

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gilliam Lima Soares

**ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO
AVALIANDO DIVERGÊNCIAS ENTRE EXECUÇÃO DA
OBRA E NORMAS**

Porto Alegre
Fevereiro 2024

ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO ENTRE DIVERGÊNCIAS DAS NORMAS E EXECUÇÃO DA OBRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Fevereiro 2024

ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO ENTRE DIVERGÊNCIAS DAS NORMAS E EXECUÇÃO DA OBRA

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Ana Paula Maran (UFSM)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Engenheira Marciele Monique Lazzari Klein (UFRGS)

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Após a conclusão desse trabalho eu consigo olhar para trás e ver as pessoas que foram de extrema importância para que eu pudesse concluí-lo. Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças para passar por todos desafios e chegar até aqui. Agradecimento especial ao meu pai Luiz, pelo incentivo e que nunca mediu esforços para que eu pudesse sempre avançar nos meus estudos. Agradecimento especial também a minha mãe Cláudia que sempre me incentivou a continuar. Agradeço também à minha irmã Luíze, por todo carinho e demonstração de orgulho por mim, que sempre me serviram de fonte de forças para continuar. Também agradeço à minha esposa, Danessa, por ter sido paciente comigo nas minhas horas de ausência por conta dos estudos, aulas e trabalho de conclusão de curso e pelo incentivo sempre.

Homenageio também meus colegas, amigos e incentivadores Ariel, Maurício, Robson e Eduardo, que foram de suma importância para mim durante todo o curso, sendo em horas de estudo juntos, sendo pelo incentivo e acima de tudo pelo companheirismo.

Agradeço também aos meus pastores Jorge e Cláudia, que por diversas vezes eu sei que oraram por mim, me aconselharam e me deram a direção certa.

Todos que foram citados acima são de extrema importância na minha vida atual e foram também durante todo período da graduação.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo sobre a execução de uma obra comparando-a com as normas de alvenaria estrutural, sistema construtivo o qual está sendo utilizado na obra estudada. Inicia-se apresentando o empreendimento e trazendo um embasamento teórico utilizando normas e referências bibliográficas.

Na parte do estudo de caso, são apresentados e analisados laudos e tabelas com dados medidos *in loco* e feita uma comparação com as normas de alvenaria estrutural para entender se a obra estudada está de acordo com as normas. São analisados os elementos construtivos da alvenaria estrutural como argamassa, bloco cerâmico, graute através de laudos de ensaios de resistência à compressão. Além disso, são analisados os laudos de ensaio de resistência à compressão de prismas ocos e cheios.

A obra estudada teve um grande problema com a resistência à compressão da argamassa que, conseqüentemente, gerou o mesmo problema nos ensaios de prismas ocos. Os demais componentes da alvenaria estrutural estão com suas resistências à compressão de acordo com o projeto da obra.

Além disso, houve na obra estudada um grave problema com pontos de graute que não foram executados e alguns que foram executados estão com falhas. Por isso, houve necessidade de paralisar a execução da alvenaria estrutural para preencher tais pontos.

Como mencionado, os laudos de prismas ocos e argamassas estão com resistências à compressão abaixo do exigido em projeto, portanto foi necessário um projeto de reforço estrutural, para dar uma rigidez maior para a estrutura, visto que ela está fragilizada por esses elementos estarem com suas resistências à compressão abaixo do exigido em projeto.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, normas, graute, estudo de caso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fachada do empreendimento.....	12
Figura 2: Implantação do empreendimento.....	13
Figura 3: Pavimento Tipo das Torres A – E.....	13
Figura 4: – Cobertura das Torres A - E.....	14
Figura 5: Detalhamento da Cobertura.....	14
Figura 6: – Edifício Garagem.....	15
Figura 7: Elevação da fachada.....	15
Figura 8: Corte esquemático.....	16
Figura 9: Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" em São Paulo.....	19
Figura 10: Edifício Jardim Prudência, cidade de São Paulo.....	19
Figura 11: Edifício Residencial Solar de Alcântaras, São Paulo.....	20
Figura 12: Descrição das dimensões do bloco cerâmico estrutural (L x H x C).....	22
Figura 13: Bloco cerâmico estrutural perfurado.....	22
Figura 14: Prumo e Alinhamento das paredes.....	23
Figura 15: Variações máximas da espessura das juntas de argamassa.....	25
Figura 16: Desobstrução dos furos.....	27
Figura 17: Laudo de argamassa no período da gestão antiga.....	37
Figura 18: Laudo de argamassa no período da gestão antiga.....	38
Figura 19: Laudo de argamassa no período da nova gestão.....	39
Figura 20: Laudo de argamassa no período da nova gestão.....	40
Figura 21: Laudo de resistência à compressão do bloco cerâmico.....	41
Figura 22: Laudo de resistência à compressão do bloco cerâmico.....	42
Figura 23: Laudo de graute referente a Torre A – 4º pavimento.....	43
Figura 24: – Laudo de graute referente a torre C – 4º pavimento.....	43
Figura 25: Laudo de prisma cheio – Torre A, 4º pavimento.....	45
Figura 26: Laudo de prisma oco – Torre A, 4º pavimento.....	46
Figura 27: Laudo de prisma cheio – Torre C, 4º pavimento.....	47
Figura 28: Laudo de prisma oco – Torre C, 4º pavimento.....	48
Figura 29: Laudo das contraprovas de prisma cheio – Torre A, 4º pavimento.....	49
Figura 30: Laudo das contraprovas de prisma oco – Torre A, 4º pavimento.....	49
Figura 31: Laudo das contraprovas de prisma cheio – Torre C, 4º pavimento.....	50
Figura 32: Laudo das contraprovas de prisma oco – Torre C, 4º pavimento.....	50
Figura 33: Marcação dos pontos de graute de reforço estrutural: Torre E, 2º pavimento - Quarto.....	51
Figura 34: Referência no projeto de reforço estrutural.....	52
Figura 35: Pontos de reforço de grautes executados na obra: entrada da torre C.....	53
Figura 36 : Pontos de reforço de graute executados na obra: entrada da torre C.....	53
Figura 37 : Referência no projeto de reforço estrutural: entrada da Torre C.....	54
Figura 38 : Execução dos pontos de graute de reforço estrutural – Térreo, Torre C.....	54
Figura 39 : Referência no projeto de reforço estrutural – Circulação do térreo -Torre C.....	55
Figura 40 : Localização das paredes A224 e A 252.....	56
Figura 41 : Determinação da espessura de argamassa de assentamento de projeto.....	57
Figura 42: Pontos de medição dos prumos nas paredes A224 e A252.....	58
Figura 43 – Registro da parede A224.....	59
Figura 44: Registro da parede A252.....	59
Figura 45: Registro da medição do prumo in loco Torre C – 4º pav.....	60
Figura 46: Registro da medição do prumo in loco Torre A – 4º pav.....	60
Figura 47: Resultado da simulação de ruído aéreo das lajes do 2º ao 12º pavimento.....	61
Figura 48: Resultado da simulação de ruído aéreo das paredes do 2º ao 12º pavimento.....	62
Figura 49: Resultado da simulação de ruído de impacto das lajes do 2º ao 12º pavimento.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de resistências dos componentes da alvenaria.....	16
Tabela 2: Classes de resistências à compressão da argamassa de assentamento.....	25
Tabela 3: Parâmetros acústicos de verificação.....	28
Tabela 4: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes.....	29
Tabela 5: Parâmetro acústico de avaliação.....	30
Tabela 6: Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão.....	30
Tabela 7: Critério e nível de pressão sonora de ruído aéreo.....	31
Tabela 8: Tabela de resistências de projeto dos componentes da alvenaria.....	33
Tabela 9: Histórico Cronológico do Problema com Graute e Prismas.....	34
Tabela 10: Torre A: valores extremos e média das juntas de assentamento de argamassa.....	55
Tabela 11: Torre C -Valores extremos e média das juntas de assentamento de argamassa.....	57
Tabela 12: Resultado das medidas dos prumos das paredes A224 e A252.....	58
Tabela 13: Análise dos dados da simulação frente às normas.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Motivação Pessoal	10
1.2	Objetivo Principal	10
1.3	Objetivos Específicos	10
1.4	Delimitações	11
1.5	Limitações	11
2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	12
2.1	Descrição do Empreendimento	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Breve Histórico	17
3.1.1	Breve Histórico: Contexto Mundial	17
3.1.2	Breve Histórico: Contexto do Brasil	18
3.2	Componentes para Alvenaria Estrutural	21
3.2.1	Definição de Alvenaria Estrutural	21
3.2.2	Bloco Cerâmico	21
3.2.3	Prumo	22
3.2.4	Argamassa de assentamento	23
3.2.4.1	Propriedades da Argamassa: retenção de água	23
3.2.4.2	Propriedades da Argamassa: resistência à compressão	24
3.2.4.3	Propriedades da Argamassa: trabalhabilidade	24
3.2.4.4	Espessuras das Juntas da Argamassa de Assentamento	24
3.2.5	Critério para Aceitação da Argamassa	25
3.2.6	Armaduras	26
3.2.7	Graute	26
3.3	Desempenho Acústico	27
3.3.1	Desempenho Acústico de Vedações Verticais Internas e Externas	27
3.3.2	Desempenho Acústico do Sistema de Pisos	29
3.4	Controle de Ensaios dos Componentes de Alvenaria Estrutural	31
3.4.1	Prisma Oco e cheio	31
3.4.2	Argamassa	31
3.4.3	Graute	32
3.4.4	Bloco Cerâmico	32
3.5	Critério de aceitação da alvenaria do pavimento	32
4	ESTUDO DE CASO	33
4.1	Análise dos Laudos dos Componentes da Alvenaria Estrutural	33
4.1.1	Histórico Cronológico do Problema com Graute e Prismas	34
4.1.2	Recuperação dos Pontos de Graute	35
4.1.3	Análise dos Laudos de Argamassa	36
4.1.4	Análise dos Laudos de Bloco Cerâmico	41
4.1.5	Análise dos Laudos de Graute	42
4.1.6	Análise dos Laudos de Prismas Ocos e Cheios	44
4.1.7	Reforço Estrutural	51
4.2	Avaliação dos Parâmetros Especificados pelas Normas	55
4.2.1	Espessuras das Juntas de Argamassa de Assentamento	55
4.2.2	Análise do Prumo das Paredes	57
4.3	Análise do Desempenho Acústico do Sistema Composto pela Alvenaria Estrutural e Lajes	61
6	ANÁLISE DA EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL	63
7	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a contextualização da técnica construtiva de alvenaria estrutural, visando, por meio de um estudo de caso, comparar o que foi executado com as normas de alvenaria estrutural.

O presente relatório inicia com a apresentação do empreendimento e também traz um embasamento teórico através de bibliografias e normas referentes à alvenaria estrutural e seus elementos.

Iniciou-se o estudo de caso trazendo um histórico cronológico de várias etapas da obra em que foram gerados problemas na alvenaria estrutural para, com base nesse histórico, começar a analisar laudos e itens medidos *in loco*. Além de comparar as evidências com as normas que regem a alvenaria estrutural, também foi analisada a mudança de gestão da engenharia da obra para entender onde estavam as falhas e as melhorias com a nova gestão. Porém o foco principal é a análise do que foi executado conforme com as normas.

Foram analisados laudos de argamassa, ensaios de prismas ocos e cheios, graute, bloco cerâmico e acústica. Ao analisar os laudos de bloco cerâmico da nova gestão, e compará-los com a NBR 16868-2 (ABNT, 2023) constatou-se que eles estão de acordo, atingindo a resistência à compressão exigida pelo projeto. No entanto, não foi possível analisar laudos da época da gestão anterior, pois não realizavam o controle tecnológico adequado, não separando nenhum bloco cerâmico para análise em laboratório. Em relação aos prismas, os laudos da época da gestão antiga foram aprovados em relação a resistência à compressão nos prismas cheios, porém os ocos não foram. Já os laudos de rompimento do atual engenheiro, tanto dos prismas ocos quanto dos cheios, foram aprovados quanto à resistência à compressão. Isso se deve à melhoria na qualidade da argamassa, pois estavam utilizando uma areia de má qualidade. –Como resultado, os laudos de resistência à compressão da argamassa foram abaixo do exigido na gestão anterior e aprovados na nova gestão, de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

Além disso, foram analisados laudos de simulação quanto à acústica da estrutura em relação ao impacto e ruídos, realizados por uma empresa especializada, e foram aprovados quando comparados aos níveis de impactos e ruídos permitidos que a NBR 15575-3 e 4 (ABNT, 2021). Por fim, um dos principais problemas que a obra enfrentou, gerando atrasos e prejuízos financeiros, foi o graute. Durante a gestão antiga, o projeto de pontos de graute foi atualizado, adicionando mais pontos, mas não foi repassado para o empreiteiro responsável pela execução da alvenaria estrutural. Somando a isso, a execução, mesmo com o projeto obsoleto, apresentava

pontos faltando e outros com falhas nos septos, gerando uma estrutura fragilizada. Houve, então, a troca do engenheiro da obra e o novo engenheiro solicitou o mapeamento de todos os pontos faltantes e, com uma nova empresa para executar a alvenaria estrutural, realizou o grauteamento dos pontos que estavam faltando e corrigiu os pontos com falha. Porém, como mencionado anteriormente, os prismas ocos e argamassa tiveram resistências abaixo do exigido em projeto durante a gestão antiga. Isso se refere às torres A e C até o 5º pavimento e torre E até o 6º pavimento. Com isso, foi necessário um projeto de reforço estrutural,

pois de acordo com a NBR 15812-3 (ABNT, 2010), esses pavimentos não foram aceitos devido a baixa resistência. Esse projeto de reforço estrutural está sendo executado no atual momento da obra.

1.1 MOTIVAÇÃO PESSOAL

A escolha do tema surgiu ao iniciar o estágio na obra em questão. Desde o início, ficou evidente a falta de controle técnico no cenário da obra e a gravidade da situação em que a obra se encontrava em relação a execução da alvenaria estrutural. Assim foi gerado o desafio de comparar a obra que estava sendo executada com as especificações das normas em relação à alvenaria estrutural.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Este trabalho tem como objetivo principal verificar a execução da técnica construtiva em alvenaria estrutural, avaliando o atendimento às normas vigentes, tendo como estudo de caso uma obra de um edifício na região metropolitana de Porto Alegre.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivos específicos comparar o que está sendo executado na obra estudada com as diretrizes das normas sobre alvenaria estrutural através da análise dos itens: espessura da camada de argamassa da primeira fiada, espessura da camada de argamassa na horizontal e vertical e, como foco principal, a execução dos pontos de graute conforme projeto estrutural, avaliando as consequências na estrutura pela ocorrência do não atendimento a estes itens da norma no processo construtivo. Além disso, também será analisado o desempenho acústico do sistema estrutural, considerando este formado por paredes de alvenaria estrutural e

lajes de concreto armado.

1.4 DELIMITAÇÕES

Este trabalho se delimita a análise de uma obra da construção civil executada em alvenaria estrutural, comparando com as diretrizes das normas de alvenaria estrutural e o que de fato está sendo executado na obra estudada. Além disso, será tratado sobre as consequências do não atendimento a estes itens das normas.

