.

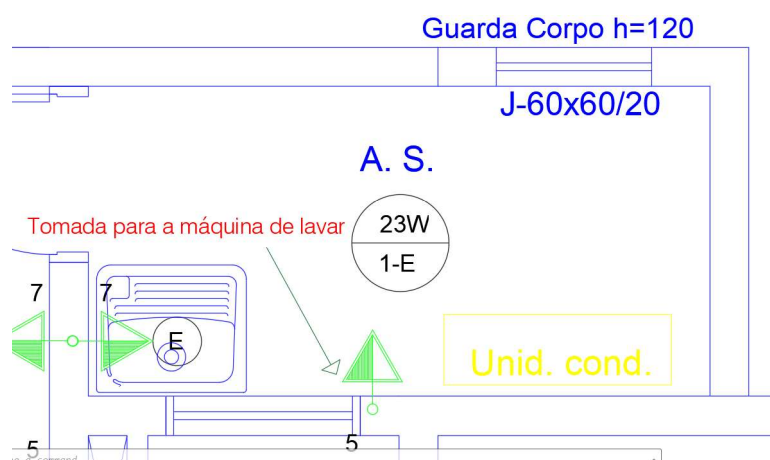
Em relação às interferências entre elementos hidrossanitários e elétricos, recomenda-se um traçado alternativo para o eletroduto conflitante, conforme se observa na Figura 66.

Figura 62 – Projeto Elétrico - Posição proposta para interruptor da sala



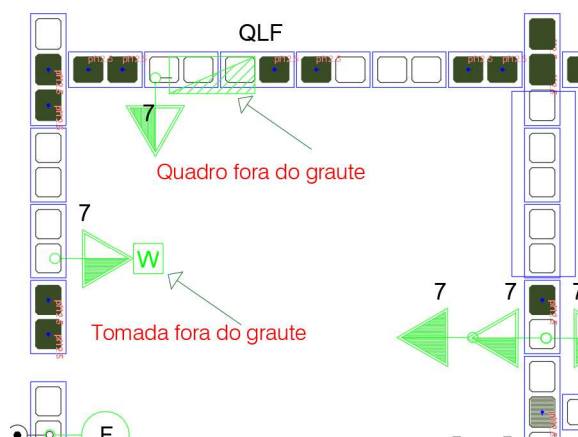
Fonte: O autor.

Figura 63 – Projeto Elétrico - Inserção proposta para tomada da máquina de lavar



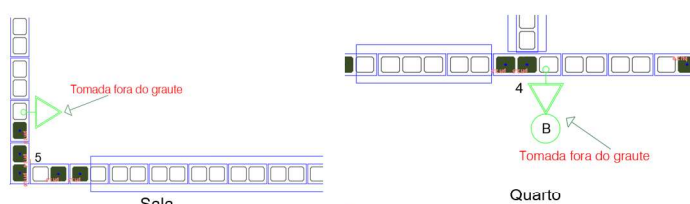
Fonte: O autor.

Figura 64 – Sobreposição de Projetos Elétrico e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta o quadro de distribuição



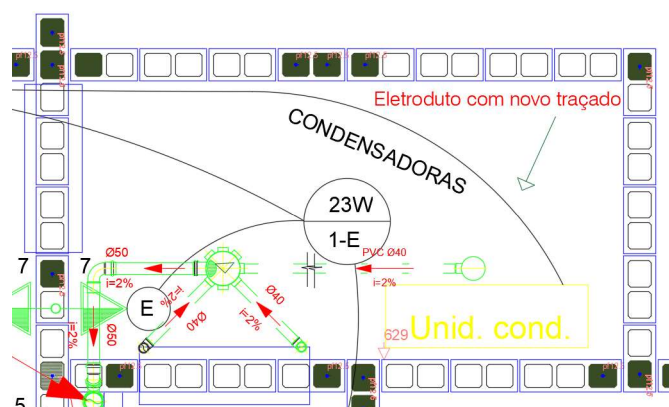
Fonte: O autor.

Figura 65 – Sobreposição de Projetos Elétrico e de Alvenaria Estrutural - Solução proposta para tomada em conflito com graute



Fonte: O autor.

Figura 66 – Sobreposição de Projetos Elétrico e Hidrossanitário - Solução proposta para traçado do eletroduto



Fonte: O autor.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso realizado apresenta e coloca em destaque as possibilidades de problemas e conflitos inerentes à elaboração e execução de projetos no setor da construção civil. Pôde-se constatar a importância do processo de compatibilização para a problemática apresentada, além de perceber as interferências entre interfaces causadas por uma compatibilização ineficiente. Apesar de se tratar de um estudo de caso, que analisa apenas um edifício em particular, os conflitos constatados são possíveis de ocorrer em diferentes projetos com a mesma tipologia estrutural.

Percebe-se que a elaboração dos projetos de uma obra, quando realizados de maneira separada, demanda um cuidado redobrado, uma vez que não há interação entre projetos e projetistas, gerando situações conflituosas, que podem tornar o projeto desnecessariamente oneroso. Desse modo, cabe aos projetistas e ao coordenador de projetos definir as técnicas e as ferramentas que auxiliarão no desenvolvimento de projetos compatibilizados.

Foram apresentadas duas metodologias principais utilizadas para a compatibilização de projetos. A primeira é a metodologia BIM, que está ligada com o desenvolvimento integrado do projeto desde o início de sua concepção. A segunda refere-se à compatibilização de forma posterior à concepção dos projetos. A utilização predominante da primeira metodologia seria o ideal para a indústria da construção, haja vista que os conflitos e a necessidade de adaptações seriam minorados, diminuindo o custo final da obra. Contudo, o cenário atual ainda dispõe de muitos projetos executados fora da metodologia BIM, demandando a metodologia de compatibilização posterior.

Ao se analisar a tipologia estrutural inerente ao objeto de estudo, sendo esta a alvenaria estrutural, percebeu-se que a mesma demanda um nível de compatibilização elevado, uma vez que os elementos estruturais são as próprias alvenarias. Assim, não é admitido que se quebre, rasgue, ou adapte uma parede estrutural, devendo ser executada de forma correta e definitiva, com todos os pontos de instalações e passagens previamente definidos e preparados conforme a necessidade executiva.

Acerca do estudo de caso, diversos conflitos entre projetos foram observados e apresentados. O impacto desses conflitos é variável, abrangendo desde situações pouco onerosas ao empreendimento, como a simples posição de um interruptor atrás da porta, até situações de maior complexidade construtiva, como a não previsão de janelas no projeto estrutural ou instalações posicionadas dentro de pontos de grauteamento, que podem gerar custos mais elevados ao empreendimento ou ter um impacto direto na estrutura.

Desse modo, entende-se que o a aplicação do processo de compatibilização é imprescindível, principalmente ao se tratar de edifícios verticais, em que os conflitos são replicados em todas as repetições de pavimentos, resultando na multiplicação do ônus. O desenvolvimento de projetos semelhantes ao estudado deve, preferencialmente, ocorrer dentro da plataforma BIM, onde é possível antever de forma precisa todos os conflitos, propondo soluções dentro do ambiente virtual de modelagem, o que resulta numa execução com o mínimo de adaptações.

Caso a utilização da plataforma BIM não seja possível, entende-se que a utilização de profissionais específicos para a coordenação e compatibilização de projetos seja uma solução a ser adotada. Fora do ambiente BIM, recomenda-se a aplicação de técnicas de sobreposição de pranchas em 2D, com auxílio de lista de checagem, como exemplificado no presente estudo de caso. Pode-se também utilizar-se de outros métodos de verificação e compatibilização, desde que se mostrem eficientes e sejam aplicados por profissionais com conhecimento acerca da tipologia estrutural empregada.

Entende-se ainda que para além da pura necessidade de compatibilização de projetos, deve-se propor uma conscientização e capacitação dos profissionais do setor, uma vez que diversos erros destacados no trabalho tratam-se de erros primários, que ficam em desacordo com premissas básicas de projetos. Dessa forma, cabem aos profissionais assumirem uma postura em prol da compatibilização e do trabalho integrado, em detrimento do desenvolvimento isolado dos projetos de sua disciplina.

Por fim, para futuros trabalhos, recomenda-se a avaliação do impacto financeiro que os problemas relacionados à falta de compatibilização podem causar numa obra. Além disso, recomenda-se também uma comparação da quantidade de ocorrência de incompatibilidades entre projetos que foram modelados em BIM com projetos que foram elaborados de forma convencional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **ABNT NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **ABNT NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações—Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **ABNT NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos - Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **ABNT NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural - Blocos de Concreto - Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **ABNT NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **ABNT NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **ABNT NBR 15575-5**: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 5: Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **ABNT NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **ABNT NBR 15270-2**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

AUTODESK. **AutoCAD 2020 - Versão Estudantil**. [San Rafael]: Autodesk Inc., 2019. Mídia Digital.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Estratégia BIM BR**: Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM. Brasília, 2018. 36 p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza, 2013.

