



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Orlando Matheus de Lima Almeida

**FUROS EM BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS ESTRUTURAIS: UMA
ABORDAGEM EXPERIMENTAL ESTÁTICA E DINÂMICA**

João Pessoa
2019

Orlando Matheus de Lima Almeida

**FUROS EM BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS ESTRUTURAIS: UMA
ABORDAGEM EXPERIMENTAL ESTÁTICA E DINÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso Engenharia
Civil, Departamento de Engenharia Civil e
Ambiental, da Universidade Federal da Paraíba,
como parte dos requisitos necessários à conclusão
do curso de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes

João Pessoa

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A447f Almeida, Orlando Matheus de Lima.
FUROS EM BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS ESTRUTURAIIS: UMA
ABORDAGEM EXPERIMENTAL ESTÁTICA E DINÂMICA / Orlando
Matheus de Lima Almeida. - João Pessoa, 2019.
49 f.

Orientação: Hidelbrando José Farkat Diógenes.
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. Resposta Acústica, Alvenaria Estrutural, Aberturas.
I. Diógenes, Hidelbrando José Farkat. II. Título.

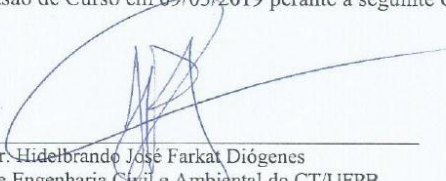
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

ORLANDO MATHEUS DE LIMA ALMEIDA

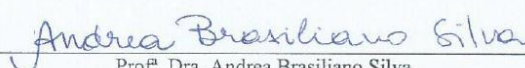
**FUROS EM BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS ESTRUTURAIS: UMA ABORDAGEM
EXPERIMENTAL ESTÁTICA E DINÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



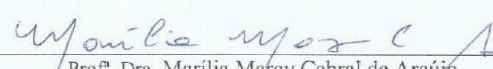
Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



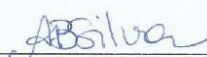
Prof. Dra. Andrea Brasiliano Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Prof. Dra. Marília Marcy Cabral de Araújo
Unidade Acadêmica De Engenharia Civil/UFCG

Aprovado



Prof. Dra. Andrea Brasiliano Silva
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

À DEUS e Nossa Senhora Aparecida por todas as bênçãos e milagres em minha vida e na de minha família. Absolutamente nada seria possível sem vossa presença.

À toda minha família, especialmente meu pai, minha mãe e meu irmão. Meu pai, pelas diversas orientações e por muitas vezes ser o contraponto e a voz de disciplina que sem saber eu precisava. Minha mãe, pelo apoio incondicional e por me dar todas as condições diárias e necessárias à toda e qualquer atividade. E meu irmão, que sempre esteve comigo, me ajudando no que pode, e com quem dividi tantas ansiedades e problemáticas, meu companheiro fiel. Amo vocês.

À minha namorada Bruna, que tanto me apoia nos estudos, que tenho como exemplo pela dedicação acadêmica, e que me faz tão bem que os caminhos, por mais difíceis que sejam, se tornam leves, prazerosos, e quero percorrê-los todos de mãos dadas com você. Te amo.

Às tantas amizades que fiz nesses anos, que sempre estiveram comigo para rirmos dos problemas diários. Em especial a meus amigos Marcelo Jr. e Talles Kennedy que sem dúvidas levo para a vida. Sempre presentes, menos Marcelo, nas horas tristes e nas horas de diversão. Brincadeiras à parte, vocês são como irmãos para mim.

Aos professores que me proporcionaram tantos aprendizados ao longo desta caminhada. Especialmente, aos professores Joel, Andrea e Hidelbrando. Ao professor Joel da UFRN por ter sido determinante para minha escolha quanto à da área de estruturas. A professora Andrea pela paciência e pelo carinho, por ter me ajudado não só no aprendizado de praticamente um ano em estudos extraclasse, mas também por ter me feito sentir honrado pela indicação a um projeto com o professor Hidelbrando. A este, agradeço de maneira especial pelas orientações e ensinamentos que contribuíram de maneira substancial para que ideias se tornassem trabalho e que o trabalho se tornasse o objeto idealizado no início, ao incentivo permanente e à sua colaboração para meu crescimento como profissional.

À CERÂMICA SALEMA, por fornecer todo o suporte necessário em termos de material, doando os blocos utilizados nos experimentos bem como pela atenção durante o processo.

ALMEIDA, Orlando M. L. **Furos em Blocos Cerâmicos para Fins Estruturais: Uma Abordagem Experimental Estática e Dinâmica.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2019.

RESUMO

A alvenaria estrutural no mercado da construção possui elevada relevância, dado seu elevado emprego decorrente da competitividade do sistema em pequenas e médias construções. O bloco cerâmico para alvenaria estrutural possui papel fundamental no sistema, sendo responsável direto pela segurança estrutural, devendo, portanto, ter sua integridade preservada. Contudo, é usual a execução de furos nas paredes estruturais com finalidades diversas, podendo em casos extremos comprometer a segurança estrutural. Este trabalho, então, analisa os efeitos de perfurações nas propriedades estáticas e dinâmicas de blocos cerâmicos para alvenaria estrutural, por meio dos ensaios de compressão axial bem como da técnica de excitação por impulso (IET). Foram avaliadas as alterações na resistência à compressão e nas frequências naturais dos blocos cerâmicos, observando não apenas as modificações que de fato ocorreram, mas também o seu nível de sua influência nas características do bloco.

Palavras-chave: Resposta Acústica, Edifícios de Alvenaria, Aberturas.

ALMEIDA, Orlando M. L. **Ceramic Block Holes for Structural Purposes: A Static and Dynamic Experimental Approach.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2019.

ABSTRACT

Structural masonry in the construction market is highly relevant given its high employment due to the competitiveness of the system in small and medium constructions. The ceramic block for structural masonry has a fundamental role in the system, being directly responsible for structural safety, and, therefore, must have its integrity preserved. However, it is usual to drill holes in structural walls for various purposes, and in extreme cases may compromise structural safety. This work, then, analyzes the effects of perforations on the static and dynamic properties of ceramic blocks for structural masonry, through the axial compression tests as well as the impulse excitation technique (IET). The changes in the compressive strength and the natural frequencies of the ceramic blocks were evaluated, observing the modifications that actually occurred and the level of their influence on the characteristics of the block.

Key words: *Acoustic Response, Masonry, Openings.*

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
1.1.Contexto e Motivação	11
1.2.Justificativa	12
1.3.Metodologia Geral do Trabalho	12
1.4.Estrutura do TCC	12
2.OBJETIVOS DO ESTUDO	13
3.REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	16
4.1.Metodologia do Programa Experimental	16
4.2.Ensaio de Caracterização	21
4.3.Técnica de Excitação por Impulso (IET)	28
4.4.Ensaio de Compressão.....	33
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1.Caracterização Geométrica	36
5.2.Caracterização Física.....	37
5.3.Caracterização Dinâmica.....	37
5.4.Caracterização Mecânica.....	43
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.1.Sugestões para Trabalhos Futuros.....	47
7. REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto e Motivação

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é um dos mais utilizados no Brasil, haja vista sua grande capacidade competitiva em relação a aspectos econômicos bem como de tempo de construção, principalmente em relação a construções de pequeno e médio porte. O sistema referido de construção caracteriza-se pela união de blocos rígidos por um ligante, em sua grande maioria e pode ser compreendido pela argamassa. Assim, observa-se que os blocos possuem uma enorme importância frente ao sistema estrutural, inclusive, no que se refere à própria capacidade resistiva do mesmo. De modo que o desempenho dos blocos de alvenaria estrutural está intimamente associado ao bom funcionamento do sistema como descrito por Juste (2001):

A resistência das unidades é o principal fator condicionante da resistência da alvenaria. Porém, cabe ressaltar que o aumento de resistência dos blocos não resulta em incrementos proporcionais de 17 resistência de alvenaria. Dessa forma, o fator de eficiência da alvenaria, ou seja, a razão entre a resistência da alvenaria e a resistência dos blocos, diminui com o acréscimo da resistência da unidade.

Junto da necessidade de se ter uma moradia, um lar, que se busque pelo máximo conforto e identificação em seus diversos ambientes, é fator que se reveste de importância, a customização. Nesse contexto a alvenaria estrutural apresenta certa dificuldade às adaptações pós-ocupação. Justamente em função de suas paredes serem elemento fundamental de sua estrutura.

Atualmente projetistas têm a preocupação em dar margem para alterações no projeto arquitetônico. Contudo, o sistema ainda é pouco flexível e observa-se que os moradores fazem diversas alterações nas paredes, muitas vezes nem mesmo têm conhecimento acerca do sistema estrutural utilizado em suas residências. Modificações essas que vão desde perfurações à demolição de paredes.

Nesse contexto, este trabalho dedica-se a estudar a influência das perfurações por brocas de pequeno diâmetro sobre a resistência à compressão em blocos cerâmicos para fins estruturais.

1.2. Justificativa

O estudo aborda um aspecto cotidiano que muitas vezes passa despercebido, uma prática habitual e que ainda demanda estudos. Se trata, assim, de um estudo mais aprofundado sobre as perfurações usuais (fixação de quadros, armários e etc.) em blocos cerâmicos de alvenaria estrutural.

1.3. Metodologia Geral do Trabalho

Blocos cerâmicos considerados conformes foram ensaiados para que, do ponto de vista geométrico e físico, estes fossem comprovadamente conformes. Após esses ensaios foram avaliados os efeitos de perfurações nos mesmos. Os experimentos para avaliação de propriedades estáticas e dinâmicas foram divididos em duas frentes: ensaio de compressão axial e técnica de excitação por impulso (IET). Dessa forma foram comparados os dados de blocos íntegros e perfurados em cada caracterização (dinâmica e estática).

1.4. Estrutura do TCC

Para além do já descrito, este trabalho é composto, nesta ordem, pelos objetivos do estudo, um breve referencial teórico para melhor entendimento do tema, seguido do programa experimental, resultados e discussões acerca dos ensaios e, por fim, considerações finais.

2. OBJETIVOS DO ESTUDO

O presente trabalho possui como objetivo geral a avaliação dos efeitos da perfuração em blocos cerâmicos para fins estruturais, bem como sua caracterização por meio de ensaios não destrutivos e destrutivos.

Do ponto de vista específico pretende-se:

- Avaliar a eficácia da IET em peças vazadas danificadas, comparando espectros padrão de blocos cerâmicos vazados para alvenaria estrutural intactos e perfurados;
- Realizar a caracterização da resistência à compressão dos blocos cerâmicos com resistências à compressão de 5 MPa da família M-15 via ensaio tradicional, compressão estática, com e sem perfurações;
- Analisar os efeitos da perfuração dos blocos cerâmicos sobre sua resistência à compressão e suas propriedades dinâmicas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Houve um significativo aumento no uso da alvenaria estrutural no Brasil nas últimas três décadas. E seu emprego, para além do uso em construções populares, é alternativa para o déficit habitacional (SANTOS *et al.*, 2007)

Os blocos cerâmicos possuem vantagem em relação aos demais por apresentarem propriedades físicas, isolamento térmico e acústico, em geral, de boa qualidade. Ainda, é um material de fácil de manuseio e armazenagem (ROMAN, 1999).

Contudo, variações em características dos blocos estruturais e da argamassa são os principais fatores que influenciam na resistência da alvenaria estrutural (PINHEIRO, 2009).

A resistência do bloco de alvenaria estrutural, por sua vez, pode sofrer variações em razão de características dos mesmos como sua geometria, absorção de água, resistência à compressão e à tração (PINHEIRO, 2009).

