

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO UTILIZANDO
A TÉCNICA DA ULTRASSONOGRRAFIA**

Carlos Eduardo de Oliveira Santos

Belo Horizonte

2011

Carlos Eduardo de Oliveira Santos

**ANÁLISE DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO UTILIZANDO
A TÉCNICA DA ULTRASSONOGRRAFIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração:
Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa:
Materiais cimentícios

Orientador:
Prof. Abdias Magalhães Gomes

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL
ANÁLISE DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO UTILIZANDO
A TÉCNICA DA ULTRASSONOGRAFIA

Carlos Eduardo de Oliveira Santos

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes
DEMC/UFMG-(Orientador)

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
DEMC/UFMG

Prof. Dr. Carlos Augusto de Souza Oliveira
UNIFEI

Belo Horizonte, 23 de Fevereiro de 2011.

Sumário

Resumo.....	6
Abstract.....	7
Agradecimentos	8
Lista de tabelas	9
Lista de figuras.....	11
Lista de abreviaturas.....	14
1. Introdução	15
2. Objetivos do trabalho	17
2.1. Objetivos gerais.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
2.3. Justificativas e relevância do trabalho	18
3. Revisão bibliográfica	19
3.1. Blocos de concreto	19
3.1.1. Conceituação e tipos	19
3.1.2. Materiais e fabricação.....	26
3.1.3. Normalização e prática recomendada de controle.....	33
3.1.4. Resistência a compressão.....	37
3.2. Teste de ultrassonografia aplicado ao concreto.....	38
3.2.1. Conceituação.....	38
3.2.2. Princípio físico	40
3.2.3. Equipamentos utilizados.....	47
3.2.4. Variáveis que interferem nas avaliações e inspeções:	51
4. Metodologia de trabalho.....	57
4.1. Seleção blocos para estudo e análise	57
4.2. Identificação das amostras para inspeção ultrassonográfica.....	57
4.3. Seleção equipamento de teste	58
4.4. Definição de “modus operandis” padronizado para inspeção de blocos.....	58

4.5. Resultados dos testes realizados em campo e em laboratório.....	67
4.6. Análise geral dos resultados:.....	75
4.7. Proposta de planilha como modelo de referência:.....	77
5. Conclusão	79
6. Propostas para novos trabalhos.....	80
7. Referências bibliográficas	81

Resumo

A utilização do ensaio não destrutivo (END) de ultrassonografia na inspeção e avaliação de propriedades físicas e mecânicas de concretos tem sido, nos últimos anos, objeto de avançados estudos tanto no meio acadêmico quanto no científico. Esta técnica, cada vez mais conhecida, ganha novos adeptos e maior confiabilidade junto a cadeia produtiva da Construção Civil, focada apenas na inspeção “in situ” de peças de concreto armado. Desta forma, surgiu a idéia de utilizá-la na inspeção, avaliação e recepção de blocos vazados de concreto, comumente utilizado na construção de alvenarias com função estrutural. Neste sentido, o presente trabalho propõe avaliar e estimar a resistência à compressão de blocos vazados de concreto, assentados ou não nas alvenarias, através da inspeção por ultrassonografia, e assim propor uma nova metodologia a ser adotada no controle de qualidade de fabricação de blocos. Os resultados apresentados sinalizaram para uma ajustada correlação entre o pulso ultrassonográfico expresso em μs (micro segundos) e a resistência à compressão individual dos blocos vazados de concreto, permitindo, não destrutivamente, avaliá-los e classificá-los à luz de qualquer normalização vigente de controle de qualidade, comumente utilizada nas fábricas de blocos de concreto, e com possibilidade de substituição dos tradicionais processos adotados pelo controle de qualidade.

Palavras Chaves: ultrassonografia, blocos vazados de concreto, END

Abstract

The use of non-destructive testing (NDT) inspection and ultrasound evaluation of physical and mechanical properties of concrete has been in recent years, the subject of advanced studies both in academia and in science. This technique, known more and more, gaining new fans and greater reliability along the production chain of Construction, focused only on inspection "in situ" of reinforced concrete. Thus, the idea of using it in the inspection, evaluation, and reception of concrete hollow blocks, commonly used in building walls, with or without structural function. In this sense, the work aims to evaluate and estimate the compressive strength of concrete hollow blocks, or not seated in masonry, from inspection by ultrasound, and to propose a new methodology to be adopted in quality control of manufacturing blocks. The results signaled an adjusted correlation between the ultrasound pulse expressed in μs (micro seconds) and compressive strength of individual concrete hollow blocks, allowing non-destructively evaluate them and classify them under any normalization current control quality, commonly used in the factories of concrete blocks, and with the possibility of replacing traditional processes adopted for quality control.

Keys Words: ultrasonography, concrete blocks, NDT, brick

Agradecimentos

À Deus, o Criador de todas as coisas, pela infinita sabedoria em criar o ser humano com a capacidade de pensar e de amar,

Aos meus pais e meu irmão pelo esforço em me educar e me formar como homem e cidadão,

A minha amada esposa pelo papel de companheira irrepreensível,

Ao funcionário Marco Aurélio pelos primeiros contatos com a prática do ultrassom,

Ao Sr Cândido pela parceria na execução da parte prática deste trabalho e pela experiência de vida transmitida,

Aos professores do DEMC pelo respeito e pelos ensinamentos transmitidos a nós alunos que passamos pelas carteiras deste departamento,

Aos funcionários do DEMC pela plena disposição em ajudar e resolver os problemas burocráticos,

E finalmente, ao querido amigo Prof. Abdias, pela amizade, estímulo e apoio em ingressar ao Mestrado além dos ensinamentos para vida que levarei para sempre.

Lista de tabelas

Tabela 1 - Dimensões reais dos blocos de concreto simples segundo NBR 6136.....	21
Tabela 2 – Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes.....	25
Tabela 3 - Requisitos resistência característica à compressão, absorção e retração.....	35
Tabela 4 - Tamanho da amostra.....	37
Tabela 5 - Velocidades da onda longitudinal em diferentes meios.....	42
Tabela 6 - Velocidades da onda transversal em diferentes meios.....	43
Tabela 7 - Efeitos da temperatura na transmissão do pulso.....	53
Tabela 8 - Efeitos das dimensões das amostras na transmissão do pulso.....	55
Tabela 9 - Resultados dos testes realizados em Laboratório via equipamento PUNDIT.....	68
Tabela 10 - Resultados dos testes realizados em Laboratório via equipamento TICO.....	70
Tabela 11- Resultados dos testes realizados diretamente na pilha via equipamento TICO e resistência realizadas em laboratório com apresentação dos fatores de correlação K e K_1	72
Tabela 12 – Estimativa de resistências dos blocos assentes em alvenaria a partir do fator de correção K_1 a partir de um caso real.....	73

Tabela 13 - Fatores de correlação (K_1) velocidade pulso ultrassonográfico expresso em km/s e a resistência à compressão blocos vazados de concreto expressa em MPa	79
---	----

Lista de figuras

Figura 1 - Blocos de concreto.....	19
Figura 2 - Dimensões nominais do bloco de concreto.....	20
Figura 3 - Colocação de “grout” pelo bloco vazado.....	22
Figura 4 - Família dos blocos de concreto.....	24
Figura 5 – Bloco de concreto recém moldado. Detalhe para porções da mistura de concreto com consistência seca junto ao bloco.....	27
Figura 6 - Blocos defeituosos em função do uso excessivo de água na mistura...	28
Figura 7 - Modelo de curva para traço do concreto na fabricação dos blocos.....	29
Figura 8 - Vista de uma fábrica de produção de blocos de concreto.....	30
Figura 9 - Seqüência de produção dos blocos de concreto (vibro-compressão)...	32
Figura 10 - Ensaio de retração.....	36
Figura 11 - Ensaio de ultrasonografia em concreto com diferentes situações.....	40
Figura 12 – Tipologia das ondas longitudinais.....	41
Figura 13 – Tipologia das ondas transversais.....	42
Figura 14 - Transmissão Direta.....	44
Figura 15 - Transmissão Indireta.....	45
Figura 16 - Transmissão Semidireta.....	46

