

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

GIOVANNI RODRIGUES VIGARANI DE PAULA

**ALVENARIA ESTRUTURAL: FUNCIONALIDADE, EXECUÇÃO E O
CONTROLE TECNOLÓGICO**

Ilha Solteira
2021

GIOVANNI RODRIGUES VIGARANI DE PAULA

**ALVENARIA ESTRUTURAL: FUNCIONALIDADE, EXECUÇÃO E O
CONTROLE TECNOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Nome do orientador

Prof. Dr. Marco Antonio de M. Alcantara

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P324a Paula, Giovanni Rodrigues Vigarani de.
Alvenaria estrutural: funcionalidade, execução e o controle tecnológico /
Giovanni Rodrigues Vigarani de Paula. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
48 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Marco Antônio de Moraes Alcantara
Inclui bibliografia

1. Alvenaria estrutural. 2. Controle tecnológico. 3. Reforço estrutural.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999


Giovanni Rodrigues Vigarani de Paula

**ALVENARIA ESTRUTURAL: FUNCIONALIDADE, EXECUÇÃO E O CONTROLE
TECNOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto
ao Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Faculdade de Engenharia da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovado em 08/02/2022

Comissão Examinadora


Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara
UNESP/FE - Câmpus de Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Adriano Souza
UNESP/FE - Câmpus de Ilha Solteira


Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP/FE - Câmpus de Ilha Solteira

Ilha Solteira
08 de fevereiro de 2022

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho principalmente aos meus pais que sempre fizeram de tudo para que eu conseguisse me formar, me deram total apoio e amparo nesse desafio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcântara, pela confiança, por todo apoio e por me ajudar a tornar esse projeto uma realidade. Agradeço também aos professores da banca por dedicarem o seu tempo para participarem desse trabalho.

Também agradeço à Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Ilha Solteira, todos os seus professores (as) e funcionários (as), pela alta qualidade do ensino e por sempre se esforçarem ao máximo para que eu conseguisse atingir todos os meus objetivos.

Agradeço também aos meus amigos de república, por toda a amizade ao longo desses anos em Ilha Solteira, por me ajudarem a tornar esse desafio mais leve e divertido e também por estarem ao meu lado em todas as conquistas e desafios.

RESUMO

A alvenaria estrutural, é um método construtivo que consiste na utilização da alvenaria não só como vedação, mas também com finalidade estrutural, ou seja, a própria parede é responsável pela transmissão dos esforços do edifício para a fundação. Quando bem projetada e executada resulta em eficácia, qualidade e economia e por isso vem sendo um dos métodos mais utilizados nas últimas décadas. Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo principal demonstrar e exemplificar as vantagens da alvenaria estrutural, suas funcionalidades, especificações e mostrar a importância em se realizar o controle tecnológico da mesma. Foi realizado um estudo de caso em uma obra executada na cidade de Ribeirão Preto/SP, tendo como foco os resultados do controle tecnológico da alvenaria estrutural, realizado por uma empresa especializada. E com isso, foi possível verificar problemas nos materiais utilizados e realizar um reforço estrutural evitando possíveis patologias na estrutura do edifício.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, controle tecnológico, reforço estrutural.

ABSTRACT

Structural masonry is a construction method that consists of the use of masonry not only as a seal, but also for structural purposes, that is, the wall itself is responsible for transmitting the efforts of the building to the foundation. When well designed and executed, it results in efficiency, quality and economy and, therefore, has been one of the most used methods in recent decades. In this context, the main objective of the work is to demonstrate and exemplify the advantages of structural masonry, its features, specifications and to show the importance of carrying out its technological control. A case study was carried out in a work carried out in the city of Ribeirão Preto/SP, focusing on the results of the technological control of structural masonry, carried out by a specialized company. And with that, it was possible to verify the inefficiency of the materials used and to carry out a structural reinforcement, avoiding possible pathologies in the structure of the building.

Keywords: Structural masonry, technological control, structural reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Muralha da china	15
Figura 2	Estrutura em concreto armado com grande vão em balanço	16
Figura 3	Planta de modulação da primeira fiada	17
Figura 4	Shaft hidráulico que foi compatibilizado com a alvenaria	18
Figura 5	Eletrodutos passando dentro dos vãos dos blocos sem afetar a estrutura	18
Figura 6	Blocos estruturais de concreto	20
Figura 7	Blocos estruturais de cerâmica	20
Figura 8	Tamanho das amostras	21
Figura 9	Ponto de graute cheio	22
Figura 10	Formas de graute cheias para modelagem dos corpos de prova ...	22
Figura 11	Cordões de argamassa formados para o assentamento dos blocos	23
Figura 12	Formas e corpo de prova de argamassa estrutural	24
Figura 13	Prismas oco e cheio	25
Figura 14	Prensa de ruptura EMIC PC200C	27
Figura 15	Prensa de ruptura PAVITEST	28
Figura 16	Projeto estrutural exigido pelo projetista	42
Figura 17	Detalhe executivo do reforço estrutural	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de \emptyset em função da quantidade de blocos	29
Tabela 2	Valores de Y em função da quantidade de prismas	30
Tabela 3	Tabela de resistência dos componentes de alvenaria com blocos de concreto de acordo com o projeto	32
Tabela 4	Tabela com as quantidades de amostras necessárias por pavimento.	35
Tabela 5	Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de blocos....	36
Tabela 6	Resultado do ensaio de absorção da primeira amostra de blocos	36
Tabela 7	Resultado do ensaio à compressão da amostra de contraprova de blocos	37
Tabela 8	Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de argamassa	38
Tabela 9	Resultado do ensaio à compressão da segunda amostra de argamassa	38
Tabela 10	Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de graute	38
Tabela 11	Resultado do ensaio à compressão da segunda amostra de graute ..	38
Tabela 12	Resultado do ensaio à compressão do prisma oco	39
Tabela 13	Resultado do ensaio à compressão do prisma cheio	40
Tabela 14	Resultado do ensaio à compressão da contraprova do oco	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
SP	São Paulo;
NBR	Norma Brasileira;
A.C.	Antes de Cristo;
Km	Quilômetros;
M ²	Metros quadrados;

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVO.....	14
3.	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	ALVENARIA ESTRUTURAL	15
3.2	COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL E SEU CONTROLE TECNOLÓGICO	19
3.2.1	<i>Bloco estrutural</i>	19
3.2.2	<i>Graute</i>	21
3.2.3	<i>Argamassa de assentamento</i>	23
3.3	PRISMAS	24
3.4	NORMAS TÉCNICAS	25
3.4.1	<i>Norma técnica ABNT NBR 6136/2016</i>	25
3.4.2	<i>Norma técnica ABNT NBR 12118/2014</i>	26
3.4.3	<i>Norma técnica ABNT NBR 16868-1/2020</i>	26
3.4.4	<i>Norma técnica ABNT NBR 16868-2/2020</i>	26
3.4.4	<i>Norma técnica ABNT NBR 16868-3/2020</i>	26
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	MATERIAIS	27
4.2	METODOLOGIA	28
4.2.1	<i>Cálculo da resistência característica dos blocos</i>	28
4.2.2	<i>Cálculo da resistência característica dos prismas</i>	29
4.2.3	<i>Cálculo da tensão de ruptura da argamassa</i>	30
4.2.4	<i>Documentação dos resultados</i>	31
5.	ESTUDO DE CASO	32
5.1	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS SOLICITADOS EM PROJETO	32
5.2	O CONTROLE TECNOLÓGICO EXECUTADO NA OBRA	33
5.3	CASO ANALISADO	35
5.3.1	<i>Projeto de reforço estrutural solicitado pelo projetista</i>	42
5.3.2	<i>Execução do reforço estrutural de todo o pavimento</i>	43
6.	CONCLUSÃO	45
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Utilizar materiais construtivos como forma de elementos estruturais é uma metodologia usada frequentemente na história da humanidade. “A alvenaria estrutural existe há milhares de anos, e teve início com a utilização do conhecimento empírico, baseado na experiência dos construtores, em que a forma garantia a rigidez e a estabilidade estrutural.” (MOHAMAD, 2015).

Diversos exemplos de construções históricas, como o Coliseu e as Pirâmides, utilizam de blocos e algum material ligante para formar uma estrutura. A existência de tais feitos até a atualidade são provas de como a alvenaria estrutural possui durabilidade e eficiência, principalmente com os aperfeiçoamentos adquiridos ao longo das décadas.

Porém, houve um declínio na sua utilização após a revolução industrial, devido à crescente fabricação de novos materiais construtivos. “O aparecimento do aço e do concreto tornou as obras mais versáteis em termos de produção, esbeltez e, principalmente, obtenção de grandes vãos, garantindo a chamada busca pela liberdade arquitetônica.” (MOHAMAD, 2015).