Ainda, no que se refere à resistência de paredes em alvenaria estrutural, cabe ressaltar que a contribuição do bloco é significativamente superior em relação à da argamassa na resistência da alvenaria, de modo que o aumento na resistência de paredes em alvenaria estrutural é pouco sensível quando por meio do aumento na resistência das juntas de argamassa. (FREITAS, 2008).

O fator de eficiência da alvenaria estrutural é dado pela relação da resistência do prisma e da resistência da unidade. Para blocos cerâmicos esse índice varia de 10% a 70% (ROMAN *et al.*, 2007).

Nesse contexto, conhecer as propriedades mecânicas de materiais isolados, bem como sua interação no sistema de interesse, torna possível a melhor compreensão e a maximização da capacidade resistente do sistema (MOHAMAD, LOURENÇO e ROMAN, 2008).

Para obtenção de dados de características dos blocos cerâmicos, os ensaios não destrutivos podem ser utilizados para estimar o grau de deterioração, a qualidade e as propriedades mecânicas de uma estrutura. (SOARES, 2013).

Assim, tratando-se das propriedades dos elementos estruturais, a análise dinâmica é cada vez mais relevante para o cálculo de estruturas em virtude, dentre outros fatores, do aumento de projetos cujas alturas obrigam análises dinâmicas em virtude dos efeitos dessa natureza gerados em razão do vento (DIÓGENES, 2010).

Ainda nesse contexto, a técnica de excitação por impulso pode ser uma alternativa

uma vez que a mesma se encaixa como um método de ensaio não destrutivo. Essa, consiste em excitar o corpo de prova com um impulso mecânico e calcular os módulos de elasticidade e o amortecimento a partir das frequências mais relevantes obtidas por resposta acústica (DIÓGENES *et al.*, 2011).

De acordo com Pereira *et al.* (2012) IET pode ser descrita como sendo:

A Técnica de Excitação por Impulso pode ser entendida como o ato de excitar, através de um leve e breve impacto mecânico, o modo de ressonância flexional e/ou torcional fundamental de uma amostra em 33 formato de barra ou prisma, e em calcular os módulos elásticos dinâmicos empregando as equações de Pickett a partir das frequências encontradas na resposta acústica, das dimensões e da massa da amostra. Através do valor da frequência natural do sistema, pode-se encontrar o módulo estático de deformação do material e estimar o valor do módulo dinâmico, para posterior determinação do módulo de elasticidade e a resistência à compressão de concreto.

Ainda, por precaução indica-se que rasgos verticais ou horizontais não devem ser admitidos em paredes em sistemas de alvenaria estrutural de maneira alguma (PARSEKIAN & FURLAN JUNIOR, 2003). Assim, esta recomendação pode se adequar para furos nas paredes estruturais. Aqui, portanto, serão observadas condições dinâmicas e estáticas dos blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1. Metodologia do Programa Experimental

A campanha experimental deste estudo foi realizada de modo a aliar dados da caracterização dos blocos pelo método tradicional – ABNT - NBR 15270:2005 – a informações de frequências naturais dos blocos, obtidas experimentalmente por meio do programa Sonelastic[®] associado a um captador acústico (microfone).

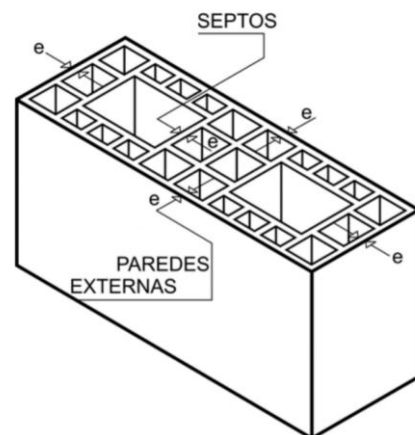
O trabalho teve, portanto, duas frentes de ensaios: aqueles de caracterização dos blocos cerâmicos tendo em vista a ABNT-NBR 15270:2005 bem como os ensaios pela técnica de excitação por impulso (IET) realizada com o auxílio do Sonelastic[®]. Ressalta-se que cada uma dessas frentes teve como finalidade a aquisição de dados dos blocos íntegros e perfurados de modo que fosse possível a comparação dos resultados obtidos.

Assim, foram utilizados 12 blocos cerâmicos para fins estruturais de 14 cm x 19 cm x 29 cm doados pela CERÂMICA SALEMA. Cabe notar que o total de 03 (três) blocos foram utilizados como amostras controle (contraprova) e os 09 (nove) demais foram divididos em grupos com diferentes perfurações a serem estudadas.

Para efeito de organização e clareza do trabalho, os blocos cerâmicos em estudo foram numerados da seguinte maneira (Figura 4.1a) : para os blocos que serão efetivamente estudados quanto às alterações de comportamentos dinâmicos e estáticos, uma vez que serão perfurados, utilizou-se a nomenclatura compreendida pelos termos de E01 a E09 (bloco experimental 01 a bloco experimental 09); já para os 3 blocos utilizados para controle do experimento utilizou-se C01 a C03 (bloco para controle 01 a bloco para controle 03). Ainda, a Figura 4.1b indica a geometria e destaca os termos normativos para as paredes que compõem os blocos cerâmicos:



(a)



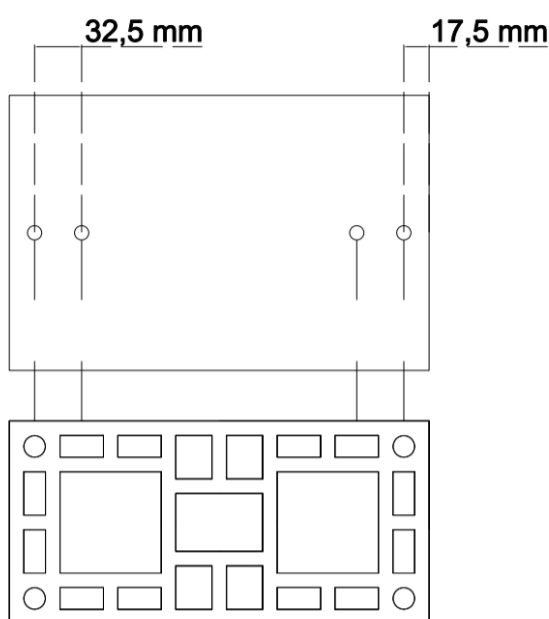
(b)

Figura 4.1 – (a) Identificação dos blocos; (b) Característica dos blocos (Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005).

Com a devida divisão dos blocos como na Figura 4.1a, deu-se início aos ensaios de caracterização dos blocos. Assim, foram realizados inicialmente as caracterizações geométricas e físicas. Em seguida, os blocos ainda íntegros foram ensaiados pela IET e após a obtenção das frequências naturais dos blocos cerâmicos deram-se início às perfurações. Desse modo, foram realizadas perfurações de três maneiras distintas, cada uma representando uma diferente situação usual, de modo a simular furos realizados usualmente para a instalação de redes e armários.

Aqui, cabe esclarecer que a norma utiliza terminologias como “furos prismáticos verticais”, “vazamentos” ou apenas “furos” para os furos verticais nos blocos. É necessário, portanto, ressaltar que não se deve confundir os furos prismáticos verticais com as perfurações horizontais a serem realizadas nos blocos. É possível, então, prosseguir para as configurações de perfurações adotadas.

Assim, a primeira geometria (Tipo 01) que compreende os Blocos E01, E02 e E03, foi realizada com 4 furos de 10 mm de diâmetro cada e está apresentada na Figura 4.2. A distribuição dos furos aqui se dá de modo que há 2 pares de perfurações espelhados no bloco. Sendo assim, o furo mais externo se dá no primeiro vazamento do bloco a partir de sua parede externa e o segundo furo ocorre no centro do segundo vazamento vertical tomando como base a mesma referência.

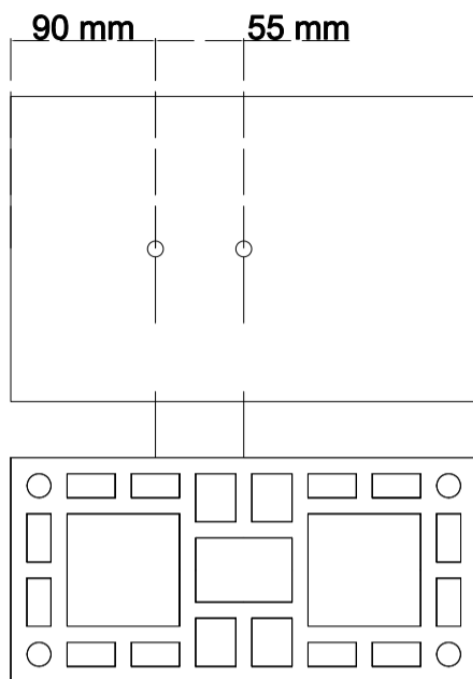


(a)

(b)

Figura 4.2 – Perfuração de Tipo 01: (a) Representação gráfica; (b) Fotografia. (Autor).

A segunda geometria (Tipo 02), Figura 4.3, compreende os Blocos E04, E05 e E06. Esta foi realizada com 2 furos de 10 mm de diâmetro cada. Ainda, a distribuição das perfurações se dá por 1 furo atravessando o septo central do bloco e outro perfurando o segundo vazamento vizinho ao mesmo.



(a)



(b)

Figura 4.3 – Perfuração de Tipo 02: (a) Representação gráfica; (b) Fotografia. (Autor).

A terceira geometria (Tipo 03), Figura 4.4, por sua vez, corresponde aos Blocos E07, E08 e E09. A mesma possui 2 furos de 10 mm de diâmetro cada, cuja distribuição das perfurações ocorre com cada furo atravessando o vazamento vizinho ao septo central do bloco cerâmico.

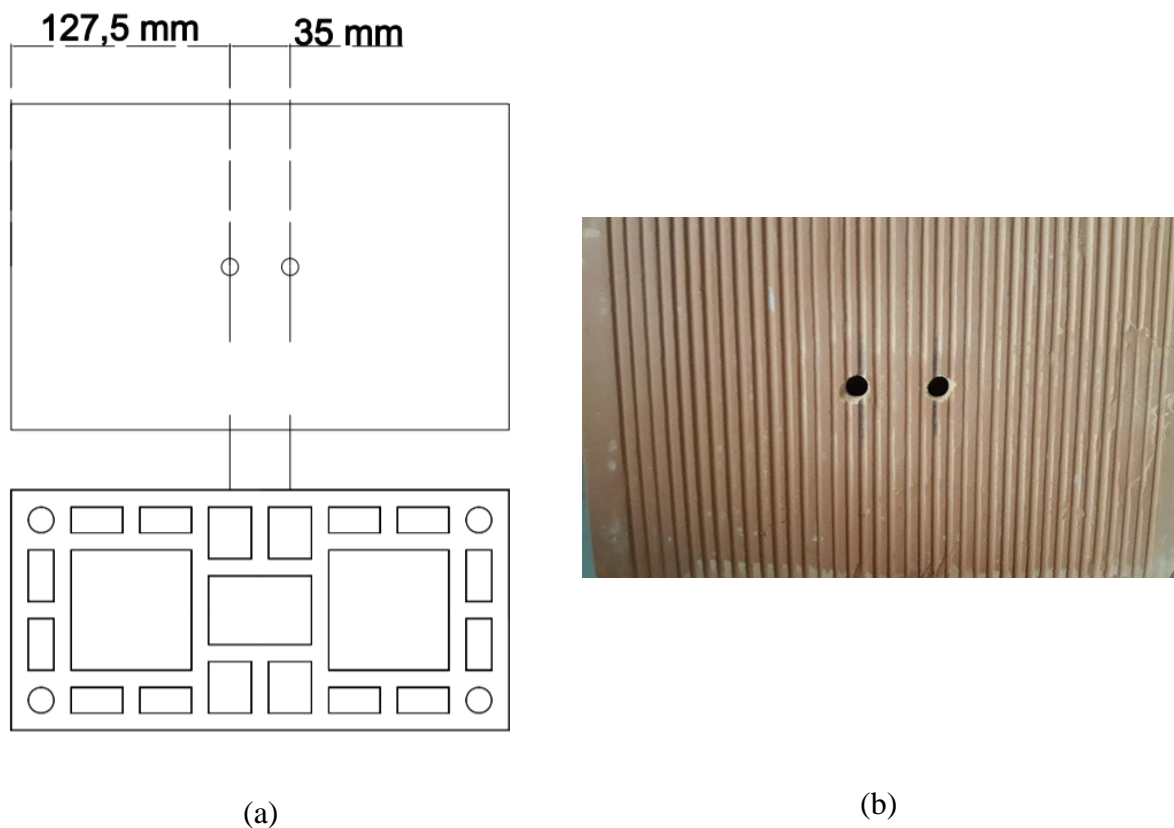


Figura 4.4 – Perfuração de Tipo 03: (a) Representação gráfica; (b) Fotografia. (Autor).