Figura 17 – Transmissão Indireta.....	47
Figura 18 – Modelo do gráfico plotado para sistema de avaliação de trincas.....	47
Figura 19 - Sistema de funcionamento do aparelho de ultrassonografia.....	48
Figura 20 - Aparelho Pundit e seus acessórios.....	50
Figura 21 - Aparelho Tico com os transdutores.....	50
Figura 22 - Influencia das barras transversais e longitudinais ao percurso da onda.....	56
Figura 23 - Aparelho TICO com os acessórios na bancada.....	59
Figura 24 - Conexão dos cabos no aparelho.....	59
Figura 25 - Cabos ligados em suas saídas específicas – transmissor e receptor.....	60
Figura 26 - Cabos com transdutores conectados ao aparelho.....	60
Figura 27 - Lay out do aparelho ligado.....	61
Figura 28 - Barra de calibração com os transdutores.....	62
Figura 29 - Velocidade de propagação da barra de calibração.....	63
Figura 30 - Posição utilizada dos transdutores no bloco de concreto.....	64
Figura 31 - Bloco de concreto na prensa.....	65
Figura 32 - Marcação no bloco da distancia adotada.....	66

Figura 33 - Realização do ensaio nos blocos diretamente na parede.....	66
Figura 34 – Laudo do controle de qualidade de blocos de concreto.....	74
Figura 35 – Modelo padronizado de planilha aceitação ou rejeição de blocos de concreto via ultrassonografia.....	78

Lista de abreviaturas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

BSI – British Standard Institution

f_{bk} – Resistência característica a compressão

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira Registrada

μs – Microsegundo

1. Introdução

Nos primórdios do início do século 20, J. Bresser produziu no Estado da Virgínia, Estados Unidos, no ano de 1904, um processo que mecanizava o ato de moldar, simultaneamente, vários blocos de concreto numa mesma forma. A partir de então ganhou corpo, estudos e desenvolvimento a fabricação de máquinas cada vez mais capacitadas e eficientes focadas na produção de blocos vazados, ou maciços, utilizados na indústria da construção civil como parte integrante de alvenarias de vedação e estruturais.

O desafio era - e ainda é - combinar as duas energias responsáveis pela excelência dos blocos pré-moldados de hoje. As energias de vibração e compactação impostas ao produto previamente misturado precisam atuar de forma ajustada e harmonizada, pois só assim é possível aliar boa resistência, homogeneidade, aparência e, por consequência, economia. Atualmente fabricam-se blocos por processos totalmente mecanizados e automatizados, mas na maioria das vezes o sistema de fabrico ainda tem uma grande vertente “manual”, sobretudo quando envolve processos de armazenagem e desova dos blocos.

Nos dias atuais é notório que o mercado de blocos vazados de concreto vazados, com e sem função estrutural, está em franca ascensão, carrega em si muita tecnologia, e carecendo de técnicas mais velozes de avaliação de qualidade dos produtos produzidos, como forma de adequar e harmonizar-se a toda velocidade envolvida no processo de produção.

Atualmente, no Brasil, a avaliação da qualidade de um bloco vazado de concreto é realizada através das especificações contidas na normalização técnica específica que é a NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos (ABNT, 2007), que estabelece os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados a execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Em seu texto, há exigências contidas de se verificar várias propriedades físicas e mecânicas, tais como:

- resistência característica à compressão (f_{bk});
- absorção de água por imersão;

- avaliação dimensional das peças.

A principal preocupação das normas é de garantir, através de testes nos elementos isolados, no caso o bloco, a segurança estrutural da edificação bem como a estabilidade das paredes por ele produzidas.

Já em relação aos testes de ultrassonografia, cada vez mais estudado, pesquisado, e utilizado, foi objeto de criação de diversas normas técnicas de referência, focando, na maioria das vezes o material concreto, com e sem armação. Em relação a normalização técnica vigente sobre o assunto, a ABNT referenda a NBR 8802– Concreto Endurecido – Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultra-Sônica (ABNT,1994) que apresenta considerações gerais, terminologia e pequena metodologia, e é na norma britânica BS 1881 part3 203 – *Ultrasonic test in concrete* (BSI, 1986) que de fato as considerações mais expressivas relativas a metodologia de trabalho e técnica operatória é referenciada e esmiuçada.

Entretanto, toda normalização vigente, bem como artigos publicados em órgãos de divulgação (revistas, *journals*, anais de congressos, etc) não expressam de forma clara e objetiva os parâmetros e referências de correlação entre o tempo ou velocidade de propagação do pulso ultrassonográfico com as propriedades físicas e mecânicas dos concretos. Por esta razão, torna-se imperativo a realização de experimentos que possam gerar fatores de correlação para viabilizar e potencializar a confiança de se estimar a resistência de concretos e módulos de deformação de concretos via testes de ultrassonografia.

2. Objetivos do trabalho

2.1. Objetivos gerais

Este trabalho visa propor uma metodologia de inspeção de blocos vazados de concreto, utilizando o teste de ultrassonografia, como forma de avaliar, em laboratório ou “in situ”, a resistência à compressão dos blocos, nomeadamente a resistência a características dos blocos (f_{bk}), com a devida confiabilidade e segurança, gerando desta forma um mecanismo substitutivo à sistemática tradicional de avaliação referenciada pela normalização técnica específica, no caso do Brasil a NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos.

2.2. Objetivos específicos

São objetivos específicos do presente trabalho:

- correlacionar, os resultados obtidos nos ensaios de resistência característica à compressão (f_{bk}) com a velocidade de propagação da onda sonora obtida no ensaio da ultra-sonografia em blocos estruturais de concreto;
- propor fatores de correlação entre a velocidade de propagação da onda ultrassônica e a resistências à compressão dos blocos vazados de concreto, em testes realizados em laboratório, nas pilhas de armazenagem das fábricas e diretamente sobre uma alvenaria pronta;
- propor uma planilha e um novo modelo referencial, expedito e ágil, de sistemática para aceitação e rejeição de blocos vazados de concreto.

2.3. Justificativas e relevância do trabalho

A necessidade atual de se conhecer, “just in time” a resistência à compressão de um bloco vazado de concreto no ato de fornecimento ou recepção dos mesmos em nossas obras, faz com que, por si só, o estudo em tela seja considerado relevante. Cada vez mais os nossos cronogramas de obra estão apertados e trabalhando no popular “saia justa”, e por esta razão qualquer erro com a logística de recepção e provisionamento de matéria prima focada na execução das alvenarias e paredes das construções, se materializará no bolso dos responsáveis (construtores, incorporadores, etc), face aos inevitáveis prejuízos que irão ocorrer, sem contar com a problemática da segurança da construção, na medida em que, o bloco irá chegar a obra e imediatamente será utilizado, após a realização de uma coleta de amostras a serem encaminhadas a um laboratório para análises, e que, via de regra, demanda algo próximo de, no mínimo, 3 dias corridos para a sua realização.

E é neste sentido que é relevante a obtenção de uma nova metodologia de inspeção e recepção de blocos vazados de concreto, mais ágil e expedita, fato que irá contribuir com uma tomada de decisão imediata: usar ou não o bloco de concreto recém chegado ao canteiro?

Somado a esta situação, vale a pena ressaltar que o teste proposto a ser realizado é indolor, para o construtor e para a estrutura, não destrutivo, não apresentando problema algum se for realizado isoladamente em um bloco ou se aplicado na diretamente no bloco assentado na alvenaria, preservando a alvenaria e o próprio bloco de quaisquer tipos de danos.