1.5 LIMITAÇÕES

Este trabalho não trará os resultados dos ensaios de corpos de prova, prisma oco, prisma cheio, ensaios realizados pela construtora. Não será avaliado o projeto de alvenaria estrutural, apenas a execução.

2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Na obra em questão foi utilizado o sistema construtivo predominante de alvenaria estrutural para os pavimentos tipo. O pavimento térreo é composto, além da de alvenaria estrutural, por vigas e pilares de concreto armado, conforme definido pelo projetista. Assim, pode-se classificar como um edifício de estrutura mista.

2.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Neste estudo de caso foi realizada uma análise de uma obra em execução na cidade de Canoas/RS. O principal sistema construtivo da obra é alvenaria estrutural, que é o método utilizado para as torres da obra. Na figura 1, pode-se ver a fachada da edificação.

Figura 1 – Fachada do Empreendimento

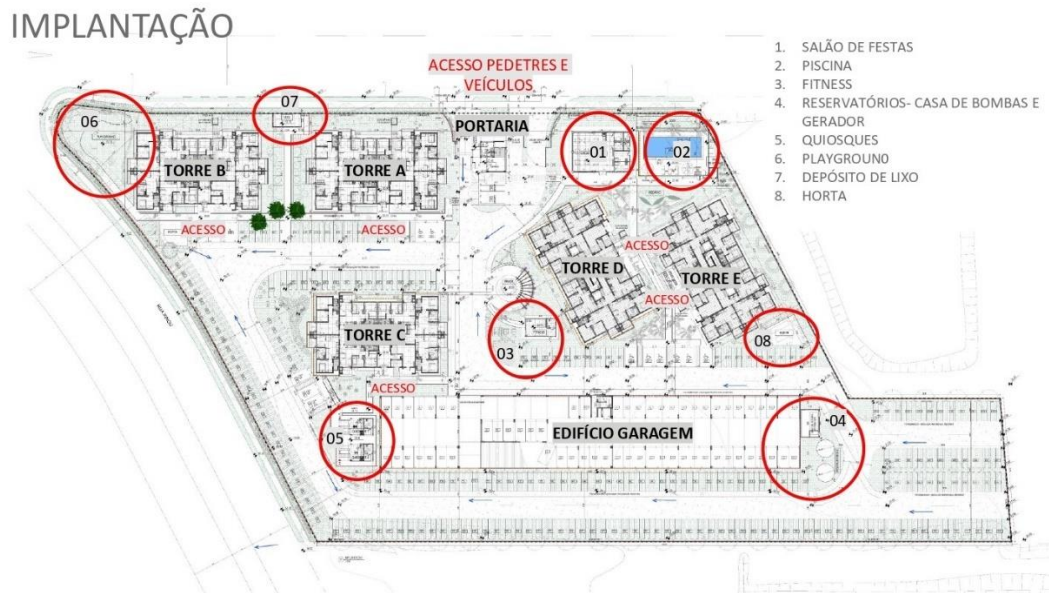


Fonte: arquivo da empresa

A obra é constituída por 5 torres, cada uma com 12 pavimentos (térreo + 11 pavimentos tipo) com 8 unidades por andar, exceto térreo com 7 unidades, devido ao apartamento para pessoas com deficiência (PCD). O número total de apartamentos no empreendimento é de 475 unidades, dessas 460 unidades são no modelo padrão e 15 são unidades PCD. Cada torre possuirá 2 elevadores. A Figura 2 apresenta a implantação do empreendimento e a Figura 3 apresenta a

planta baixa do pavimento tipo.

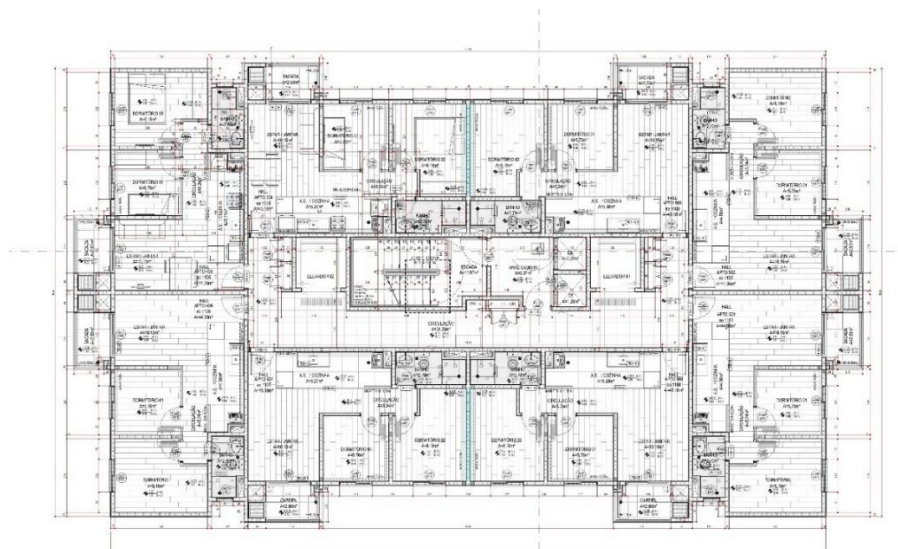
Figura 2 – Implantação do Empreendimento



Fonte: arquivo da empresa

Além das torres, a obra também terá anexos como: quiosques, academia, piscina, praça do chimarrão, *pet place*, *playground*, salão de festa e edifício garagem, que será executado em estrutura convencional, tendo pilares, lajes vigas. A obra possui uma área de terreno de 13.021,22 m² e área construída 29.976,36 m².

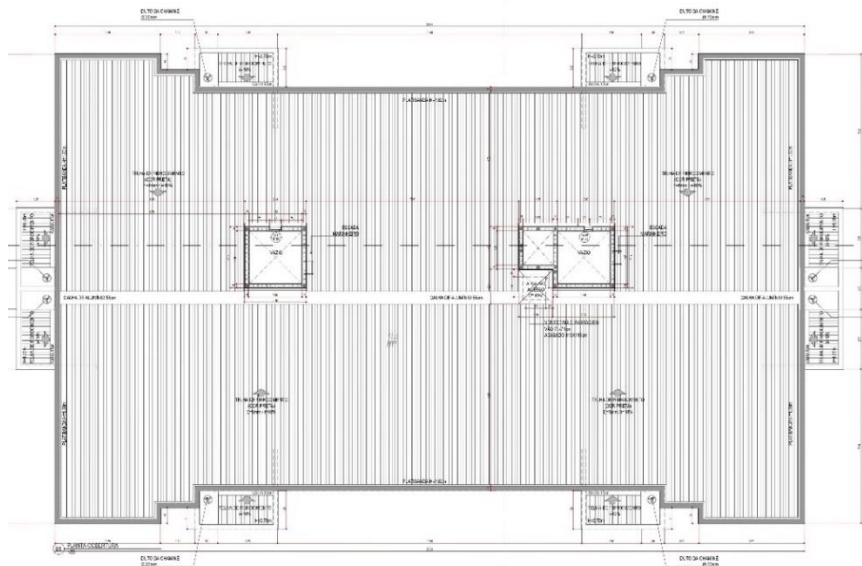
Figura 3 – Pavimento Tipo das Torres A - E



Fonte: arquivo da empresa.

As torres foram identificadas pelas letras de A a E. As unidades dos pavimentos tipo de ponta possuem uma área de $44,35\text{m}^2$ e as de meio $45,18\text{m}^2$. As unidades PCD nos térreos possuem uma área de $44,35\text{m}^2$.

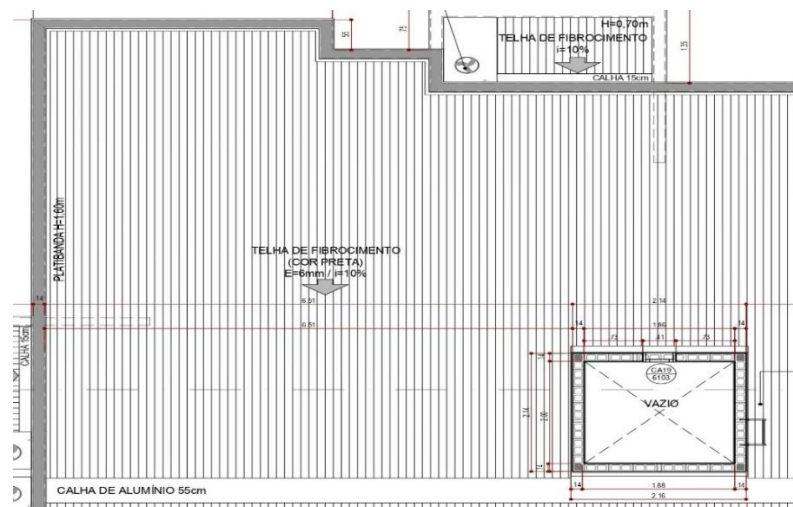
Figura 4 – Cobertura das Torres A - E



Fonte: arquivo da empresa

A cobertura das torres de A a E possuem inclinação de 10% e telha de fibrocimento (cor preta). O caimento da cobertura é para a calha de alumínio de 55cm de largura. A platibanda tem altura de 1,60m. Além disso, cada torre possui alçapão para acesso à cobertura para casos de manutenção futuras (Figuras 4 e 5).

Figura 5 – Detalhamento da Cobertura



Fonte: arquivo da empresa

Além disso, o empreendimento também possui um edifício garagem com 2 pavimentos e cobertura, que é executado em 3 juntas, sendo na junta 2 a localização do acesso à garagem, rampa, escada e elevador. Serão 178 vagas cobertas e 64 descobertas, totalizando 242 vagas no edifício garagem. Também haverá 241 vagas descobertas, ou seja, fora do edifício garagem (Figura 6). A Figura 7 apresenta a elevação da fachada padrão das torres.

Figura 6 – Edifício Garagem



Fonte: arquivo da empresa

Figura 7 – Elevação da fachada



Fonte: arquivo da empresa

O projeto de alvenaria estrutural da obra em questão possui resistências de blocos e graute iguais para as torres de A a E. No térreo é utilizado bloco de 15,0 MPa e graute de 30,0 MPa. No

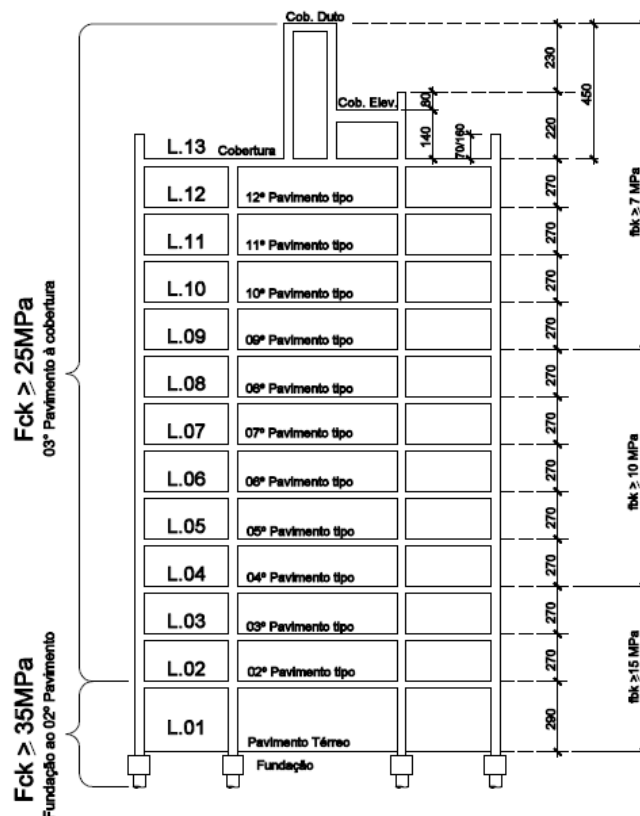
pavimento térreo ao 3º pavimento a resistência do bloco também é de 15,0 MPa e graute de 30,0 MPa. Do 4º pavimento ao 8º a resistência do bloco diminui para 10 MPa e graute 15,0 MPa. Por fim, do 9º pavimento até a cobertura a resistência do bloco é de 7 MPa e graute de 15,0 MPa (Tabela 1 e Figura 8).

Tabela 1 – Tabela de resistências dos componentes da alvenaria

TORRES A , B, C, D e E						
TABELA DE RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES DA ALVENARIA						
LANÇAMENTO DO PAVIMENTO	PRISMA ÔCO	PRISMA CHEIO	BLOCO	GRAUTE	ARGAMASSA	PAREDE DO BLOCO
	f _{pk} (MPa)	l _{pk} (MPa)	f _{bk} (MPa)	f _{gk} (MPa)	f _a (MPa)	
L.09 ao L.13	3,50	6,30	7,0	15,0	5,0	VAZADA
L.04 ao L.08	7,00	12,00	10,0	15,0	7,0	MACIÇA
L.01 ao L.03	9,75	17,55	15,0	20,0	12,0	MACIÇA
Térreo	9,75	17,55	15,0	30,0	12,0	MACIÇA

Fonte: arquivo da empresa

Figura 8 – Corte esquemático



Fonte: arquivo da empresa

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BREVE HISTÓRICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO ALVENARIA ESTRUTURAL

- Neste item, é apresentado um breve histórico do sistema construtivo em alvenaria estrutural, abordando inicialmente o contexto global e, em seguida, o panorama no Brasil.

3.1.1 Breve histórico: contexto mundial

A alvenaria estrutural tem suas origens na Pré-História. É assim um dos mais antigos sistemas de construção da humanidade. As primeiras alvenarias, em pedra ou em tijolo cerâmico seco ao sol, apresentavam grandes espessuras em suas obras mais imponentes, face ao desconhecimento das características resistentes dos materiais e de procedimentos racionais de cálculo. (PAULUZZI, 2023).

Antes do advento das estruturas de aço ao final do século XIX, do concreto armado e posteriormente o concreto protendido no século XX, todas as soluções estruturais eram feitas com alvenaria ou de madeira. Entretanto, a partir do início do século passado, com o advento do concreto armado e do aço, que possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura, com peças de reduzidas dimensões, a utilização da alvenaria não foi tratada na forma de sistema construtivo técnico como as construções de concreto armado. Em consequência as pesquisas e o desenvolvimento da alvenaria se estagnaram e neste período a sua utilização ficou relegada a construções de pequeno porte. (MULLER, 1989 *apud* SILVA, 2003).

Somente no século XIX foram desenvolvidas teorias racionais visando o dimensionamento das edificações, o primeiro relato do uso racional da alvenaria estrutural realizado com estudos teóricos e experimentais foi publicado na Índia em 1923 por A. Brebner. A partir desta época um grande número de pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de equacionar o comportamento da alvenaria estrutural (MULLER, 1989 *apud* SILVA, 2003).

Por volta de 1950, entretanto, começam a surgir normas que permitem calcular a espessura necessária das paredes e a resistência das alvenarias, em bases de cálculo mais racionais e experimentações laboratoriais, principalmente na Suíça. (CAVALHEIRO, 1999).

Bem-sucedidos empreendimentos naquele país parecem ser responsáveis pelo

ressurgimento do sistema construtivo em alvenaria estrutural na Europa na década de 50, quando foram construídos muitos prédios altos, com paredes bastante esbeltas.