CASTELO, A. M.; MARCELLINI, L.; VIANA, I. **A construção digital parte 2**. 2018. Blog do Ibre. Disponível em: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/construcao-digital-parte-2>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

FIALHO, G. **Modelagem BIM é alternativa para reverter cenário atual da construção civil**. 2018. Portal ABDI. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/modelagem-bim-e-alternativa-para-reverter-cenario-atual-da-construcao-civil>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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

GIACOMELLI, W. Compatibilização de projetos: Estudo de caso. **Revista Especialize On-Line**, IPOG, n. 9, 2014. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=compatibilizacao-de-projetos-estudo-de-caso-19181283.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

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 de abril de 2019.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MIKALDO JUNIOR, J.; SCHEER, S. Compatibilização de projetos ou engenharia simultânea: Qual é a melhor solução? **Gestão & tecnologia de projetos**, v. 3, n. 1, p. 79–99, 2008.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. **Alvenaria Estrutural: Construindo o conhecimento**. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2017.

MOHAMAD, G. *et al.* Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural—previsão e modo de ruptura. **Revista Matéria**, v. 14, n. 2, p. 824–844, 2009.

MOHAMAD, G. (coord.). **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2015.

MOTOMURA, M. **Como foram erguidas as pirâmides do Egito?** 2018. Portal Superinteressante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-foram-erguidas-as-piramides-do-egito/>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O nome da rosa, 2010. v. 1.

PARSEKIAN, G. A. (org.). **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto**. São Carlos: EDUFSCAR, 2012.

PINTO, P. C. A. **Análise de compatibilização de projetos: Estudo de caso em um edifício multifamiliar em João Pessoa**. 2016 . Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2016.

POZZOBON, M. A. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural**. 2003 . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

PUDENCIO JUNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Editora Gráfica Pallotti, 2002. v. 1.

RODRÍGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. A construtibilidade no processo de projeto de edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais**. São Carlos: SIBRAGEQ, 2003. p. 355–366.

SANTOS, J. C. P. d. *et al.* Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a zona bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, 2015.

SILVA, B. A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto**. 2009 . Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

SILVA, M. **As Atividades de Coordenação e a Gestão do Conhecimento nos Projetos de Edificações**. 2004 . Dissertação (Mestrado em Construção Civil) — Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SOUSA, F. J. **Compatibilização de projetos em edifícios de múltiplos andares - Estudo de Caso**. 2010 . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

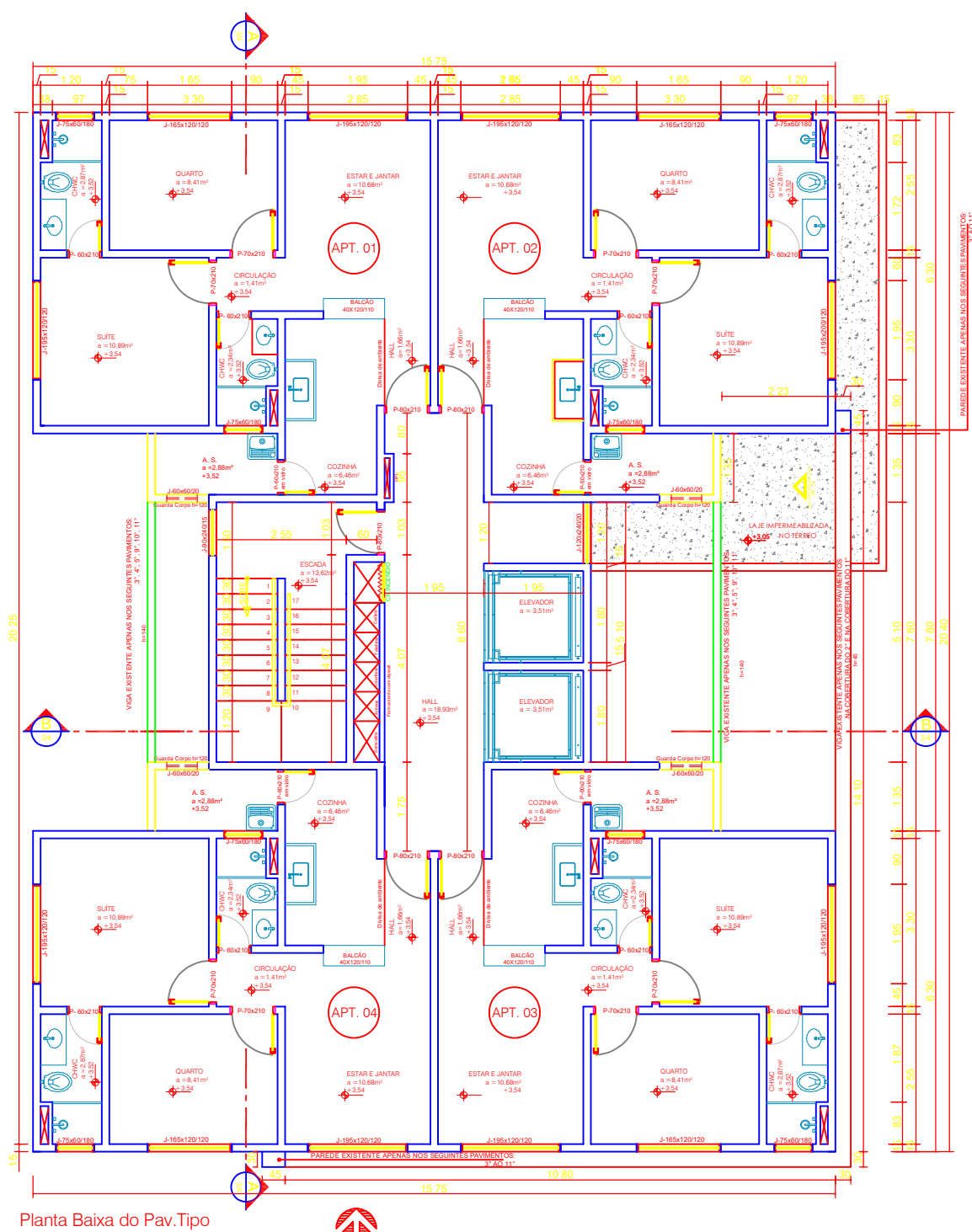
TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Editora Pini, 2010.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

VIEIRA, J. J. R. **Monadnock Building: conciliação entre boa arquitetura e especulação imobiliária**. 2006. Revista Vitruvius. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.076/321>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

Anexos

ANEXO A – PROJETOS E SOBREPOSIÇÕES INERENTES AO ESTUDO DE CASO



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

OBRA:

Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO:

Projeto Arquitetônico - Pav. Tipo

ESCALA:

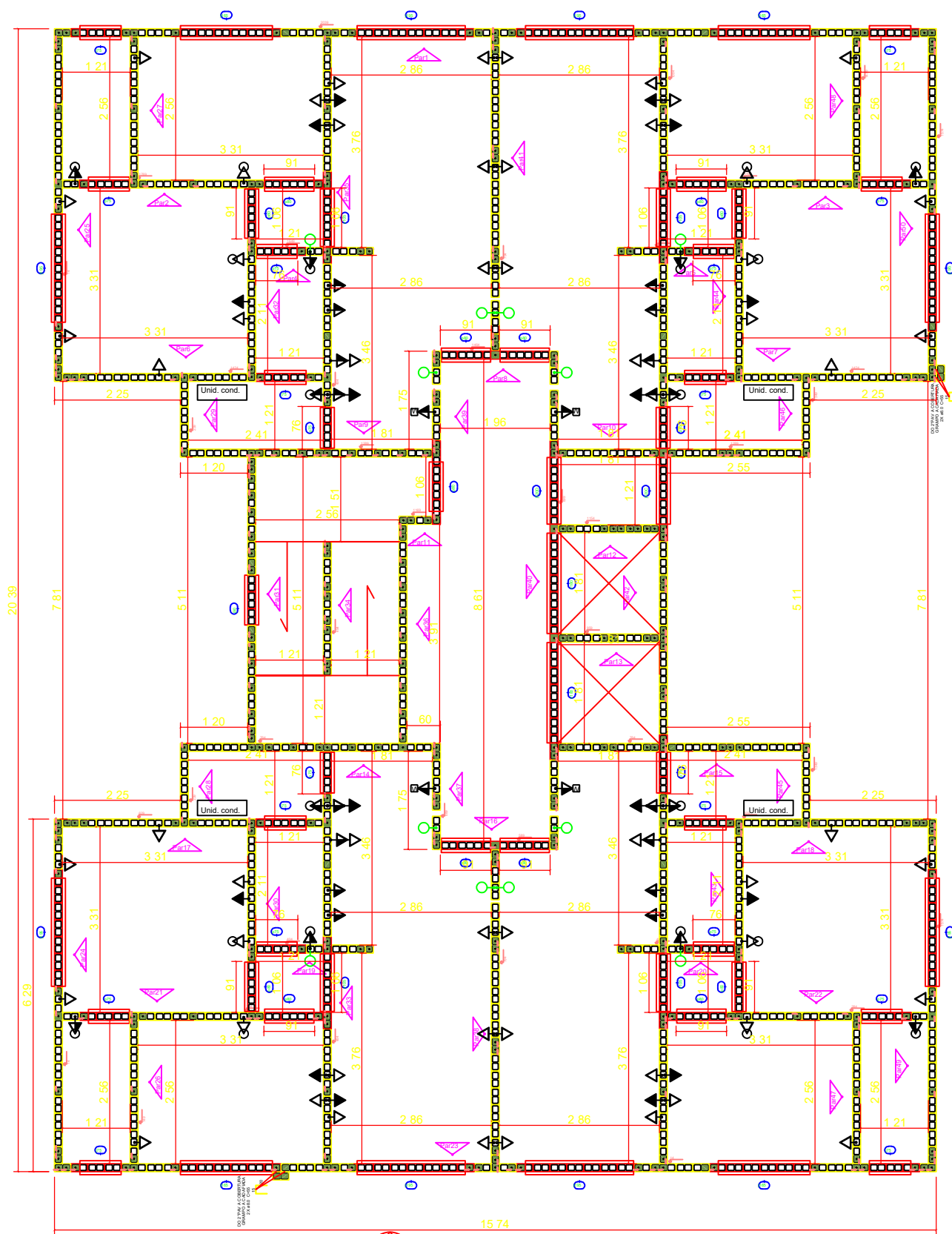
1/125

PRANCHA:

01/13

ANO:

2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

OBRA:

Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO:

Projeto de Alvenaria Estrutural - Pav. Tipo

ESCALA:

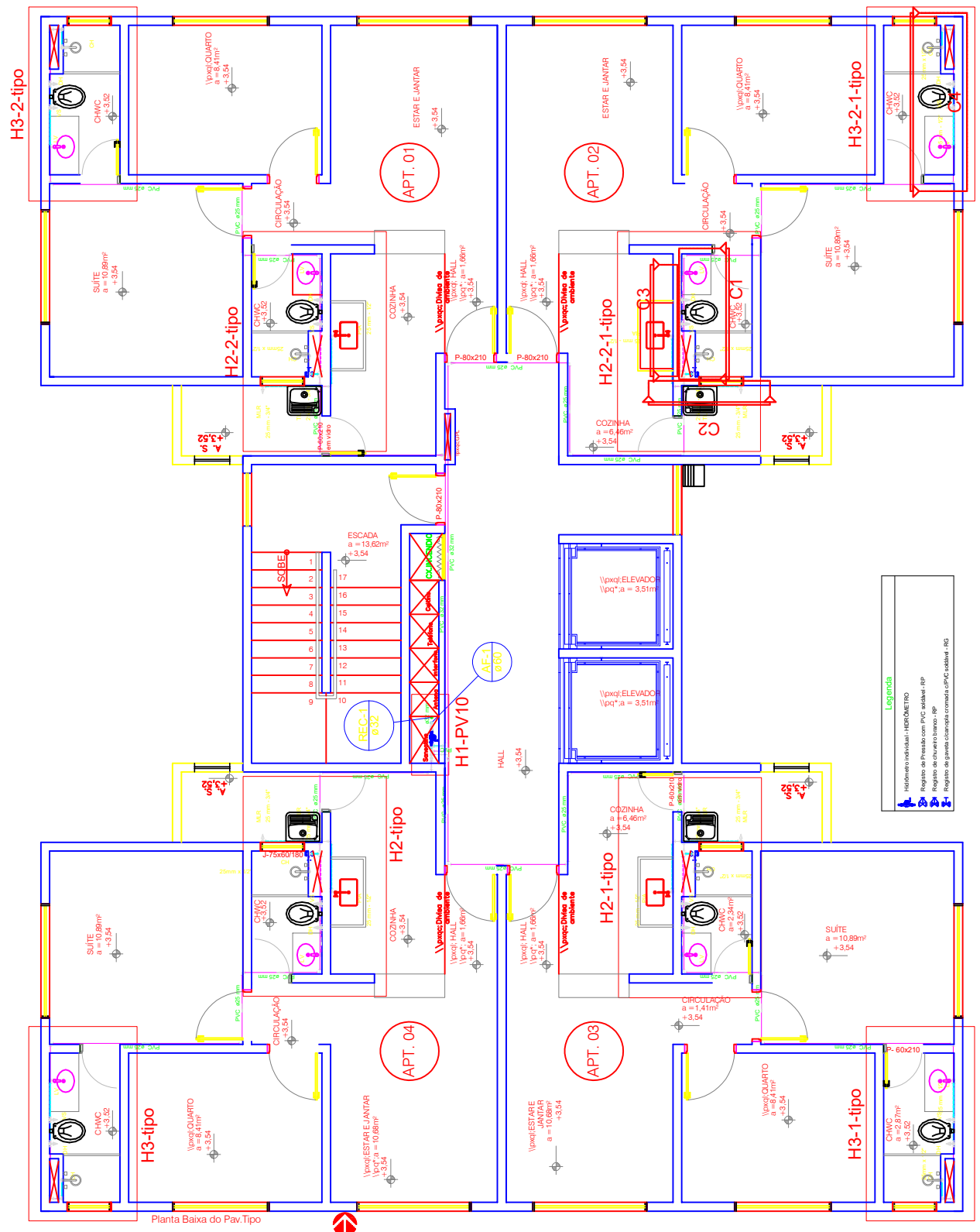
1/100

PRANCHA:

02/13

ANO:

2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

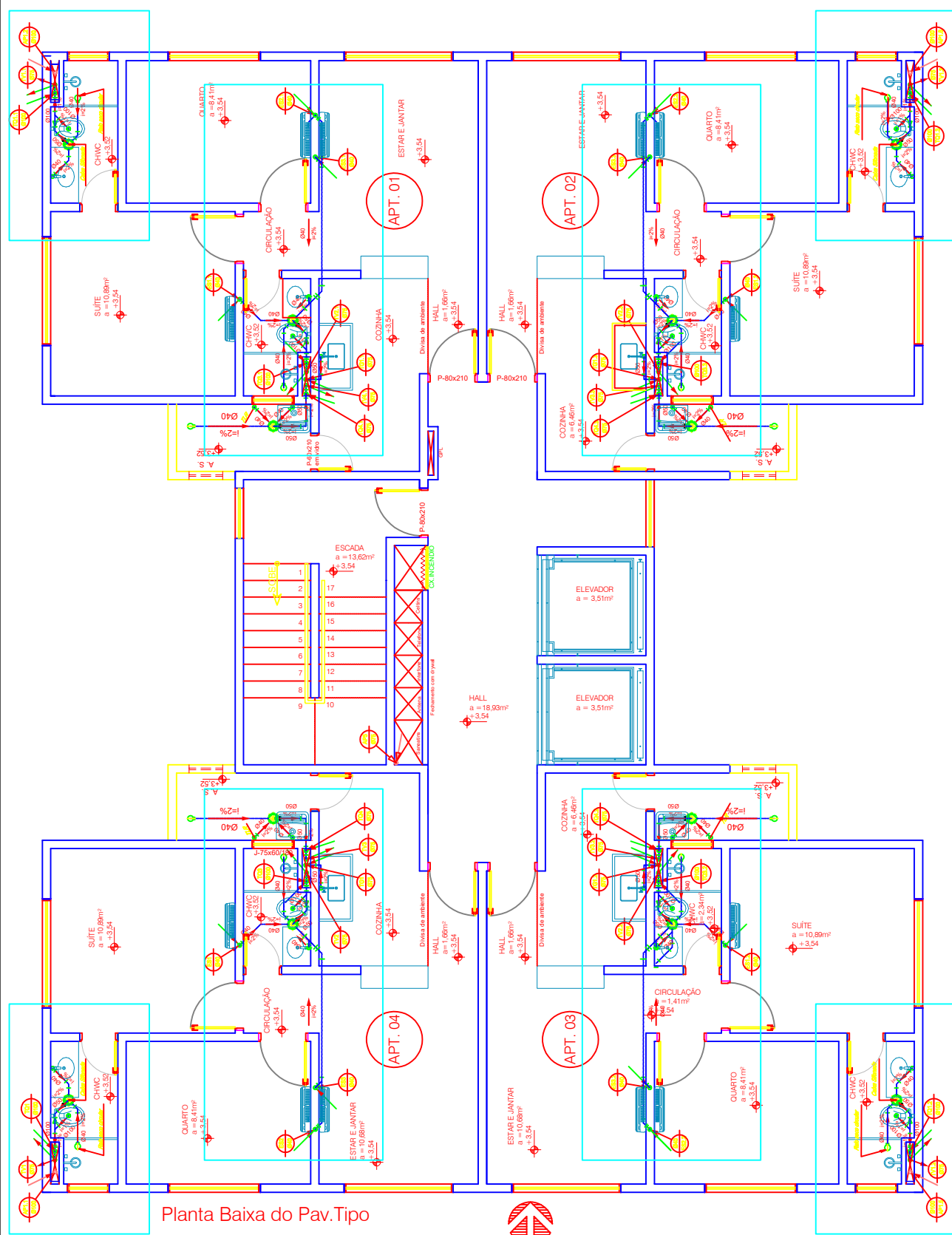
OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO: Projeto Hidrossanitário - Hidráulica-Pav. Tipo