3. Revisão bibliográfica

3.1. Blocos de concreto

3.1.1. Conceituação e tipos

O bloco de concreto vazado é um componente industrializado, produzido em equipamentos que realizam a vibração e prensagem dos insumos utilizados na sua composição e fabricação.

Na Figura 1 observa-se modelos de blocos vazados de concreto, comumente produzidos e normalizados no Brasil.

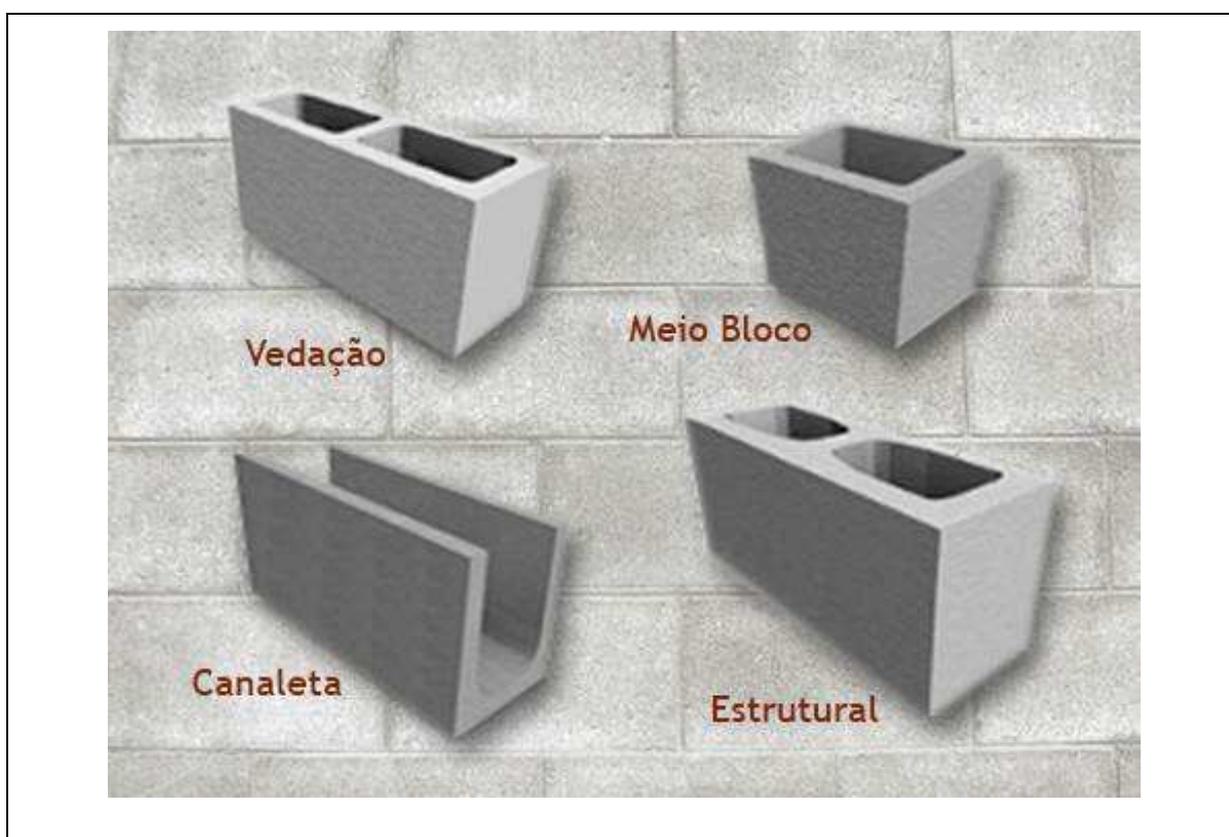


Figura 1 - Blocos de concreto.

Fonte: ABCP

Os blocos vazados de concreto simples para alvenaria devem cumprir as disposições da norma NBR 6136 (ABNT, 2007) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. As dimensões reais dos blocos vazados de concreto, modulares e sub-modulares devem corresponder às dimensões constantes na TAB. 1.

No caso dos blocos cujas dimensões não estão contempladas nessa tabela podem ser aceitos, fabricados e comercializados, desde que atendam às definições constantes da seção 3 da Norma NBR 6136 (ABNT, 2007).

As dimensões normalmente referenciadas na TAB. 1, constantes tanto na NBR 6136 quanto na referência INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, órgão de normatização e especificações ligadas ao Governo Brasileiro - são: largura (L), altura (H) e comprimento (C), além da espessura das paredes, conforme mostrado na FIG. 2.

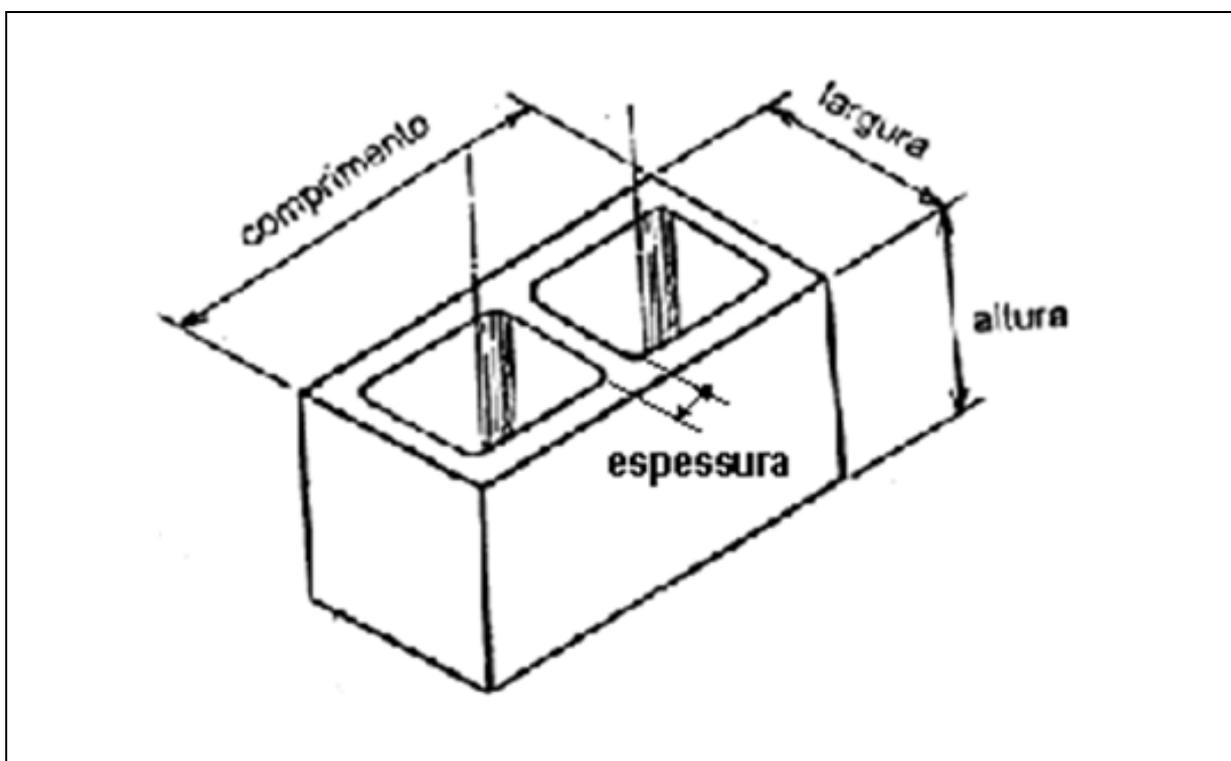


FIGURA 2 - Dimensões nominais do bloco de concreto.
Fonte: INMETRO

TABELA 1

Dimensões reais dos blocos de concreto simples segundo NBR 6136

Famílias de Blocos											
Designação	Nominal	20	15		12,5			10			7,5
	Módulo	M - 20	M - 15		M - 12,5			M - 10			M - 7,5
	Amarração	½	½	½	½	½	⅓	½	½	⅓	½
	Linha	20 X 40	15 X 40	15 X 30	12,5 X 40	12,5 X 25	12,5 X 37,5	10 X 40	10 X 30	10 X 30	7,5 X 40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	⅔	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	⅓	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40

NOTA: As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na Tabela 1 são de ± 2,0 mm para a largura e ± 3,0 mm para a altura e para o comprimento

Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com as no

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007)

Outra particularidade importante, é que o bloco deve ser vazado, ou seja, não deve conter fundo, viabilizando desta forma o aproveitamento dos furos, que irão ficar alinhados na vertical, para a passagem das instalações e, em se tratando de alvenarias estruturais, para a aplicação do “grout” (micro concreto de consistência plástica a fluida) conforme pode ser observado na FIG. 3.