Os anos 60 e 70 foram marcados por intensas pesquisas experimentais e aperfeiçoamento de modelos matemáticos de cálculo, objetivando projetos resistentes não só a cargas estáticas e dinâmicas de vento e sismo, mas também a ações de caráter excepcional, como explosões e retiradas de paredes estruturais. (CAVALHEIRO, 1999).

Nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e muitos outros países, a alvenaria estrutural atinge níveis de cálculo, execução e controle, similares aos aplicados nas estruturas de aço e concreto, constituindo-se num econômico e competitivo sistema racionalizado, versátil e de fácil industrialização, face as diminutas dimensões do componente modular básico empregado (bloco) (CAVALHEIRO, 1999).

3.1.2 Breve histórico: contexto do Brasil

Em meados dos anos 60 o mercado da construção civil não possuía formas metálicas nem os pré-moldados. Os esforços das construtoras para uma redução de custos direcionavam-se para a racionalização do sistema convencional. Nessa procura de técnicas alternativas, algumas construtoras começaram a realizar as primeiras experiências em alvenaria estrutural armada nos anos de 1966-67 (CAMACHO, 1986).

O ano de 1966 pode ser considerado como o início da alvenaria estrutural armada no Brasil, com a construção do conjunto habitacional "Central Parque da Lapa" em São Paulo, possuindo blocos de 4 pavimentos. Dessa época em diante a produção dos blocos de concreto cresceu sensivelmente, principalmente São Paulo (MOHAMAD, 2015).- A Figura 9 é referente a essa obra.

Figura 9 - Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" em São Paulo



Fonte: 123i, 2024

O edifício pioneiro em alvenaria não armada, no Brasil, foi o Jardim Prudência, construído na cidade de São Paulo, em 1977. A edificação de nove pavimentos, em blocos de concreto de silicocalcário com paredes de 24 cm de espessura (MOHAMAD, 2015). A Figura 10 é referente a essa obra.

Figura 10 – Edifício Jardim Prudência, cidade de São Paulo



Fonte: IPATRIMÔNIO, 2023

No Brasil, o emprego da alvenaria estrutural antecedeu as pesquisas que tiveram início no final da década de 70 em São Paulo e em 1984-85 em Porto Alegre CAMACHO (1986).

Na década de 1990 foi construído o edifício residencial “Solar dos Alcântaras” em São Paulo/SP. Atualmente, essa edificação, com 24 andares, é a maior do Brasil em alvenaria estrutural armada, com paredes de blocos de concreto com 14 cm de espessura do primeiro ao último andar. (MOHAMAD, 2015). A Figura 11 é referente a essa obra.

Figura 11 – Edifício Residencial Solar de Alcântaras, São Paulo



Fonte: CML.ARQ, 2023

Atualmente é comum a construção de edifícios até 13 pavimentos em alvenaria estrutural, sendo que com o material existente, pode-se chegar até 20 pavimentos (CAMACHO, 1986).

3.2 COMPONENTES PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Nessa parte do relatório estão apresentados os componentes necessários para se executar a alvenaria estrutural. Compreende em uma análise de como a obra estudada trata cada um dos seguintes componentes para executar sua alvenaria estrutural: blocos cerâmicos, argamassa, armadura e graute. Além disso, trata-se também a respeito de definições e características de cada elemento tendo como referência autores e normas.

3.2.1 Definição de Alvenaria Estrutural

Para Roman *et al.* (1999) alvenaria estrutural é o processo construtivo em que se utilizam as paredes da habitação para resistir às cargas, em substituição aos pilares e vigas utilizados nos sistemas de concreto armado, aço ou madeira.

3.2.2 Bloco Cerâmico

Segundo Camacho (2006) as unidades (blocos e tijolos) são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos.

Roman *et al.* (1999, p. 21-22) chama “o bloco cerâmico como unidade de alvenaria e define ele sendo o produto industrializado de dimensões e peso que o fazem mensurável, de formato paralelepipedal e adequado para compor uma alvenaria.”

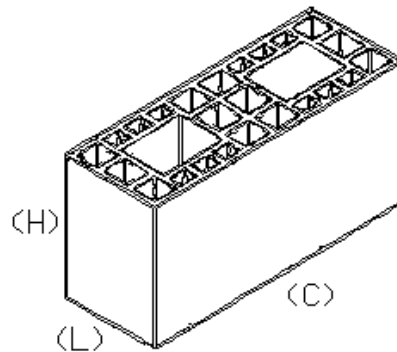
Os blocos vazados na vertical conferem facilidades nos processos de alvenaria estrutural, os vazados diminuem a massa dos blocos, permitindo peças de maiores dimensões, possibilitando economia de argamassa de assentamento, além de possibilitar a passagem das instalações, assim, a produtividade no levantamento de paredes aumenta consideravelmente (PAULUZZI, 2023).

Tendo em vista os tipos de blocos cerâmicos estruturais que existem, eles também se dividem em famílias, que são as suas dimensões.

As famílias são constituídas do bloco, do meio bloco e do bloco e meio, bem como de peças complementares para respaldo, vergas e contravergas, chamadas canaletas (PAULUZZI, 2023).

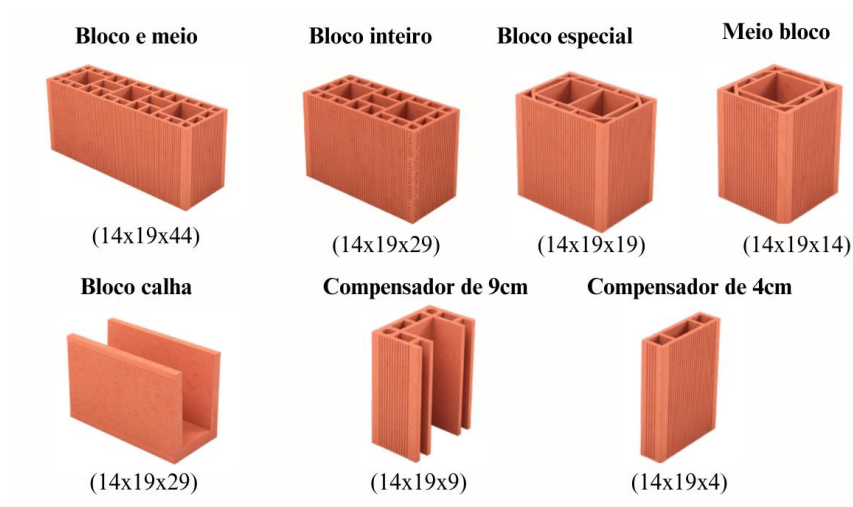
Na figura 12 e 13 mostram mais detalhes sobre as dimensões dos blocos.

Figura 12 – Descrição das dimensões do bloco cerâmico estrutural (L x H x C)



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 13 – Bloco cerâmico estrutural perfurado

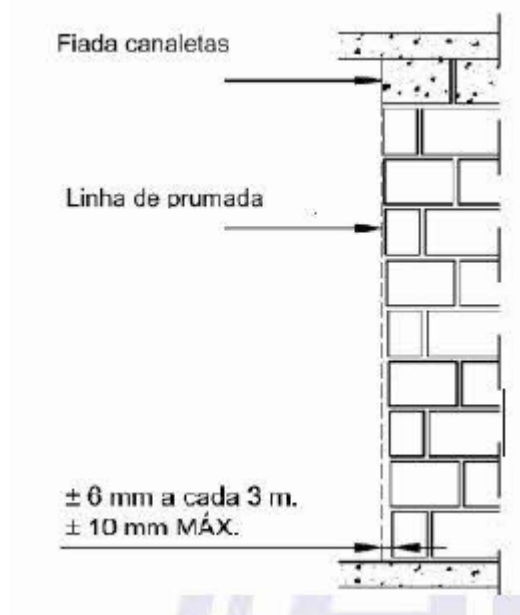


Fonte: Adaptado pelo autor, PAULUZZI, 2023.

3.2.3 Prumo

Segundo a NBR 16868-2: alvenaria estrutural – blocos cerâmicos parte 2: execução e controle de obras (ABNT, 2020) o desaprumo e desalinhamento máximo das paredes e pilares do pavimento não podem superar 10 mm, além de atender aos limites de 6 mm a cada 3 metros. Na figura 14 mostra uma figura extraída da norma.

Figura 14 – Prumo e Alinhamento das paredes



Fonte: ABNT, 2020

3.2.4 Argamassa de assentamento

Tem como funções: unir as unidades, garantir a vedação, propiciar aderência com a armadura nas juntas, compensar as variações dimensionais das unidades. Além disso, tem como propriedades: retenção de água, conveniente resistência a compressão e trabalhabilidade (CAMACHO, 2006).

3.2.4.1 Propriedades da argamassa: retenção de água

A argamassa deve ter capacidade de retenção de água suficiente para que quando em contato com unidades de elevada absorção inicial, não tenha suas funções primárias prejudicadas pela excessiva perda de água para a unidade (CAMACHO, 2006).

“A aderência perfeita entre a argamassa e o bloco será garantida pela capacidade de retenção de água, pois se o bloco absorver a água da interface, o cimento não será hidratado e, conseqüentemente, a aderência será comprometida” (PRUDÊNCIO JUNIOR et al., 2002, p.39).

3.2.4.2 Propriedades da argamassa: resistência a compressão

Segundo Camacho (2006), a resistência à compressão da alvenaria é o resultado da combinação da resistência da argamassa presente nas juntas e dos blocos. Três tipos de ruptura à compressão podem ocorrer na alvenaria:

- ruptura dos blocos: frequentemente se manifesta pelo surgimento de uma fissura vertical que passa pelos blocos e juntas de argamassa;
- ruptura da argamassa: quando ocorre o esmagamento das juntas, sendo frequente a constatação do esfrelamento da argamassa presente na junta;
- ruptura do conjunto: é a situação desejável, quando a ruptura se dá pelo surgimento de fissura vertical no conjunto, porém precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa.

A resistência à compressão da argamassa é importante para a resistência final da estrutura, no entanto, grande rigidez não significa uma melhor solução, pois uma argamassa muito resistente pode ter problemas de fissuração por expansão térmica ou por movimentação da junta. Sendo assim, a resistência da argamassa deve ser suficiente para comportar as cargas da parede, porém não deve ultrapassar a resistência do bloco (ROMAN et al., 1999, p.26).

3.2.4.3 Propriedades da argamassa: trabalhabilidade

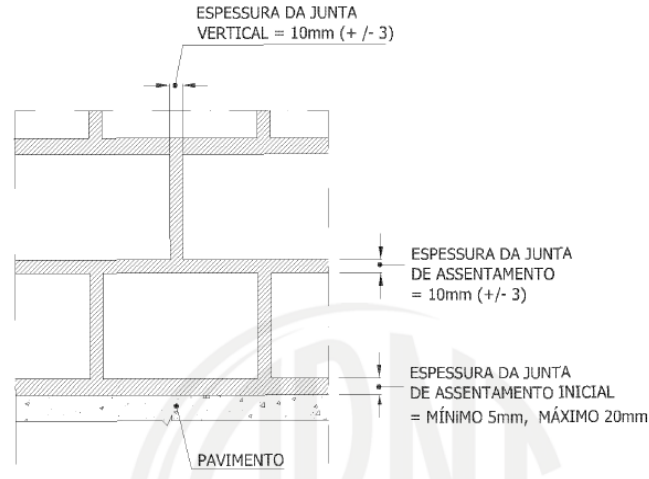
Segundo Roman *et al.* “A trabalhabilidade é a característica da argamassa que possibilita a perfeita junção dos blocos, corrigindo imperfeições e permitindo uma distribuição uniforme das cargas. Uma argamassa com boa trabalhabilidade deve ser de fácil aplicação e não deve escorrer com o peso dos blocos assentados nas fileiras superiores.” (1999, p. 25-26).

3.2.4.4 Espessuras das juntas da argamassa de assentamento

Quanto as espessuras da argamassa de assentamento horizontais e verticais, a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) define que as juntas verticais e horizontais devem ter espessuras de 10 mm e a variação máxima da espessura delas deve ser ± 3 mm, exceto a espessura de argamassa da primeira fiada que deve ter no mínimo 5mm e máximo 20mm.

A Figura 15 escreve graficamente as espessuras das juntas da argamassa de assentamento.

Figura 15 – Variações máximas da espessura das juntas de argamassa



Fonte: ABNT, 2020

3.2.5 Critérios para aceitação da argamassa

De acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023) a argamassa de assentamento de unidade de alvenaria estrutural deve atender aos critérios de resistência à compressão estabelecidos pela tabela 4 da mesma norma. Na figura 16 abaixo está a tabela 4 desta norma.

Tabela 2 – Classes de resistências à compressão da argamassa de assentamento

Classes de uso ^a	Classe de resistência à compressão da argamassa (f_a) ^b MPa	Sugeridas para as seguintes faixas de uso em relação à resistência do bloco (f_{bk}) MPa
AAE5	$5,0 \leq f_a < 8,0$	$3 \leq f_{bk} \leq 6$
AAE8	$8,0 \leq f_a < 12,0$	$8 \leq f_{bk} \leq 10$
AAE12	$12,0 \leq f_a < 16,0$	$12 \leq f_{bk} \leq 16$
AAE16	$16,0 \leq f_a < 20,0$	$18 \leq f_{bk} \leq 20$
AAE20	$20,0 \leq f_a < 24,0$	$22 \leq f_{bk} \leq 24$
AAEE (Especial)	$f_a \geq 24,0$	c

Fonte: ABNT, 2023.

3.2.6 Armaduras

As armaduras utilizadas no sistema de alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, porém estas são envolvidas por graute, garantindo assim o conjunto com os demais componentes da alvenaria estrutural. O diâmetro a ser utilizado deve ser de no mínimo 3,8 mm, não podendo ultrapassar a metade da espessura da junta entre os blocos (RAMALHO; CORRÊIA, 2003).

A função da armadura na alvenaria estrutural é dissipar os esforços de tração decorrentes do peso próprio da alvenaria e dos carregamentos. Por elevar o valor da alvenaria estrutural, a armadura é usada em pequena escala e em pontos críticos detalhados em projeto (SILVA, 2007).

3.2.7 Graute

Graute é um microconcreto (feito com agregados graúdos de pequeno diâmetro) e autoadensável (grande fluidez, não precisa de vibração), usado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente (ARAÚJO, 2009).

A composição do graute é a mesma utilizada para produzir concreto. O que difere são as dimensões dos agregados graúdos e a relação água/cimento. É basicamente um concreto com agregados finos, possui grande fluidez e sua retração é extremamente baixa. O graute pode ser fino (cimento + areia) ou graute grosso (cimento + brita + areia) (RAMALHO; CORRÊIA, 2003).