Por volta do século XVII a alvenaria estrutural voltou a ganhar força e começou a ser vista como uma tecnologia de construção civil, e esse método construtivo começou a ser mais estudado e aperfeiçoado. A metodologia passou a se basear em princípios mais científicos a pouco tempo.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo em que se utilizam as paredes da construção para resistir às cargas, em substituição aos pilares e vigas utilizados nos sistemas de concreto armado, aço ou madeira (ROMAN; MUTI; ARAÚJO, 1999). Ou seja, as paredes servem como pontos de sustentação e de vedação, sendo, nesse caso, chamadas de autoportante. Tal método diverge do método convencional, onde as paredes são desconsideradas no cálculo dos esforços, servindo apenas como um elemento de vedação, similar a paredes de drywall ou qualquer outro tipo de vedação.

As vantagens da alvenaria estrutural são a redução de custo da obra, do prazo de execução e também do desperdício. Já as desvantagens são as limitações quanto às possibilidades de mudanças não planejadas, dificultando improvisações e restringindo grandes vãos e balanços (CAMPOS, 2015).

Com a ampla utilização da alvenaria estrutural e o aumento dos estudos sobre tal método, começou a se tornar-se cada vez mais importante a realização de ensaios

de laboratório, ou seja, o controle tecnológico. Este possui o intuito de garantir que os materiais empregados atendam à qualidade e às especificações dos projetos estruturais, dimensionados cada vez com maior detalhamento e rigor, a fim de evitar futuras patologias na estrutura. Dentre os itens ensaiados e analisados neste trabalho, temos: os blocos, os prismas ocos, os prismas cheios, a argamassa e o graute, sendo que todos devem atender aos requisitos mínimos determinados pelo projetista.

Sabbatini (2003) afirma que as manifestações patológicas que surgem devem ser solucionadas pela construtora, de forma definitiva e imediata. Porém, as empresas devem se preocupar principalmente com a prevenção de tais patologias. Obras em alvenaria estrutural são projetadas, muitas vezes, para obter custos menores, em substituição ao uso do concreto armado. Entretanto, quando não executada da forma correta, essa redução de custo pode se inverter e se tornar um problema devido aos muitos retrabalhos necessários nas obras, além de gerar risco à segurança da estrutura.

Um exemplo disso foram os prédios de empreendimento Zilda Arns, que em 2013 precisaram ser demolidos na cidade de Niterói no Rio de Janeiro, devido ao aparecimento de grandes rachaduras que aumentaram com o efeito das chuvas no local (CANDIDA, 2010).

Nos dias atuais, o controle tecnológico vai muito além dos procedimentos tomados apenas na obra e se somam a esses os procedimentos de todo processo de produção, manipulação, transporte e ensaios (PEREIRA, 2008).

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é mostrar a importância do controle tecnológico para a alvenaria estrutural, além de suas funcionalidades e características desse método construtivo, expondo conhecimentos técnicos e resultados adquiridos em campo ao longo de uma experiência profissional em uma obra de grande porte localizada na cidade de Ribeirão Preto/SP.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será exposta uma revisão teórica a respeito da importância do controle tecnológico da alvenaria estrutural, além de certas especificações de como o mesmo deve ser realizado em uma obra. Será exposto também um breve resumo das normas técnicas que abrangem o tópico.

3.1. A ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural vem desafiando o homem desde as primeiras construções do mundo. A estrutura e arquitetura das antigas construções que utilizaram esse método se caracterizam por paredes de grande espessura e formas em arco na tentativa de alcançar vãos maiores (FRASSON JUNIOR, 2000 apud LOGULLO, 2006). Um exemplo da utilização desse método construtivo são as pirâmides do Egito, que foram construídas há cerca de 2.700 anos A.C. e foi construída basicamente empilhando blocos espessos uns sobre os outros. Outro grande exemplo de construção por esse método é a muralha da china representada na figura 1 que possui mais de 21.000 Km e foi construída toda em tijolos cerâmicos. “As construções da época eram então erguidas segundo regras puramente empíricas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo dos séculos”. (CAMACHO, 2006).

Figura 1 - Muralha da china



Fonte – OCCHIALINI, LUCA (2020).

Durante a fase de planejamento da obra, deve se analisar a viabilidade de execução em alvenaria estrutural, vale lembrar que esse método possui algumas limitações particulares e nem sempre pode ser empregado. Dependendo da arquitetura e complexibilidade do projeto a execução em alvenaria estrutural fica inviável, como por exemplo, obras com vãos muitos extensos ou com aberturas maiores, balanços, sacadas e terraços extensos em balanço, a alvenaria estrutural não teria condições de suprir essas necessidades (RODRIGUES, 2018).

Figura 2 - Estrutura em concreto armado com grande vão em balanço.

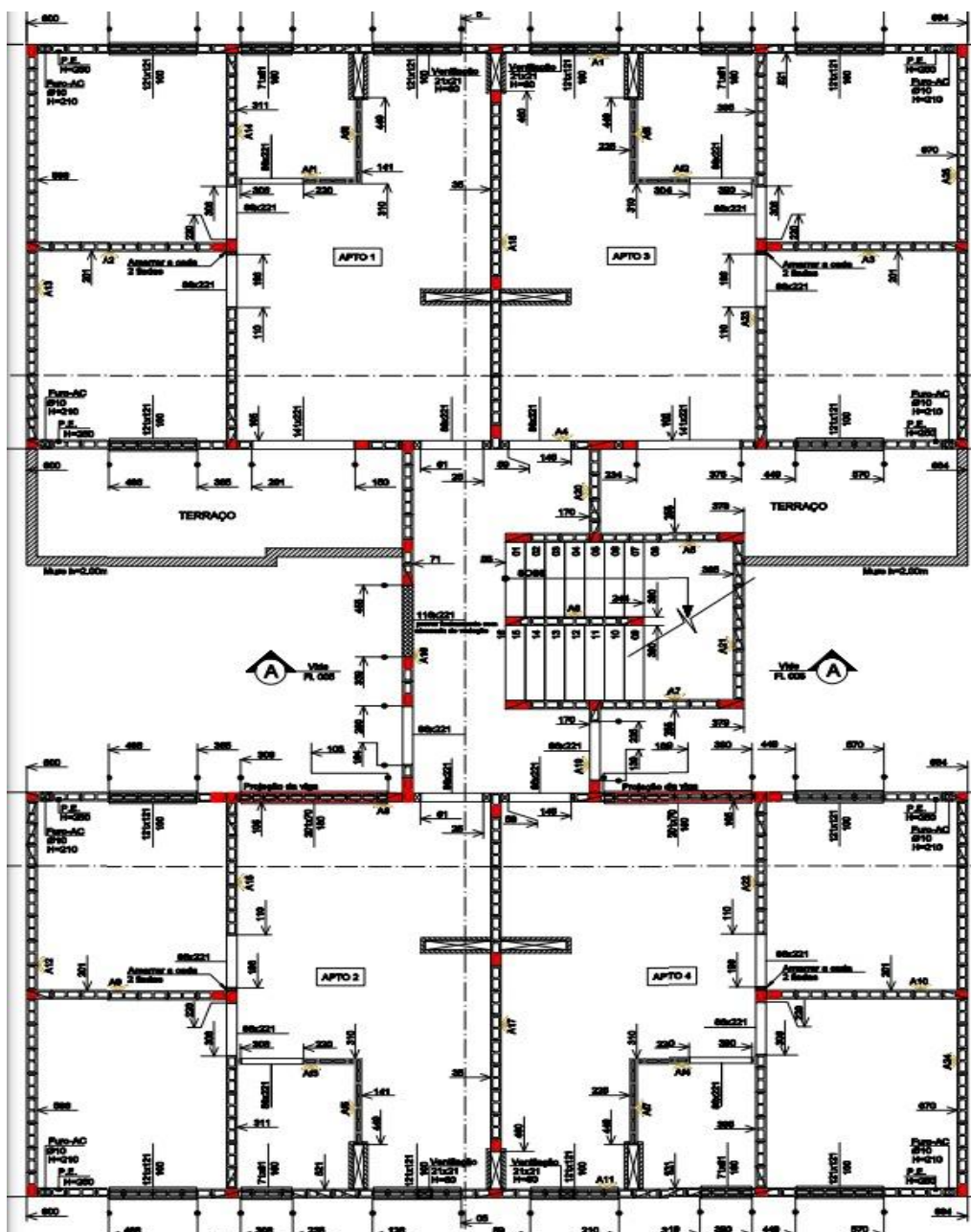


Fonte – WEIGMANN, DANIEL (2020).

Durante a fase executiva da obra, deve-se seguir à risca o projeto, tanto na parte da modulação, garantindo a correta amarração dos blocos, quanto as especificações dos materiais empregados, garantindo atender aos requisitos estabelecidos pelo projetista.

“O projeto deve apresentar desenhos técnicos detalhando as fiadas diferenciadas, exceto na altura das aberturas, e as elevações de todas as paredes” (ABNT 16868-1:2020). Segundo essa mesma norma, o projeto também deve apresentar sempre que presente: posicionamento dos blocos, detalhes de amarrações, localização dos pontos de graute e das armaduras e o posicionamento das juntas de controle e de dilatação, como mostrado na figura 3.