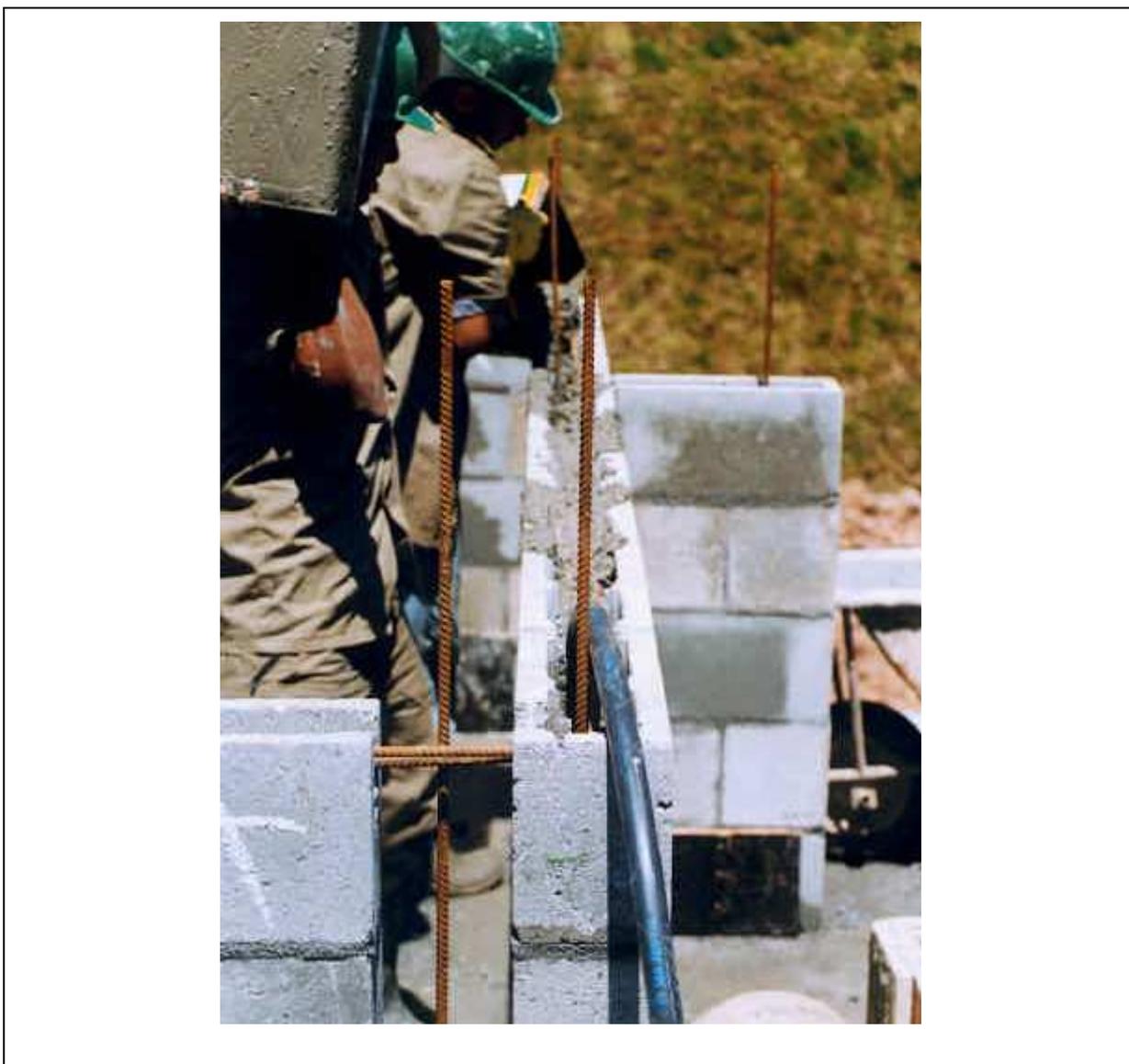


FIGURA 3 - Colocação de “grout” pelo bloco vazado.
Fonte: ABCP

A atual norma brasileira NBR 6136 nomenclatura os blocos como integrantes de três diferentes tipos de larguras, nomeando o que se referencia “módulos” ou “estruturas modulares”. Assim sendo, existem as seguintes estruturas modulares:

- M 7,5: com largura nominal de 7,5 cm e real de 6,5 cm;
- M 10: cuja largura nominal do bloco é de 10 cm e a real é de 9,0 cm;
- M 12,5: com largura nominal de 12,5 cm e real de 11,5 cm;
- M 15: com largura nominal de 15 cm e real de 14 cm;
- M 20: com largura nominal de 20 cm e real de 19 cm.

Desta forma é possível observar que a largura real dos blocos produzidos deve ser de 1 cm (10 mm) menor que a largura modular, permitindo-se nestas situações tolerâncias de ± 2 mm para largura.

Já no caso das alturas e comprimentos, os valores reais diferem dos nominais também de 1 cm (10 mm), mas com tolerâncias admissíveis de ± 3 mm, conforme descrito na TAB. 1.

A atual norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2007), recomenda espessuras mínimas de paredes, consoante tipo de bloco, tal como apresentado na TAB. 2.

As normas brasileiras, bem como a indústria da construção civil em geral, adotam a terminologia “família” para identificar as diversas dimensões de blocos vazados de concreto. Este termo é aplicado na identificação de um grupo harmonizado possuidores de dimensões coordenadas para a execução de “alvenarias paginadas”. A adoção de blocos integrantes de uma mesma família (FIG. 4) no ato da construção de uma parede, irá propiciar que a alvenaria, tanto no sentido vertical quanto no horizontal, vá consumir um número inteiro de blocos, evitando-se os indesejáveis cortes dos blocos, induzindo grande geração de entulho e elevados desperdícios nos canteiros das obras. Neste sentido, é necessário que toda alvenaria deverá ser, antes de sua construção, precedida de um projeto de paginação, a ser elaborado por um profissional qualificado, objetivando reduzir desperdícios e cortes dos blocos vazados, bem como propiciando maior produtividade à mão de obra.