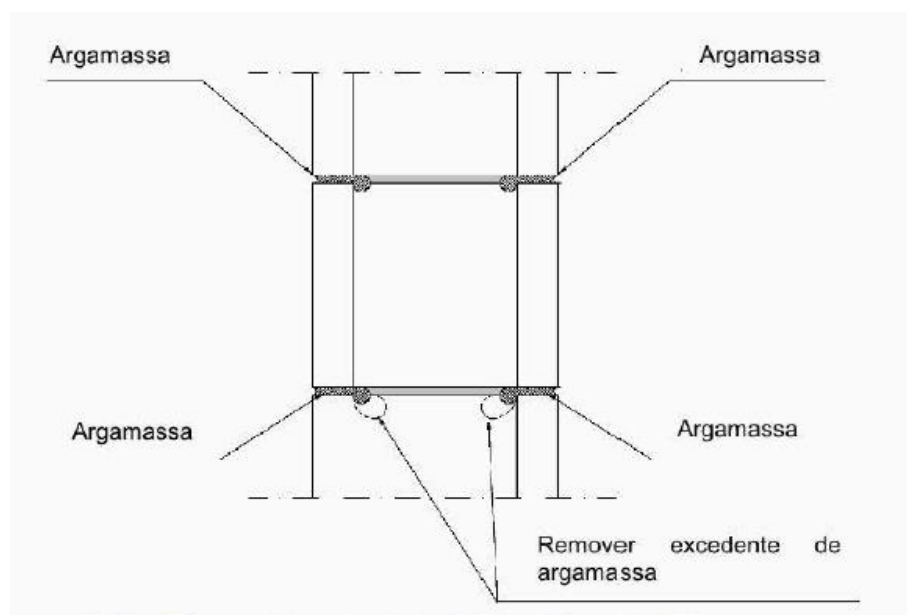
Além disso, a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) define que o graute deve ter resistência à compressão de modo que a resistência do prisma grauteado atinja a resistência especificada pelo projetista, deve ter características no estado fresco que garantam o completo preenchimento dos furos e não deve apresentar retração que provoque o descolamento do graute das paredes dos blocos.

A NBR 16868-2 (ABNT, 2020) apresenta alguns cuidados no momento do grauteamento:

- devem ser criadas janelas de visita nos pontos a serem grauteados para realizar a limpeza destes e a inspeção da operação de grauteamento
- antes de verter o graute, os furos devem estar alinhados e desobstruídos. Para tal, deve-se remover rebarbas de argamassa (Figura 16)

- no adensamento, sempre manual, deve-se empregar haste entre 10 mm e 15 mm de diâmetro, devendo a haste ter comprimento suficiente para atingir toda a extensão do vazado, não sendo permitido utilizar a própria armadura da parede para esse adensamento; no caso de graute autoadensável, isto não é aplicável
- devem ser criadas janelas de visita nos pontos a serem grauteados para realizar a limpeza destes e a inspeção da operação de grauteamento.

Figura 16 - Desobstrução dos furos



Fonte: ABNT, 2020

3.3. DESEMPENHO ACÚSTICO

Este item do relatório aborda os requisitos necessários para o desempenho acústico de paredes de vedação internas e lajes.

3.3.1 Desempenho acústico de vedações verticais internas e externas

Para a análise do desempenho acústico de vedações verticais internas e externas, existem, segundo a NBR 15575-4: sistemas de vedações verticais internas e externas (ABNT, 2021A) alguns métodos a seguir descritos.

- **Método de precisão, realizado em laboratório:** este método determina a isolamento sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta e outros), fornecendo valores de referência de cálculo para projetos.
- **Método de engenharia, realizado em campo:** para SVVE (sistema de vedação vertical externo: fachadas): determina, em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. Para SVVI (sistema de vedação vertical interno: paredes internas): determina, em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema.
- **Método simplificado de campo:** este método permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), do isolamento sonoro global entre recintos internos, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro.

A norma utiliza alguns símbolos para descrever cada tipo de análise sonora, de acordo com objetivo: vedações verticais e horizontais internas (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

Fonte: ABNT, 2021A

Em relação ao SVVI (sistema de vedação vertical interna) deve apresentar desempenho mínimo de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nt,w}$, entre ambientes

Elemento	$D_{nt,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nt,w}$ obtida entre as unidades)	≥ 40

Fonte: ABNT, 2021A

3.3.2 Desempenho acústico do sistemas de pisos

Para a análise do desempenho acústico dos sistemas de pisos, existem, segundo a NBR 15575-3: edificações habitacionais – desempenho parte 3: requisitos para os sistemas de pisos (ABNT, 2021B) alguns métodos a seguir descritos.

- **Método de engenharia, realizado em campo:** isolamento de ruído de impacto-padrão em sistema de pisos: Determina, em campo, de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto-padrão em sistema de piso entre unidades autônomas, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. Isolamento de ruído aéreo de sistema de pisos: Determina, em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro de ruído aéreo entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema.
- **Método simplificado de campo:** Este método permite obter uma estimativa do isolamento sonoro de ruído aéreo e o nível de pressão sonora de impacto-padrão

em sistema de piso, em situações em que não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído ambiente não permitem obter este parâmetro.

A NBR 15575-3 (ABNT, 2021B) descreve, conforme Tabela 5, o símbolo que é utilizado tanto para descrever o desempenho acústico de impacto-padrão como de ruído aéreo.

Tabela 5 – Parâmetro acústico de avaliação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de piso

Fonte: ABNT, 2021B

Referente ao desempenho acústico por impacto-padrão, deve-se avaliar o som resultante de ruídos de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) entre as unidades habitacionais. Devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional. As medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas, como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora (ABNT, 2021B, p. 30).

A Tabela 6 apresenta os valores mínimos de desempenho acústico em relação ao impacto-padrão.

Tabela 6 – Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão

Elemento	$L_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: ABNT, 2021B

Já em relação ao desempenho acústico por ruído sonoro, deve-se avaliar o isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal (fala, TV, conversas, música) e uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo). Avalia-se os dormitórios da unidade habitacional. As medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas, como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora (ABNT, 2021B, p. 31).

A Tabela 7 apresenta os valores mínimos de desempenho acústico em relação ao ruído aéreo.

Tabela 7 - Critério e nível de pressão sonora de ruído aéreo

Elemento	$D_{nT,w}$ dB
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45

Fonte: ABNT, 2021B

3.4. CONTROLE DE ENSAIOS DOS COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Nesse item do relatório está abordado os ensaios de prisma oco, prisma cheio, argamassa, graute e bloco cerâmico de acordo com a NBR 16868-3: alvenaria estrutural parte 3: métodos de ensaio (ABNT, 2020), que estabelece os requisitos para os mesmos.

3.4.1 PRISMA OCO E PRISMA CHEIO

A amostra-padrão de prisma deve conter seis exemplares. Cada exemplar é constituído de um corpo de prova. Recomenda-se a construção adicional de igual número de exemplares para eventual contraprova NBR 16868-2 (ABNT, 2020).

3.4.2 ARGAMASSA

A amostra de argamassa deve conter seis exemplares. Cada exemplar é constituído de um corpo de prova. Recomenda-se a construção adicional de igual número de exemplares para eventual contraprova NBR 16868-2 (ABNT, 2020).

3.4.3 GRAUTE

Segundo a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) devem ser controlados em obra ao menos a resistência característica à compressão do graute.

A NBR 16868-2 (ABNT, 2020) ainda diz que a amostra de graute deve conter seis exemplares. Cada exemplar é constituído de um corpo de prova. Recomenda-se a construção adicional de igual número de exemplares para eventual contraprova. A moldagem dos corpos de prova deve ser feita de acordo com a ABNT NBR 5738. O ensaio é realizado de acordo com a ABNT NBR 5739.

3.4.4 BLOCO CERÂMICO

Segundo a NBR 16868-3 (ABNT, 2020) a resistência dos blocos ou tijolos deve ser determinada a partir de uma amostra com no mínimo treze corpos de prova conforme a ABNT NBR 15270-2 para blocos ou tijolos cerâmicos.

3.5 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DA ALVENARIA DO PAVIMENTO

De acordo com a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) para a alvenaria, de um determinado lote, ser aceita, a resistência característica estimada da amostra ou contraprova de prisma deve ser maior ou igual à resistência especificada de projeto.

Ainda segundo NBR 16868-2 (ABNT, 2020) no caso de a alvenaria não ser aceita deve-se adotar uma das seguintes ações:

- a) providenciar o reforço da estrutura;
- b) determinar as restrições de uso da estrutura;
- c) decidir pela demolição parcial ou total.

4. ESTUDO DE CASO

Nessa parte do relatório estão descritos itens analisados na obra que está sendo estudada. Foram analisados e comparados com as normas referentes à alvenaria estrutural os itens de graute, espessura de fiada horizontal e vertical, prumo, acústica e prismas. Esse estudo de caso foi feito através de visitas à obra e entrevista com o engenheiro atual da mesma. Na parte de análise dos laudos de argamassas, prismas e graute a ideia inicial era escolher duas torres e um pavimento de cada torre das escolhidas como amostra. Porém, a obra não realizava um controle tecnológico correto na antiga gestão, por isso nem todos os laudos estão identificados ou sequer existem. Por isso, apenas para os itens de graute e prismas foi possível colocar em prática esse procedimento de análise. Para esses, foram analisadas as torres A e C em seu 4º pavimento. Em relação à argamassa, não existem os laudos do 4º pavimento dessas torres e os de bloco cerâmico não tem identificado nos laudos os pavimentos e torres a que eles se referem. Dessa forma, para esses últimos dois itens foram escolhidas amostras aleatórias para análise.

4.1 ANÁLISE DOS LAUDOS DOS COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Na obra que está sendo estudada houve um grande problema referente aos pontos de graute e resistências de prismas. Por isso, será dado um enfoque maior para esses itens.

O estudo está baseado nas normas e no projeto da obra. Sendo assim, a Tabela 8 apresenta as resistências à compressão exigidas pelo projeto da obra.

Tabela 8 – Tabela de resistências de projeto dos componentes da alvenaria

TORRES A , B, C, D e E						
TABELA DE RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES DA ALVENARIA						
LANÇE DO PAVIMENTO	PRISMA ÔCO	PRISMA CHEIO	BLOCO	GRAUTE	ARGAMASSA	PAREDE DO BLOCO
	f_{pk} (MPa)	l_{pk} (MPa)	f_{bk} (MPa)	f_{gk} (MPa)	f_a (MPa)	
L.09 ao L.13	3,50	6,30	7,0	15,0	5,0	VAZADA
L.04 ao L.08	7,00	12,00	10,0	15,0	7,0	MACIÇA
L.01 ao L.03	9,75	17,55	15,0	20,0	12,0	MACIÇA
Térreo	9,75	17,55	15,0	20,0	12,0	MACIÇA

Fonte: arquivo da empresa.

4.1.1 HISTÓRICO CRONOLÓGICO DO PROBLEMA COM GRAUTE E PRISMAS

Para introduzir o assunto, é crucial compreender o histórico cronológico da situação. Desde a identificação do problema com a execução dos pontos de graute até o atual momento, transcorreram cerca de 9 meses. Durante esse período, ocorreram mudanças no engenheiro responsável pela obra, nos encarregados e nos estagiários. A Tabela 9 apresenta o registro cronológico desse problema até o momento presente, incluindo a solução adotada para sua correção.

Tabela 9 – Histórico Cronológico do Problema com Graute e Prismas

Ordem	Ocorrência	Gestão durante ocorrência
Início do problema	Houve revisão do projeto de pontos de graute e não foi repassado para o empreiteiro	ANTIGO ENGENHEIRO
Início do problema	O projeto que o empreiteiro estava usando, além de defasado, não estava sendo executado corretamente – obstrução dos septos e falta de graute em outros	ANTIGO ENGENHEIRO
Gestora toma conhecimento da gravidade do problema	Demissão do antigo engenheiro da obra , alguns encarregados e empreiteira responsável pela execução da alvenaria estrutural	TRANSIÇÃO – TROCA DE ENGENHEIRO
Análise da gravidade do problema	Solicitação aos encarregados e estagiários do mapeamento de todos os pontos de graute já executados para verificar pontos de falha	NOVO ENGENHEIRO
Projetista toma conhecimento da quantidade de pontos de graute faltantes	Paralisação da execução da alvenaria estrutural solicitada pelo projetista	NOVO ENGENHEIRO
Recuperação dos pontos de	Com a alvenaria paralisada, foco total foi na recuperação	NOVO ENGENHEIRO

graute	dos pontos de graute de acordo com o projeto atualizado	
Verificação dos laudos de rompimento de prismas ocos e cheios	Ao verificar os laudos de rompimentos de prismas e ocos e cheios foi constatado valores abaixo do exigido em projeto	NOVO ENGENHEIRO
Rompimentos das contraprovas	Já constatado que não era feito um controle tecnológico correto, o engenheiro novo pediu romper as contraprovas para confirmar as resistências	NOVO ENGENHEIRO
Resultados das Contraprovas	Como já esperado, os resultados dos rompimentos das contraprovas deram resistências muito abaixo do exigido em projeto	NOVO ENGENHEIRO
Reforço estrutural - Atualmente	Plano de ação pelo projetista: pontos adicionais de graute para reforçar a estrutura	NOVO ENGENHEIRO

Fonte: Autor

Atualmente, a obra está implementando o projeto de reforço estrutural nos pavimentos onde foram identificadas resistências inferiores às especificadas para os tijolos ocos e cheios. Nos demais pavimentos, após a substituição do engenheiro e dos encarregados, a execução segue conforme o projeto original. Em decorrência dessa situação, observa-se uma fiscalização mais rigorosa por parte dos encarregados, mestres e estagiários.

4.1.2 RECUPERAÇÃO DOS PONTOS DE GRAUTE

Como detalhado anteriormente na Tabela 9, após a transição de engenheiros, os encarregados e estagiários procederam com um mapeamento de todos os pontos de graute das torres A, C e E, que eram as torres em construção na época. Naquele momento, as torres B e D

ainda não haviam iniciado devido a vários fatores. Esse levantamento proporcionou uma compreensão mais ampla da gravidade do problema e da quantidade de pontos de graute que não foram executados ou foram executados de forma inadequada, com seus septos obstruídos

No momento em que o mapeamento foi realizado, as torres A e C estavam no 5º pavimento, enquanto a torre E estava no 6º pavimento. Com os resultados do mapeamento em mãos, o engenheiro da obra entrou em contato com o projetista, que recomendou a interrupção completa da execução da alvenaria estrutural até que todos os pontos de graute fossem recuperados. Nesse ponto, a empresa responsável pela execução da alvenaria estrutural foi dispensada, e uma nova empresa foi contratada para realizar a recuperação dos pontos de graute. Essa nova empresa continua responsável pela execução da alvenaria estrutural até o momento atual. Após recuperar todos os pontos de graute faltantes ou executados de forma incorreta, o empreiteiro retomou a execução da alvenaria estrutural.

4.1.3 ANÁLISE DOS LAUDOS DE ARGAMASSA

De acordo com o apresentado no item 3.2.5 desse trabalho, a norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023) exige que as resistências à compressão aos 28 dias da argamassa atinja o exigido pelo projeto. Estão analisados alguns laudos de argamassa da obra estudada, apresentados nas Figuras 17 e 18, alguns da gestão antiga e outros da nova, para comparar, também, a melhora no controle tecnológico da obra

Figura 17- Laudo de argamassa no período da gestão antiga

Interessado:		Certificado:	25-002-436-2022
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Moldagem:	19/10/22
Material Declarado:	ARGAMASSA - MISTURA EM OBRA 12,0 Mpa		
Aplicação/Local:	NI	Idade:	28 Dias
Objetivo:	Assentamento de Bloco	Data do Ensaio:	16/11/2022

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Traço:	NI		
Aditivo:	NI	Lote nº:	NA
Corpo de Prova - Tamanho:	40 x 40 x 160 mm	Hora:	14:30
Equipamentos :	Prensa Hidráulica - Marca INTERMETRIC - Cal. 0248/2022		
Área de Ensaio na QualiCon:	Concretos e Argamassas		
NOTA FISCAL:	NA		

Método de Ensaio / Referência:

NBR 13279:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência à Tração na Flexão e à Compressão .