Desse modo, realizados os furos nos blocos cerâmicos para cada tipo de configuração, foi possível executar o processo de aquisição das frequências naturais novamente, agora com os blocos perfurados. Para tornar mais clara a divisão dos blocos é possível observar sua distribuição na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Divisão dos Blocos Cerâmicos.

Divisão dos Blocos		
Tipo 01	E01	Blocos ensaiados por IET antes e depois das perfurações (Perfurados).
	E02	
	E03	
Tipo 02	E04	
	E05	
	E06	
Tipo 03	E07	
	E08	
	E09	
Controle	C01	Blocos ensaiados por IET apenas uma vez (Não Perfurados).
	C02	
	C03	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

De posse de todos os valores de frequência para os 9 (nove) blocos considerados experimentais antes e depois das perfurações, mais os dos 3 (três) blocos de Controle, foi realizado o devido tratamento dos dados.

Em relação aos ensaios à compressão axial, foram realizados ao todo 12 (doze) ensaios, um com cada bloco. Ainda, os dados obtidos a partir dos ensaios com os blocos perfurados (E01 a E09) foram comparados àqueles aquisitivos para o grupo de controle (C01 a C03); sendo estes do mesmo lote de blocos cerâmicos cujas propriedades dinâmicas, geométricas e físicas estiveram dentro do padrão observado nos blocos perfurados. Assim, tornou-se possível a obtenção e análise dos resultados com maior grau de confiabilidade.

De maneira geral, o procedimento adotado pode ser observado na Figura 4.5:

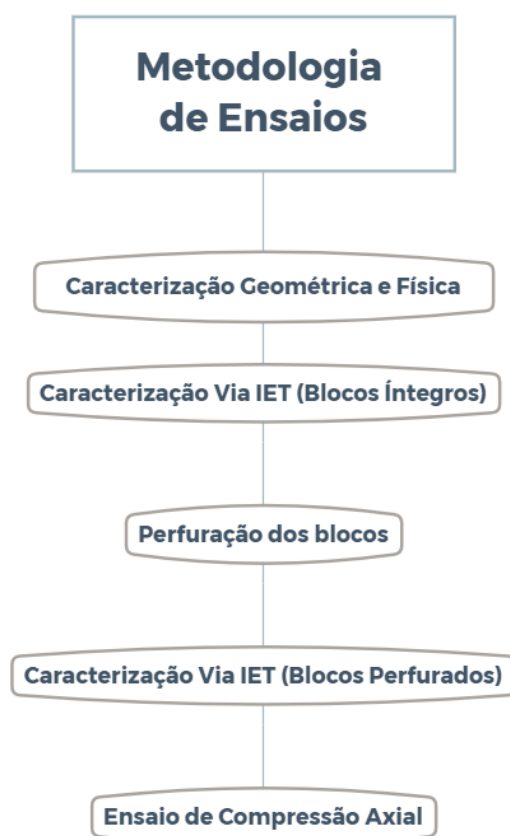


Figura 4.5 – Fluxograma da Metodologia de Ensaios.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2. Ensaio de Caracterização

De acordo com a ABNT NBR 15270:2005 são diversos os ensaios a serem realizados para a avaliação de conformidade dos blocos cerâmicos em alvenaria estrutural. Desse modo, foi utilizada uma amostra dos blocos entregues e nesta foram aplicados os ensaios exigidos explicitados. Ainda, foram considerados aqui os ensaios dinâmicos realizados através da técnica de excitação por impulso (IET). Os ensaios foram, portanto, divididos da seguinte forma:

CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA

- Valores das dimensões das faces – dimensões efetivas;
- Espessura dos septos e paredes externas do bloco;
- Desvio em relação ao esquadro;
- Planeza das faces.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

- Índice de absorção d`água.

CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA

- Técnica de excitação por impulso (IET) via Sonelastic[®].

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

- Resistência à compressão dos blocos estruturais.

Assim, os procedimentos foram adotados com as medições dos blocos e seus valores de acordo com o estabelecido por norma. Neste capítulo estão contemplados os ensaios referentes aos dois primeiros tipos de caracterização, os dois últimos serão tratados mais especificamente *à posteriori*.

Para os ensaios físicos e geométricos foram adotados três blocos como amostra dos blocos recebidos. O grupo foi aleatoriamente escolhido entre os 12 blocos de mesma fornada

e não possuíam nenhuma diferença aparente para os demais. Assim, os blocos para estes ensaios foram E02, E05 e C03.

Na caracterização geométrica foram realizadas as medições das dimensões efetivas: comprimento (C), largura (L), altura (H), espessura dos septos e paredes externas bem como os ensaios de desvio em relação ao esquadro (D) e planeza das faces (F). As medições das dimensões geométricas são de extrema importância para a caracterização dos blocos quanto à sua conformidade e, portanto, deve ser realizada de maneira eficaz. Vale mencionar que as medidas geométricas são fundamentais para o prosseguimento do trabalho, não só por aferirem a conformidade geométrica dos blocos, como também em razão da direta relação que esses parâmetros têm com outros fatores na caracterização dos blocos, por exemplo a Área Bruta Média (A_{bm}) da seção transversal dos blocos que ainda será utilizada para determinação da resistência à compressão individual (f_b) dos mesmos.

Nesse contexto, as dimensões utilizadas para os blocos de alvenaria estrutural devem ser especificadas, de modo a tornar o trabalho o mais eficaz e padronizado quanto possível. Dessa forma, a ABNT NBR 15270:2005 estabelece na Tabela 4.2 os valores de dimensões para blocos cerâmicos:

Tabela 4.2 – Dimensões de Fabricação de Blocos Cerâmicos Estruturais.

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação cm					
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M		39	19	31,5	51,5	
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59

Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.
Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Cabe, ainda, ressaltar que a especificação dos blocos cerâmicos neste estudo é dada como bloco principal $(3/2)M \times (2)M \times (3)M$, ou seja, as dimensões $L \times H \times C$ adotadas para os blocos cerâmicos no estudo foram de 14 cm x 19 cm x 29 cm.

Desse modo, para a obtenção dos valores das dimensões das faces dos blocos cerâmicos segundo a ABNT NBR 15270:2005, estes devem ser colocados sobre uma superfície plana e indeformável e os respectivos valores de largura (L), altura (H) e comprimento (C) devem ser obtidos fazendo-se as medições nos pontos indicados a seguir.

A medida da largura (L) do bloco deve ser realizada na altura média ($H/2$) do mesmo, como indicado na Figura 4.6:

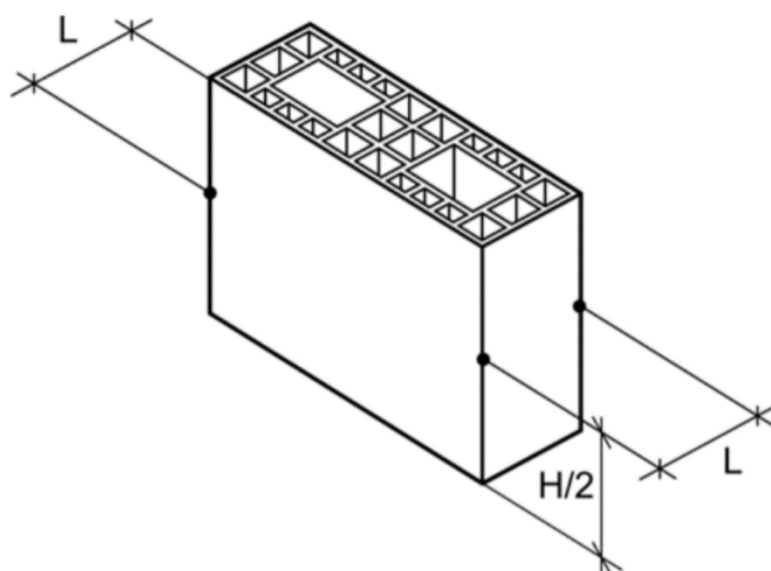


Figura 4.6 – Medição da Largura (L) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Ainda, a medida da altura (H), seguindo o mesmo princípio da medida anterior deve ser realizada a partir do ponto médio do comprimento do mesmo ($C/2$) como exposto na Figura 4.7.

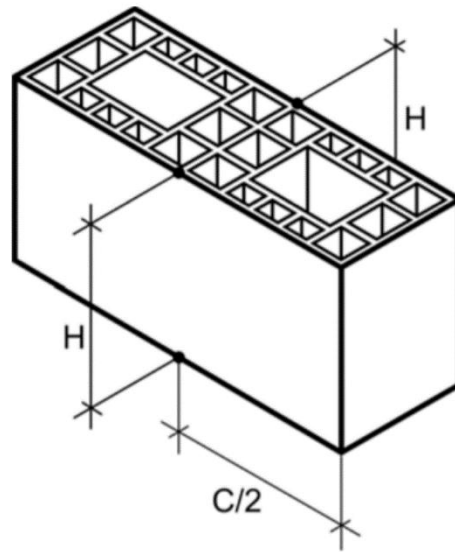


Figura 4.7 – Medição da Altura (H) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Por fim, seguindo a mesma lógica das medidas aferidas anteriormente, o comprimento (C) é obtido a partir da largura média (L/2) do bloco como exposto na Figura 4.8:

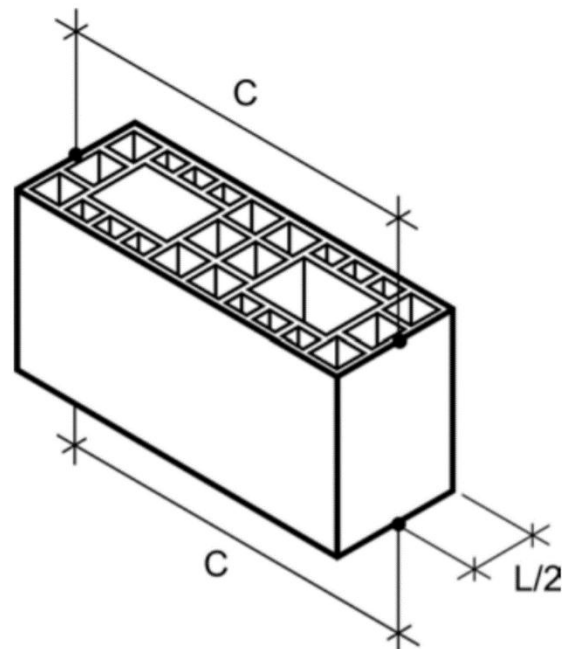


Figura 4.8 – Medição do Comprimento (C) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Com os valores de L, e C de cada bloco é possível calcular o valor de área bruta média

(A_{bm}) para utilizar nos cálculos dado por:

$$A_{bm} = L_m \times C_m \quad (1)$$

Ainda, as dimensões dos blocos de alvenaria estrutural são de valor determinado por norma, assim, não podem possuir uma diferença muito grande em relação às dimensões propostas. Desse modo, seu desvio máximo estipulado para blocos individuais é de 5 mm já para a média de uma amostra o desvio não pode ser superior a 3mm.