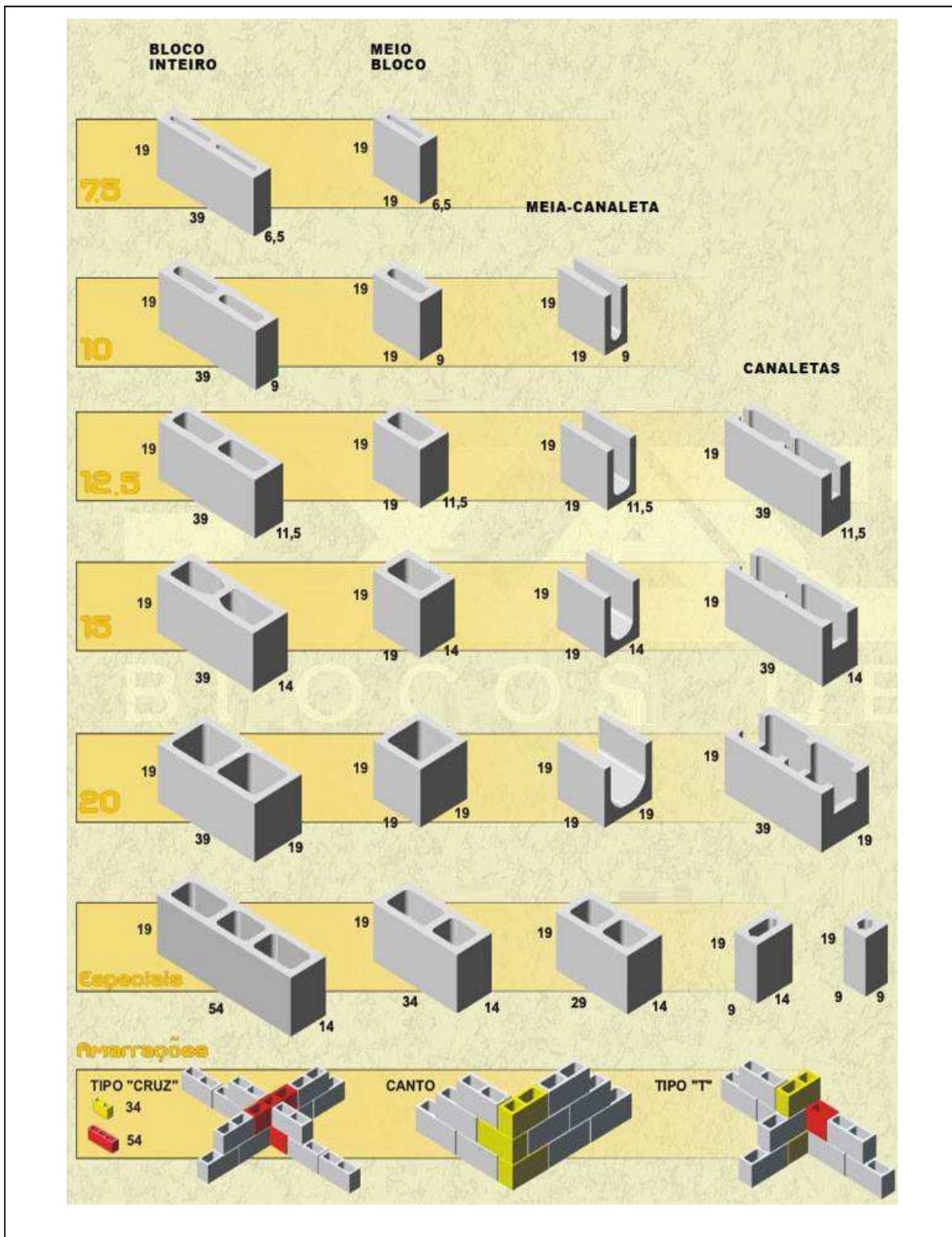


FIGURA 4 - Família dos blocos de concreto.
 Fonte: Exactomm Blocos de Concreto

TABELA 2
Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes

Classe	Designação	Paredes Longitudinais ¹⁾ (mm)	Paredes Transversais	
			Paredes ¹⁾ (mm)	Espessura Equivalente ²⁾ (mm/m)
A	M - 15	25	25	188
	M - 20	32	25	188
B	M - 15	25	25	188
	M - 20	32	25	188
	M - 10	18	18	135
C	M - 12,5	18	18	135
	M - 15	18	18	135
	M - 20	18	18	135
	M - 7,5	15	15	113
D	M - 10	15	15	113
	M - 12,5	15	15	113
	M - 15	15	15	113
	M - 20	15	15	113

¹⁾ Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito

²⁾ Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros)

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007)

3.1.2. Materiais e fabricação

Segundo a norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2007) os principais materiais empregados na fabricação de blocos de concreto são:

- Agregado graúdo: pedra britada (pedrisco) e pedregulho natural;
- Agregado miúdo: areia natural e areia artificial;
- Aglomerantes: cimento Portland;
- Aditivos plastificantes;
- Água.

Normalmente, o sistema eficiente e produtivo adotado na fabricação de blocos vazados de concreto, se baseia na adoção e emprego de equipamentos referenciados como vibro-prensa. Nestas situações, a produção de blocos de concreto vibro-prensados para alvenaria estrutural e de vedação se caracteriza pelo uso dos “concretos secos” (FIG. 5) (abatimento no tronco de cone denominado de “slump” próximo de zero) que possui consistência significativamente superior à dos concretos plásticos, devido a menor quantidade de água empregada, facilitando a realização da desforma imediata das peças (MARCHAND et al, 1996). Esta particularidade o torna um concreto pouco úmido, necessitando do emprego de equipamentos especiais para compactação, neste caso, as máquinas vibro-prensas, que aplicam, simultaneamente, um esforço de compressão aliado a um efeito de vibração para a eliminação dos vazios e moldagem das peças.

Devido a esta característica, em geral, o concreto não segue as leis que governam as propriedades dos concretos de consistência plástica e, por isso, a qualidade final dos blocos está intimamente relacionada ao porte, eficiência e regulagem do maquinário de vibro-compressão. Assim, os métodos de dosagem para esse tipo de concreto existentes na literatura demandam testes excessivos em escala real, o que os tornam trabalhosos, demorados e caros. A qualidade e regulagem do equipamento, bem como o processo de produção, exercem grande influência nas propriedades finais.



FIGURA 5 – Bloco de concreto recém moldado. Detalhe para porções da mistura de concreto com consistência seca junto ao bloco.

Fonte: Votorantim Cimentos

Para os concretos secos utilizados na produção de blocos, a quantidade de água empregada nas misturas é fundamental para a boa qualidade dos blocos, bem como para viabilizar a sua produção e conseqüente desforma, sendo normalmente adotadas misturas de 6,0 % a 8,0% de água sobre o peso da mistura total (agregados, cimento, adições e aditivos).

De acordo com TANGO, (1994) e RODRIGUES, (1995), a quantidade de água em uma mistura para a produção de blocos de concreto deve ser a maior possível, desde que os artefatos não apresentem dificuldades para desforma por aderência ao molde ou problemas de perda de formato em função do excesso de água (FIG. 6).