Figura 3 - Planta de modulação da primeira fiada.



Fonte – Acervo do autor.

Outro ponto importante da alvenaria estrutural é a respeito das instalações do prédio, tanto os projetos de instalações hidráulicas, quanto os projetos de instalações elétricas devem ser compatibilizados com o projeto de alvenaria. “Qualquer corte em paredes deve ser previsto no projeto estrutural” (NBR 16868-1, 2020).

“Não são permitidos condutores de fluidos embutido em paredes estruturais, exceto quando a manutenção não exigir corte” (NBR 16868-1,2020), por isso é muito comum nesse tipo de construção, o uso de shafts em DryWall, como mostrado na

figura 4, para a passagem das instalações hidráulicas (que não são considerados a fins estruturais), o que garante a integridade da estrutura e facilita em futuras manutenções, nesses casos, uma boa prática é tentar agrupar as redes hidráulicas (abastecimento, esgoto, pluvial e de ventilação), garantindo assim menores vãos na estrutura, economia para a obra e uma melhor arquitetura. Já para as instalações elétricas, elas costumam ser executadas em paralelo com a alvenaria, com os eletrodutos subindo na direção vertical, em paralelo aos vazios do bloco, como mostrado na figura 5. Garantindo que não haja cortes nos blocos.

Figura 4 - Shaft hidráulico que foi compatibilizado com a alvenaria.



Fonte – Acervo do autor.

Figura 5 - Eletrodutos passando dentro dos vãos dos blocos, sem afetar a estrutura.



Fonte – Acervo do autor.

3.2. COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL E SEU CONTROLE TECNOLÓGICO

No Brasil, tem-se observado um aumento significativo na construção de habitações populares, em virtude do déficit habitacional existente no país que em 2019 era de aproximadamente 5,88 milhões de unidades (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021), porém também se observou um aumento no número de patologias provenientes nesse método construtivo. Tal fato, muito se deve a tentativa de baratear o preço da obra a qualquer custo, o que pode ser conseguido utilizando materiais de baixa qualidade.

Porém, essa tentativa de aumento do lucro, pode não ser alcançada devido os problemas patológicos que a estrutura pode apresentar e também ao risco que ela pode vir a trazer. Devido a isso, se tornou imprescindível a realização de controle tecnológico em uma obra, esse tipo de ensaio é o que ajuda a garantir a qualidade dos materiais empregados na construção. Muitos dos materiais utilizados se baseiam apenas nos ensaios realizados pelos fornecedores e não pela obra, mas no caso dos componentes da alvenaria estrutural, é necessário realizar mais testes para comprovar a qualidade dos mesmos e também que atendem as especificações definidas pelo projetista.

3.2.1. Bloco estrutural

“Os Blocos são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão” (CAMACHO, 2006), a principal diferença entre esse tipo de bloco e os blocos de vedação é a espessura de suas paredes, que lhes garante maior resistência para suportar os esforços de compressão gerados pela estrutura. Os blocos estruturais, podem ser tanto de concreto quanto cerâmicos, apresentado nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Blocos estruturais de concreto



Fonte – Acervo do autor.

Figura 7 - Blocos estruturais cerâmicos



Fonte – Acervo do autor.

Outra norma muito importante para esse tipo de construção é a NBR 12118:2013 que diz que os blocos estruturais devem ser ensaiados em laboratório para garantir que atende as especificações necessárias. Os ensaios exigidos para esse componente são de resistência a compressão, análise dimensional e absorção d'água (para blocos cerâmicos).

Ao se fabricar um lote de blocos, o fornecedor deve seguir alguns parâmetros de acordo com a NBR 6136:2016, sendo eles:

- Os blocos que compõem o lote devem ter todas as mesmas características.

- O lote pode ser composto por no máximo 1000 m² de alvenaria ou 20.000 blocos.
- A diferença das datas de fabricação dos blocos de um mesmo lote não pode ser superior a 5 dias.

Ao adquirir o material, o comprador tem por obrigação conferir visualmente os blocos, verificando se cumpre os requisitos mínimos citados. Caso isso não ocorra em mais de 10% das amostras o comprador pode recusar o lote por completo. Após essa conferência visual e o fornecedor garantindo a qualidade do material de acordo com a norma, esse lote já pode ser utilizado na construção mesmo antes dos resultados realizados em laboratório por parte da obra. Caso os resultados não atendam as especificações e esse lote já tenha sido utilizado, é necessário consultar o projetista.

Figura 8 – Tamanho da amostra.

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido em 6.5.1	Critério estabelecido em 6.5.2	
Até 5 000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5 001 a 10 000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima da 10 000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte - ABNT, NBR 6136:2014

O lote de bloco ou tijolo é aceito se o valor da resistência à compressão característica da amostra ou contraprova for maior ou igual ao especificado no projeto, e se suas dimensões estiverem de acordo com a ABNT NBR 6136:2016 e ABNT 15270-2.

3.2.2. Graute

“O graute consiste em um concreto fino (micro-concreto), formado de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), devendo apresentar como característica alta fluidez” (CAMACHO, 2006), essa característica é muito importante pois o graute é utilizado para preencher os vãos

existentes nos blocos e canaletas, evitando deixar espaços vazios e segregações, com a intenção de aumentar ainda mais a capacidade de suportar esforços da estrutura.

As especificações desse material e em qual alvéolo do bloco deve ser feito, ou seja, onde ficará os “pontos de graute” são de responsabilidade do projetista e devem ser seguidos à risca.

“O lote de graute é aceito se o valor característico da amostra ou contraprova for maior ou igual ao especificado em projeto” (ABNT 16868 – 2, 2020).

Figura 9 - Ponto de graute cheio



Fonte – CONSTRUINDODECOR (2020).

Figura 10 - Formas de graute cheias para modelagem dos corpos de prova



Fonte – MENEGUZZI, CLARISSA (2012).

3.2.3. Argamassa de assentamento

“É o componente utilizado na ligação entre os blocos (figura 11), evitando pontos de concentração de tensões, sendo composta de cimento, agregado miúdo, água e cal” (CAMACHO, 2006), transmitindo os esforços verticais e horizontais de forma a criar estrutura única e sólida. Outra função desempenhada por esse componente é a de vedação da estrutura, quando bem executada, a argamassa não deixa espaços vazios na alvenaria, evitando a entrada de água ou ar para dentro do prédio.

Segundo Sánches (2013), a principal função da argamassa é transmitir todas as ações atuam na estrutura além de acomodar as deformações provocadas por retração e de origem térmica, sem que ocorra o aparecimento de fissuras. Função que pode ser prejudicada caso a argamassa exceda muito a sua capacidade resistiva estabelecida em projeto, pois ela se tornará muito rígida e quando exposta a deformações, irá apresentar fissuras.

Figura 11 - Cordões de argamassa formados para o assentamento dos blocos.



Fonte – OFICINA DE TEXTOS (2019).

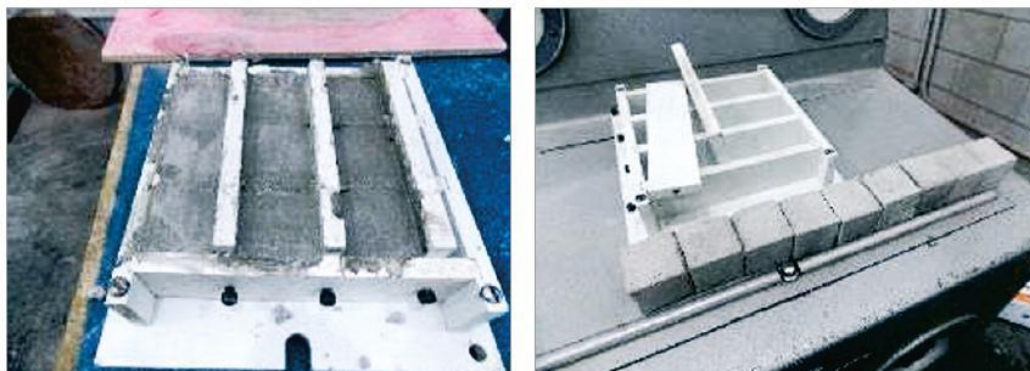
Semelhante ao caso do graute, o ensaio realizado com a argamassa de assentamento também é o de compressão, para garantir que ela atenda as exigências de projeto.

A argamassa de assentamento pode tanto ser produzida em obra quanto ser usinada.

No caso da produção em obra, o construtor deve, no caso das argamassas industrializadas, fazer o controle de qualidade através de monitoramento da quantidade de água na mistura da massa e confecção de corpos de prova dos lotes produzidos para ensaio em laboratório e acompanhamento dos resultados (POZZOBON, 2003)

No caso da argamassa usinada, o controle de qualidade fica de responsabilidade do próprio fornecedor, ficando a cargo da construtora apenas o ensaio em laboratório para verificar se atende as características especificadas em projeto.

Figura 12 - Formas e corpo de prova argamassa estrutural.