Com as medidas das dimensões das faces deram-se início às medições da Espessura (e) dos septos e paredes externas dos blocos cerâmicos. Para tanto, segundo a ABNT NBR 15270:2005 as medições das espessuras dos septos devem ser obtidas na região central destes e nos pontos indicados na Figura 4.9, utilizando no mínimo quatro medições e , e, ainda, buscando os septos de menor espessura.

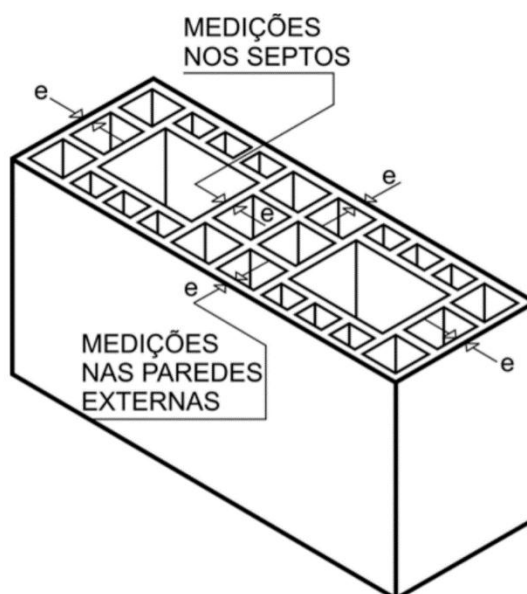


Figura 4.9 – Medição da Espessura (E) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

É exigido pela ABNT NBR 15812:2017 que as medidas dos septos e das paredes externas não sejam menores que 7 mm e 8 mm respectivamente.

Para a aquisição de todas as dimensões geométricas exigidas por norma para os blocos cerâmicos estruturais, faltam, ainda, as medições do desvio em relação ao esquadro (D) e da planeza das faces (F). Assim, segundo a ABNT NBR 15270:2005, deve-se medir o desvio em

relação ao esquadro entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, conforme a Figura 4.10:

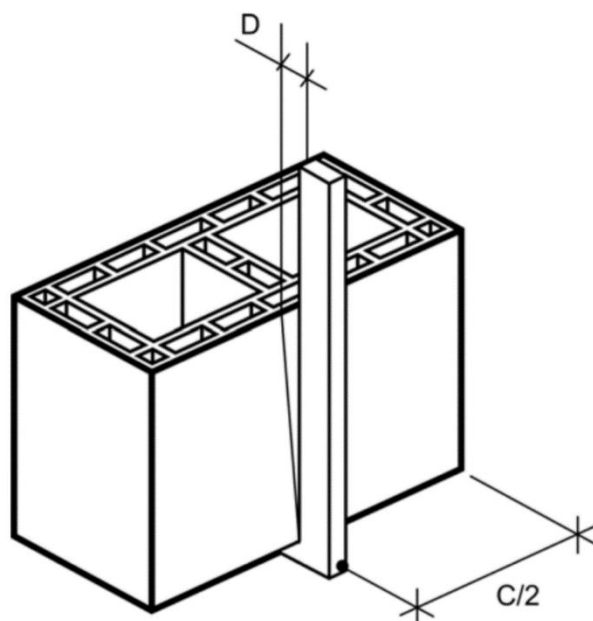


Figura 4.10 – Medição do Desvio em Relação ao Esquadro (D) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Ainda, para a determinação da Planeza das Faces (F) a ABNT NBR 15270:2005 estabelece que sua determinação se dá através da flecha formada na diagonal, conforme a Figura 4.11.

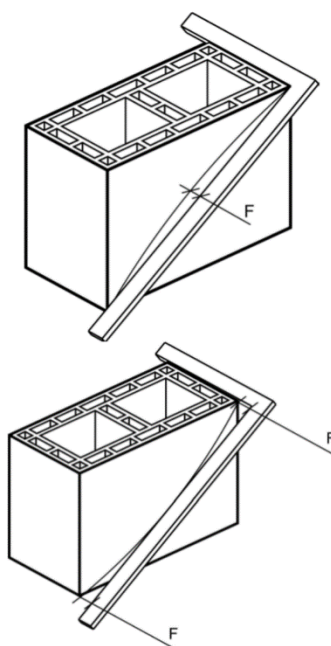


Figura 4.11 – Medição da Planeza das Faces (F) do Bloco Cerâmico Estrutural.

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

Por fim, para ilustrar as medições realizadas, tem-se o aferimento das espessuras dos septos e paredes externas dos blocos. Para a realização dessa medição é exigida pela ABNT NBR 15270:2005 a utilização de equipamentos de alta precisão. Assim, é possível observar na Figura 4.12 a utilização de paquímetro para a medição das espessuras dos septos bem como das paredes externas.

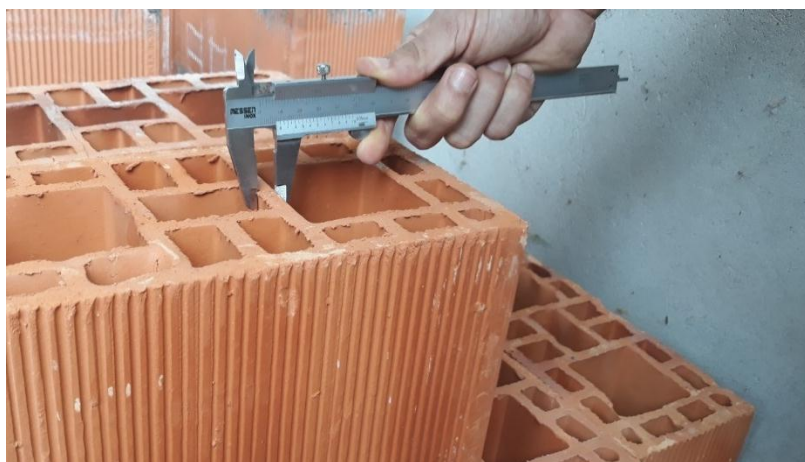


Figura 4.12 – Medição da Espessura dos Septos com Paquímetro.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Com os ensaios de caracterização geométrica realizados deram-se início aos ensaios físicos. Assim, o único ensaio físico exigido por norma é o índice de absorção d'água (AA). Para este ensaio a ABNT NBR 15270:2005 recomenda que os blocos sejam colocados em estufa com temperatura ajustável a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e os pesos dos blocos sejam medidos em intervalos de 1 h, até que duas pesagens consecutivas de cada um deles difiram em no máximo 0,25%. Desse modo, após o aquecimento dos blocos cerâmicos em estufa para promover a vaporização da água, foram realizadas as medidas necessárias para a determinação da massa seca (m_s) dos blocos. Para tanto, os blocos foram pesados assim que retirados da estufa e seu peso aferido.

Em seguida, realizada a verificação da massa seca (m_s), foi dado início ao processo de umedecimento dos blocos para a determinação da massa úmida (m_u) do mesmo. Desse modo, deixou-se os blocos à temperatura ambiente por alguns minutos (até que sua temperatura estivesse em equilíbrio com a temperatura ambiente) os mesmos foram, então, colocados em água à temperatura ambiente por 24 horas.

Logo após o período de tempo determinado os blocos foram retirados do tanque e com pano umedecido retirou-se os excessos de água superficial ainda nos mesmos para que apenas

a massa de água absorvida fosse mensurada. Assim, após estes procedimentos, foi realizada a aferição de seu peso úmido como exigido pela ABNT NBR 15270:2005, ilustrado na Figura 4.13:



Figura 4.13 – Ensaio Para Obtenção do Índice de Absorção D' Água.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Assim, a ABNT NBR 15270:2005 define o índice de absorção d' água (AA) como sendo a diferença de massa úmida e seca sobre a massa úmida, como disposto em:

$$AA \% = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Após os ensaios de caracterização de propriedades físicas e geométricas dar-se-ia início às caracterizações mecânicas nos blocos cerâmicos, caso fosse adotado o procedimento padrão estabelecido pela ABNT NBR 15270:2005. Aqui, contudo, foram realizadas, previamente as caracterizações dinâmicas por IET.

4.3. Técnica de Excitação por Impulso (IET)

Desse modo, deu-se início à aquisição das frequências naturais dos blocos utilizando a técnica de excitação por impulso (IET) com o auxílio do programa computacional Sonelastic[®] os ensaios foram realizados em ambiente controlado e pode-se observar o ensaio longitudinal na Figura 4.14:

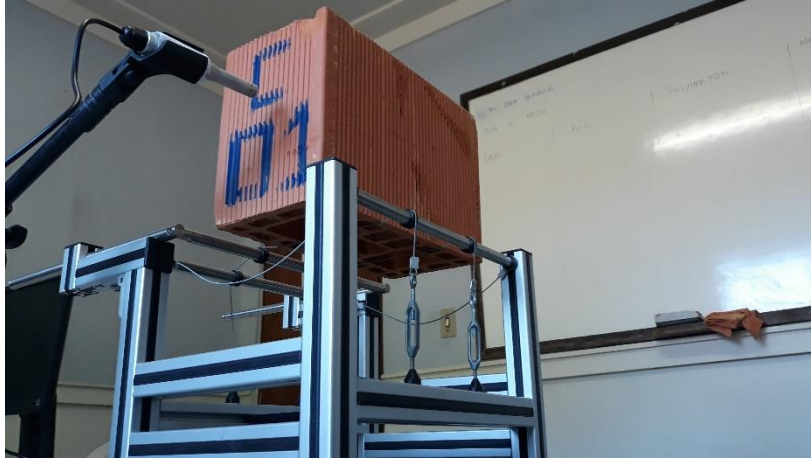


Figura 4.14 – Ensaio Utilizando a Técnica de Excitação por Impulso (IET) Via Sonelastic®.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Após o ensaio ter sido realizado e os dados computados. Foi dado início ao processo de perfuração dos blocos. Para tanto, tentou-se simular as perfurações usuais para redes e suportes, bem como seu procedimento, de modo que os furos foram realizados por furadeira simples, com broca de 10mm. A perfuração, ainda, numa tentativa de aproximar o experimento à realidade, se deu com a furadeira na função “Martetele” que é o mais usual para a execução de furos em paredes.