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média e individual da amostra.

TABELA 1

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (Mpa)	Resistências Médias Calculadas (Mpa)	
					Tração na Flexão	Compressão
1	750	1,76	15110	9,44	1,7	9,6
			16362	10,23		
2	625	1,46	14020	8,76		
			14150	8,84		
3	792	1,86	15710	9,82		
			17020	10,64		
Desvio Padrão:		0,2	Desvio Padrão:		0,7	Teor de Umidade: -----
Coeficiente de Variação:		12,0%	Coeficiente de Variação:		7,8%	Índice de Consistência: -----

Fonte: Extraído do site do laboratório.

Figura 18 – Laudo de argamassa no período da gestão antiga

Interessado:		Certificado:	25-005-436-2022
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Moldagem:	24/10/22
Material Declarado:	ARGAMASSA - MISTURA EM OBRA 12,0 Mpa		
Aplicação/Local:	NI	Idade:	28 Dias
Objetivo:	Assentamento de Bloco	Data do Ensaio:	21/11/2022

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Traco:	NI		
Aditivo:	NI	Lote nº:	NA
Corpo de Prova - Tamanho:	40 x 40 x 160 mm	Hora:	10:20
Equipamentos :	Prensa Hidráulica - Marca INTERMETRIC - Cal. 0248/2022		
Área de Ensaio na QualiCon:	Concretos e Argamassas		
NOTA FISCAL:	NA		

Método de Ensaio / Referência:

NBR 13279:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência à Tração na Flexão e à Compressão .

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média e individual da amostra.

TABELA 1

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (Mpa)	Resistências Médias Calculadas (Mpa)	
					Tração na Flexão	Compressão
1	550	1,29	15440	9,65	1,5	9,5
			13998	8,75		
2	690	1,62	16180	10,11		
			14250	8,91		
3	640	1,50	15100	9,44		
			15880	9,93		
Desvio Padrão:		0,2	Desvio Padrão:		0,5	Teor de Umidade: -----
Coeficiente de Variação:		11,3%	Coeficiente de Variação:		5,8%	Índice de Consistência: -----

Fonte: Extraído do site do laboratório.

Foram escolhidos dois laudos como amostra do período da gestão anterior. Percebe-se que, pela resistência atingida, a argamassa moldada foi utilizada em algum pavimento entre térreo e 3º, pela data da moldagem. Porém, a resistência exigida pelo projeto para esses pavimentos é de 12 MPa e nos dois laudos de amostra não atingiu o exigido. Durante uma entrevista com o novo engenheiro da obra sobre a resistência abaixo do especificado, foi mencionado que a causa pode ser atribuída à má qualidade dos materiais e/ou à não utilização do proporcionamento correto para a execução da argamassa.

Figura 19 - Laudo de argamassa no período da nova gestão

Interessado:		Certificado:	25-079-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Moldagem:	28/09/23
Material Declarado:	ARGAMASSA - MISTURA EM OBRA 7,0 Mpa		
Aplicação/Local:	TORRE A - 8º PAV.	Idade:	28 Dias
Objetivo:	Assentamento de Bloco	Data do Ensaio:	26/10/2023

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Traco:	NI		
Aditivo:	NI	Lote nº:	NA
Corpo de Prova - Tamanho:	40 x 40 x 160 mm	Hora:	15:00
Equipamentos :	Prensa Hidráulica - Marca INTERMETRIC - Cal. 0248/2022		
Área de Ensaio na QualiCon:	Concretos e Argamassas		
NOTA FISCAL:	NA		

Método de Ensaio / Referência:

NBR 13279:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência à Tração na Flexão e à Compressão .

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média e individual da amostra.

TABELA 1

Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (Mpa)	Resistências Médias Calculadas (Mpa)	
					Tração na Flexão	Compressão
1	401	0,94	15011	9,38	0,9	8,0
			12639	7,90		
2	322	0,75	12226	7,64		
			10498	6,56		
3	439	1,03	12662	7,91		
			13922	8,70		
Desvio Padrão:		0,1	Desvio Padrão:		1,0	Teor de Umidade: -----
Coeficiente de Variação:		15,4%	Coeficiente de Variação:		12,0%	Índice de Consistência: -----

Fonte: Extraído do site do laboratório.

Figura 20 - Laudo de argamassa no período da nova gestão

Interessado:		Certificado:	25-082-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Moldagem:	13/10/23
Material Declarado:	ARGAMASSA - MISTURA EM OBRA 7,0 Mpa		
Aplicação/Local:	TORRE C - 7º Pavimento	Idade:	28 Dias
Objetivo:	Assentamento de Bloco	Data do Ensaio:	10/11/2023

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Traco:	NI		
Aditivo:	NI	Lote nº:	NA
Corpo de Prova - Tamanho:	40 x 40 x 160 mm	Hora:	11:30
Equipamentos :	Prensa Hidráulica - Marca INTERMETRIC - Cal. 0248/2022		
Área de Ensaio na QualiCon:	Concretos e Argamassas		
NOTA FISCAL:	NA		

Método de Ensaio / Referência:						
NBR 13279:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência à Tração na Flexão e à Compressão .						
RESULTADOS						
Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média e individual da amostra.						
TABELA 1						
Exemplar	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Carga de Ruptura à Compressão (N)	Resistência à Compressão (Mpa)	Resistências Médias Calculadas (Mpa)	
					Tração na Flexão	Compressão
1	401	0,94	14116	8,82	1,2	8,2
			10582	6,61		
2	562	1,32	14885	9,30		
			12033	7,52		
3	582	1,36	12982	8,11		
			14552	9,10		
Desvio Padrão:		0,2	Desvio Padrão:		1,0	Teor de Umidade: ----
Coeficiente de Variação:		19,3%	Coeficiente de Variação:		12,6%	Índice de Consistência: ----

Fonte: Extraído do site do laboratório.

As duas amostras acima são de laudos no período da nova gestão da obra. O laudo da imagem 19 é referente a Torre A 8º pavimento e o da imagem 20 é referente a Torre C 7º pavimento, ambos conforme a Tabela 8, tem exigência de projeto de resistência à compressão de 7MPa. Percebe-se que nos dois laudos a resistência atingiu o desejado. Com o diagnóstico, visando solucionar os possíveis problemas da resistência abaixo do esperado anteriormente, foi melhorada a qualidade dos materiais , principalmente da areia e a conferência da utilização do traço correto, conforme especificado no projeto.

4.1.4 ANÁLISE DOS LAUDOS DE BLOCO CERÂMICO

De acordo com a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) é preciso extrair 13 corpos de prova de bloco cerâmico para ensaios de suas características e resistência à compressão. Porém a obra estudada não tem laudos de rompimento de corpos de prova de bloco cerâmico da antiga gestão, pois não estavam realizando esse controle tecnológico. Por isso, serão analisados dois laudos de bloco cerâmico já na nova gestão da obra (Figuras 21 e 22).

Figura 21 – Laudo de resistência à compressão do bloco cerâmico

Interessado:		Certificado:	403-002-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Coleta:	14/07/23
Local Coleta:		Idade Declarada:	>28 dias
Procedência:		Material:	Bloco Cerâmico
Endereço:		Data do Ensaio:	07/08/2023

Identificação da Amostra Coletada e Remetida a Qualicon:

Resistência Especificada ($f_{bk, esp}$):	15,0 Mpa
Dimensões de Fabricação (cm):	14x19x29 cm
Lote de Fabricação:	230606
Nota Fiscal nº	126759
Local de Aplicação:	NI

Método de Ensaio / Referência:

ABNT NBR 15270-2:2017

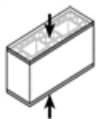
Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria

Parte 2: Métodos de Ensaio.

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de blocos cerâmicos.

TABELA 1

Exemplar	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)		
						Individual	Média (f_{bm})	$f_{bk, est}$ Adotada ²
1		139	290	40.310	702.600	17,4	17,3	16,5
2		139	290	40.310	709.170	17,6		
3		140	290	40.600	681.125	16,8		
4		140	290	40.600	714.857	17,6		
5		140	290	40.600	688.773	17,0		
6		140	290	40.600	700.933	17,3		

Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 22 - Laudo de resistência à compressão do bloco cerâmico

Interessado:		Certificado:	403-004-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data da Coleta:	31/07/23
Local Coleta:		Idade Declarada:	>28 dias
Procedência:		Material:	Bloco Cerâmico
Endereço:		Data do Ensaio:	16/08/2023

Identificação da Amostra Coletada e Remetida a Qualicon:

Resistência Especificada ($f_{bk, esp}$):	10,0 Mpa
Dimensões de Fabricação (cm):	14x19x29 cm
Lote de Fabricação:	230707
Nota Fiscal nº	127905
Local de Aplicação:	NI

Método de Ensaio / Referência:

ABNT NBR 15270-2:2017

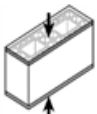
Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria

Parte 2: Métodos de Ensaios.

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de blocos cerâmicos.

TABELA 1

Exemplar	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)		
						Individual	Média (f_{bm})	$f_{bk, est}$ Adotada ¹
1		139	290	40.310	485.985	12,1	12,2	11,4
2		139	290	40.310	522.170	13,0		
3		140	290	40.600	474.218	11,7		
4		140	290	40.600	485.966	12,0		
5		140	290	40.600	531.779	13,1		
6		140	290	40.600	474.306	11,7		

Fonte: Arquivo da empresa.

Segundo os laudos de rompimento dos corpos de prova à compressão ambos estão com suas resistências de acordo com o exigido em projeto. Porém não foram identificados nos laudos os locais que foram utilizados os blocos. Este erro pode ter ocorrido devido à falha da obra em identificar os corpos de prova ou do laboratório que não incluiu a identificação durante o preenchimento do laudo. Mas de acordo com as resistências especificadas nos laudos, o da Figura 21 está entre o térreo e o 3º pavimento e o da figura 22 entre o 4º e 8º pavimento, tendo como base as resistências exigidas mostradas na Tabela 8.

4.1.5 ANÁLISE DOS LAUDOS DE GRAUTE

Para a análise do graute foram escolhidos como amostra os laudos das torres A e C, ambos o 4º pavimento. De acordo com a NBR 16868-2 (ABNT, 2020), é necessário moldar 6 corpos de prova e 6 contraprovas de cada graute utilizado. Pode-se conferir que no laudo da Figura 23,

foram moldados 6 corpos e na Figura 24, consta no laudo que foram moldados 3 corpos de prova apenas. Foram analisados alguns outros laudos além dos que estão expostos nesse relatório, mas esta análise não será detalhada.

Figura 23 – Laudo de graute referente a Torre A – 4º pavimento.

Relatório nº	186		Certificado:	CT-186.436.2023		Data de Moldagem:	27/02/2023	
Cliente / Interessado:	f		CC:	436		Obra / Endereço:	- RS	
Fck:	15,0 MPa		Concreto Dosado:	CANTEIRO DE OBRAS		Tipo:	CONVENCIONAL	
Abatimento:	220 +/- 30 mm		Consumo:	NI		Aditivo:	NI	
Tamanho CP:	10x20		Tipo de Preparo:	Outros		Máquina de Ensaio/Classe:	Intermetric - Classe 1	
						Brita:	NI	
						Condições do Tempo:	Sol	
						Volume Total (m³):	0,0	

DADOS							Local Aplicado (Mapeamento)	RESULTADOS OBTIDOS															
Série	Nota Fiscal	Hora de Saída da Usina	Nº CP's Mold.	Vol. (m²)	Hora da Moldagem	Abat. (mm)		06/03/2023					27/03/2023										
								Ident. CP	T.R.	Idade: 7	MPa	Dias	Exemplar	Ident. CP	T.R.	Idade: 28	MPa	Dias	Exemplar	Ident. CP	T.R.	Idade:	Dias
1	NI	NI	3	NI	10:00	240	GRAUTE TORRE A 4º PAVIMENTO	1	a	7690	9,8	9,8	2	d	13580	17,3	17,3						
								-	-	-	-	-	3	a	12950	16,5							
2	NI	NI	3	NI	15:42	250	GRAUTE TORRE A 4º PAVIMENTO	1	e	8160	10,4	10,4	2	c	15310	19,5	19,5						
								-	-	-	-	-	3	b	14130	18,0							

Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 24 – Laudo de graute referente a torre C – 4º pavimento.

Relatório nº	187		Certificado:	CT-187.436.2023		Data de Moldagem:	28/02/2023	
Cliente / Interessado:			CC:	436		Obra / Endereço:	- RS	
Fck:	30,0 MPa		Concreto Dosado:	CANTEIRO DE OBRAS		Tipo:	CONVENCIONAL	
Abatimento:	NI+- NI		Consumo:	NI		Aditivo:	NI	
Tamanho CP:	10x20		Tipo de Preparo:	Outros		Máquina de Ensaio/Classe:	Intermetric - Classe 1	
						Brita:	NI	
						Condições do Tempo:	Sol	
						Volume Total (m³):	0,0	

DADOS							Local Aplicado (Mapeamento)	RESULTADOS OBTIDOS															
Série	Nota Fiscal	Hora de Saída da Usina	Nº CP's Mold.	Vol. (m²)	Hora da Moldagem	Abat. (mm)		07/03/2023					28/03/2023										
								Ident. CP	T.R.	Idade: 7	MPa	Dias	Exemplar	Ident. CP	T.R.	Idade: 28	MPa	Dias	Exemplar	Ident. CP	T.R.	Idade:	Dias
1	NI	NI	3	NI	10:00	240	GRAUTE TC 4º PAVIMENTO	1	a	10830	13,8	13,8	2	e	16410	20,9	21,0						
								-	-	-	-	-	3	a	16490	21,0							

Fonte: Arquivo da empresa.

Nos dois laudos pode-se perceber que as resistências estão de acordo com a exigida pelo

projeto da obra, que é de 15 MPa do 4º ao 13º pav. No laudo da torre C foi utilizado um graute com resistência de 30 MPa, maior que a necessária, provavelmente foi confundido com a resistência dos pavimentos térreo ao 3º, que exige 30 MPa. A obra em questão não tem tido problema com resistências baixas em relação ao graute.

4.1.6 ANÁLISE DOS LAUDOS DE PRISMAS OCOS E CHEIOS

A análise dos laudos de prismas ocos e cheios foi realizada em duas partes. Como mencionado no item 4.1.1 foram rompidos os corpos de prova e as contraprovas. Logo, foram analisados tanto os laudos de corpos de prova quanto de contraprovas. Nas Figuras 25 e 26 estão os laudos dos corpos de prova referentes as torres A e C, ambas no 4º pavimento.