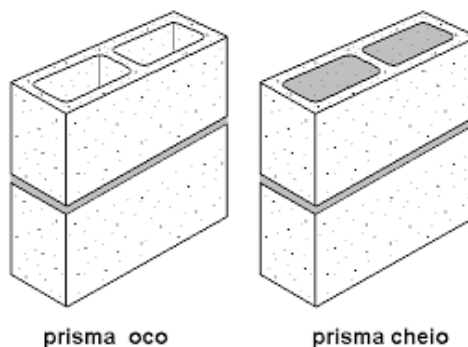


Fonte – SCIELO. Scielo: resistência a compressão da alvenaria estrutural com blocos de concreto de alta resistência, 2017. Página inicial. Disponível em < SciELO - Brasil> Acesso em: 21 de dez. de 2022.

3.3. PRISMAS

“Prismas são corpos-de-prova compostos por dois ou mais blocos, utilizados para se prever as propriedades dos elementos a serem empregados nas obras reais (resistência à compressão, ao cisalhamento, etc.)” (CAMACHO, 2006). Realizamos os ensaios em dois tipos diferente de prismas, o prisma oco, que é composto por 2 blocos unidos com argamassa e o prisma cheio que além dos blocos com argamassa, ele é preenchido com graute, para representar os pontos de graute da alvenaria.

Figura 13 - Prisma oco e cheio



Fonte – THOMAZ, ERCIO (2014, p. 11).

Segundo Sánches (2013), os prismas devem ser identificados, limpos e colocados em ambiente protegido, a fim de preservar suas características originais, para garantir sua integridade, uma vez que caso o resultado dos ensaios não seja positivo, pode ser necessário reforçar os pavimentos da alvenaria (conforme apresentaremos no estudo de caso a seguir).

Segundo a norma NBR 15812-2:2010, cada pavimento da edificação deve ser ensaiado separadamente, sendo necessário 12 prismas de cada pavimento, totalizando 24 prismas. Desses 12, 6 serão utilizados como prova e serão encaminhados para o laboratório, enquanto os outros 6 devem ser armazenados até que saia o resultado do primeiro ensaio, tanto os prismas ocos quanto os cheios. Caso esse ensaio não atinja o resultado esperado, deve-se utilizar os outros 6 prismas de contraprova, para verificar a veracidade dos dados obtidos.

3.4. NORMAS TÉCNICAS

As normas técnicas são documentos criados para estabelecer um conjunto de regras sobre um determinado assunto ou atividade, a seguir vamos demonstrar algumas normas que são utilizadas para abordar o tema de alvenaria estrutural.

3.4.1. Norma técnica ABNT NBR 6136/2016

A norma técnica 6136/2016 se refere aos blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural, estabelecendo os requisitos para a produção e aceitação de blocos de concreto simples.

3.4.2. Norma técnica ABNT NBR 12118/2014

A norma técnica 12118/2014 se refere aos métodos de ensaio dos blocos vazados de concreto para análise dimensional, determinação de absorção de água, determinação de resistência à compressão e da retração por secagem, de blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

3.4.3. Norma técnica ABNT NBR 16868-1/2021

A norma técnica 16868-1/2021 se refere aos requisitos para o projeto de estruturas de alvenaria e à análise do desempenho estrutural dos elementos de alvenaria.

3.4.4. Norma técnica ABNT NBR 16868-2/2021

A norma técnica 16868-2/2021 se refere aos requisitos para execução e controle de obras de alvenaria estrutural.

3.4.5. Norma técnica ABNT NBR 16868-3/2021

A norma técnica 16868-3/2021 se refere aos métodos de ensaio de elementos em alvenaria construídos com blocos de concreto submetidos a esforços de compressão axial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados por uma empresa especializada da cidade de Ribeirão Preto. Todos os ensaios são acompanhados e validados pôr em engenheiro civil e todos seus equipamentos possuem certificados de calibração.

4.1. MATERIAIS

- Para os ensaios de compressão dos blocos e dos prismas, a empresa utilizou a prensa de ruptura EMIC PC200C, que possui uma capacidade máxima de compressão de 200.000 kgf.
- Para a ruptura dos corpos de graute e de argamassa, a empresa utilizou a prensa de ruptura PAVITEST.

Figura 14 – Prensa de ruptura EMIC PC200C.



Fonte – EMIC, Emic: prensas de compressão.

Figura 15 – Prensa de ruptura PAVITEST.



Fonte – CONTENCO (2022).

4.2. METODOLOGIA

4.2.1. Cálculo da resistência característica dos blocos

Para o cálculo da resistência média dos blocos, segundo a norma (NBR 15270-2:2015), onde estabeleceu-se que a resistência característica à compressão dos blocos estruturais deve ser referida a área bruta. Ou seja, para o cálculo da tensão de ruptura dos corpos de prova é necessário dividir o valor da carga máxima de ruptura, obtida com a prensa, pela área bruta do material.

Com os valores de tensão de ruptura de cada corpo de prova, podemos calcular a resistência característica estimada da amostra ($f_{bk,est}$), utilizando a fórmula a seguir.

$$f_{bk,est} = 2 * \frac{f_{b1} + f_{b2} \dots f_{b(i-1)}}{i - 1} - f_{bi}$$

Sendo,

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra, em Mpa;

$f_{b1}, f_{b2} \dots f_{bn}$ = Valores da resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados de forma crescente;

$l = n/2$ se n for par;

$l = (n-1)$, se n for ímpar;

$N = A$ quantidade de corpos de prova da amostra;

Após o cálculo do fb_{kest} , ainda é necessário realizar algumas análises para chegar ao valor de resistência característica da amostra:

I. Caso o valor de $fb_{kest} > fb_m$ (média da resistência à compressão de todos os corpos de prova da amostra), adota-se fb_m como a resistência característica do lote (fb_k);

II. Caso o valor do $fb_{kest} < \emptyset \cdot fb_1$ (menor valor da resistência à compressão de todos os corpos de prova da amostra), adota-se a resistência característica à compressão (fb_k) determinada pela expressão $\emptyset \cdot fb_1$, sendo o valor de \emptyset o valor de confiabilidade da amostra indicado na Tabela 1.

III. Caso o valor calculado de fb_{kest} esteja entre o intervalo $fb_m > fb_{kest} > \emptyset \cdot fb_1$, então adota-se este valor como a resistência característica à compressão.

Tabela 1 – Valores de \emptyset em função da quantidade de blocos.

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥ 18
\emptyset	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte – ABNT 15270-2:2015.

4.2.2. Cálculo da resistência característica dos prismas

Segundo a NBR 15812-1:2015, a resistência característica à compressão da alvenaria pode ser estimada com base no ensaio de compressão dos prismas. O cálculo da resistência característica dos prismas (fp_{kest}) é semelhante ao cálculo da resistência dos blocos, ou seja, deve ser feita com relação a área bruta.

Utilizando os valores de resistência máxima à compressão de cada prisma, obtidos através da prensa, e dividindo esse valor pela área bruta do corpo, chegamos à tensão de ruptura individual de cada corpo. Tendo os valores de cada corpo de

prova, podemos calcular então a resistência característica estimada da amostra ($f_{pk_{est}}$) utilizando a fórmula a seguir.

$$f_{pk_{est}} = 2 * \frac{f_{p1} + f_{p2} \dots f_{p(i-1)}}{i-1} - f_{pi}$$

Sendo,

$F_{pk_{est}}$ = resistência característica estimada da amostra, em Mpa;

$F_{b1}, f_{b2} \dots f_{pn}$ = Valores da resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados de forma crescente;

$l = n/2$ se n for par;

$l = (n-1)$, se n for ímpar;

N = A quantidade de corpos de prova da amostra;

Após o cálculo de $f_{pk_{est}}$, ainda é necessário realizar algumas análises para chegar ao valor de resistência característica da amostra.

Caso o valor de $f_{pk_{est}} < Y \cdot f_{p1}$ (sendo o valor de Y fornecido pela tabela 2), adota-se $Y \cdot f_{p1}$ como a resistência característica da amostra, caso contrário utiliza-se o valor de $f_{pk_{est}}$ (não se adotando esse valor superior à 85% de f_{pm}). Sendo que o valor de f_{pk} não deve ser inferior a $Y \cdot f_{p1}$.

Tabela 2 – Valores de Y em função da quantidade de prismas.

Número de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16/17	18/19
Ψ	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte – NBR 15812-1:2010.

4.2.3. Cálculo da tensão de ruptura do graute e da argamassa

Para o cálculo da tensão de ruptura, tanto do graute quanto da argamassa de assentamento, foi utilizada a prensa de ruptura da Pavitest. Com a resistência à compressão de cada corpo de prova obtidos através da prensa, basta dividir esse valor pela área efetiva do corpo. Desse modo, basta então verificar se o resultado de 28 dias atende às especificações mínimas de projeto.

4.2.4. Documentação dos resultados

Todos os resultados obtidos nos ensaios devem ser assinados pelo engenheiro responsável do laboratório terceirizado e divulgados a obra que contratou seus serviços. Em seguida, os resultados obtidos precisam ser comparados com os valores solicitados em projeto, além de assinados também pelo engenheiro responsável da obra.