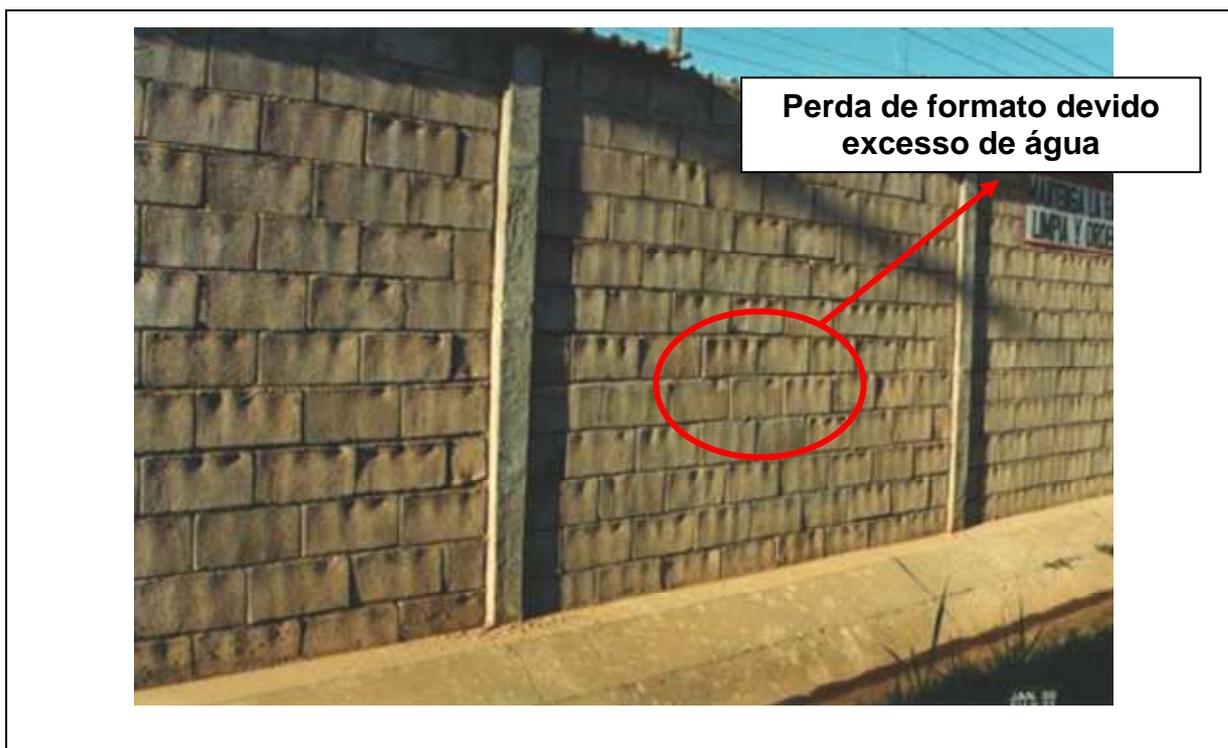


FIGURA 6 - Blocos defeituosos em função do uso excessivo de água na mistura.
Fonte: Votorantim Cimentos

A “lei de Abrams”, que trata da relação água/cimento e sua influencia na resistência à compressão de concretos plásticos, não é totalmente seguida na produção do concreto seco para fabricação de blocos. Normalmente, quanto maior a quantidade de água empregada na mistura, até o limite da umidade ótima, mais alta será a resistência mecânica final dos blocos, porque a água empregada confere uma maior plasticidade a mistura, facilitando a prensagem do material nas máquinas vibroprensas (maior eficiência na remoção dos vazios).

Outra particularidade com relação à produção e dosagem das misturas para a produção de blocos diz respeito à uma maior preocupação com a textura final dos produtos, principalmente, em se tratando de blocos para alvenaria aparente, e neste sentido a quantidade de água adicionada bem como do tipo de vibroprensa utilizada, irá contribuir em muito para a obtenção de uma textura mais lisa ou mais rugosa nos blocos. Neste caso particular da textura dos blocos uma outra variável necessária a ser controlada são os tempos de vibração e prensagem propiciados, e devem merecer um estudo, prático, prévio para melhor ajuste dos limites de regulagem a serem propostos para produzir blocos rugosos ou lisos.’

É mister observar também que existe a influência do tipo de aditivo adotado na produção dos blocos de concreto, comumente denominados de densificadores e desmoldantes, cuja proporção e tipo influenciam sobremaneira na qualidade final do bloco, tanto estética quanto relativas às resistências obtidas.

Normalmente, os traços empregados na produção de blocos vazados de concreto não são muito ricos em cimento ou aglomerantes, sendo comumente referenciados no dito popular como “concretos pobres”. A composição e traço dos concretos utilizados para a produção de blocos vazados de concreto varia entre 1 : 6 a 1 : 14 (traço expresso em peso de material seco onde tem-se 1 parte de cimento para 6 a 14 partes de agregados), conforme pode ser observado na FIG. 7.

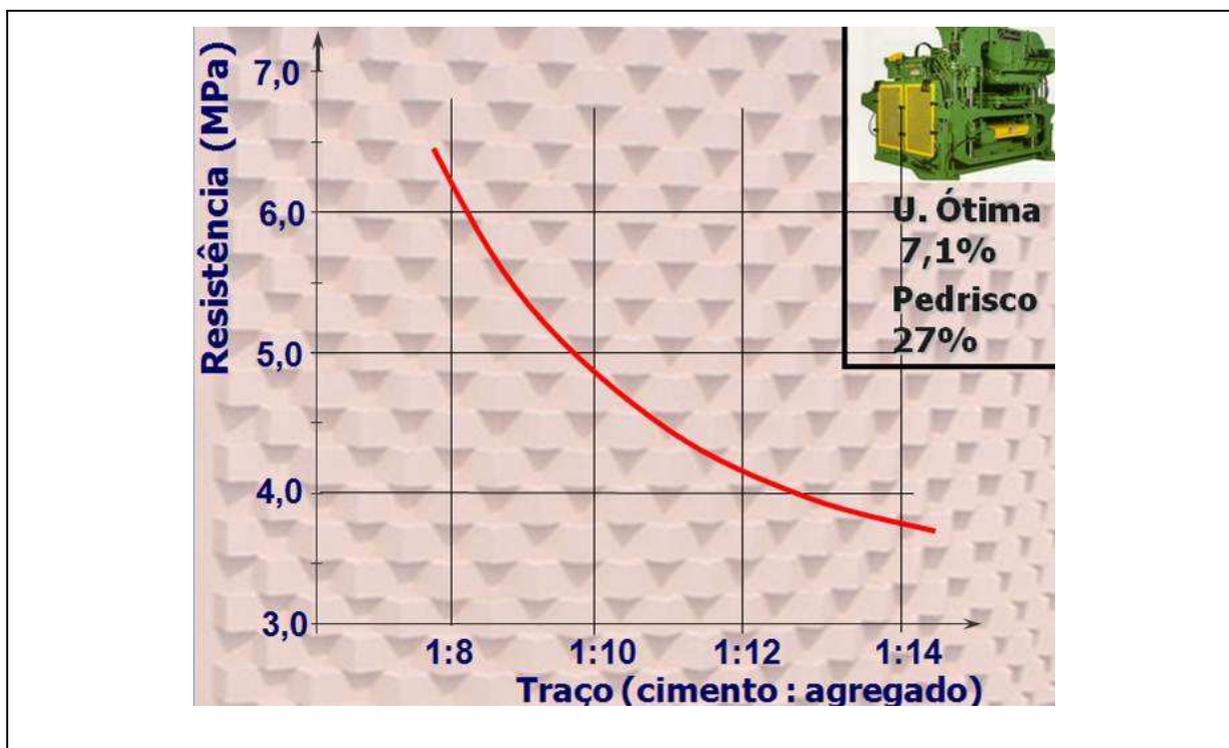


FIGURA 7 - Modelo de curva para traço do concreto na fabricação dos blocos.
Fonte: Votorantim Cimentos

Em resumo, face às diferenças apresentadas, conclui-se que as metodologias de dosagem para os dois tipos de concreto (seco x plástico) são diferentes e que o equipamento de vibro-compressão empregado influencia na elaboração da dosagem das misturas para a produção de blocos de concreto de boa qualidade.

Na FIG. 8 pode-se observar o “lay out” de uma fábrica de blocos de concreto, contendo os equipamentos necessários para a produção.