Figura 25 – Laudo de prisma cheio – Torre A, 4º pavimento

Interessado:		Certificado:	06-006-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data do Recebimento:	20/03/2023
Local Coleta:			
Procedência:		Tipo de Prisma:	Prisma Cheio
Endereço:			

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Resist. De Projeto MPa:	12,60	Dimensões de Fabricação:	14x19x29	Lote de Fabricação:	
Data de Assentamento:	22/02/2023	Condições de Cura:	Câmara Úmida	Data do Ensaio:	23/03/2023
Data de Grauteamento:	23/02/2023	Pavimento Utilizado:	4º Pavimento - Torre A		

Nota Fiscal de Referência	Bloco: 0
	Argamassa: NI
	Graute: NI


Registros das Especificações (Blocos, Argamassa e Graute)

Blocos res,est Mpa	Argamassa		Graute (Mpa)
	Tração na Flexão (Mpa)	Compressão (Mpa)	
10,0	NA	7,0	15,0

Método de Ensaio / Referência:
ABNT NBR 16968-3:2020
Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio - Structural masonry Part 3: Test methods

RESULTADOS
Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de prismas.

TABELA 1

Exemplar (n)	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)				
						Individual	Média (fpm)	fpk²	fpk²	fpk,est
1		140	290	40.600	615.425	15,2	14,05	13,28	11,93	13,28
2		140	290	40.600	544.037	13,4				
3		140	290	40.600	582.476	14,3				
4		140	290	40.600	556.000	13,7				
5		140	290	40.600	560.903	13,8				
6		140	290	40.600	564.826	13,9				

Desvio Padrão Obtido no Ensaio: 0,6 Mpa
Coeficiente de Variação da amostra: 4,4%

Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 26 – Laudo de prisma oco – Torre A, 4º pavimento.

Interessado:		Certificado:	09-003-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data do Recebimento:	20/03/2023
Local Coleta:			
Procedência:		Tipo de Prisma:	Prisma Oco
Endereço:			

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Resist. De Projeto MPa:	7,00	Dimensões de Fabricação:	14x19x29	Lote de Fabricação:	
Data de Assentamento:	23/02/2023	Condições de Cura:	Câmara Úmida	Data do Ensaio:	23/03/2023
Data de Grauteamento:	NA	Pavimento Utilizado:	4º Pavimento - Torre A		
		Nota Fiscal de Referência:		Bloco:	0
				Argamassa:	NI

Registros das Especificações (Blocos, Argamassa e Graute)

Blocos f _{tk,est} Mpa	Argamassa		Graute (Mpa)
	Tração na Flexão (Mpa)	Compressão (Mpa)	
10,0	NA	7,0	NA

Método de Ensaio / Referência:
 ABNT NBR 16868-3:2020
 Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio - Structural masonry Part 3: Test methods

RESULTADOS
 Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de prismas.

TABELA 1

Exemplar (n)	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)				
						Individual	Média (f _{pm})	f _{pk} ¹	f _{pk} ²	f _{pk,est}
1		141	291	41.031	241.522	5,9	5,86	5,50	4,90	5,50
2		141	289	40.749	251.916	6,2				
3		140	289	40.468	233.775	5,8				
4		140	289	40.468	222.577	5,5				
5		139	290	40.310	242.189	6,0				
6		139	290	40.310	232.922	5,8				

Desvio Padrão Obtido no Ensaio: 0,2 Mpa
 Coeficiente de Variação da amostr: 4,0%

Fonte: Arquivo da empresa.

Percebe-se que a resistência à compressão do prisma cheio atingiu o exigido pelo projeto da obra, porém o prisma oco não. Nas Figuras 27 e 28, estão analisados os laudos da torre C, 4º pavimento.

Figura 27 – Laudo de prisma cheio – Torre C, 4º pavimento

Interessado:		Certificado:	08-007-436-2023
Obra:		CC:	436
Endereço:		Data do Recebimento:	20/03/2023
Local Coleta:			
Procedência:		Tipo de Prisma:	Prisma Cheio
Endereço:			

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALICON:

Resist. De Projeto MPa:	12,60	Dimensões de Fabricação:	14x19x29	Lote de Fabricação:	
Data de Assentamento:	01/03/2023	Condições de Cura:	Câmara Úmida	Data do Ensaio:	30/03/2023
Data de Grauteamento:	02/03/2023	Pavimento Utilizado:	4º Pavimento - Torres C		
		Nota Fiscal de Referência	Bloco: 0 Argamassa: NI Graute: NI		

Registros das Especificações (Blocos, Argamassa e Graute)

Blocos f _{bk,est} Mpa	Argamassa		Graute (Mpa)
	Tração na Flexão (Mpa)	Compressão (Mpa)	
10,0	NA	7,0	15,0

Método de Ensaio / Referência:


ABNT NBR 16868-3:2020

Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio - Structural masonry Part 3: Test methods

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de prismas.

TABELA 1

Exemplar (n)	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)				
						Individual	Média (f _{pm})	f _{pk} ¹	f _{pk} ²	f _{pk,est}
1		141	290	40.890	643.274	15,7	15,71	14,39	13,07	14,39
2		140	290	40.600	596.205	14,7				
3		140	290	40.600	626.603	15,4				
4		139	291	40.449	665.043	16,4				
5		139	290	40.310	636.919	15,8				
6		141	290	40.890	660.885	16,2				

Desvio Padrão Obtido no Ensaio: 0,6 Mpa

Coefficiente de Variação de amostra: 3,9%

Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 28 – Laudo de prisma oco – Torre C, 4º pavimento.

Interessado:		Certificado:	09-005-436-2023
Obra:		C.C.:	436
Endereço:		Data do Recebimento:	20/03/2023
Local Coleta:			
Procedência:		Tipo de Prisma:	Prisma Oco
Endereço:			

Identificação da Amostra Coletada e remetida a QUALCON:

Resist. De Projeto MPa:	7,00	Dimensões de Fabricação:	14x19x29	Lote de Fabricação:	
Data de Assentamento:	02/03/2023	Condições de Cura:	Câmara Úmida	Data do Ensaio:	30/03/2023
Data de Grauteamento:	NA	Pavimento Utilizado:	4º Pavimento - Torre C		
		Nota Fiscal de Referência		Bloco:	0
				Argamassa:	NI

Registros das Especificações (Blocos, Argamassa e Graute)


Blocos f _{bk,est} Mpa	Argamassa		Graute (Mpa)
	Tração na Flexão (Mpa)	Compressão (Mpa)	
10,0	NA	7,0	NA

Método de Ensaio / Referência:
ABNT NBR 16868-3:2020
Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio - Structural masonry Part 3: Test methods

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados na tabela 1, com representação média, individual e característica da amostra de prismas.

TABELA 1

Exemplar (n)	Tipologia	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Bruta média (mm²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência a Compressão (Mpa)				
						Individual	Média (f _{pm})	f _{pk} ¹	f _{pk} ²	f _{pk,est}
1		141	291	41.031	231.990	5,7	5,53	5,15	4,59	5,15
2		141	291	41.031	219.282	5,3				
3		141	291	41.031	211.633	5,2				
4		140	290	40.600	241.522	5,9				
5		140	290	40.600	232.353	5,7				
6		140	290	40.600	217.173	5,3				

Desvio Padrão Obtido no Ensaio: 0,3 Mpa
Coeficiente de Variação da amostra: 5,3%

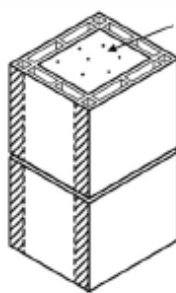
Fonte: Arquivo da empresa.

Assim como o laudo de prismas cheios da torre A as resistências estão de acordo com a exigida pelo projeto, o da torre C também e igualmente os de prismas ocos da torre A não atingiram o exigido e da torre C também não.

Isso foi constatado pelo engenheiro novo assim que analisou os laudos existentes, com isso, foi solicitado para o laboratório realizar o rompimento, também, das contraprovas. Sendo assim, nas Figuras 29 e 30 estão os laudos das contraprovas da torre A e nas Figuras 31 e 32 da


torre C.

Figura 29 - Laudo das contraprovas de prisma cheio – Torre A, 4º pavimento.

TORRE A - 4º ANDAR			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Área Efetiva (mm ²)	Modelo da montagem	Resistência (MPa)
1	20.660		20,99
2	19.364		23,75
3	18.796		24,99
4	19.247		18,77
5	20.790		28,14
6	20.982		20,13

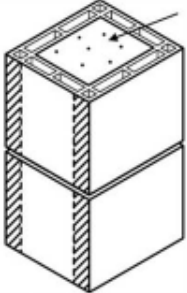
Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 30 – Laudo das contraprovas de prisma oco – Torre A, 4º pavimento

TORRE A - 4º ANDAR			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Área Efetiva (mm ²)	Modelo da montagem	Resistência (MPa)
1	41.967		6,75
2	40.888		7,48
3	40.631		6,33
4	40.236		5,96
5	40.185		6,18
6	41.633		5,24


Fonte: Arquivo da empresa

Figura 31 – Laudo das contraprovas de prisma cheio – Torre C, 4º pavimento

TORRE C - 4º ANDAR			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Área Efetiva (mm ²)	Modelo da montagem	Resistência (MPa)
1	19.562		12,60
2	19.520		18,95
3	19.326		14,73
4	19.495		12,15
5	19.546		12,97
5	19.521		13,5
6	19.794		15,42

Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 32 – Laudo das contraprovas de prisma oco – Torre C, 4º pavimento

TORRE C - 4º ANDAR			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Área Efetiva (mm ²)	Modelo da montagem	Resistência (MPa)
1	40.668		5,60
2	41.706		7,46
3	40.933		6,39
4	41.929		6,5
5	41.929		5,8
6	42.093		8,7

Fonte: Arquivo da empresa.

Da mesma forma que os corpos de prova dos prismas cheios atingiram a resistência exigida, enquanto os prismas ocos não, o mesmo ocorreu com as contraprovas. Durante uma entrevista com o novo engenheiro da obra, foi discutida a análise de que o problema com os prismas ocos não está relacionado ao bloco em si. Isso porque, como mostrado no item 4.1.4, os laudos dos blocos cerâmicos demonstram que atingiram a resistência exigida pelo projeto. No

entanto, como indicado no item 4.1.3, a argamassa utilizada não alcançou a resistência necessária.

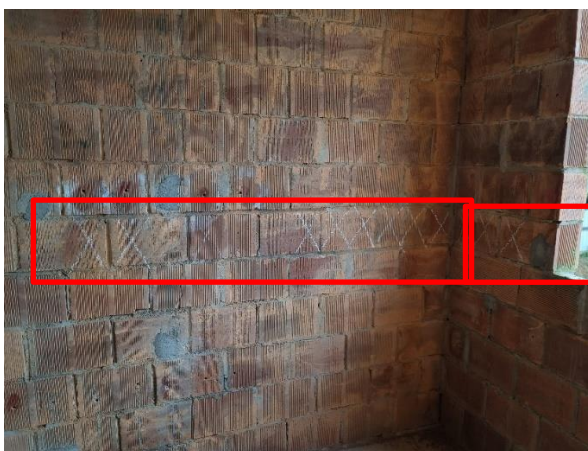
Portanto, conclui-se que o problema de resistência nos prismas ocos está relacionado à argamassa, uma vez que o prisma oco é composto pelo bloco e pela argamassa de assentamento. Com essa confirmação, o engenheiro entrou em contato com o projetista e detalhou toda a situação. Assim, foi necessário elaborar um projeto de reforço estrutural, o qual será detalhado no item 4.1.7.

4.1.7 REFORÇO ESTRUTURAL

Como mencionado no item 3.5 dessa pesquisa, a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) define critérios para a aceitação do pavimento de alvenaria estrutural. Após o engenheiro fazer a análise dos laudos já existentes e posteriormente com os resultados dos laudos das contraprovas, ficou confirmado que havia um problema de resistência nos prismas ocos. Com isso, o projetista fez um novo projeto com pontos de graute de reforço estrutural, para compensar a baixa resistência gerada nos laudos de prismas ocos. O projeto de reforço estrutural contemplou os pavimentos que o antigo engenheiro ainda estava fazendo a gestão da obra: Torre A e C até o 5º pavimento e torre E até o 6º pavimento. Essa decisão foi tomada, pois a obra não estava fazendo um controle tecnológico bom e organizado e não tinham os laudos de todos os pavimentos e torres executadas até o momento, então decidiram reforçar todos os pavimento da gestão do antigo engenheiro e empreiteiro.

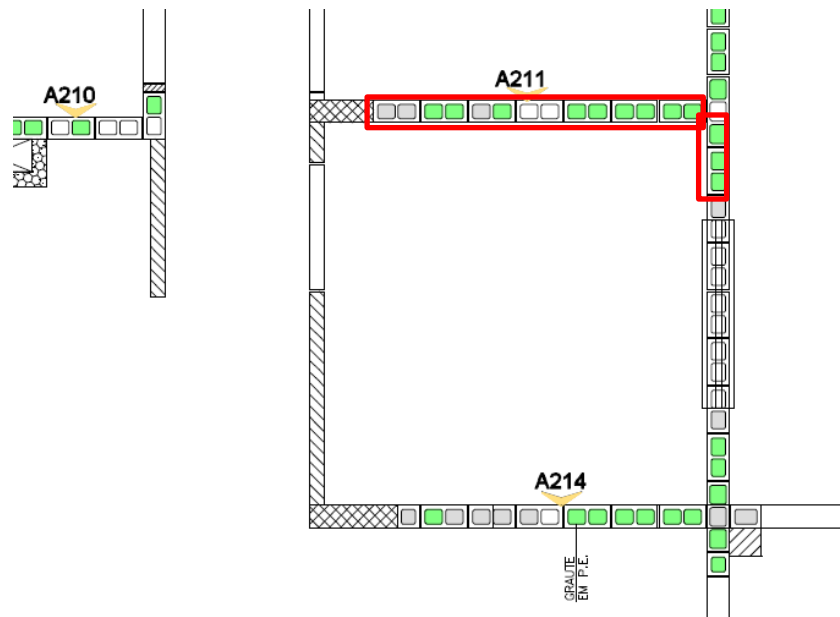
Nas Figuras 33 a 39 estão trechos do projeto de reforço estrutural e sua execução.