Com os blocos perfurados em mãos, então, as novas propriedades dinâmicas - em frequências características – foram adquiridas, mais uma vez utilizando a técnica de excitação por impulso (IET) via Sonelastic®. Desse modo, será possível comparar os dados dos blocos íntegros àqueles já perfurados. Os espectros obtidos pela IET podem ser observados na Figura 4.15:

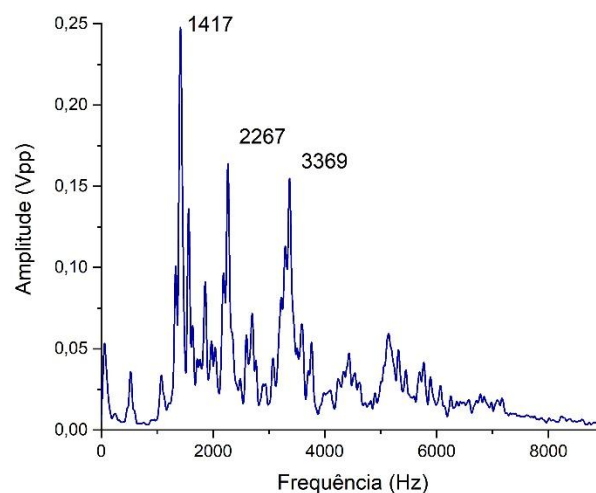


Figura 4.15 – Exemplo de Gráfico Amplitude x Frequência.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Assim, explorando um pouco mais os procedimentos adotados para a computação dos dados obtidos pelos ensaios dinâmicos realizados no Sonelastic[®]. Programa que possui como princípio de funcionamento a captação e tratamento do audio emitido por um objeto a partir de uma excitação aplicada ao mesmo, e cujos dados de saída variam desde módulos de elasticidade até espectros de frequência como no caso deste estudo. Ainda, é necessário observar que para cada bloco em estudo foram realizados três ensaios para captação longitudinal e mais três para a aquisição transversal das frequências características do bloco. Conforme as Figuras 4.16 e 4.17 representando os modos de aquisição longitudinal e transversal, respectivamente:

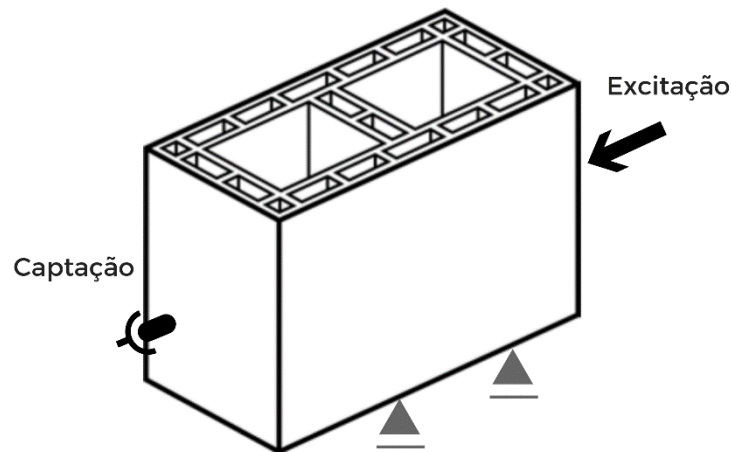


Figura 4.16 – Modo de Aquisição Longitudinal do Sonelastic[®].

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

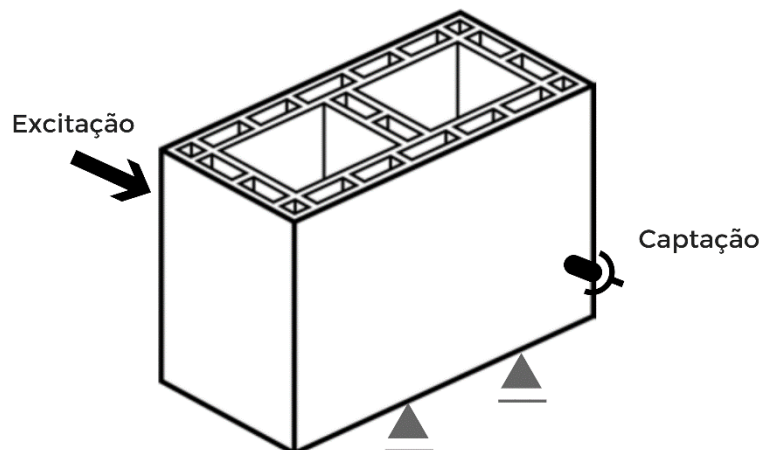


Figura 4.17 – Modo de Aquisição Transversal no Sonelastic[®].

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Desse modo, foram realizados 6 ensaios para cada um dos 12 blocos íntegros e mais 6

para cada um dos 9 blocos perfurados, os quais totalizam 126. É possível, portanto, realizar uma divisão dos blocos cerâmicos separando-os em grupos que permitam a avaliação dos dados obtidos. Para tanto, foram avaliados, nos ensaios dinâmicos e quanto às possíveis alterações em suas frequências características, apenas os 9 blocos separados para o experimento – os blocos para controle passaram por um processo de avaliação dos espectros apenas com viés de confirmação de suas propriedades estarem nos moldes dos demais blocos. Assim, podemos descrever, para a avaliação das alterações em propriedades de natureza dinâmica, os grupos a seguir:

- Blocos Íntegros:
 - Modo Longitudinal;
 - Modo Transversal.

- Blocos Perfurados:
 - Modo Longitudinal;
 - Modo Transversal.

Desse modo, cada um dos 9 blocos cerâmicos possui, ao todo, 12 funções Frequência x Amplitude, 6 para a direção longitudinal – 3 para os blocos íntegros mais 3 para aqueles perfurados - e outras 6 para a direção transversal – novamente 3 para os blocos cerâmicos íntegros e 3 para os perfurados. Todos os dados obtidos nos ensaios referidos (até mesmo àqueles relacionados aos blocos de controle) foram exportados para um programa computacional gráfico onde os resultados dos ensaios puderam ser representados em espectros referentes às funções de Frequência x Amplitude.

Para a avaliação das propriedades dinâmicas, contudo, é necessário que esses dados sejam compilados, de modo a tornar mais clara e objetiva a análise dos resultados. Assim, os três ensaios para cada tipo de bloco foram agrupados e realizou-se a média dos espectros, ou seja, das funções de cada ensaio. Dessa maneira, foram reduzidos a um terço dos dados iniciais para análise.

Ainda, os 9 (nove) blocos cerâmicos foram divididos em conjuntos de 3 em virtude da geometria das perfurações realizadas nos mesmos (Tipo 01, Tipo 02 e Tipo 03), assim, os 3 blocos de cada grupo tiveram seus dados compilados para formar os espectros padrão de cada tipo de bloco perfurado – lembrando que esses procedimentos foram realizados separadamente para os modelos longitudinais e transversais. Assim, temos 6 (seis) espectros padrão resultantes da compilação dos blocos perfurados, 1 (um) longitudinal e 1(um)

transversal para cada um dos 3 (três) tipos. Ainda, os 9 (nove) blocos íntegros passaram pelo mesmo procedimento, para que para cada Tipo de perfuração sejam comparados os espectros antes e após a execução dos furos. Em resumo, dos 108 ensaios realizados pela técnica de excitação por impulso (IET) via Sonelastic[®], nos 9 blocos, restaram 8 para análise, destes:

- Blocos Cerâmicos Íntegros Tipo 01 a 03 (Modo Longitudinal e Transversal);
- Blocos Cerâmicos Perfurados Tipo 01 (Modo Longitudinal e Transversal);
- Blocos Cerâmicos Perfurados Tipo 02 (Modo Longitudinal e Transversal);
- Blocos Cerâmicos Perfurados Tipo 03 (Modo Longitudinal e Transversal).

É possível, ainda, observar a compilação dos dados de maneira mais clara na Figura 4.18, onde para o ramo Tipo 01 – Longitudinal foram explicitados todos os ensaios realizados:

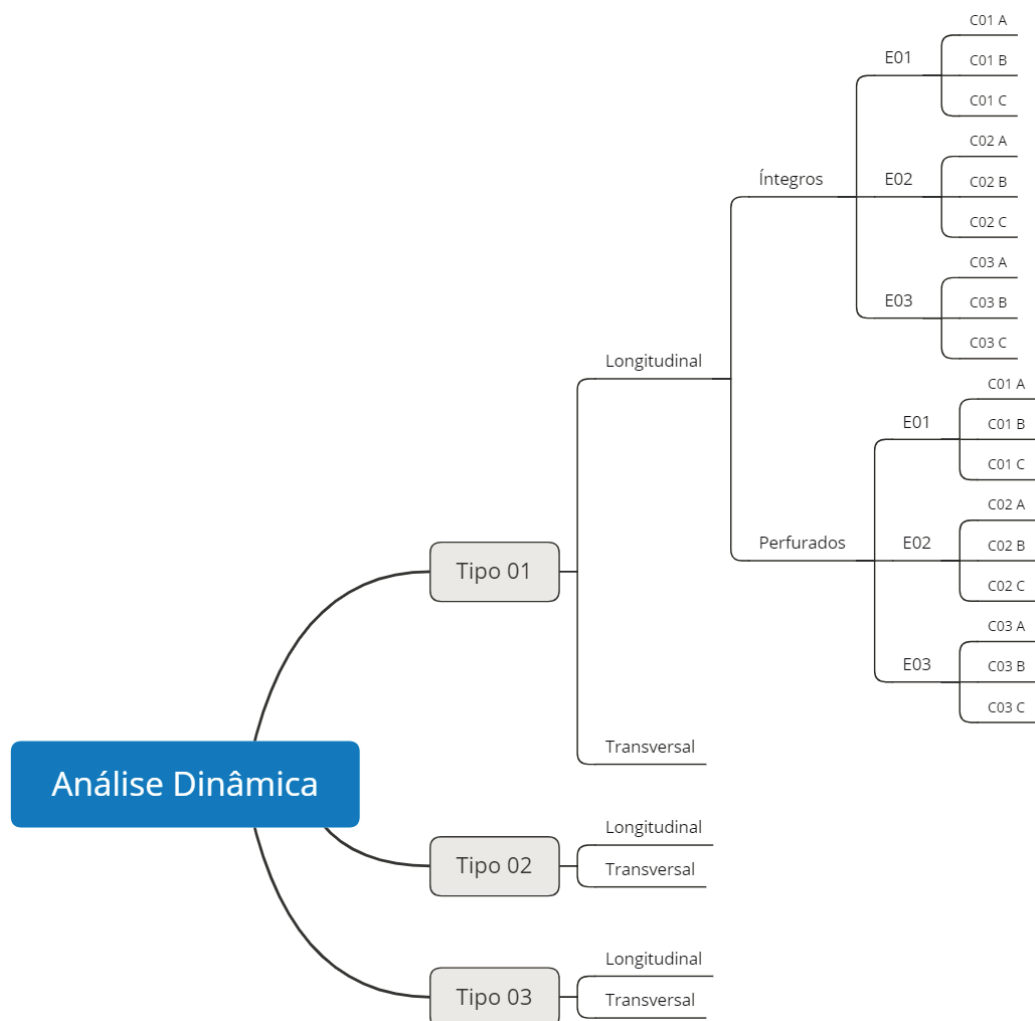


Figura 4.18– Fluxograma de compilação de dados por IET.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Vale ressaltar que nos demais ramos os dados foram ocultados para melhor visualização, contudo são análogos. Dessa forma, é possível a observação dos gráficos junto à sua análise comparativa. Isso, uma vez que, com um menor número de dados para análise, é viável a avaliação do comportamento do objeto de estudo. Ainda, alguns aspectos nos dados obtidos devem ser compreendidos para que se prossiga a análise. Primeiro, as funções obtidas devem ser comparadas entre os blocos antes e depois das perfurações. Assim, no presente estudo, foram comparados os dados dos blocos cerâmicos de cada Tipo, antes e após sua perfuração. Ademais, foram analisadas as médias obtidas pelo grupo de Controle de modo a verificar se seu comportamento é, de fato, similar às médias dos demais blocos íntegros antes das perfurações apenas como viés de confirmação. Vale lembrar que cada procedimento descrito acima foi realizado separadamente para os modelos de medição longitudinal bem como transversal.

4.4. Ensaios de Compressão

Com todos os ensaios pelo IET em mãos foi possível prosseguir para os ensaios estáticos. Para estes ensaios foi adotado o seguinte procedimento. Inicialmente foi realizado o capeamento dos blocos para que os mesmos estivessem nivelados à prensa e de modo que as cargas máximas aplicadas correspondessem àquelas que os blocos de fato resistem. Assim, ambas as faces de contato do bloco com a máquina foram capeadas utilizando uma camada de argamassa simples. Vale destacar que a resistência da argamassa utilizada não possui relevância para o ensaio, uma vez que seu propósito é tão somente nivelar os blocos. Assim, foi usado Cimento Portland CP II para a argamassa dos blocos capeados observados na Figura 4.19:



Figura 4.19– Capeamento dos Blocos Cerâmicos para os Ensaios Estáticos.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Com os blocos capeados, os mesmos foram levados à prensa para o ensaio à compressão axial. No ensaio os blocos foram colocados cuidadosamente na prensa, de forma a garantir que a carga aplicada e o centro de massa do bloco cerâmico estivessem concêntricos. Desse modo, o ensaio se deu uniforme e eficiente para os 12 blocos. Todos os ensaios foram realizados no mesmo dia e de maneira contínua, assim, variáveis como a diferença de umidade, por exemplo, não influenciaram nos ensaios.