Essa comparação é feita por meio das chamadas FVS “fichas de verificação de serviço”, na qual era necessário informar os valores exigidos de projeto, os valores obtidos e se a atividade estava aprovada ou reprovada. Após isso, essas FVS, junto dos laudos emitidos pelo laboratório, ficam arquivados de forma online no sistema interno da empresa.

5. ESTUDO DE CASO

O trabalho se trata de um estudo de caso sobre o controle tecnológico, especificamente de uma obra residencial executada na cidade de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo.

Esse empreendimento compreende um condomínio fechado que conta com sete torres, cada uma com 4 pavimentos, totalizando 416 apartamentos e a tipologia construtiva escolhida para todo o condomínio foi a alvenaria estrutural.

5.1. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS SOLICITADOS EM PROJETO

Todos os materiais utilizados na obra devem seguir as especificações do projetista estrutural responsável pela obra. De acordo com o projeto temos as seguintes exigências:

- Os blocos estruturais devem conter 14 centímetros de largura e fbk mínimo de 4,0 Mpa para blocos de concreto ou 6,0 Mpa para blocos cerâmicos.
- O graute deve apresentar um fgk mínimo de 15,0 MPa.
- A argamassa de assentamento deve apresentar fa mínimo de 4,0 Mpa.
- O prisma ôco consiste em 2 blocos vazios assentados um em cima do outro e deve apresentar fpk mínimo de 3,2 MPA.
- O prisma cheio consiste em 2 blocos assentados um em cima do outro e cheios por graute. Este também deve atender as especificações do projeto e apresentar um fpk mínimo de 5,8 Mpa.

Tabela 3 – Tabela de resistência dos componentes de alvenaria com blocos de concreto de acordo com o projeto.

TABELA DE RESISTENCIA DOS COMPONENTES DA ALVENARIA					
LANÇAMENTO DO PAVIMENTO	PRISMA ÔCO	PRISMA CHEIO	BLOCO	GRAUTE	ARGAMASSA
	fpk (MPa)	fpk (MPa)	fbk (MPa)	fgk (MPa)	fa (MPa)
L.1 ao L.4	3,20	5,8	4,0	15,0	4,0
L.5 - Platibanda	3,20	5,8	4,0	25,0	4,0

fpk - RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO PRISMA (ÔCO E CHEIO) A COMPRESSÃO (ÁREA BRUTA), DE ACORDO COM A NBR 15961-2 / 2011 (ANEXO A).

fbk - RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO BLOCO A COMPRESSÃO (SUGESTÃO PARA OBTENÇÃO DO PRISMA).

fgk - RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO GRAUTE A COMPRESSÃO.

fa - RESISTÊNCIA MÉDIA DA ARGAMASSA A COMPRESSÃO, DE ACORDO COM A NBR 15961-2 / 2011 (ANEXO D).

Fonte – Acervo do autor.

De acordo com essas especificações é possível comprar os materiais corretos. Porém, mesmo que o fornecedor garanta que o seu produto atenda aos requisitos, é necessário ensaiar todos esses itens em laboratório.

5.2. O CONTROLE TECNOLÓGICO EXECUTADO NA OBRA

Antes de iniciar as coletas para análise, foi necessário construir um local de armazenamento para garantir que as amostras de prova e contraprova ficassem armazenadas e protegidas de forma apropriada. Assim, evita-se que os materiais corram risco de serem danificados e possam comprometer os ensaios, além de facilitar a organização dos prismas, já que devem ser identificados de acordo com o lote colhido e o local da obra onde foi utilizado.

Na obra em questão, o local de armazenamento escolhido foi um galpão, executado em madeira e coberto por telhas de alumínio. O mesmo era mantido trancado e apenas pessoas autorizadas tinham acesso.

Após a preparação do local de armazenamento, foram iniciadas as coletas de acordo com as solicitações do projetista e as normas vigentes. Para cada pavimento de cada torre, eram coletadas as seguintes amostras:

- Blocos estruturais: foram coletados 38 blocos, sendo 12 para ensaio de absorção e 26 para o ensaio de compressão. Em um primeiro momento são enviados 19 blocos para o laboratório para serem ensaiados (prova), enquanto os outros 19 blocos devem ficar armazenados, como contraprova, até que se tenha o resultado da primeira amostra. Em caso de resultados aprovados, essas contraprovas podem ser descartadas, caso contrário, devem ser encaminhadas para o laboratório para serem ensaiadas como contraprovas dos primeiros resultados.
- Graute: para o controle do Graute, devem ser coletadas duas amostras distintas, ou seja, de lotes diferentes, para o ensaio de compressão. Em cada amostra devem ser moldados 4 corpos de prova, onde o primeiro é rompido aos 7 dias, 2 são rompidos após 28 dias (nessa data é quando o graute precisa atingir o resultado solicitado em projeto) e o último, que servirá como uma espécie de contraprova, deve ser rompido após 63 dias.

- Argamassa: O controle da argamassa deve ser feito semelhante ao do graute. Deve ser coletadas duas amostras distintas, ou seja, de lotes diferentes, para o ensaio de compressão. Para cada amostra, devem ser moldados 6 corpos de prova para ruptura, no qual os 3 primeiros são rompidos após 7 dias e os outros 3 após 28 dias. Assim como o graute, o resultado de 28 deve atingir à resistência esperada.
- Prisma oco: A modelagem dos prismas deve ser acompanhada pelo laboratório responsável. Para o assentamento dos prismas oco, necessitamos de 24 blocos e argamassa, que devem ser do mesmo lote dos blocos e argamassa que foram ensaiados para o pavimento. Para os prismas oco, são moldados 12 corpos, que devem ser mantidos imóveis e protegidos durante 21 dias. Após esse período, 6 prismas são enviados para serem rompidos em laboratório, enquanto os outros 6 devem ficar armazenados e protegidos até que saia o resultado da primeira amostra. Em caso de resultados acima do esperado, essas amostras guardadas podem ser descartadas. Caso contrário, devem ser encaminhadas para o laboratório para serem ensaiadas como contraprova dos primeiros resultados.
- Prisma cheio: O controle dos prismas cheios deve ser feito muito semelhante ao do prisma oco, e sua modelagem também deve ser acompanhada pelo laboratório responsável. Primeiro, é necessário assentar os prismas, que somam 24 blocos e argamassa. Assim como nos prismas ocos, estes devem ser do mesmo lote dos blocos e argamassa que foram ensaiados para o pavimento. Depois do assentamento, os prismas devem ser deixados em espera por no mínimo 16 horas. Após esse período, vem a segunda etapa da modelagem, o enchimento com graute, que também deve ser acompanhado por um laboratório responsável para coleta e ensaio. Para os prismas cheios, também são moldados 12 corpos, que devem ser mantidos imóveis e protegidos durante 21 dias. Após esse período, enviamos 6 prismas para serem rompidos em laboratório, são os corpos de prova, enquanto os outros 6 devem ficar armazenados e protegidos até que saia o resultado da primeira amostra. Em caso de resultados acima do esperado, essas contraprovas podem ser descartadas,

caso contrário, devem ser encaminhadas para o laboratório para serem ensaiados como contraprova dos primeiros resultados.

Tabela 4 – Tabela com as quantidades de amostras necessárias por pavimento.

PROGRAMA DE ENSAIOS PARA EDIFÍCIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL (NBR 15961-2)			
Elemento de ensaio	nº de corpos de prova (por pavimento)		
	Total	a ensaiar	contra-prova
Prisma Oco	12	6	6
Prisma Cheio	12	6	6
Argamassa	Seguir diretrizes da NBR 15961-2 / Anexo D		
Graute	Seguir diretrizes da NBR 5739		
Bloco	Seguir diretrizes da NBR 12118		
Observações	O prisma chelo deve ser moldado sobre uma superfície impermeável e o grauteamento realizado após no mínimo 16 hs do assentamento		
	Após a moldagem, os prismas devem ser mantidos imóveis durante pelo menos sete dias		
	Os prismas devem permanecer na temperatura e umidade do assentamento, ao abrigo do sol e vento		
	Sugerimos aguardar 21 dias para o transporte dos prismas até o laboratório de ensaio		
	Todos os ensaios devem ser realizados aos 28 dias		

Fonte – Acervo do autor.

5.3. CASO ANALISADO

Para o estudo de caso, vamos analisar os resultados de um lote que foi reprovado e exigiu uma análise por parte do engenheiro estrutural da obra. Esse caso aconteceu no térreo de uma das torres construída com blocos cerâmicos.

No dia 16/02/2021 foi iniciada a alvenaria de uma das últimas torres do empreendimento. Como procedimento padrão da empresa, foi solicitado ao laboratório que viesse até a obra para a coleta de uma amostra de blocos, de uma amostra de argamassa e também para que pudessem acompanhar o assentamento dos prismas daquele lote. Com isso, as amostras foram encaminhadas para o laboratório e os prismas ficaram armazenados em um local seguro para garantir que não houvesse nenhum choque que pudesse prejudicar a sua estrutura.