ESCALA: 1/100

PRANCHA: 03/13

ANO: 2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

OBRA:

Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO:

Projeto Hidrossanitário - Sanitário- Pav. Tipo

ESCALA:

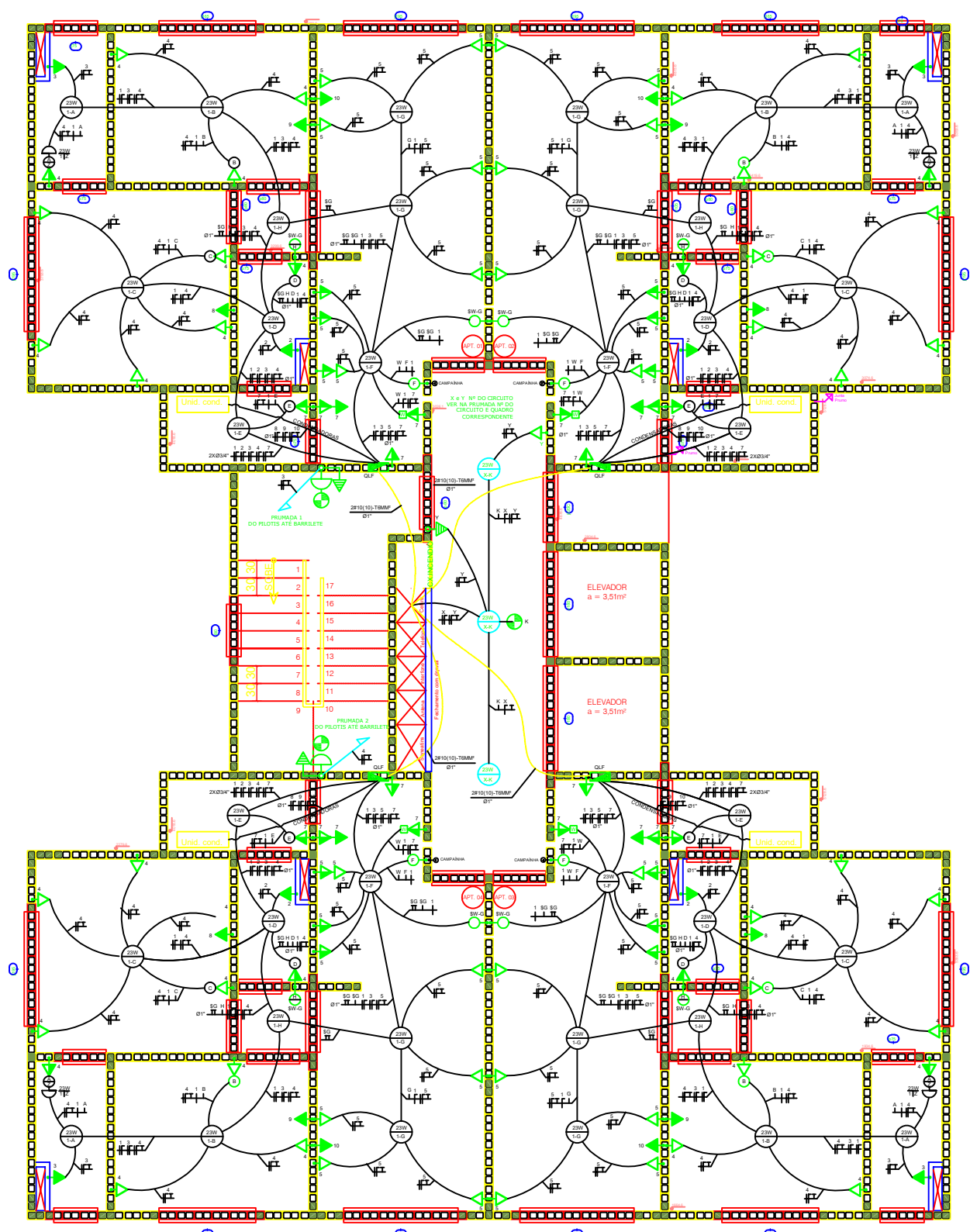
1/100

PRANCHA:

04/13

ANO:

2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

OBRA:

Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO:

Projeto Elétrico - Pav. Tipo

ESCALA:

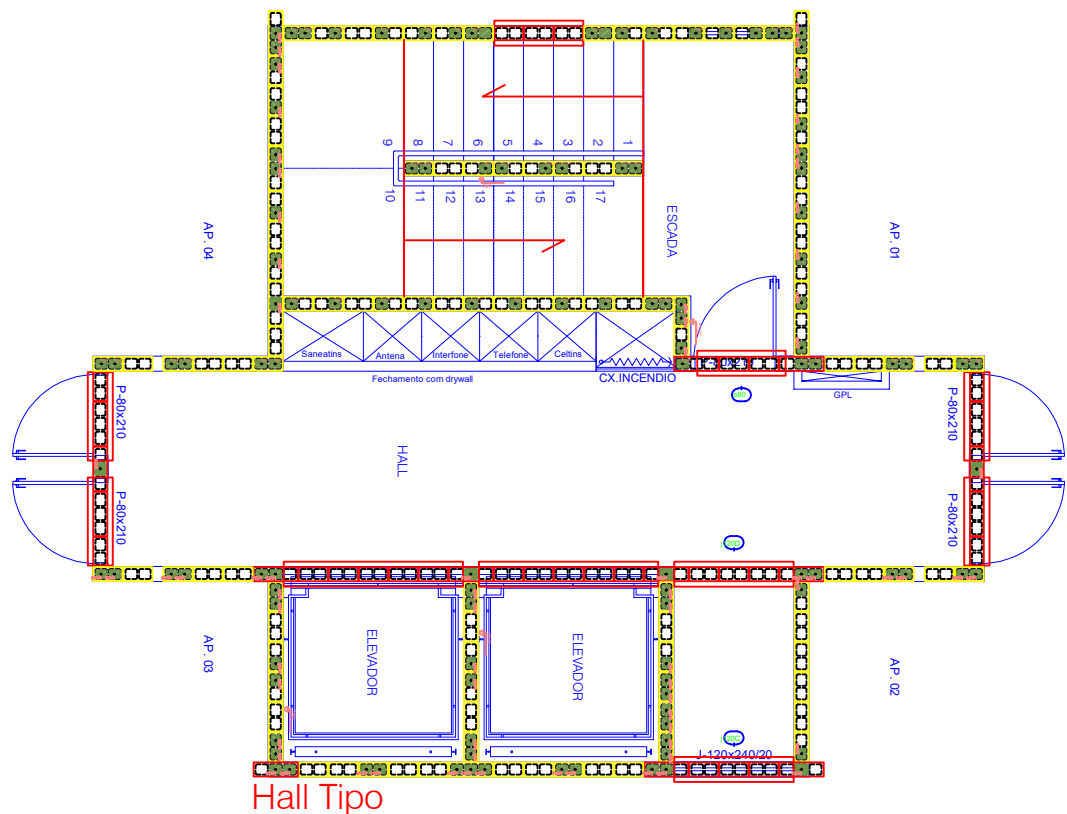
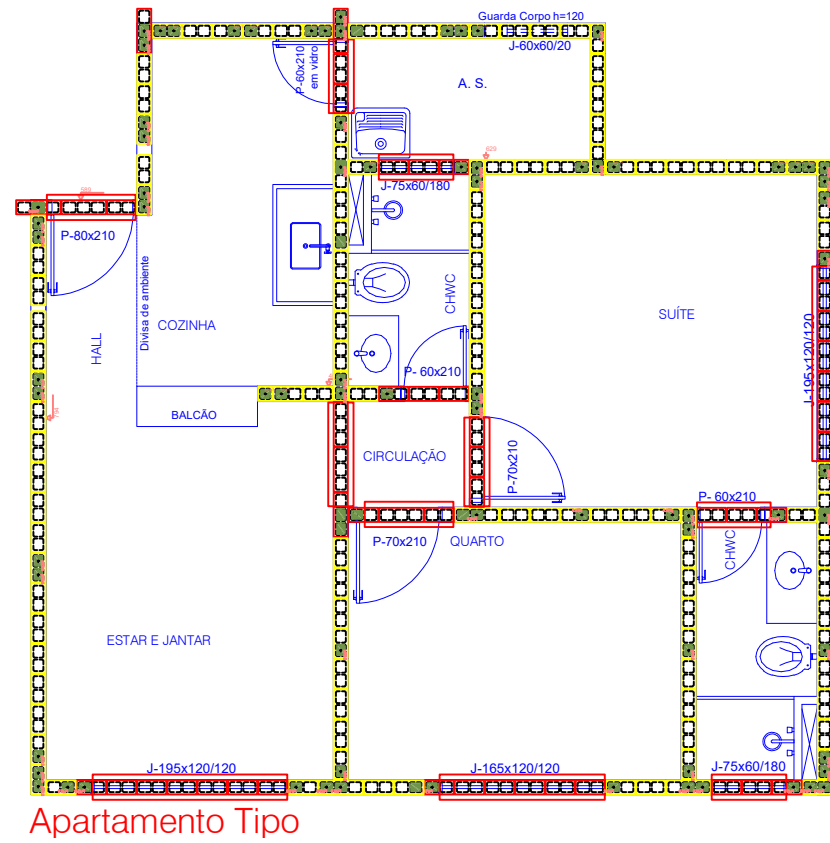
1/100