Após a aplicação da carga máxima suportada pelo bloco, a prensa fornece o valor de carga total aplicada, esse valor, contudo, não corresponde ao valor de ruptura do bloco, uma vez que é necessário que se desconsiderem o peso da parte superior da prensa e o peso do bloco - valores que a própria prensa fornece (correspondente a 1,188 toneladas).

Ademais, é possível observar que os valores fornecidos pela prensa são massas e não forças, de modo que para se obter as tensões exercidas nos blocos é necessário, além de dividir as cargas máximas resistidas pela área bruta, multiplicar as massas pela gravidade, assim:

$$f_b = \frac{M_b}{A_{bm}} \times g \quad (3)$$

Onde,

f_b é a tensão máxima resistida pelo bloco;

M_b é a carga máxima resistida pelo bloco em unidade de massa;

A_{bm} é a área média da seção transversal dos blocos;

g é a aceleração gravitacional.

Desse modo, todas as resistências à compressão individual (f_b) foram encontradas utilizando as cargas máximas suportadas por cada bloco bem como médias das áreas brutas, o valor será importante para a determinação da resistência à compressão característica (f_{bk}).

A cerca do f_{bk} a ABNT NBR 15812:2017 dispõe que seu valor será dado em função da resistência estimada da amostra:

$$f_{bk,est} = 2 * \left(\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right) - f_{bi} \quad (4)$$

Onde:

$f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, em megapascal;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ são os valores de resistência à compressão individual dos blocos, ordenados crescentemente;

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n - 1)/2$, se n for ímpar;

n é a quantidade de blocos da amostra.

Agora para o cálculo da resistência característica dos blocos (f_{bk}) a ABNT NBR 15812:2017 dispõe:

a) se o valor do $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ (resistência média à compressão dos blocos), adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote (f_{bk});

b) se o valor do $f_{bk,est} < \emptyset \times f_{b(1)}$ (menor valor da resistência à compressão de todos os blocos cerâmicos), adota-se a resistência característica à compressão (f_{bk}) determinada pela expressão $\emptyset \times f_{b(1)}$, estando os valores de \emptyset indicados na Tabela 4.15.

c) caso o valor calculado de $f_{bk,est}$ esteja entre os limites mencionados acima ($\emptyset \times f_{b(1)}$ e f_{bm}), adota-se este valor como a resistência característica à compressão (f_{bk}).

Tabela 4.3 – 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
NOTA	Recomenda-se adotar $n \geq 13$.											

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15270-3, 2005.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ensaios e procedimentos adotados obtiveram-se os resultados para cada caracterização. Estes são os elementos básicos para a elaboração dos dados finais que serão avaliados. Assim, é possível fazer juízo de valor acerca do estudo em questão.

Desse modo, esta sessão subdividir-se-á de acordo com os ensaios em questão, propiciando, assim, um olhar individualizado e mais específico para cada um dos parâmetros em discussão. Posteriormente, a análise se dará em torno dos ensaios de maneira geral também. É importante atentar para o fato de o estudo proposto avaliar os efeitos das perfurações horizontais nos blocos cerâmicos, portanto, os conjuntos de blocos Tipo 01, Tipo 02 e Tipo 03 terão suas propriedades comparadas àquelas dos blocos de Controle. Contudo, tal análise somente se dará a partir dos ensaios estáticos e dinâmicos, uma vez que os anteriores a estes foram realizados antes das perfurações.

5.1. Caracterização Geométrica

Na caracterização geométrica, como visto anteriormente, serão computados os valores correspondentes a medidas de dimensões dos blocos cerâmicos. Ainda, como já citado novamente, para os ensaios geométricos e físicos foi adotada uma metodologia de ensaio por amostra de blocos, assim sendo, foram escolhidos aleatoriamente 3 dos 12 blocos cerâmicos 25%, portanto, do espaço amostral foi ensaiado nesses termos. Desse modo, foram realizados todos os procedimentos descritos e é possível acompanhar seus resultados na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 – Caracterização Geométrica de Blocos Cerâmicos da Amostra.

Dimensões	Média (mm)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Conformidade
L	141,17	0,85	0,60%	OK (+ - 3 mm)
H	191,83	0,24	0,12%	
C	290,17	0,62	0,21%	
Septos	8,38	0,66	7,88%	OK ($e_s > 7$ mm)
Paredes	9,76	0,60	6,16%	OK ($e_p > 8$ mm)
D	1,67	0,47	28,28%	OK (D > 3 mm)
F	1,67	0,62	37,42%	OK (F > 3 mm)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

5.2. Caracterização Física

Quanto à caracterização de propriedades físicas dos blocos cerâmicos a ABNT NBR 15812:2017 faz necessário apenas o ensaio do Índice de absorção d'água (AA). Sendo assim, os resultados obtidos para este ensaio podem ser observados. Na tabela 5.2:

Tabela 5.2 – Índice de absorção d'água (AA). dos Blocos Cerâmicos da Amostra.

Blocos	m_s (g)	m_u (g)	AA	Conformidade
E 02	5930	6690	12,82%	OK (8% < Média < 22%)
E 05	6060	6740	11,22%	
C 03	5880	6640	12,93%	
Média	5957	6690	12,32%	
Desvio Padrão			0,0078	
Coefficiente de Variação			6,32%	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

$$AA \% = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Portanto, a porcentagem está de acordo com os requisitos normativos e os blocos estão em consonância com a ABNT NBR 15812:2017 no que diz respeito aos ensaios físicos obrigatórios para blocos cerâmicos estruturais.

5.3. Caracterização Dinâmica

Para a avaliação do caráter dinâmico, como visto anteriormente, foi realizada a comparação dos espectros longitudinais e transversais de cada Tipo de perfuração executada com seus espectros anteriores às perfurações. Desse modo foi possível visualizar os efeitos que os furos horizontais introduzidos nos blocos cerâmicos promoveram em suas frequências ressonantes.

Portanto, serão analisados os resultados com um olhar mais específico, inicialmente, para cada tipo geométrico de perfuração realizando uma comparação dentro do mesmo conjunto com os blocos antes e após a execução dos furos nas direções longitudinal e transversal.

Assim, para os blocos do Tipo 01 é possível observar, na direção longitudinal os seguintes espectros representados na Figura 5.1:

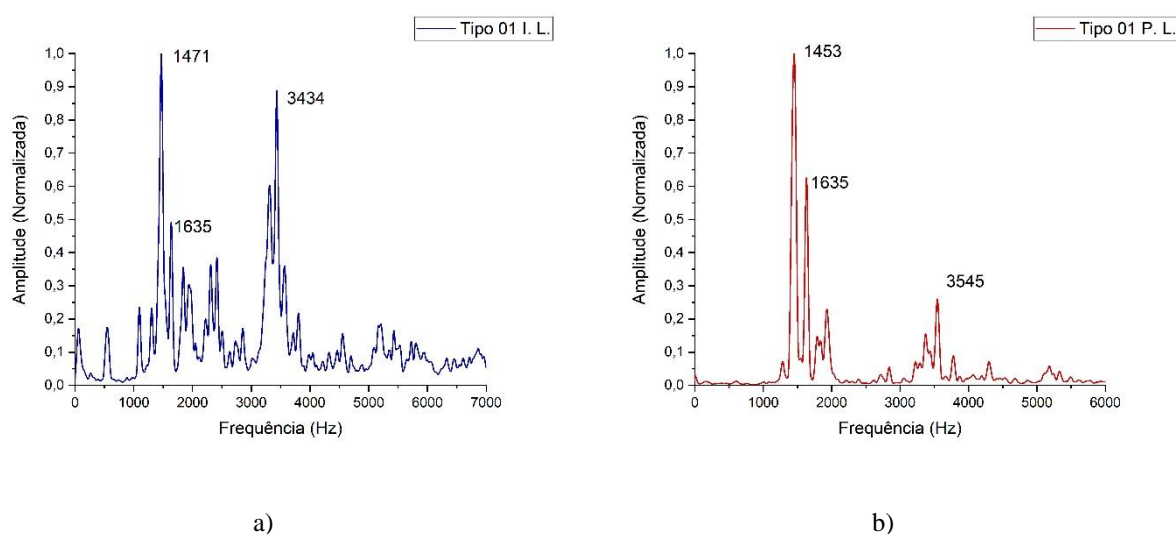


Figura 5.1 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 01 Longitudinal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Observando os espectros longitudinais antes e após a perfuração dos blocos de Tipo 01 é possível notar que as frequências de maior amplitude tiveram uma defasagem muito pequena de 18 Hz no primeiro pico, o segundo pico de maior relevância se manteve constante e, por fim a houve uma diferença mais considerável de 111 Hz no terceiro pico, mas que mesmo assim representa 3,13% de seu valor total. Dessa forma, os dados sugerem que as perfurações realizadas nos blocos de Tipo 01 não afetaram seus espectros dinâmicos longitudinais de maneira substancial.

Assim, após analisar os gráficos de Frequência x Amplitude dos blocos cerâmicos de Tipo 01 em relação aos ensaios longitudinais se faz necessária também sua análise no que se refere aos ensaios transversais para os blocos cerâmicos de tipo 01.

Desse modo, foram observados os gráficos relacionados aos ensaios transversais antes e após as perfurações dos blocos cerâmicos de Tipo 01; então, obtiveram-se os espectros correspondentes aos ensaios apresentados na Figura 5.2:

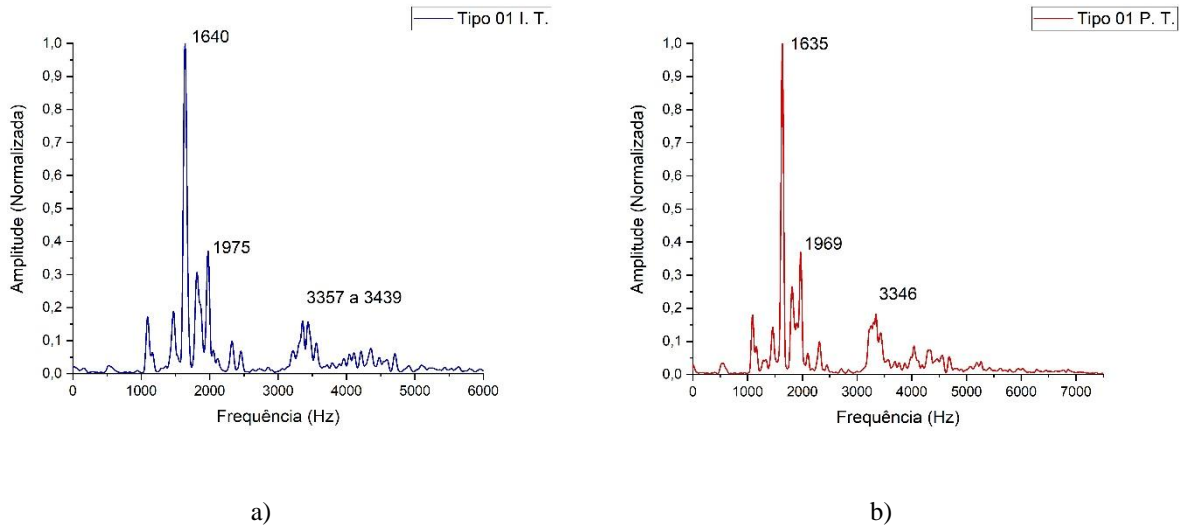


Figura 5.2 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 01 Transversal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Novamente foi possível observar uma proximidade muito grande nos valores de picos dos espectros, em especial nos dois primeiros picos, o terceiro pico aqui, mais uma vez sofreu uma defasagem, desta vez de 93 Hz o que representa menos de 3% do valor da frequência.