Em um primeiro momento, tivemos o resultado da ruptura e de absorção da primeira amostra de blocos.

Tabela 5 – Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de blocos.

Corpo de Prova N°	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Compr. (mm)	Área de Trabalho (mm²)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	\bar{f}_b (MPa)	fb1 (MPa)	
1	6470	190	140	388	54320	25.372	4,67	4,94	3,90	
2	6500	191	139	388	53932	36.647	6,80			
3	6980	190	141	389	54849	21.406	3,90			
4	6470	191	140	387	54180	30.334	5,60			
5	6500	191	141	389	54849	25.192	4,59			
6	6500	190	138	388	53544	24.841	4,64			
7	6470	190	139	389	54071	28.840	5,33			
8	6530	190	140	390	54600	26.680	4,89			
9	6490	190	139	390	54210	22.852	4,22			
10	6470	190	139	388	53932	33.504	6,21			
11	6530	190	140	391	54740	24.783	4,53			
12	6570	192	139	390	54210	24.139	4,45			
13	6480	190	140	390	54600	23.913	4,38			
Número "n" de peças ensaiadas =>					13	Coef. de confiabilidade "Φ" =>		0,99		
Resistência Característica = (fbkest)					$f_{bk,est} = \frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bn} - 1}{n - 1} - f_{bn}$		fbkest = 4,00 (MPa)		f _{bk,est} adotado: 4,00 (MPa)	Φ . fb1 3,86

Fonte – Acervo do autor.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de absorção da primeira amostra de blocos.

Corpo de Prova N°	Altura (mm)	Largura (mm)	Compr. (mm)	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorção (%)
1	190	138	390	6500	7315	12,54
2	188	138	390	6470	7210	11,44
3	188	139	392	6390	7455	16,67
4	189	139	391	6725	7620	13,31
5	189	140	389	6450	7480	15,97
6	190	140	391	6510	7510	15,36
ABSORÇÃO MÉDIA (%)					14,21	

Fonte – Acervo do autor.

Com a divulgação dos primeiros resultados do lote, foi possível analisar e comparar os valores obtidos com os valores solicitados em projeto. Em relação ao ensaio de absorção, a amostra atendeu as expectativas. Entretanto, em relação ao ensaio de compressão, o mínimo exigido pelo projetista para blocos cerâmicos era 6,0

Mpa. Portanto, a amostra foi reprovada, sendo necessário solicitar novamente ao laboratório que comparecesse à obra para a coleta da contraprova, e com esta realizar um novo ensaio.

Tabela 7 – Resultado do ensaio à compressão da amostra de contraprova dos blocos.

Corpo de Prova N°	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Compr. (mm)	Área de Trabalho (mm ²)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	\bar{f}_b (MPa)	f_{b1} (MPa)
1	6490	191	137	389	53293	36.937	6,93	7,08	6,24
2	6550	192	138	389	53682	34.060	6,34		
3	6520	192	138	390	53820	33.599	6,24		
4	6500	190	138	390	53820	38.571	7,17		
5	6490	191	137	388	53156	42.238	7,95		
6	6500	190	137	388	53156	36.634	6,89		
7	6530	193	138	388	53544	40.768	7,61		
8	6740	192	139	389	54071	37.706	6,97		
9	6500	193	139	388	53932	39.896	7,40		
10	6490	189	139	390	54210	36.776	6,78		
11	6470	191	137	388	53156	36.434	6,85		
12	6820	190	140	389	54460	42.847	7,87		
13	6470	191	137	389	53293	37.657	7,07		
Número "n" de peças ensaiadas =>					13	Coef. de confiabilidade "Φ" =>			0,99
Resistência Característica = $\frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bm} - 1}{m - 1}$						$f_{bk,est} =$ 6,32 (MPa)		$f_{bk,est}$ adotado: 6,32 (MPa)	
(f_{bkest})								$\Phi \cdot f_{b1}$ 6,18	

Fonte – Acervo do autor.

Após o ensaio da contraprova, os blocos estruturais do pavimento foram aprovados, tanto no ensaio de compressão quanto no ensaio de absorção.

Passados 3 dias do assentamento dos prismas, o laboratório compareceu novamente à obra para realizar o enchimento dos prismas cheios, a coleta do graute utilizado no enchimento e também a coleta de mais uma amostra de argamassa. Faltava, então, apenas a coleta de mais uma amostra de graute para aquele pavimento, serviço que foi realizado na mesma semana.

Após 28 dias da coleta, os corpos de prova das duas amostras de graute e de argamassa foram rompidos e seus resultados liberados para análise.

Tabela 8 – Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de argamassa

TENSÃO (MPa)					
7	7	7	28	28	28
01/03/21	01/03/21	01/03/21	22/03/21	22/03/21	22/03/21
5,0	5,1	4,9	6,8	7,2	7,1

Fonte – Acervo do autor.

Tabela 9 – Resultado do ensaio à compressão da segunda amostra de argamassa.

TENSÃO (MPa)					
7	7	7	28	28	28
23/02/21	23/02/21	23/02/21	16/03/21	16/03/21	16/03/21
4,3	4,1	4,3	5,6	5,8	5,9

Fonte – Acervo do autor.

Com os dois resultados em mãos, era hora comparar com os valores solicitados em projeto. De acordo com o projeto estrutural da obra, a argamassa deve apresentar uma resistência média de 4,0 Mpa, portanto as duas amostras foram aprovadas no ensaio de 28 dias.

Na sequência, tivemos acesso também aos resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova das duas amostras de graute.

Tabela 10 – Resultado do ensaio à compressão da primeira amostra de graute.

Tensão (MPa)						Slump (mm)
7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	63 dias	63 dias	
25/02/2021	25/02/2021	18/03/2021	18/03/2021	22/04/2021	22/04/2021	
12.2	12.4	15.3	16.0	20.1	19.8	230

Fonte – Acervo do autor.

Tabela 11 – Resultado do ensaio à compressão da segunda amostra de graute.

Tensão (MPa)						Slump (mm)
7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	63 dias	63 dias	
09/02/2021	09/02/2021	02/03/2021	02/03/2021	06/04/2021	06/04/2021	
9.8	9.8	18.1	17.7	20.7	20.6	230

Fonte – Acervo do autor.

Com isso, foi possível comparar os resultados obtidos em laboratório com os resultados solicitados em projeto. De acordo com o projeto estrutural da obra, a resistência característica à compressão do graute, no ensaio de 28 dias, deve ser superior a 15,0 Mpa. Analisando as duas amostras, temos que o graute também foi aprovado nos ensaios.

Com isso, a única reprova dos componentes da alvenaria foi na primeira amostra de blocos, que foi aprovado logo na sequência com o ensaio da contraprova, mostrando também a importância do armazenamento de qualidade dos materiais que vão ser ensaiados, garantindo a fidelidade do ensaio.

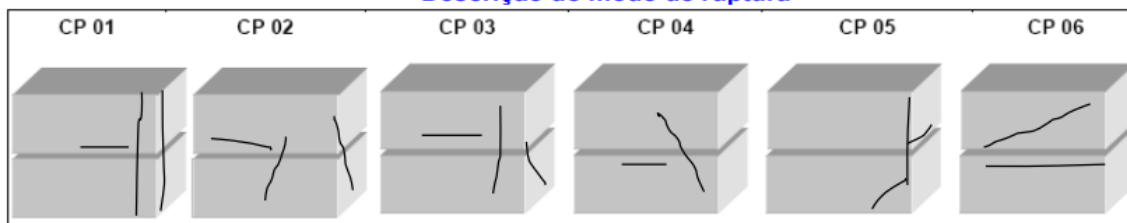
Após 28 dias do assentamento dos prismas, pode-se realizar ensaio dos prismas ocos. Dos 12 prismas ocos assentados no dia 16/02/2021, o laboratório coletou 6 para ensaio, enquanto os outros 6 ficaram armazenados na obra como contraprova.

Tabela 12 – Resultado do ensaio à compressão do prisma oco.

Corpo de Prova Nº	Compr. (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção de Trabalho* (mm ²)	Carga Máxima	Tensão de Ruptura (MPa)			
					N**	Individual	F _p	F _{p1}	
1	387	139	402	53793	94600	1,76	2,69	1,76	
2	388	140	400	54320	152100	2,80			
3	389	140	399	54460	132450	2,43			
4	390	140	399	54600	166440	3,05			
5	390	140	400	54600	188330	3,45			
6	390	142	399	55380	146820	2,65			
Número "n" de peças ensaiadas =>					6	Coef. de confiabilidade "Y6" =>			0,89
Resistência Característica - $f_{bkest} = 2 \cdot \frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bm} - 1}{m - 1} - f_{bm} \text{ (a)}$					1,54	"Y6" . F _{p1} (MPa) =		1,57	
						F _p x 0,85		2,29	
						F _{PK} , adotado:		1,57	

* Utilizado 1Kgf = 9,80665 N

Descrição do modo de ruptura



Fonte – Acervo do autor.