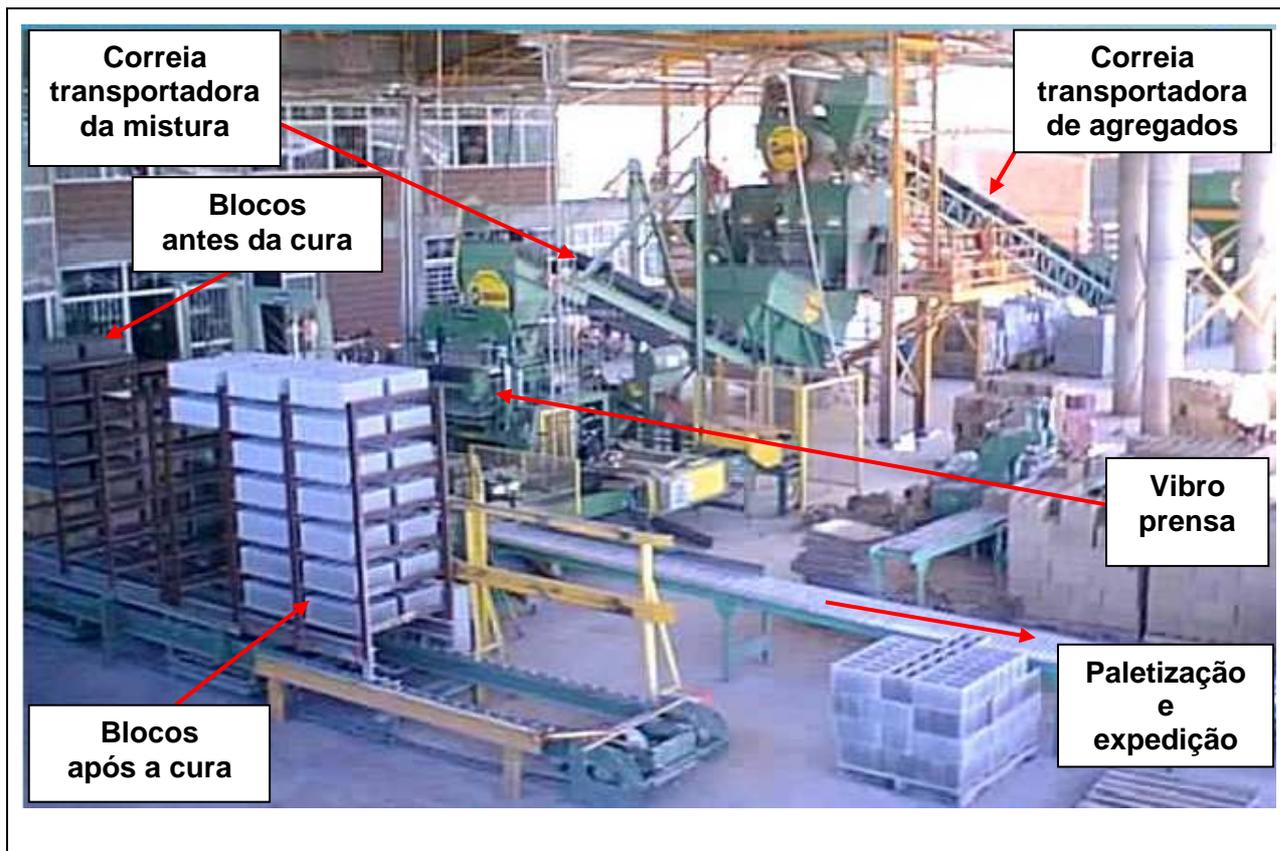


FIGURA 8 - Vista de uma fábrica de produção de blocos de concreto.

Fonte: ABCP

Para melhor compreensão será detalhado o processo de produção de blocos vazados de concreto a partir de uma planta “enxuta” e harmonizada, que adota os seguintes passos, processos e controles, a saber:

(a) 1ª Etapa (Recebimento de materiais):

Os agregados são descarregados no pátio e levados ao local de armazenagem (baias ou silos internos) e o cimento é transportado aos silos. Amostras dos agregados são encaminhadas ao laboratório para realização do controle de granulometria;

(b) 2ª etapa (Dosagem de materiais):

A dosagem e pesagem dos materiais são realizadas nos silos. O traço é definido conforme o tipo de bloco desejado e leva em conta a umidade dos agregados que seguem para o misturador onde são acrescentados ao cimento, água, aditivos e pigmentos. Os aditivos usados e sua dosagem tem como finalidade melhorar a plasticidade do concreto para obter melhor

compactação. ALMEIDA (2009) define o traço em processo de determinação da dosagem ideal do concreto, com a descrição e quantificação de seus componentes para que se chegue a combinação ideal desses materiais. Ele cita TANGO et al (1994) que propôs um método racional de dosagem de concreto estrutural que se baseia em seis passos:

- Passo 1: Adequação e granulometria dos agregados;
- Passo 2: Afirmação da resistência média a ser obtida;
- Passo 3: Avaliação dos teores de agregado/cimento, definindo-se os traços. Os valores são escolhidos objetivando a resistência média visada;
- Passo 4: Emprego de um diagrama de dosagem através da composição das misturas experimentais e ensaio dos blocos a compressão, correlacionando os resultados;
- Passo 5: Determinação gráfica do fator água/cimento de qualquer resistência dentro do campo pesquisado;
- Passo 6: Adequação das proporções de argamassa e de umidade ótima do traço médio do estado fresco, apresentando conformidade no aspecto aparente dos blocos, massa unitária elevada e boa trabalhabilidade.

(c) 3ª Etapa (Pigmentação):

Os blocos de alvenaria podem ser coloridos, sendo os pigmentos encontrados na forma de pó, líquido e pasta. O seu uso deve respeitar as instruções do fabricante, pois quantidades acima da especificada podem reduzir a resistência do concreto e não garantir um ganho de cor;

(d) 4ª Etapa (Transporte do concreto):

O concreto seco segue do misturador para a máquina de moldagem por meio de carrinhos fixados a trilhos ou por esteiras, chegando ao cone de compactação por vibração e/ou prensagem. O molde instalado na máquina define o formato do bloco;

(e) 5ª Etapa (Moldes):

A montagem dos moldes requer ajuste cuidadoso entre a fôrma e o pente (também chamado de castelo) para que os blocos sejam produzidos dentro do esquadro e tenham precisão dimensional. A seqüência de alimentação da máquina, vibração, prensagem e desforma é chamada de ciclo. A quantidade de blocos por ciclo depende das dimensões das peças. Na FIG. 9 pode-se observar a seqüência de produção dos blocos de concreto nos equipamentos de vibro-compressão.