Portanto, para os blocos com perfurações do Tipo 01 podemos observar que os espectros de Amplitude x Frequência são muito próximos, com uma pequena defasagem de cerca de 3% na terceira frequência de interesse.

Com a análise dos blocos cerâmicos do Tipo 01 executada, foi realizada a análise dos espectros para o próximo grupo. É possível observar os espectros correspondentes à direção longitudinal dos blocos de Tipo 02 antes e pós perfuração na Figura 5.3:

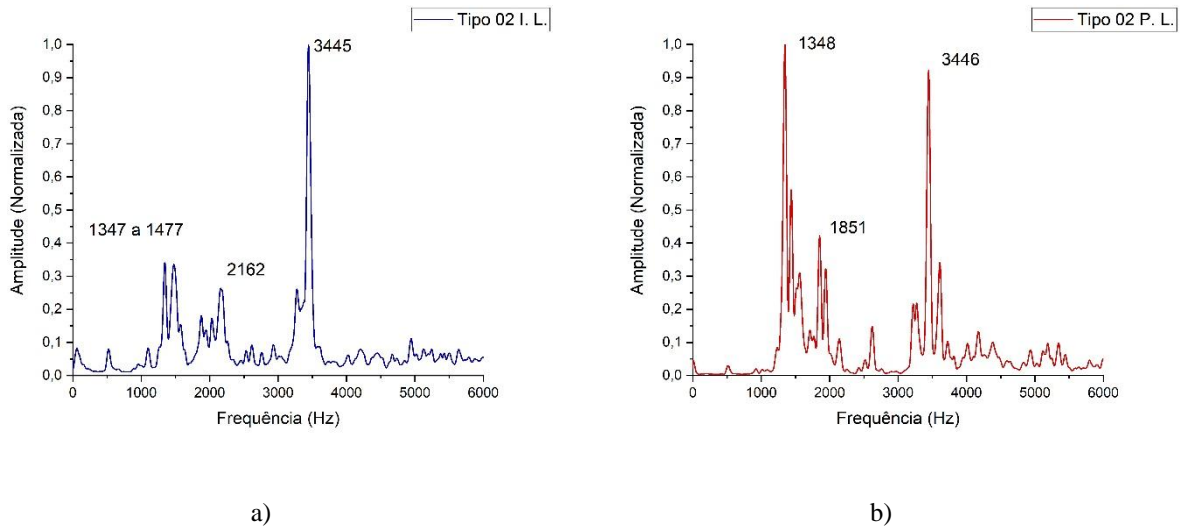


Figura 5.3 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 02 Longitudinal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Foi possível observar na comparação dos espectros acima os valores de primeiro e terceiro picos foram quase idênticos antes e depois da perfuração. Os valores relativos ao segundo pico, no entanto, estão distantes de 311 Hz, valor correspondente a 17% da menor segunda frequência de pico. Com isso, parte-se para os ensaios transversais ainda nos blocos de Tipo 02 na Figura 5.4:

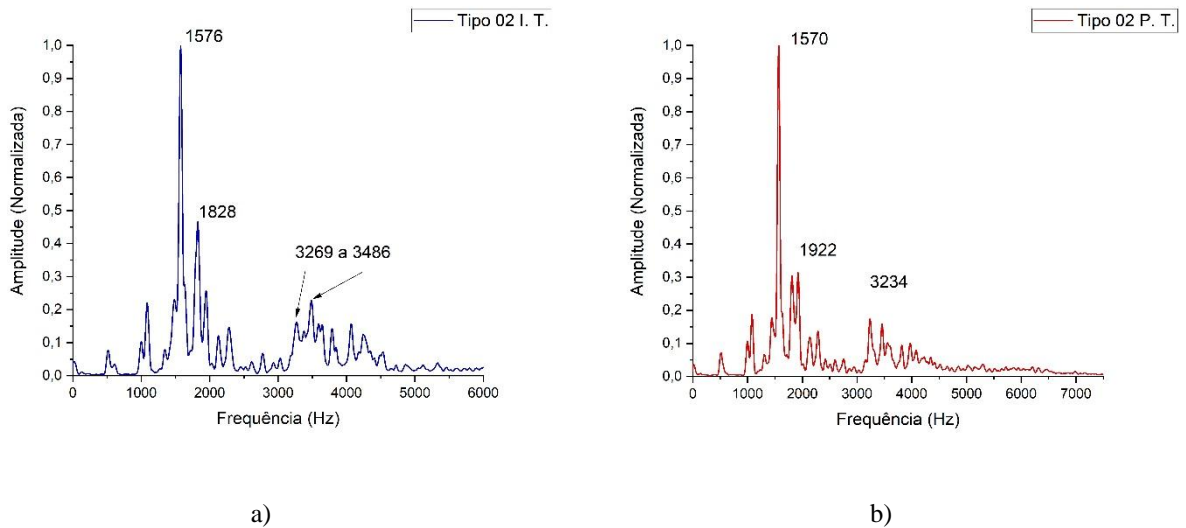


Figura 5.4 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 02 Transversal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Portanto, analisando os espectros transversais do Tipo 02 é possível observar que o

primeiro e terceiro picos, novamente, praticamente coincidem para ambos os espectros, o segundo pico, no entanto, difere em 94 Hz (5,1% do menor segundo pico). Fica notória, assim, a alteração que ocorreu no segundo valor de frequências de interesse.

Tendo mais atenção à divergência que ocorreu nos ensaios para aquisição longitudinal é possível acreditar que a grande diferença de valores tenha se dado por uma inversão das amplitudes de maior pico dentro de uma mesma faixa de interesse, como o que ocorreu de maneira mais atenuada na terceira frequência de interesse nos ensaios transversais dos blocos. Contudo a diferença no ensaio longitudinal foi muito notável diferentemente desta última, é necessário, portanto, pontuar que para o Tipo 02 houve alterações consideráveis em sua segunda frequência de interesse.

Ainda, é necessário que se realize a análise dos blocos de Tipo 03. Desse modo, serão observados, em primeiro lugar, os resultados obtidos para os espectros longitudinais dos blocos cerâmicos, antes e após a execução dos furos na Figura 5.5:

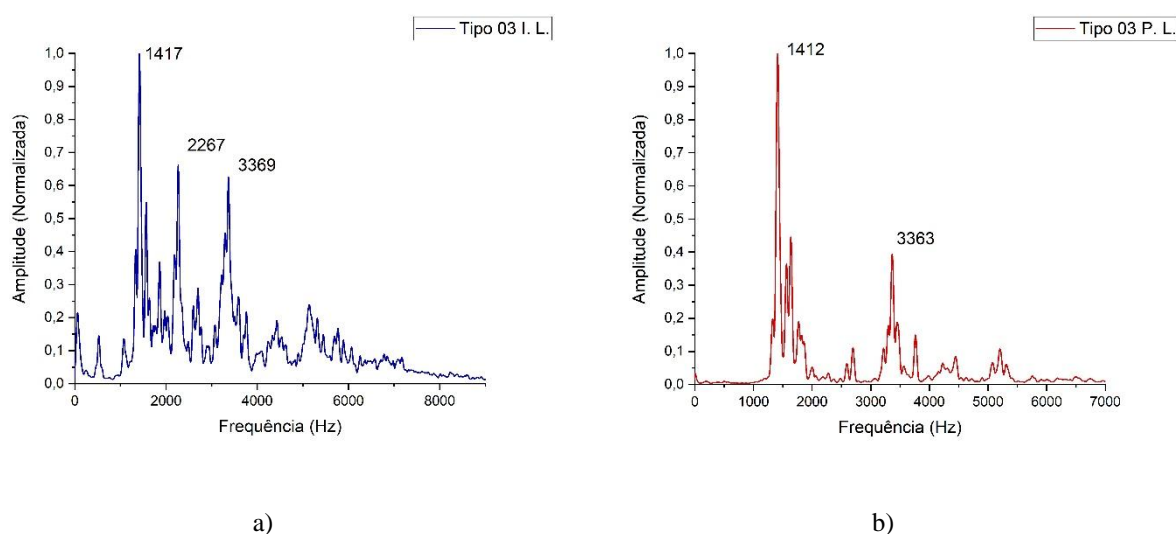


Figura 5.5 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 03 Longitudinal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Para os espectros longitudinais do Tipo 03 nota-se um comportamento semelhante àquele observado no grupo anterior em relação às primeiras e terceiras frequências de interesse as quais ocorreram de maneiras parecidas. Contudo há uma diferença notória: o espectro não apresenta um pico intermediário (segunda frequência).

Assim, para os espectros transversais temos a Figura 5.6:

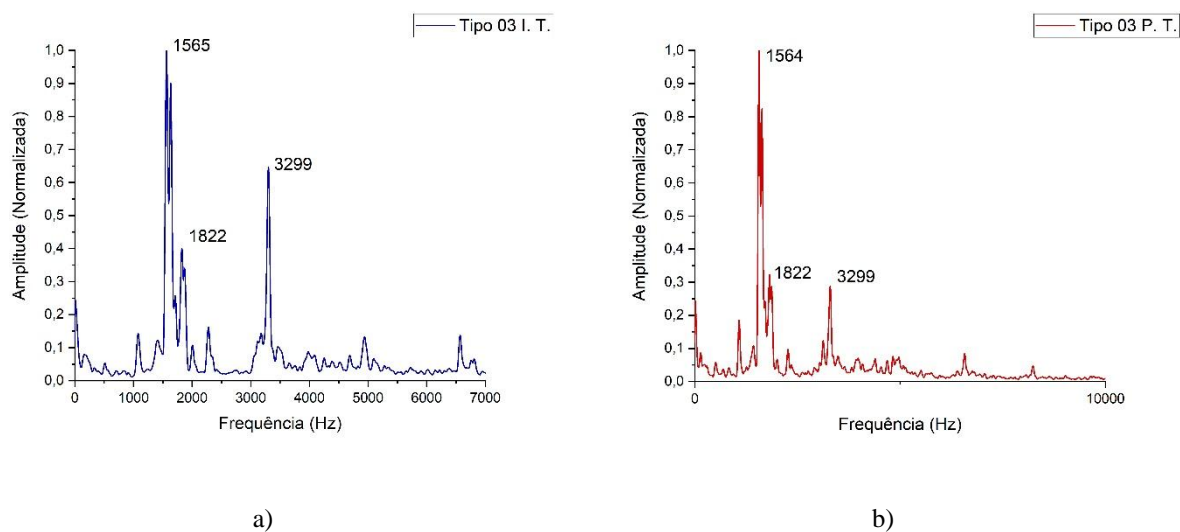


Figura 5.6 –Espectro Médio dos Blocos de Tipo 03 Transversal: (a) Íntegro; (b) Perfurado. (Autor).

Nestes dois últimos espectros foi evidente a semelhança das frequências de maior pico antes e após a execução dos furos uma vez que os segundos e terceiros picos foram exatamente os mesmos e a diferença que houve no primeiro foi de apenas 1 Hz ou 0,06%.

Por fim, com relação ao comportamento específico de cada Tipo de perfuração é possível observar, de maneira reduzida:

- Tipo 01: A diferença de cerca de 3% nas terceiras frequências de interesse não é suficiente para afirmar que houve alguma alteração importante nas propriedades dinâmicas dos blocos perfurados.
- Tipo 02: Notou-se uma diferença no espectro relativa ao pico intermediário. Essa diferença parece ter ocorrido em virtude de uma mudança nos principais picos dentro de uma mesma faixa de ressonância. Desse modo é possível afirmar que os resultados sugerem alterações leves nas propriedades dinâmicas.
- Tipo 03: No ensaio transversal os espectros foram praticamente idênticos, contudo, nos ensaios longitudinais os blocos perfurados não apresentaram frequência de pico intermediária. Portanto os dados indicam que houve alteração nas propriedades dinâmicas dos blocos de Tipo 03.