Com o primeiro resultado dos prismas ocós divulgados, analisou-se que foi obtido um valor bem inferior ao solicitado em projeto, pois o mesmo exige uma resistência característica à compressão superior a 3,2 Mpa.

Dessa forma, seguimos de acordo com o procedimento da empresa e também a orientação do engenheiro responsável pela obra. Logo, solicitou-se ao laboratório que realizassem a coleta e a ruptura da contraprova desta amostra, mantida armazenada de forma imóvel e intacta desde o dia do seu assentamento no abrigo de prismas.

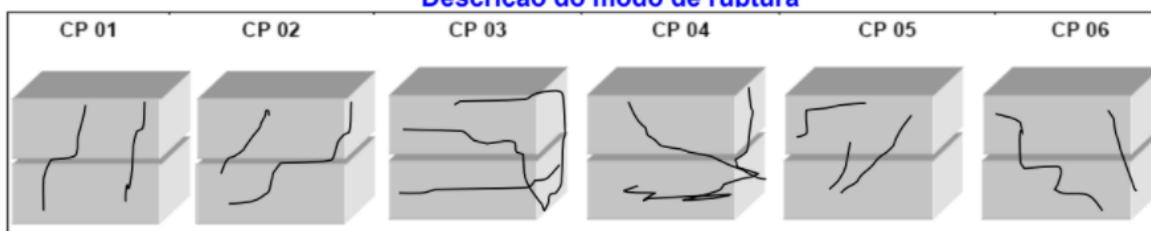
Enquanto aguardou-se o resultado do ensaio à compressão do prisma oco, foi recebido o resultado do ensaio de compressão do prisma cheio.

Tabela 13 – Resultado do ensaio à compressão do prisma cheio.

Corpo de Prova N°	Compr. (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção de Trabalho* (mm²)	Carga Máxima	Tensão de Ruptura (MPa)			
					N**	Individual	F _p	F _{p1}	
1	395	140	393	55300	389260	7,0	7,6	7,0	
2	397	140	394	55580	445260	8,0			
3	396	140	392	55440	414150	7,5			
4	397	142	392	56374	433950	7,7			
5	398	140	393	55720	461260	8,3			
6	398	141	392	56118	401260	7,2			
Número "n" de peças ensaiadas =>					6	Coef. de confiabilidade "Ψ6" =>			0,89
Resistência Característica - f _{b,kest} = $2 \cdot \frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bm} - 1}{m - 1} - f_{bm} \geq a$					6,72	"Y6" - F _{p1} (MPa) =		6,26	
						F _p x 0,85		6,47	
						F _{PK} , adotado:		6,47	

* Utilizado 1KgF = 9,80665 N

Descrição do modo de ruptura



Fonte – Acervo do autor.

De acordo com o projeto, a resistência característica do prisma cheio a compressão deveria ser superior a 5,8 Mpa. Portanto o prisma cheio foi aprovado.

Ao final de aproximadamente 1 mês desde o início dos ensaios, tivemos todos os componentes aprovados em laboratório, com exceção do prisma oco. A equipe de

engenharia estava no aguardo da divulgação por parte do laboratório, que em breve divulgaria o resultado de compressão da contraprova.

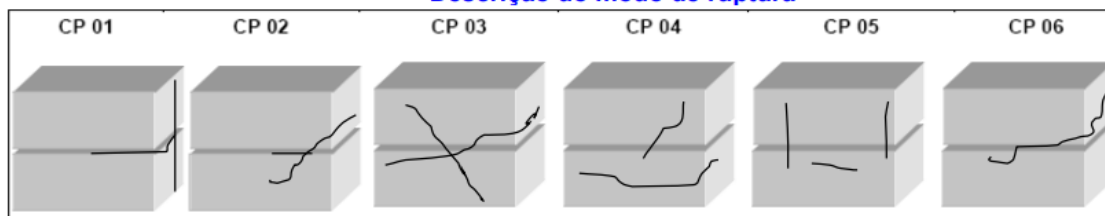
Alguns dias após a coleta, a empresa responsável pelo controle tecnológico divulgou, através do e-mail, o último resultado que faltava para o pavimento em análise.

Tabela 14 – Resultado do ensaio à compressão da contraprova do prisma oco.

Corpo de Prova Nº	Compr. (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção de Trabalho* (mm ²)	Carga Máxima	Tensão de Ruptura (MPa)		
					N**	Individual	F _p	F _{p1}
1	386	139	393	53654	188530	3,51	3,33	3,02
2	387	140	393	54180	180550	3,33		
3	386	139	393	53654	161950	3,02		
4	388	139	394	53932	177160	3,28		
5	388	142	393	55096	179630	3,26		
6	388	141	394	54708	195240	3,57		
Número "n" de peças ensaiadas => 6					Coef. de confiabilidade "Ψ6" => 0,89			
Resistência Característica - $f_{bkest} : \gamma \cdot \frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bm} - 1}{m - 1} - f_{bm}$ MPa)					2,99	"Y6" . F _{p1} (MPa) =	2,69	
						F _p x 0,85	2,83	
						F _{PK} , adotado:	2,83	

* Utilizado 1Kgf = 9,80665 N

Descrição do modo de ruptura



Fonte – Acervo do autor.

Após a ruptura da contraprova do prisma oco, obteve-se um aumento substancial de sua resistência característica à compressão, porém ainda abaixo do valor solicitado em projeto (3,2 Mpa).

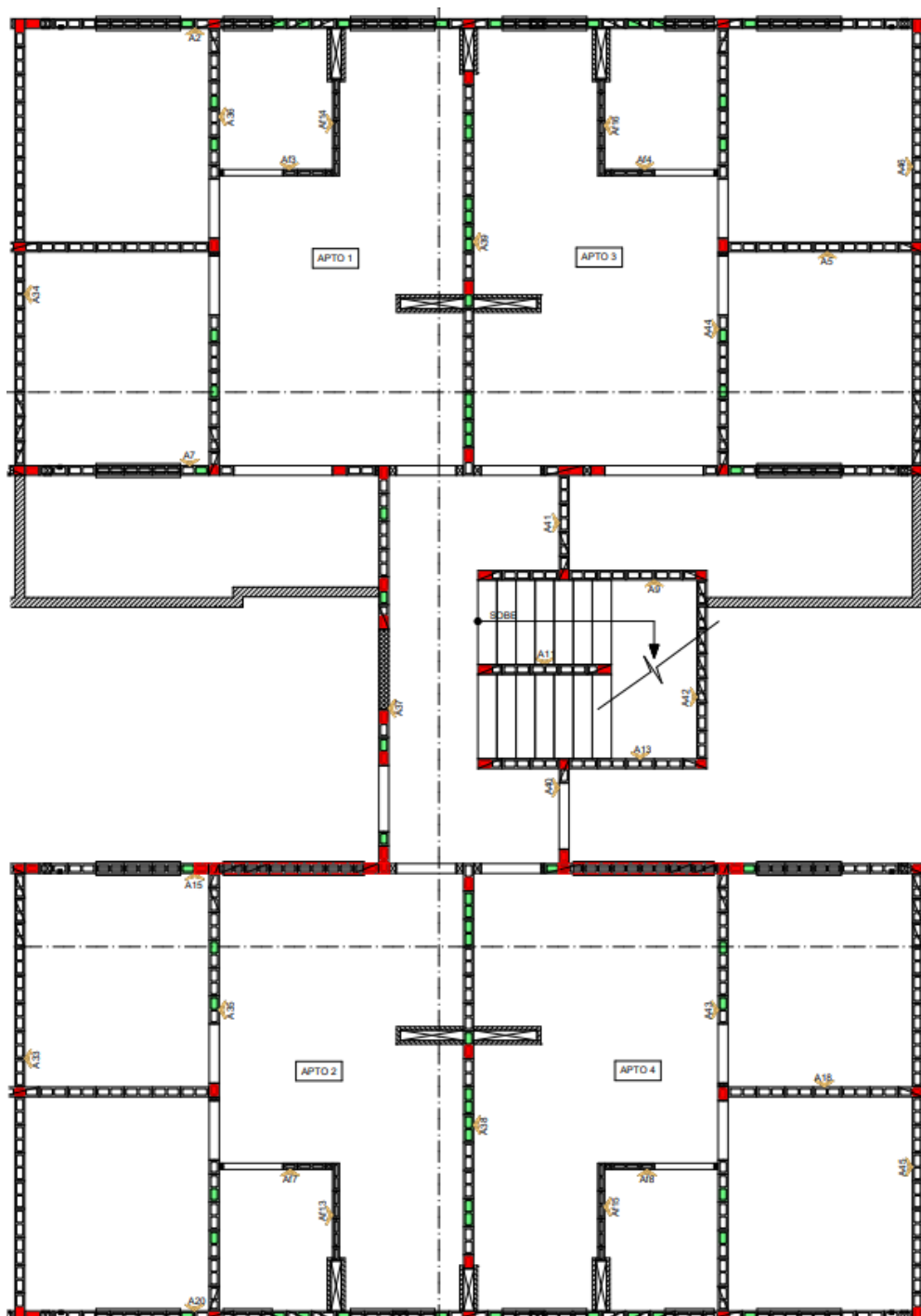
Agora com todos os resultados divulgados, foi possível que o engenheiro responsável da obra definisse uma estratégia de como prosseguir. Decidiu-se solicitar uma análise, por parte engenheiro estrutural contratado, a fim de verificar as possíveis medidas consequentes.