Figura 33 – Marcação dos pontos de graute de reforço estrutural: Torre E, 2º pavimento
- Quarto



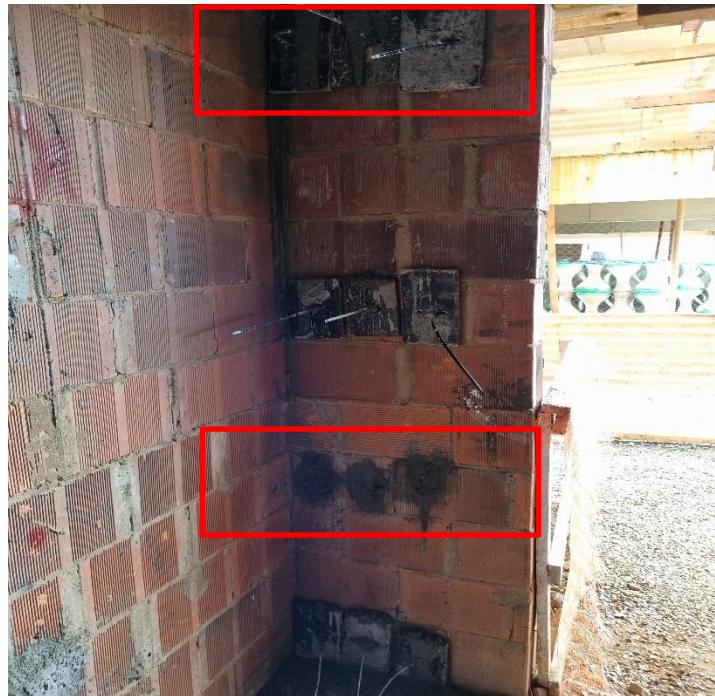
Fonte: foto do autor

Figura 34 – Referência no projeto de reforço estrutural



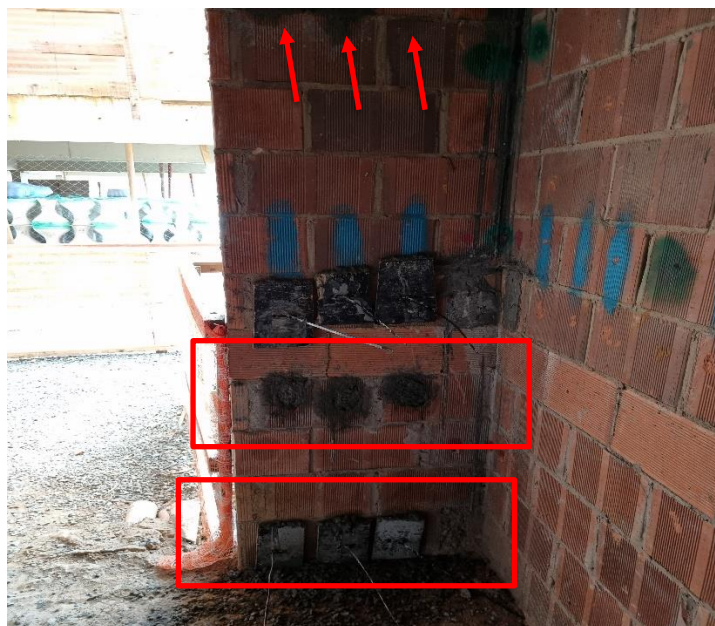
Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 35 – Pontos de reforço de grautes executados na obra: entrada da torre C



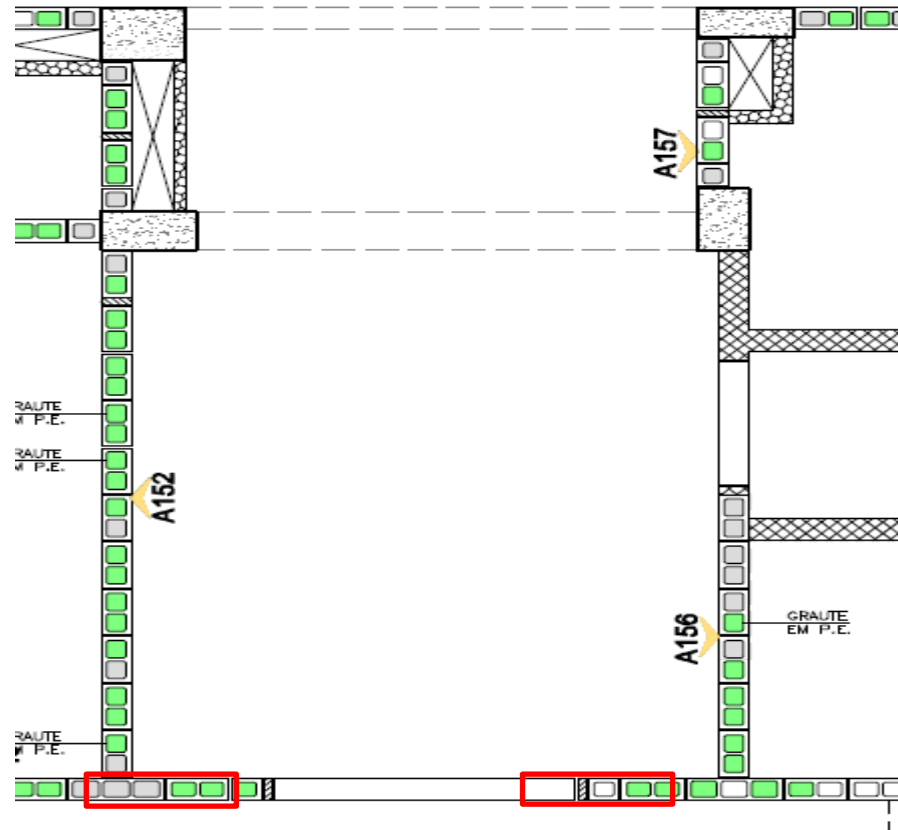
Fonte: foto do autor

Figura 36 – Pontos de reforço de graute executados na obra: entrada da torre C



Fonte: foto do autor

Figura 37 - Referência no projeto de reforço estrutural: entrada da Torre C.



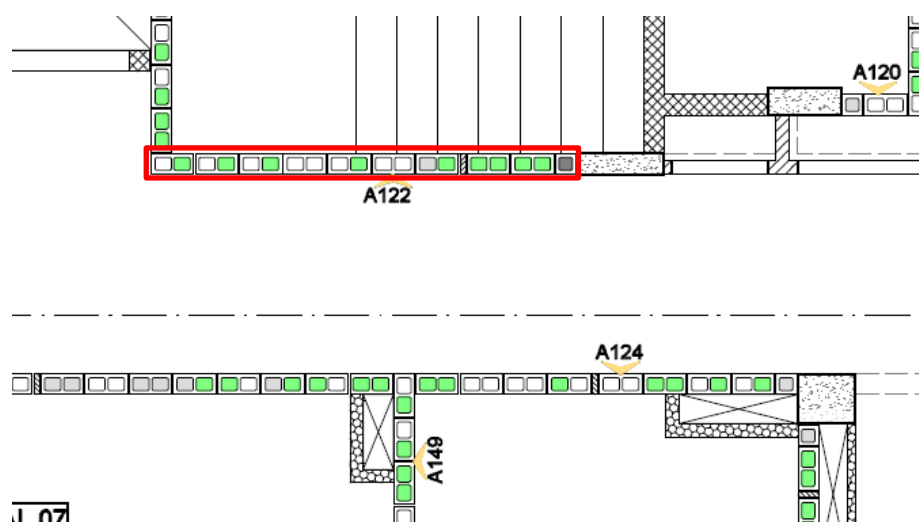
Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 38 – Execução dos pontos de graute de reforço estrutural – Térreo, Torre C.



Fonte: foto do autor

Figura 39 - Referência no projeto de reforço estrutural – Circulação do térreo -Torre C



Fonte: Arquivo da empresa.

No momento da finalização dos levantamentos de dados desta pesquisa, na obra estava sendo executado o reforço estrutural nas torre A e C por uma empreiteira e na torre E por outra, devido a necessidade de acelerar o processo e acabar com o risco estrutural.

4.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS ESPECIFICADOS PELAS NORMAS

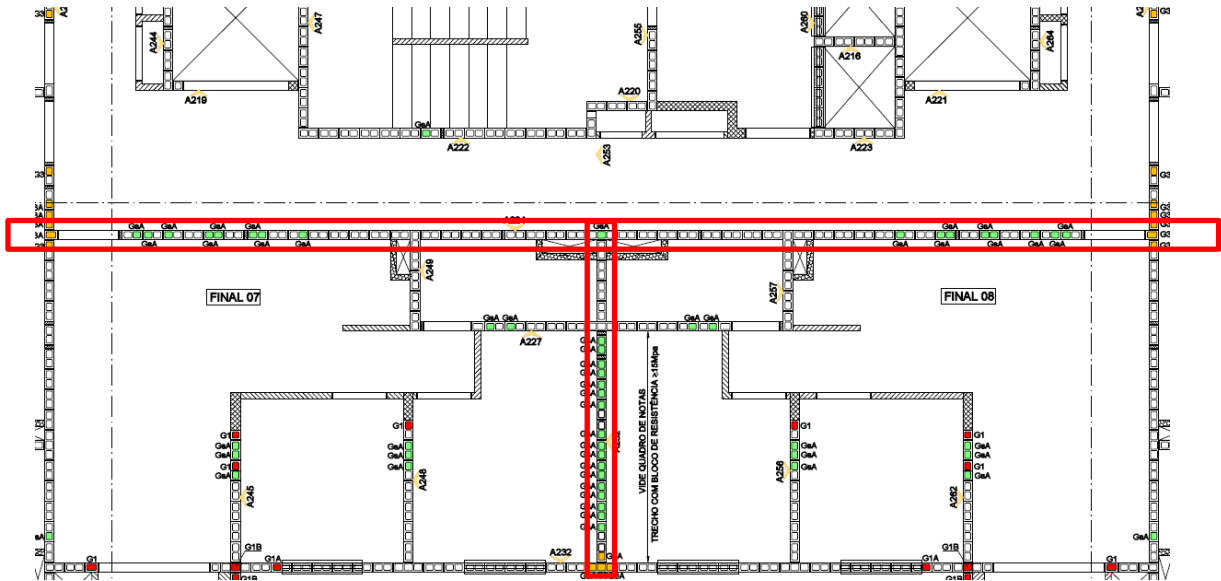
Neste item será avaliado a espessura das juntas de argamassa e o prumo das paredes de amostras, expondo os resultados coletados *in loco*.

4.2.1 ESPESSURA DAS JUNTAS DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

No item 3.2.4.4 dessa pesquisa foi exposto a espessura de argamassa de assentamento que a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) permite. Está definido na Norma que as juntas verticais e horizontais devem ter espessuras de 10 mm e a variação máxima da espessura delas deve ser ± 3 mm. Na obra estudada, os dados de espessura de argamassa de assentamento tinham uma variabilidade muito grande. A análise desse item foi feita na torre A e C no 4º pavimento. Para isso, foram escolhidas 2 paredes iguais para as duas torres. A escolha delas foi baseada em buscar paredes importantes para o pavimento. Uma delas é a parede A224, importante por conta da sua dimensão, pois assim existe uma dificuldade maior em manter suas juntas de argamassa em um padrão. A outra é a parede A252. Esta é a parede que divide a torre ao meio, pois são 4 apartamentos de cada lado. Na Figura 41, está marcada a localização dessas paredes na planta

baixa de pontos de graute do 4º pavimento. Sendo a marcação da vertical a parede A252 e na horizontal a A224.

Figura 40 – Localização das paredes A224 e A 252



Fonte: Arquivo da empresa.

Foi feito o levantamento da medidas de todas as juntas das 4 paredes, porém pela grande quantidade de juntas, estão expostos nesse relatório os valores dos extremos e média de cada parede nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Torre A: valores extremos e média das juntas de assentamento de argamassa

Parede	Orientação da junta	Valor extremo menor	Valor extremo maior	Média Geral	Unidade
A224	Horizontal	0,5	2,1	1,51	cm
A224	Vertical	1,0	2,0	1,50	cm
A252	Horizontal	1,4	2,0	1,7	cm
A252	Vertical	1,2	1,5	1,4	cm

Fonte: Autor.

Tabela 11 – Torre C -Valores extremos e média das juntas de assentamento de argamassa

Parede	Orientação da junta	Valor extremo menor	Valor extremo maior	Média Geral	Unidade
A224	Horizontal	1,0	2,0	1,4	cm
A224	Vertical	1,0	1,8	1,4	cm
A252	Horizontal	1,0	1,5	1,2	cm
A252	Vertical	1,3	2,3	1,8	cm

Fonte: Autor.

Observa-se que até mesmo os valores extremos menores estão fora dos limites estabelecidos pela norma. Durante uma entrevista com o atual engenheiro da obra, foram levantadas possíveis causas para essa grande variabilidade. Um dos principais fatores é a variação nas medidas dos blocos cerâmicos, que às vezes podem divergir em até 1cm, exigindo correções nas juntas verticais. Uma medida necessária para solucionar esse problema pode ser a aquisição de blocos com tamanhos mais padronizados. O projeto de alvenaria estrutural da empresa especifica uma espessura de argamassa de assentamento de 1cm, porém em diversas juntas essa orientação do projeto não está sendo seguida. A espessura definida pelo projeto de alvenaria estrutural está detalhada na Figura 41, que apresenta as especificações pertinentes.

Figura 41 – Determinação de espessura de argamassa de assentamento do projeto

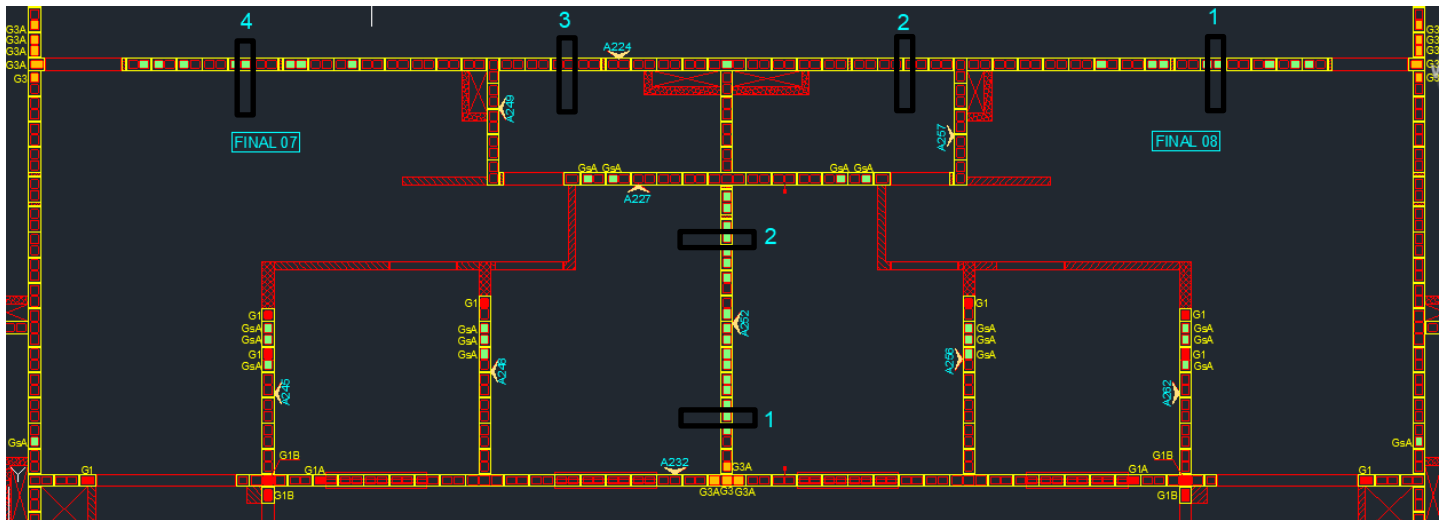
12 - TODAS AS JUNTAS VERTICAIS E HORIZONTAIS DEVERÃO SER PREENCHIDAS COM ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ESPESSURA IGUAL A 1cm. A ARGAMASSA DEVERÁ PREENCHER COMPLETAMENTE TODOS OS PONTOS DE CONTATO ENTRE BLOCOS.

Fonte: Arquivo da empresa.