PRÂNCIA:

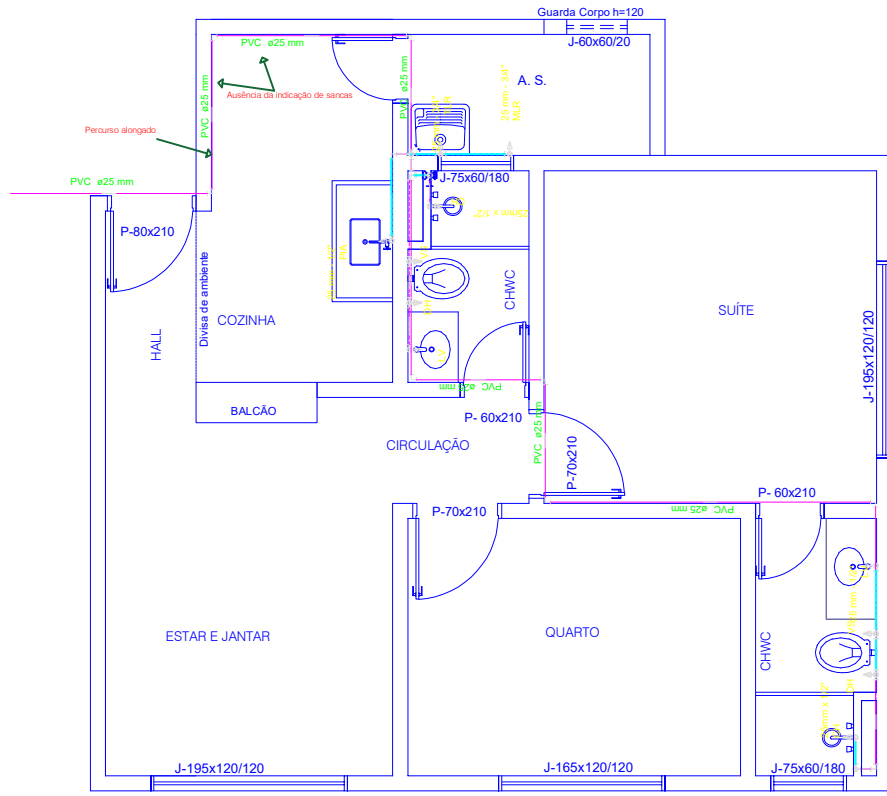
05/13

ANO:

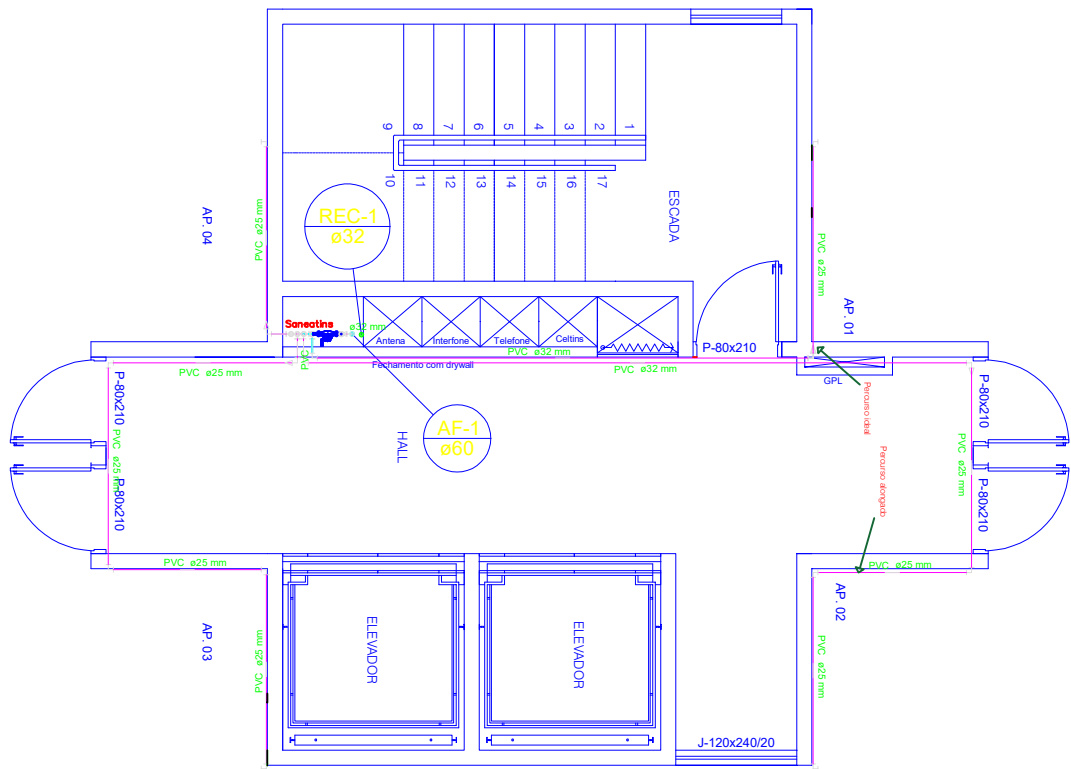
2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Arquitetura x Alvenaria Est.		
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/75	PRANCHA: 06/13	ANO: 2019



Apartamento Tipo



Hall Tipo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA

OBRA:

Edifício Multifamiliar em Palmas - TO

CONTEÚDO:

Sobreposição - Arquitetura x Hidráulica

ESCALA:

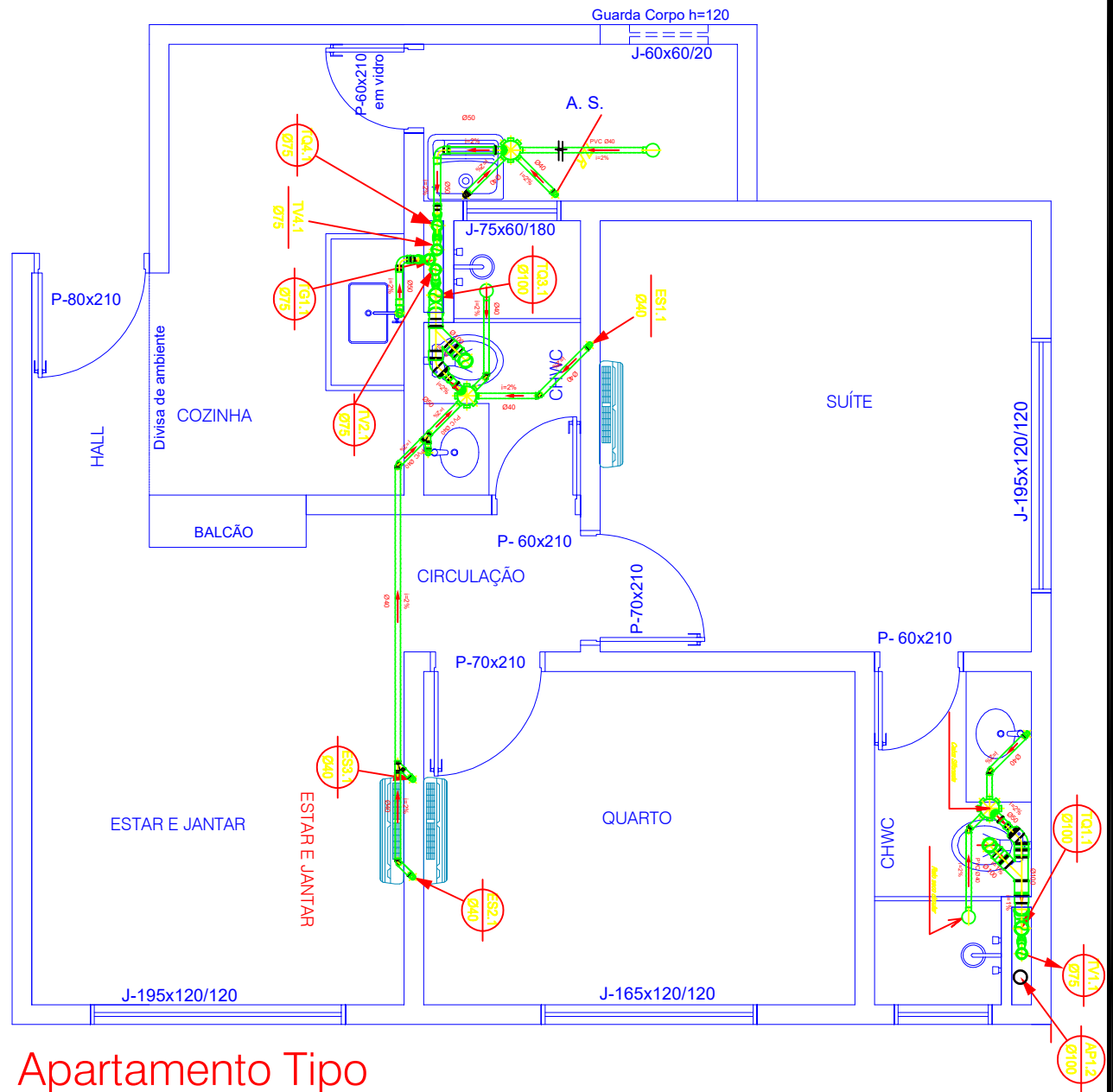
1/75

PRANCHA:

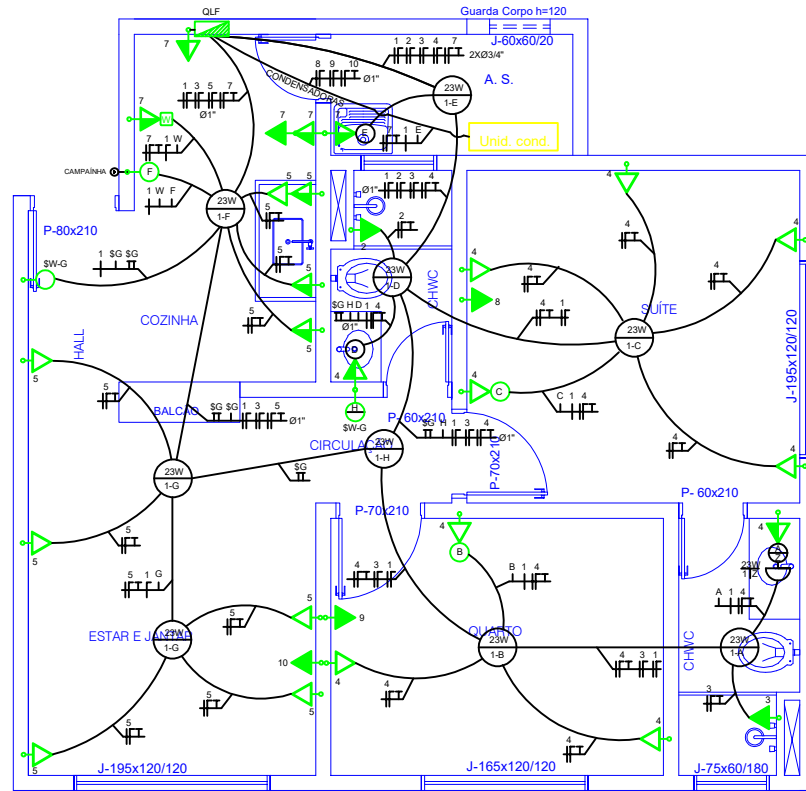
07/13

ANO:

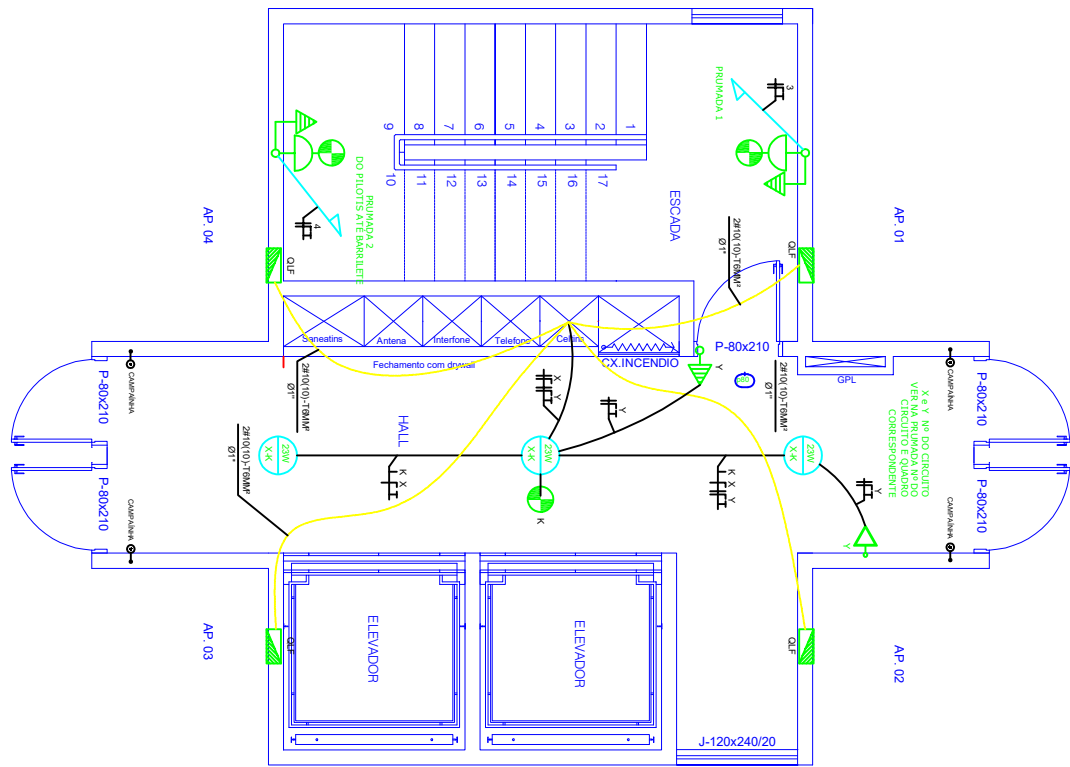
2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Arquitetura x Sanitário
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/50 PRANCHA: 08/13 ANO: 2019