Portanto, apesar de haver muita semelhança nos espectros analisados antes e depois da

execução dos furos horizontais nos blocos cerâmicos, notaram-se algumas alterações no Tipo 02 e mudanças ainda mais relevantes nos blocos de Tipo 03.

5.4. Caracterização Mecânica

Para proceder a caracterização mecânica é necessário que se realize o ensaio de compressão axial dos blocos cerâmicos. Dessa forma, deram-se início aos ensaios, agora, com todos os 12 blocos subdivididos em Tipo 01 (E01, E02, E03), Tipo 02 (E04, E05, E06), Tipo 03 (E07, E08, E09) e Controle (C01, C02, C03).

Assim, para o ensaio estático dos blocos algumas características dos mesmos são de fundamental interesse: a carga de ruptura suportada pelos blocos e a área bruta dos mesmos. Dessa forma será possível estabelecer a tensão máxima resistente de cada bloco (f_b). Foi necessário, para tanto, estabelecer um valor de área bruta médio (A_{bm}) para utilizar nos cálculos. De modo que, serão multiplicados os valores de Largura e Comprimento médios vistos no item 5.1. deste capítulo. Sendo assim a área bruta em cm^2 é dada por:

$$A_{bm} = 14,117 \times 29,017$$

$$A_{bm} = 409,62 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Ainda, foi possível observar que os blocos ensaiados à compressão tiveram valores muito próximos, mesmo aqueles perfurados. Notou-se, inclusive, que os dois maiores valores de tensões resistidas ocorreram entre os blocos perfurados. Para deixar ainda mais clara a análise dos conjuntos foi realizada a média das resistências dos blocos de cada grupo como é possível observar na Tabela 5.3:

Tabela 5.3 – Médias Por Conjunto Das Tensões Máximas Resistidas Pelos Blocos Cerâmicos.

Grupo	f_{bm} (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Geral	8,22	0,90	10,98%
Controle	8,28	0,41	4,90%
Tipo 01	8,38	0,94	11,20%
Tipo 02	8,42	1,30	15,46%
Tipo 03	7,82	0,54	6,89%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Assim, foram realizadas as médias das tensões máximas resistidas para cada conjunto

pré-estabelecido, ainda, foi adicionado um conjunto geral onde foram avaliados todos os blocos em um só conjunto e sua média também foi computada. Analisando-se os valores das resistências obtidas para cada grupo temos uma ideia de que as perfurações não afetam a resistência à compressão dos blocos em primeira análise. É necessário, contudo, se fazer um contraponto aqui, para que sejam analisadas as rupturas dos blocos de cada Tipo.

Nos blocos do Tipo 01 foram observadas fissuras verticais passando pelas perfurações realizadas em dois dos três blocos deste tipo como na Figura 5.7:



Figura 5.7 – Fissura Observada no Bloco E02 (Tipo 01) após ensaio de compressão axial.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Também nos blocos do Tipo 02 foi possível observar fissuras passando pelas perfurações realizadas em dois dos três blocos deste tipo. Foram observadas fissuras verticais como as no bloco E02 no bloco E05 como ilustrado na Figura 5.8:

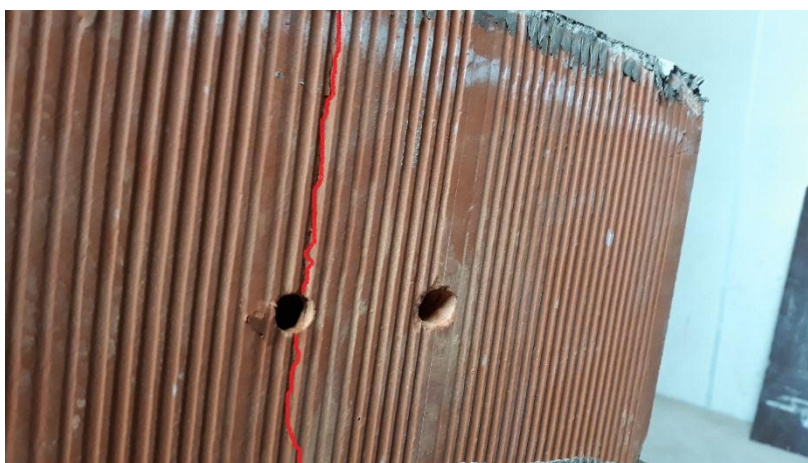


Figura 5.8 – Fissura Observada no Bloco E05 (Tipo 02) após ensaio de compressão axial.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Ainda, no Tipo 02 o bloco E06 possuiu uma ruptura cujas fissuras se deram na horizontal, passando pelas duas perfurações inseridas no bloco como é possível observar na Figura 5.9:



Figura 5.9 – Fissura Observada no Bloco E06 (Tipo 02) após ensaio de compressão axial.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Por fim, nos blocos do Tipo 03 foram observadas fissuras próximas aos bordos dos blocos (como os blocos íntegros fissuram de maneira geral), contudo, o bloco E09 rompeu de forma muito similar ao E06, como podemos observar na Figura 5.10:



Figura 5.10 – Fissura Observada no Bloco E09 (Tipo 03) após ensaio de compressão axial.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Vale, ainda, observar que os blocos analisados aqui, mesmo com fissuras passando pelas perfurações executadas, não possuíam baixas resistências em relação ao seu grupo, inclusive o bloco E06 foi o de maior resistência à compressão axial de seu Tipo. Exceção feita

ao bloco E02 que teve uma sensível diferença para os demais de seu grupo.

Ainda, por norma, estes valores obtidos nos ensaios não correspondem à resistência característica dos blocos (f_{bk}). Para o cálculo desta a norma considera um número mínimo de seis blocos, de modo que as resistências características para cada Tipo de bloco cerâmico não estão contempladas. Dessa forma, tomou-se como base para cálculo os 12 blocos em estudo, apenas para que tivéssemos um parâmetro de como se relacionam as resistências individuais em relação à resistência característica dos blocos.

Os valores obtidos em cálculo como descrito na norma, portanto, estão resumidos na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 – Resistência Características dos Blocos Cerâmicos.

Grupo	f_{bm} (MPa)	Desvio Padrão	Coefficient e de Variação	$f_{bk,Est}$ (MPa)	\emptyset	f_{b1} (MPa)	f_{bk} (MPa)	Conformidade
Geral	8,22	0,90	10,98%	6,82	0,9 8	6,88	6,88	OK ($f_{bk} \geq 4$ MPa)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Vale ainda ressaltar que a CERÂMICA SALEMA, que forneceu os blocos cerâmicos, atribui a eles uma resistência de 5 MPa e a norma mais atual ABNT NBR 15812-3:2017 estabelece o valor mínimo de 4 MPa para blocos estruturais. Em ambos os casos as resistências são atendidas pelas resistências médias de cada Tipo, bem como pela resistência característica geral calculada em 6,88 MPa.

Portanto, para os ensaios mecânicos, o que é possível observar é que os valores das resistências à compressão dos blocos cerâmicos perfurados não possuíram grandes diferenças em relação aos blocos de controle. Com o adendo de que algumas fissuras perpassaram as perfurações introduzidas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados das perfurações dos blocos cerâmicos quanto aos efeitos estáticos e dinâmicos foi possível realizar algumas observações. Primeiro, de modo geral, as perfurações nos três tipos de geometrias previstos não possuem caráter determinante no que diz respeito à alteração de propriedades dos blocos. Este fato ocorre tanto para as características estáticas, em que as resistências dos blocos perfurados praticamente não foram alteradas em relação ao grupo de controle, quanto para as propriedades dinâmicas, visto que os espectros por diversas vezes eram muito semelhantes.

Contudo, ficou evidente também que houve alterações. Estas não se mostraram suficientemente relevantes para as propriedades estáticas e dinâmicas dos blocos, entretanto é inegável que existiram variações com a execução dos furos. Estas mudanças ficaram claras, por sua vez, tanto para as propriedades estáticas, em que as fissurações por vezes se deram em torno dos orifícios introduzidos nos blocos cerâmicos, quanto para as características dinâmicas, em que algumas frequências de maior amplitude foram perdidas com a perfuração dos blocos.

Desse modo, devem ser ponderados os efeitos das perfurações que apesar de, aqui, não terem se mostrado determinantes para alterações nas características estáticas e dinâmicas dos blocos cerâmicos, de maneira geral, certamente produziam modificações em suas propriedades.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Como pode ser observado no desenvolvimento deste trabalho, o objetivo foi avaliar os efeitos das perfurações em alvenaria estrutural para o emprego de armários ou redes. A avaliação, portanto, se deu tão somente para os blocos com estes furos.

Assim, uma frente que pode ser explorada seria os efeitos do uso efetivo de redes e armários de maior massa, que gerariam um esforço considerável no bloco. Os ensaios, então, podem ser refeitos tomando como base aqueles aqui executados, contudo, aplicar-se-ia um carregamento similar àquele previsto para a utilização dos objetos que estariam se apoiando no bloco cerâmico.

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270 – 1 – Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos parte 1**. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270 – 2 – Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos parte 2**. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270 – 3 – Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos parte 3**. Rio de Janeiro, 2005.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. UNESP Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. NEPAE Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Ilha Solteira, 2006.

DIÓGENES, H.J. F.; et al. **Determination of modulus of elasticity of concrete from the acoustic response**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, vol. 4, num. 5, p. 792- 813, 2011.

DIÓGENES, H. J. F. **Análise tipológica de elementos e sistemas construtivos pré-moldados de concreto do ponto de vista de sensibilidade a vibrações de serviço**. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia civil. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

FREITAS, Alexandre A. D. **Análise numérica e experimental do comportamento de prismas e miniparedes submetidos à compressão**. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 168. Tese de Doutorado. 2008.

JUSTE, Andrea E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. Dissertação para obtenção do título de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

MOHAMAD, Gihad; LOURENÇO, Paulo B.; ROMAN, Humberto R. **Juntas Verticais: Influência no comportamento mecânico da alvenaria estrutural**. Prisma, v. 29, n. CT 14, p. 5, Dezembro 2008.

PARSEKIAN, G. A., & FURLAN JUNIOR, S. **Compatibilização de projetos de alvenaria estrutural**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, (p. 10). São Carlos, 2003.

PEREIRA, A. H.A. et al. **Algoritmo para determinação do amortecimento de materiais cerâmicos pela técnica das frequências naturais de vibração via excitação por impulso**. Revista Cerâmica, Órgão Oficial da Associação Brasileira de Cerâmica. Ano LVIII. Vol. 58. Abr/mai/jun, 2012.

PINHEIRO, Douglas G. **Estudo do Comportamento Mecânico de Blocos Cerâmicos com Diferentes Larguras**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 118. Dissertação de Mestrado. 2009.

ROMAN, H.R. e PARIZZOTO FILHO: **Manual de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos – 2007**.

ROMAN, Humberto R. et al. **Análise de Alvenaria Estrutural**. Universidade Corporativa Caixa. Santa Catarina, p. 168. 2007.

SANTOS, S. P. **O contexto normativo recente dos eurocódigos sobre estruturas de alvenaria**. Seminário: Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais. LNEC, 1 de Novembro de 2007.

SOARES, C. R. P. **Ensaio não destrutivo para a caracterização de betões de elevado desempenho reforçado com fibras**. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia civil. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto, 2013.

SONELASTIC. **Visão geral dos Sistema Sonelastic**. Disponível em:

<<https://www.sonelastic.com/pt/productos/sistemas/visao-geral.html>>. Acesso em: 19 mar. 2019.