4.2.2 ANÁLISE DO PRUMO DAS PAREDES

Com base no item 3.2.3, que detalha os limites de desprumo de paredes conforme a NBR 16868-2 (ABNT, 2020), foram realizadas medições in loco dos prumos das paredes A224 e A252 no 4º pavimento das torres A e C. Para isso, foram medidos o prumo de 4 pontos na parede A224, uma vez que esta possui grandes dimensões, com 16,15m de comprimento, e o prumo de 2 pontos na parede A252, que mede 4,75m. A Figura 46 mostra a localização dos pontos medidos.

Figura 42 – Pontos de medição dos prumos nas paredes A224 e A252



Fonte: Arquivo da empresa.

A NBR 16868-2 define que o desaprumo e desalinhamento máximo das paredes e pilares do pavimento não podem superar 10 mm, além de atender ao limite de 6mm a cada 3 m. Na Tabela 12 estão os resultados medidos *in loco* do prumo das paredes destacadas na Figura 46. Nessa tabela também está o parecer do valor do prumo em relação a norma. A distância entre os pontos da parede A252 tem, em aproximadamente 2,20m e os da parede A224 tem aproximadamente 4m.

Tabela 12 – Resultado das medidas dos prumos das paredes A224 e A252

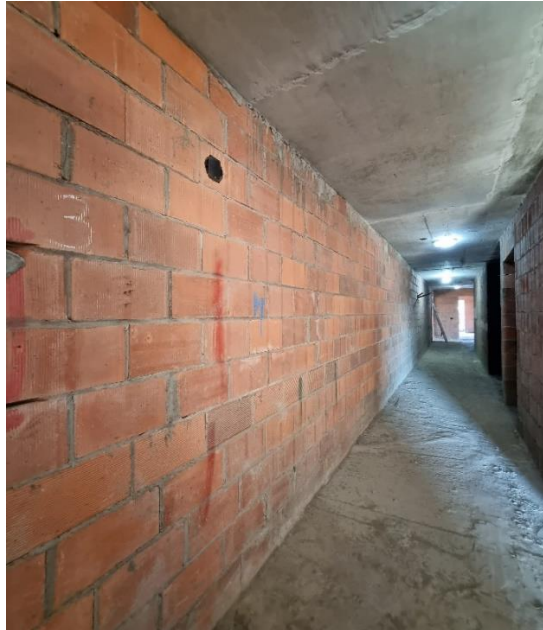
Parede	Local	Ponto	Mín. Norma	Valor in loco	Parecer
A224	Torre A - 4º pav.	1	10mm	5mm	APROVADO
A224	Torre A - 4º pav.	2	10mm	10mm	APROVADO
A224	Torre A - 4º pav.	3	10mm	5mm	APROVADO
A224	Torre A - 4º pav.	4	10mm	5mm	APROVADO
A252	Torre A - 4º pav.	1	5mm	20mm	REPROVADO
A252	Torre A - 4º pav.	2	5mm	5mm	APROVADO
A224	Torre C - 4º pav.	1	10mm	1mm	APROVADO
A224	Torre C - 4º pav.	2	10mm	5mm	APROVADO
A224	Torre C - 4º pav.	3	10mm	10mm	APROVADO
A224	Torre C - 4º pav.	4	10mm	5mm	APROVADO

A252	Torre C - 4° pav.	1	5mm	20mm	REPROVADO
A252	Torre C - 4° pav.	2	5mm	10mm	REPROVADO

Fonte: Autor.

Nas Figuras 43, 44, 45, 46 estão registros feitos *in loco* da medição dos prumos e identificação das paredes A224 e A252.

Figura 43 – Registro da parede A224



Fonte: o autor, 2024.

Figura 44 – Registro da parede A252



Fonte: o autor, 2024.

Figura 45 – Registro da medição do prumo in loco Torre C – 4º pav.



Fonte: o autor, 2024.

Figura 46 – Registro da medição do prumo in loco Torre A – 4º pav.



Fonte: o autor, 2024.

Pode-se observar, ao comparar com a norma, que o prumo da parede A252 em ambas as torres está fora dos limites permitidos pela norma, mesmo sendo uma parede de menor dimensão. Durante uma entrevista com o engenheiro da obra, levantou-se a questão se o fato de ser uma parede com mais pontos de graute poderia influenciar nisso, mas, em sua opinião, esse não seria o motivo principal. A principal questão é a necessidade de melhorar a conferência do prumo das paredes através de um maior controle da execução do processo.

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO SISTEMA COMPOSTO PELA ALVENARIA ESTRUTURAL E LAJES

Para analisar o atendimento aos parâmetros mínimos obrigatórios da NBR 15575-3 (ABNT, 2021A), descritos no item 3.3 dessa pesquisa, a edificação em estudo foi simulada por uma empresa especializada contratada através do *software SONarchitectISO*, utilizando as informações técnicas fornecidas sobre os materiais de construção que estão sendo utilizados na execução deste empreendimento, considerando as paredes de alvenaria estrutural e as lajes de concreto armado.

Nas Figuras 47, 48 e 49 estão expostos os resultados da simulação do 2º ao 12º pavimento das torres para ruído aéreo das lajes, ruído aéreo das paredes e do 2º ao 11º ruído de impacto das lajes.

Figura 47 – Resultado da simulação de ruído aéreo das lajes do 2º ao 12º pavimento



Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 48 – Resultado da simulação de ruído aéreo das paredes do 2° ao 12° pavimento



Fonte: Arquivo da empresa.

Figura 49 – Resultado da simulação de ruído de impacto das lajes do 2° ao 12° pavimento



Fonte: Arquivo da empresa.

Para uma compreensão mais fácil da análise dos dados desta simulação, a Tabela 12 descreve as exigências da norma para cada item a ser analisado, juntamente com o parecer final sobre se os dados gerados pela simulação estão em conformidade com a NBR 15575-3 e 4

(ABNT, 2021A e B). Segunda a tabela 6, do item 3.3 o valor máximo permitido de impacto das lajes é 80 dB, como visto na figura 49, todos os dormitórios ficaram abaixo desse valor, logo todos foram aprovados.

Tabela 13 – Análise dos dados da simulação frente às normas

Local	Ruído	NBR	Mín. Exigido	Parecer
Laje - Dormitórios	Aéreo	15575-3	45	OK
Laje – Não dormitórios	Aéreo	15575-3	40	OK
Paredes - Dormitórios	Aéreo	15575-4	45	OK
Paredes – Não dormitórios	Aéreo	15575-4	40	OK
Paredes - Corredor	Aéreo	15575-4	30	OK

Fonte: Autor.

Sendo assim, conclui-se que, através dos ensaios feitos pela simulação, tanto as lajes quanto as paredes estão de acordo com os requisitos mínimos exigidos pelas normas NBR 15575-3 e 4.

4.4 ANÁLISE DA EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Conforme discutido ao longo de todo o item 4, durante a análise de diversos tópicos relacionados à alvenaria estrutural, constatou-se que os blocos cerâmicos, prismas cheios e acústica foram os que obtiveram resultados satisfatórios em comparação com as normas, atingindo as resistências exigidas pelo projeto. Conforme visto durante todo o item 4, analisando diversos tópicos que envolvem a alvenaria estrutural, os que, comparando com as normas obtiveram resultados satisfatórios, foram os blocos cerâmicos, prismas cheios e acústica. Atingindo as resistências exigidas pelo projeto.

Conforme exposto no item 4.3, de acordo com os laudos o desempenho acústico foi atingido de acordo com o projetado. Esse tipo de ensaio passou a ser executado pelas empresas em função da publicação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021).

Somado a isso, também por falta de conferência, como visto no item 4.1.3, os laudos de argamassa de assentamento geraram resultados abaixo do exigido em projeto, argamassa essa produzida na obra. Sendo assim, era de responsabilidade da equipe de engenharia da obra a conferência da qualidade dos materiais que estavam sendo utilizados e se o traço estava sendo executado de forma correta.

Fazendo uma análise, utilizando como base os laudos de argamassa apresentados no item 4.1.3, com a troca por uma areia de qualidade adequada e uma conferência melhor do traço que estava sendo executado *in loco*, a resistência começou a ser atingida conforme a exigida em projeto. Segundo a NBR 13281-2 (ABNT, 2023) as resistências à compressão precisam ser atingidas de acordo com o projetado aos 28 dias, item que não estava sendo atingido, mas após os ajustes mencionados passaram a estar de acordo com a norma.

Em consequência de uma argamassa de assentamento com resistência baixa, a resistência à compressão dos prismas ocios ficaram abaixo do projetado. Essa conclusão foi feita porque, de acordo com os laudos de graute mostrados no item 4.1.5, estes atingiram a resistência exigida e também os laudos de bloco cerâmico no item 4.1.4 mostram que atingiram a resistência exigida, logo o problema só pode ter sido na argamassa. Sendo assim, foi necessário realizar um reforço estrutural com pontos adicionais de graute, para compensar a baixa resistência dos prismas ocios.

Segundo a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) para o pavimento ser aceito, se a resistência característica dos prismas do pavimento resultarem menor que a exigida em projeto, é necessário romper as contraprovas. Foi feito isso e confirmado que realmente a resistência estava abaixo. Portanto, ainda de acordo com a NBR 16868-2, nesse tipo de situação é necessário providenciar um projeto de reforço estrutural, bem como a restrição do uso da estrutura.

Além disso, no item 4.2.2 foi exposto os resultados medidos *in loco* dos prumos de 2 paredes como amostras em pavimentos de torres diferentes. Como resultado a grande maioria passou nos limites que a NBR 16868-2 (ABNT, 2020), porém alguns não. É necessário melhorar a conferência do serviço por parte da engenharia da obra, mas também treinar melhor a equipe que está executando a alvenaria estrutural para ter a conscientização da importância de manter as paredes no prumo correto.

Com estas falhas, gerou-se atraso na obra, prejuízo financeiro e um risco estrutural grande, pois até as falhas terem sido constatadas, a estrutura estava sendo executada normalmente, com vibrações, acesso de funcionários e sendo adicionando mais carga devido à execução de mais pavimentos.

Como visto no item 4.1.2 desse relatório, o problema com os pontos de graute que não foram executados teve início, principalmente, por falta de conferência da equipe de engenharia da obra. Ainda que tenha parte da culpa pela má gestão da qualidade por parte do empreiteiro e seus funcionários pela não execução de vários pontos de graute, se houvesse uma conferência adequada isso não teria acontecido.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma comparação do especificado em normas de alvenaria estrutural e a execução da obra que foi escolhida para compor o estudo de caso. O objetivo foi alcançado através da análise dos dados levantados *in loco* em relação a execução de um sistema de alvenaria estrutural como os prumos das paredes, pontos de graute, reforço estrutural e também laudos dos componentes da alvenaria estrutural, bem como laudos do desempenho acústico. Buscou-se avaliar diversos itens que caracterizam a alvenaria estrutural visando possibilitar uma análise completa do sistema executado.

Portanto, conforme detalhado no Capítulo 4 em relação ao estudo de caso, é possível tirar conclusões sobre a execução da alvenaria estrutural. Na obra avaliada, foram identificadas diversas inconsistências em relação ao conteúdo das normas de alvenaria estrutural. Como resultado geral, pode-se concluir que a principal falha foi a falta de rigor na verificação das etapas que compõem o sistema de alvenaria estrutural por parte da equipe de engenharia da obra, composta pelo engenheiro, mestre, encarregados e estagiários. Tudo isso gerou um grande problema de atraso na entrega da obra, por ter sido necessário, paralisar a execução da alvenaria estrutural por conta do risco estrutural causados pelos pontos de graute faltantes e outros com falha nos septos, até que ocorresse a recuperação da estrutura. Somado a isso está o grande prejuízo causado com a necessidade do reforço estrutural, tanto com um projeto adicional que foi necessário, quanto pela mão de obra e material a mais utilizado, demanda gerada por conta da baixa resistência apresentada nos ensaios dos prismas ocos, ocorridos pela má qualidade da argamassa de assentamento dos blocos.

O uso da alvenaria estrutural tem se mostrado um sistema eficaz e adequado para a execução de edificações ao longo das últimas décadas. Para garantir a segurança estrutural do sistema, inúmeras pesquisas levaram a elaboração de normas, onde encontra-se a especificação da execução e controle desse sistema. Sendo assim, conclui-se que todos os problemas gerados na obra estudada poderiam ter sido evitados com a observação das recomendações das normas para a execução da alvenaria estrutural. Esta atitude correta e tecnicamente obrigatória teria poupado a construtora de atrasos e gastos com a recuperação estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J.M – **Alvenaria Estrutural**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. FURG. Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Arres.%20Alv.%20JM%20Araujo.pdf. Acesso 25 de Novembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-2: **Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos para ensaios parte 2: argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria**, Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-2: **Alvenaria estrutural parte 2: Execução e controle de obras**, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-3: **Alvenaria estrutural parte 3: Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3: **Edificações habitacionais – desempenho parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais – desempenho parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas**, Rio de Janeiro, 2021.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-civil/nepae4636/downloads/>. Acesso em 05 de Novembro de 2023.

CAMACHO, J. S. – **Alvenaria estrutural não-armada – parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. Porto Alegre, 1986. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

CAVALHEIRO, O. P. **Alvenaria estrutural: tão antiga e tão atual**. Universidade Federal de Santa Maria, 30 de agosto de 1999. Jornal da ANICER. Disponível em:

https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/04/Alvenaria-Estrutural_T%C3%A3o-antiga-e-t%C3%A3o-atual_cavalheiro1.pdf. Acesso em 10 de Novembro de 2023.

CML.ARQ. **Edifício solar dos Alcantara**. <https://www.cmlarq.com.br/br/projetos/15-categoria/projetos/residencial/69-edificio-solar-dos-alcantara>. Acesso em 10 de Janeiro de 2024.

DESEMPENHO. **Resumo para sistemas de vedações verticais de edificações habitacionais Pauluzzi**. Pauluzzi Blocos cerâmicos. 2023. <https://pauluzzi.com.br/nbr-15575/>. Acesso em 10 de Dezembro de 2023.

HISTÓRIA. **Alvenaria estrutural no mundo e no Brasil Pauluzzi**. Pauluzzi Blocos cerâmicos. 2023. <https://pauluzzi.com.br/nbr-15575/>. <https://pauluzzi.com.br/alvenaria-estrutural/>. Acesso em 10 de Novembro de 2023.

IPATRIMÔNIO. **São Paulo – Edifício Prudência e Capitalização**. <https://www.ipatrimonio.org/sao-paulo-edificio-prudencia-e-capitalizacao/#!/map=38329&loc=-23.544737999999967,-46.65460800000001,17>. Acesso em 10 de Janeiro de 2024.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural. Materiais, projeto e desempenho**. Editora Blucher, 2014. Disponível em: <https://issuu.com/editorablucher/docs/issuuok-peq/9> . Acesso em 13 de Novembro de 2023.

PRUDÊNCIO JUNIOR, R. P.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

RAMALHO, M. A.; CORREA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2003.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SILVA, L. D.; **Técnicas e procedimentos para assentamento de alvenaria de vedação e estrutural**. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2007.

SILVA, W. J. **Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitos a ações verticais**, UEP (Universidade Estadual Paulista), Dissertação de Mestrado. Ilha Solteira – SP, 2003.

123i. **Condomínio Edifício Condomínio Central Parque Lapa.**

<https://www.123i.com.br/condominio-883fd3ee1.html>. Acesso em 10 de Janeiro de 2024.