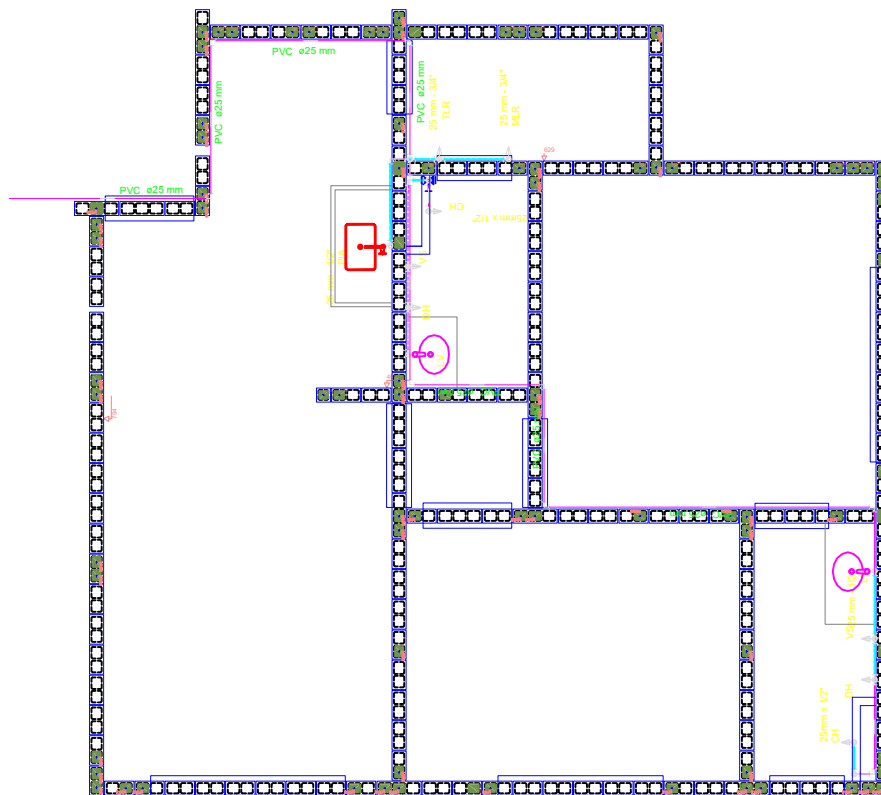


Apartamento Tipo

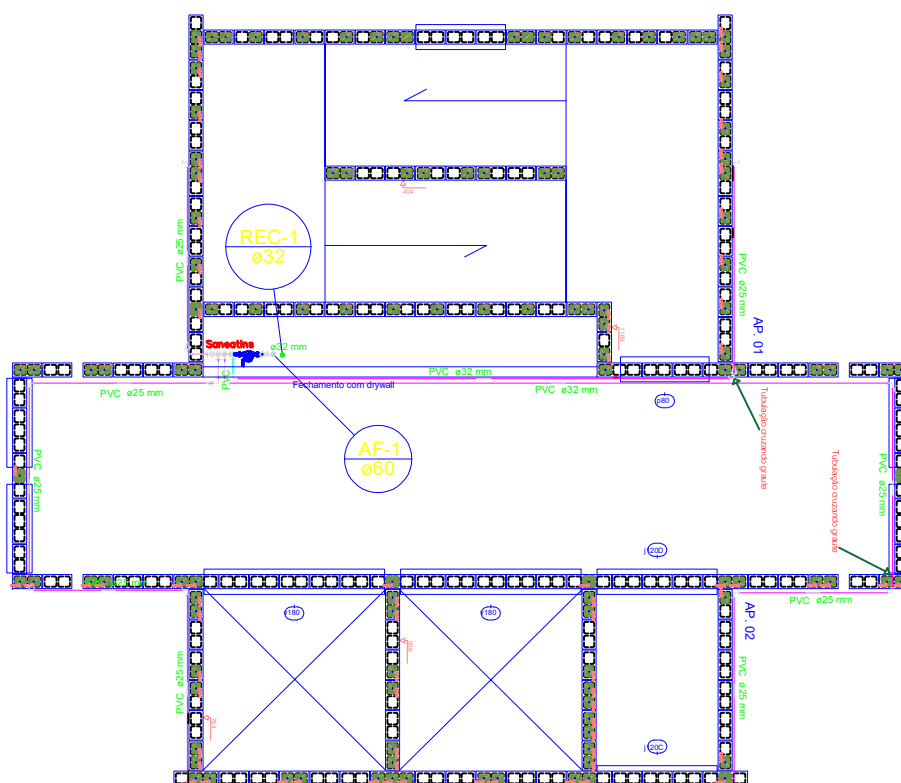


Hall Tipo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Arquitetura x Elétrica		
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/75	PRANCHA: 09/13	ANO: 2019