Após a análise do engenheiro especialista, foi constatada a necessidade de realizar um reforço na estrutura do edifício.

5.3.1. Projeto de reforço estrutural solicitado pelo projetista

Após a reprova do ensaio de compressão do prisma oco, foi solicitado que a obra realizasse um reforço em toda a alvenaria do pavimento, de acordo com o novo projeto de reforço estrutural fornecido pelo projetista.

Figura 16 – Projeto estrutural exigido pelo projetista



Fonte – Acervo do autor.

A figura 18 representa o projeto de reforço estrutural necessário no pavimento reprovado. Esse processo ocorre aumentando o número de blocos cheios com graute, a fim de auxiliar na absorção dos esforços da estrutura.

Os pontos verdes representam os novos alvéolos dos blocos a serem preenchidos com graute. Já os vermelhos representam os pontos já existentes na alvenaria. O reforço estrutural exigido representou um aumento de 67 novos pontos de graute por bloco (4 apartamentos + hall), utilizando aproximadamente 2,0 m³ de graute.

É importante ressaltar que os pontos de reforço não contam com armadura, como a maioria dos pontos de graute originais. Contudo, a resistência característica à compressão do graute de reforço é de 25 Mpa, ou seja, superior ao material utilizado normalmente na estrutura.

5.3.2. Execução do reforço estrutural de todo o pavimento

O primeiro passo para início do reforço é a abertura dos furos de inspeção, que são uma espécie de recorte nos blocos da primeira fiada de alvenaria e nos blocos localizados acima das cintas de graute. Esses furos são utilizados para a limpeza da região que receberá o reforço, assim como a conferência de deslocamento do graute por todo o alvéolo de forma uniforme.

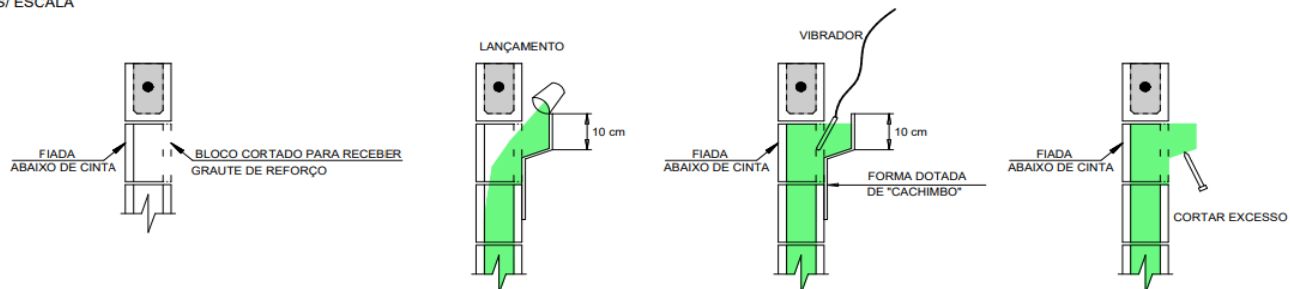
Após o recorte do bloco, é realizada a limpeza da laje no local, removendo todo o material excedente, como restos de argamassa. Em seguida, esses furos são fechados com madeirite para que o graute não vaze.

Em seguida, inicia-se o reforço despejando o graute com fgk superior a 25,0 Mpa, de acordo com o método executivo indicado pelo projetista, representado na figura 19.

Figura 19 – Detalhe executivo do reforço estrutural

DETALHE DA EXECUÇÃO

S/ ESCALA



Fonte – Acervo do Autor.

O graute necessita ser inserido com o auxílio de um cachimbo e deve preencher todo o espaço entre os blocos.

6. CONCLUSÃO

Através desse trabalho, verificamos a importância da alvenaria estrutural nos últimos anos e os benefícios que esse método oferece. Sendo uma de suas principais vantagens a redução do prazo e do custo da obra, tal metodologia tornou-se convidativa para a área da construção, que visa eficiência e rapidez em sua execução.

Porém, essas vantagens podem se transformar em empecilhos, caso não seja executada e acompanhada de forma apropriada. Isto devido à patologias que podem surgir na edificação, causadas por erros de execução ou utilização de materiais que não atendam aos requisitos estabelecidos por norma. Uma das formas de garantir que isto não ocorra é realizando o controle tecnológico dos materiais utilizados na alvenaria estrutural.

No caso acompanhado pelo autor, os resultados do controle verificaram que um dos pavimentos térreos do edifício, que é o mais solicitado da estrutura, não atingiu os valores solicitados em projeto. Com isso, foi necessário que esse pavimento fosse reforçado antes de ser submetido à carga de todo o prédio, o que evitou possíveis patologias na estrutura, garantindo sua segurança e estabilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: **Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

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 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2:2005: **Componente cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15812-1: **Bloco cerâmico - Parte 1: Projetos**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15812-2: **Bloco cerâmico - Parte 2: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro, 2020.

CAMACHO, J. S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Paulista, 2006.

POZZOBON, M.A. **O Processo de Monitoramento e Controle Tecnológico em Obras de Alvenaria Estrutural**. Dissertação (mestrado em construção civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Escola de Engenharia, Santa Maria: 2003. 307 p.

SABBATINI, F. H. **Processos construtivos de edifícios de alvenaria sílico-calcária**. - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984. 298p.

SÁNCHEZ, E. **Nova Normalização Brasileira para a Alvenaria Estrutura**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013. 1 v. 420 p.

MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural**. São Paulo/SP, 2015. 1 ed. 355p.

PARSEKIAN, A. G. **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural**. São Carlos, 2014, Edufscar, 85p.

ROMAN, H. R. MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N.; **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Editora da UFSC, Florianópolis – SC, 1999

CAMPOS, I.M. **O que é Alvenaria Estrutural** < O que é alvenaria estrutural? | Fórum da Construção (forumdaconstrucao.com.br)> Disponível em: Acesso em: 09 Dez. 2021.

OCCHIALINI, LUCA. Viagem e Turismo: conheça muralha da china em um tour 360, 2020. Página inicial. Disponível <Viagem e Turismo (abril.com.br)> em Acesso em: 05 de jan. de 2022.

PEREIRA, M. S. **Controle da resistência do concreto: paradigmas e variabilidade** – Estudo de caso. 2008. Dissertação de mestrado – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília/DF: [s.n.], 2008.

FRASSON JÚNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo construtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Florianópolis, 2000. 146p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

RODRIGUES, JÚLIO CÉSAR. **ALVENARIA ESTRUTURAL E SISTEMA CONSTRUTIVO**. 2018. 68 f. - Curso de Engenharia Civil, Faex Faculdade de Ciências Aplicadas de Extrema, Extrema, 2018. Cap. 22.

THOMAZ, ERCIO. **Alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto: cuidados na execução e controles**. 2014. 66 f. – palestra apresentada no ConcreteShow, - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2014. Cap. 11.

TAUIL, C.A., NESE, F.J.M. **Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2010. 1 v. 183 p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e informações. Déficit habitacional no Brasil: 2016 – 2019. Belo Horizonte. FJP,2021. 140p. Relatório.

CANDIDA, SIMONE. Globo. Demolição de prédios que abrigariam moradores do Bumba já começou, 2010. Disponível em:< <https://oglobo.globo.com/rio/demolicao-de-predios-que-abrigariam-moradores-do-bumba-ja-comecou-7929474>>. Acesso em 10 Dez. 2021.

WEIGMANN, DANIEL. Homify: 15 belos modelos de projetos com estrutura em balanço, 2020. Página inicial. Disponível em <<https://www.homify.com.br/>> Acesso em: 05 de jan. de 2022.

CONSTRUINDODECOR. Construindodecor: graute, 2020. Página inicial. Disponível em < Construindo - Tudo sobre construção (construindodecor.com.br)> Acesso em: 11/01/2022.

MENEGUZZI, CLARISSA. Ufgrs: concreto: corpos de prova, 2012. Página inicial. Disponível em < Inicial — UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul> Acesso em: 10 de jan. de 2022.

OFICINA DE TEXTOS. Oficina de textos: unidades que compõem a alvenaria, 2019. Página inicial. Disponível em < <https://www.ofitexto.com.br/>> Acesso em: 10/01/2022.

CONTENCO. Contenco: prensas hidráulicas manuais. Página inicial. Disponível <<https://contenco.com.br>> Acesso em: 18 de jan. de 2022.