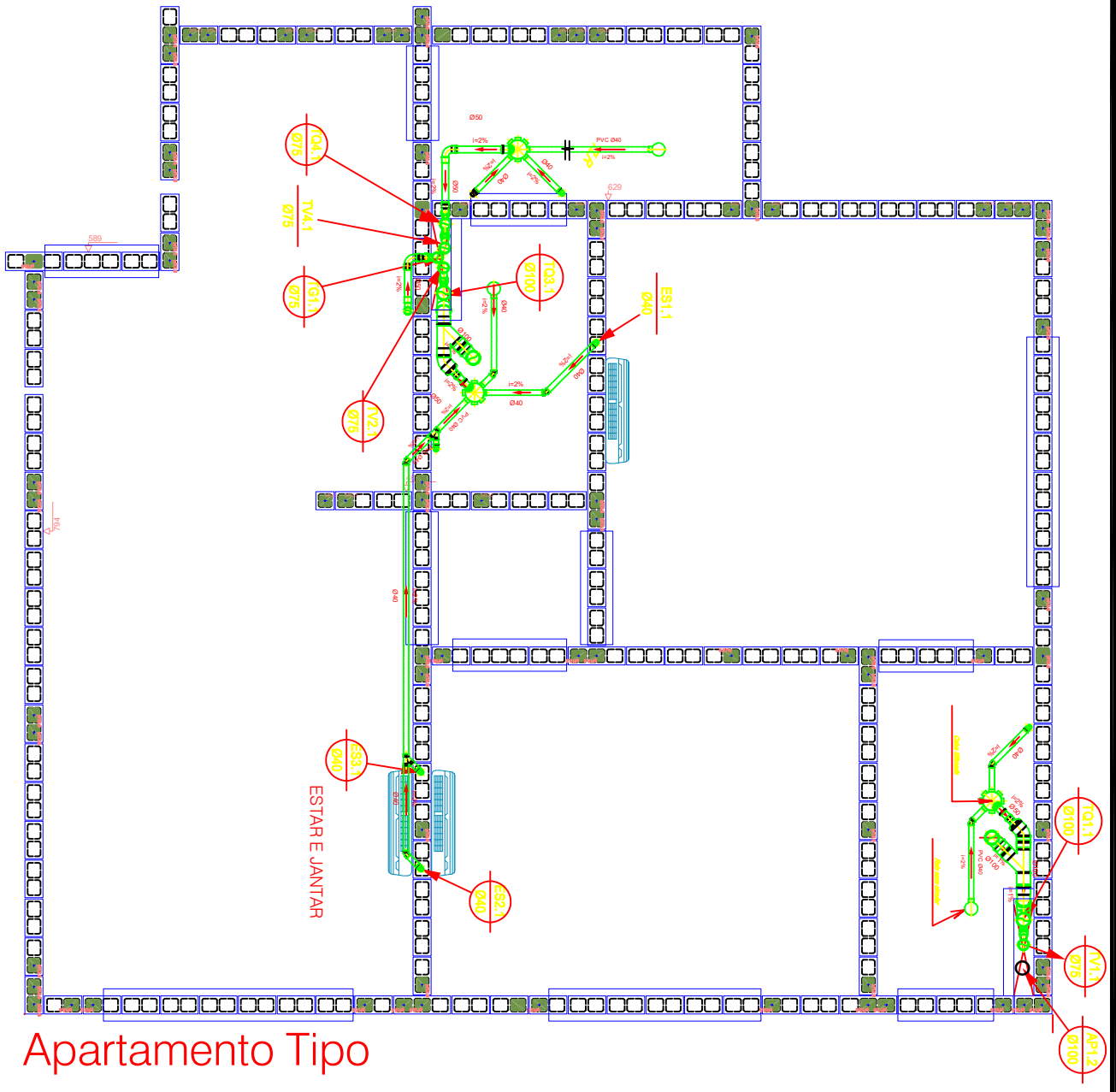


Apartamento Tipo



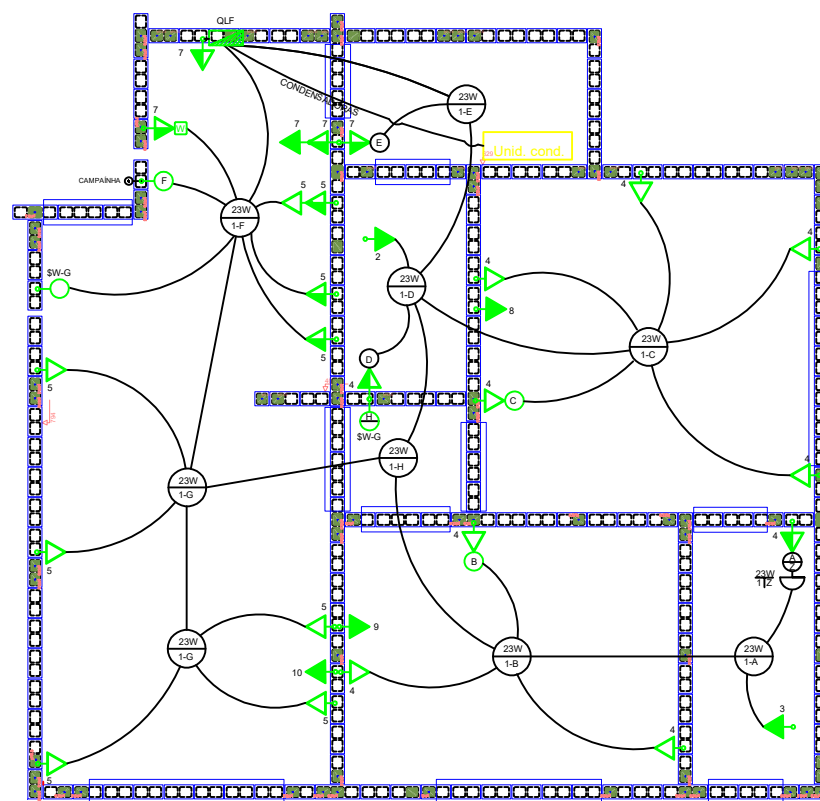
Hall Tipo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Alvenaria Est. x Hidráulica		
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/75	PRANCHA: 10/13	ANO: 2019

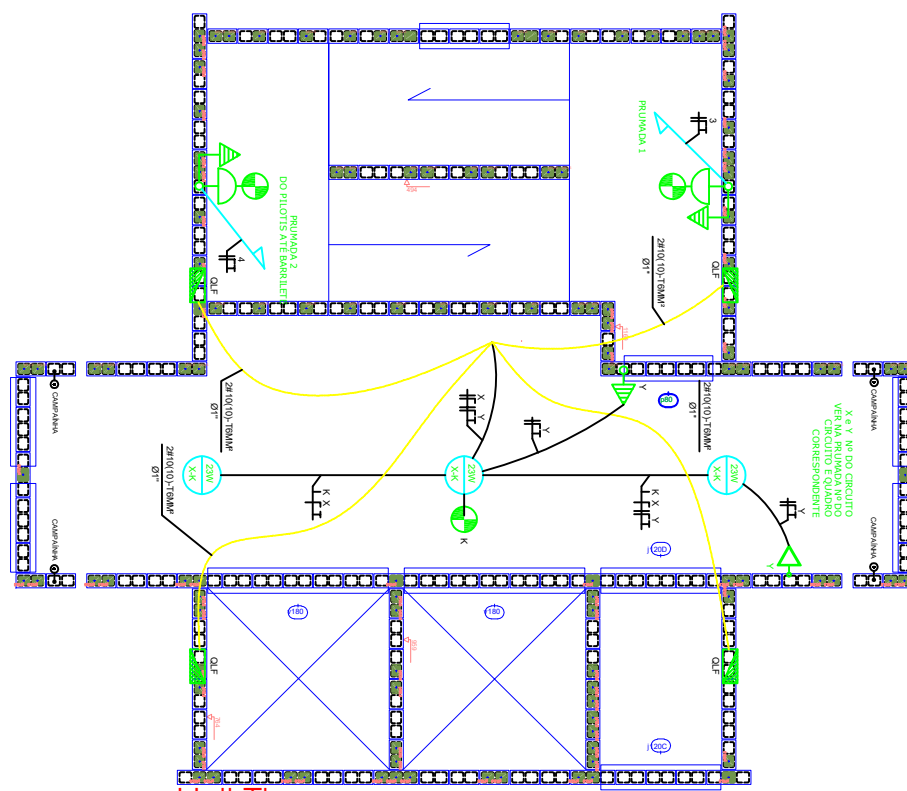


Apartamento Tipo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Alvenaria Est. x Sanitário		
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/50	PRANCHA: 11/13	ANO: 2019

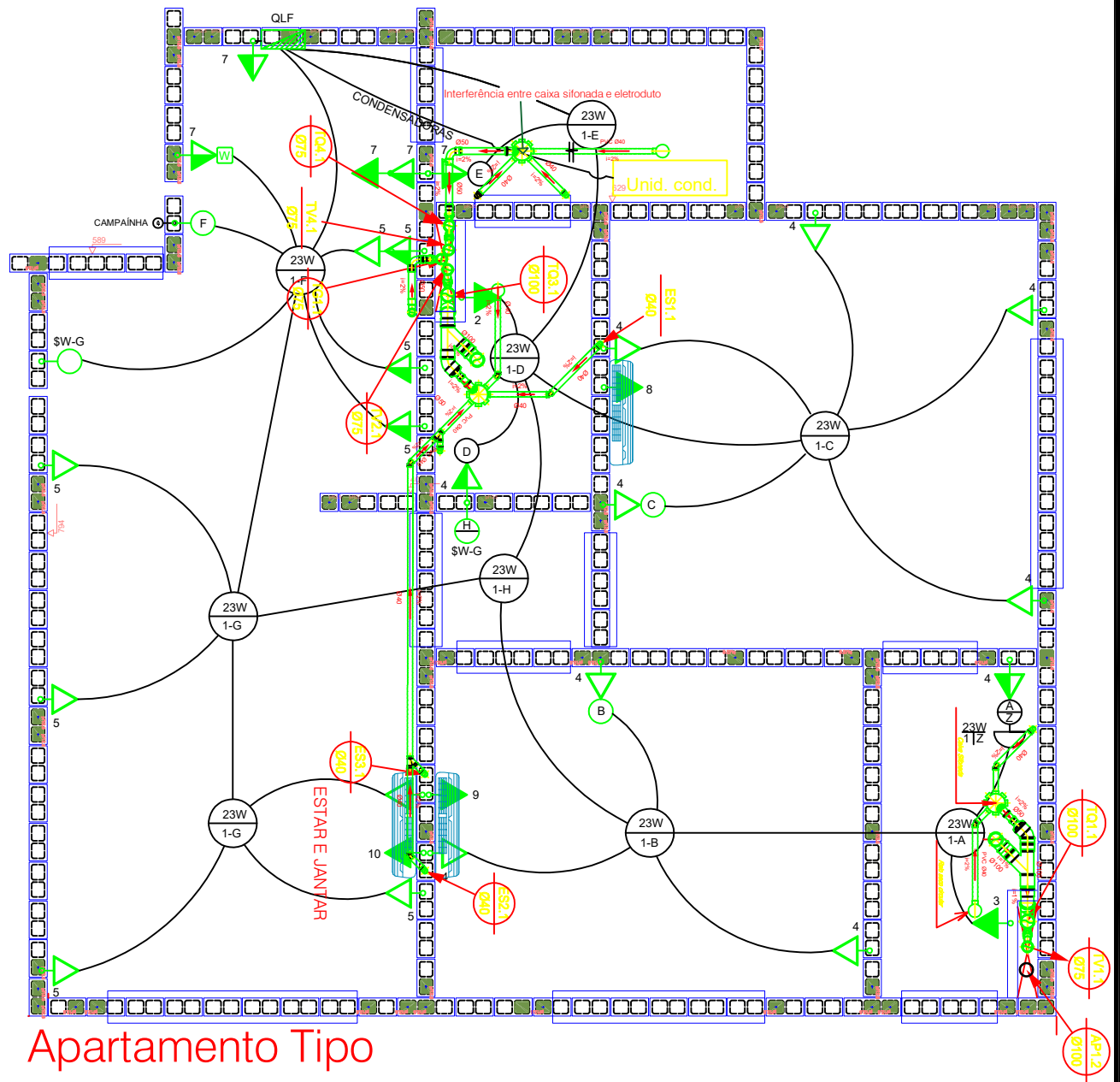


Apartamento Tipo



Hall Tipo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA:	Edifício Multifamiliar em Palmas - TO		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO:	Sobreposição - Alvenaria Est. x Elétrica		
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA:	1/75	PRANCHA:	12/13
			ANO:	2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	OBRA: Edifício Multifamiliar em Palmas - TO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CONTEÚDO: Sobreposição - Elétrica x Sanitária
GEORGE MATHEUS RODRIGUES TEIXEIRA	ESCALA: 1/50 PRANCHA: 13/13 ANO: 2019