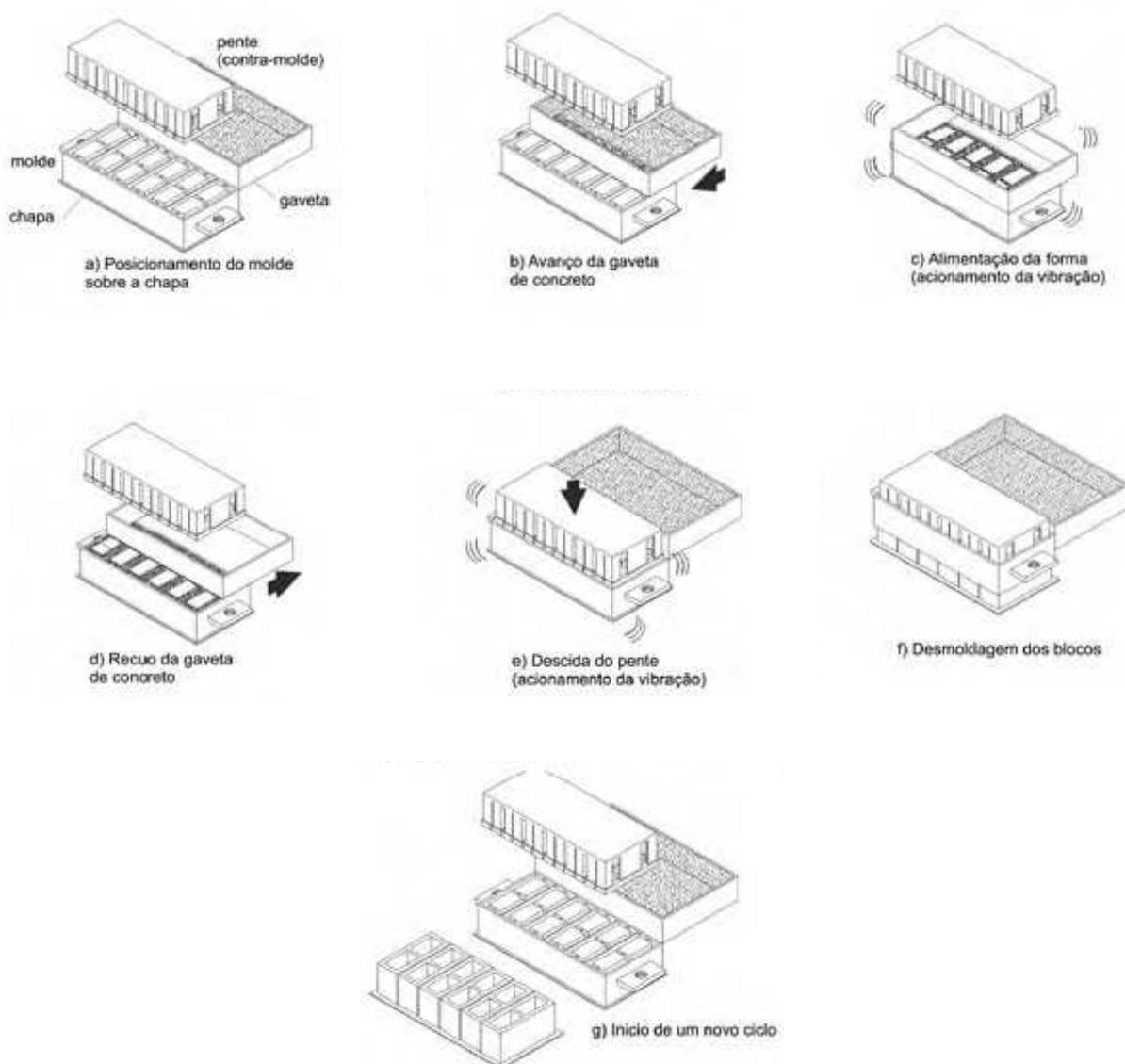


FIGURA 9 - Seqüência de produção dos blocos de concreto (vibro-compressão)
Fonte: Revista Prisma

(f) 6ª Etapa (Verificação visual):

Após o término de cada ciclo, é feita uma avaliação visual dos blocos, descartando os que apresentam defeitos como fissuras ou rebarbas e a verificação da precisão dimensional por amostragem. Os produtos aprovados são estocados e logo depois seguem para a câmara de cura;

(g) 7ª Etapa (Cura):

Na câmara de cura, os blocos são submetidos ao vapor por cerca de 3 ou 4 horas. A finalidade é manter o ambiente saturado de vapor e evitar a perda de água do concreto durante a reação do cimento. Após essa etapa, as peças permanecem em repouso até o dia seguinte;

(h) 8ª Etapa (Movimento):

Após a cura, os blocos são colocados com outros já prontos e depois, são conduzidos para a paletização;

(i) 9ª Etapa (Estoque):

As peças ficam estocadas no pátio externo para comercialização ou entrega;

(j) 10ª Etapa (Ensaio):

Os ensaios de laboratório (compressão, retração, absorção e análise dimensional) realizados na própria fábrica avaliam as características das peças.

3.1.3. Normalização e prática recomendada de controle

O objetivo da norma brasileira NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria (ABNT, 2007) – é estabelecer os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados a execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Houve uma revisão nas normas de blocos de concreto. Antes disto, duas normas regiam as características físicas dos blocos - a própria norma NBR 6136 editada pela ABNT em 1994 para blocos estruturais e a norma NBR 7173 para blocos de vedação, também publicada pela ABNT em 1982.

A principal mudança na norma foi a classificação dos blocos de concreto. A norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 1994) que tratava apenas dos blocos estruturais, os dividia em classes A ($f_{bk} \geq 6,0$ MPa) e B ($f_{bk} \geq 4,5$ MPa). Até 2006, a execução de edificações em alvenaria estrutural respeitando as normas técnicas teria que usar, pelo menos, blocos da classe B - peças mais pesadas e maiores, com, no mínimo, 14 cm de largura.

Após a revisão de 2006, a classe C ($f_{bk} \geq 3,0$ MPa), que regulamenta os novos blocos foi acrescentada as classes de blocos estruturais que já existiam. Ela permite blocos estruturais com paredes longitudinais e transversais mais finas, de 18 mm, e que blocos de 9 cm de largura sejam usados na construção de imóveis de um pavimento e blocos de 11,5 cm de largura em sobrados. Para construções maiores, devem ser utilizados os blocos de 14 cm e 19 cm de largura. Além da classe C, foi adicionado ao texto da norma a classe D ($f_{bk} \geq 2,0$ MPa), com as especificações para blocos de concreto de vedação (sem função estrutural), abordado antigamente pela norma NBR 7173 (ABNT, 1982). Complementando o trabalho de revisão e atualização destas normas, foi elaborada a norma NBR 12118 (ABNT, 2007) que regulamenta o método de ensaio dos blocos vazados de concreto simples.

Resumindo, os pontos relevantes desta norma revisada, e que podem ser melhor observados na TAB. 3, são:

- Os blocos vazados de concreto classificados em quatro classes: A, B, C e D (sendo classe A estrutural para obras acima ou abaixo do nível do solo; B e C estruturais para obras acima do solo e D para vedação);
- Em relação às suas dimensões, os blocos devem cumprir tolerâncias de mais ou menos 1,0 mm para cada valor individual anotado;
- Inclusão das famílias M 7,5 e M 12,5 (larguras de 65 e 115 mm, respectivamente) complementando as já existentes M10 (largura de 90 mm), M15 (largura de 140 mm) e M20 (largura de 190 mm);
- Resistência característica à compressão mínima dos blocos:

- Classe A: $f_{bk} \geq 6,0$ MPa (60 kgf/cm²)

- Classe B: $f_{bk} \geq 4,0$ MPa (40 kgf/cm²)

- Classe C: $f_{bk} \geq 3,0$ MPa (30 kgf/cm²)

- Classe D: $f_{bk} \geq 2,0$ MPa (20 kgf/cm²)

- A norma estabelece valores máximos de umidade dos blocos e da retração a serem observadas;
- Para amostragem, cada lote deve ser formado por blocos com mesmas características, destinados a uma área de construção de no máximo 1.000 m² de parede, e na quantidade de até 20.000 blocos;
- Até 10% do lote pode ser substituído, caso contrário o lote pode ser rejeitado.

TABELA 3
Requisitos resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classe	Resistência Característica f_{bk} (MPa)	Absorção Média em %		Retração ¹⁾
		Agregado Normal	Agregado Leve	%
A	$\geq 6,0$		$\leq 13,0\%$	
B	$\geq 4,0$	$\leq 10,0\%$	$\leq 13,0\%$ (média)	$\leq 0,065\%$
C	$\geq 3,0$		$\leq 16,0\%$ (individual)	
D	$\geq 2,0$			

¹⁾ Facultativo

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007).

Os ensaios dos blocos vazados de concreto simples devem ser realizados em laboratórios autorizados, qualificados ou acreditados, observando e atendendo os procedimentos das normas técnicas da ABNT. Os blocos que constituirão amostra representativa de todo o lote do qual foram retirados devem ser colhidos aleatoriamente. Os ensaios a serem executados são:

- Resistência à compressão, análise dimensional, absorção de água e área líquida conforme norma NBR 12118 (ABNT, 2006);
- Retração linear por secagem (FIG. 10) conforme norma NBR 12118 (NBR, 2006);

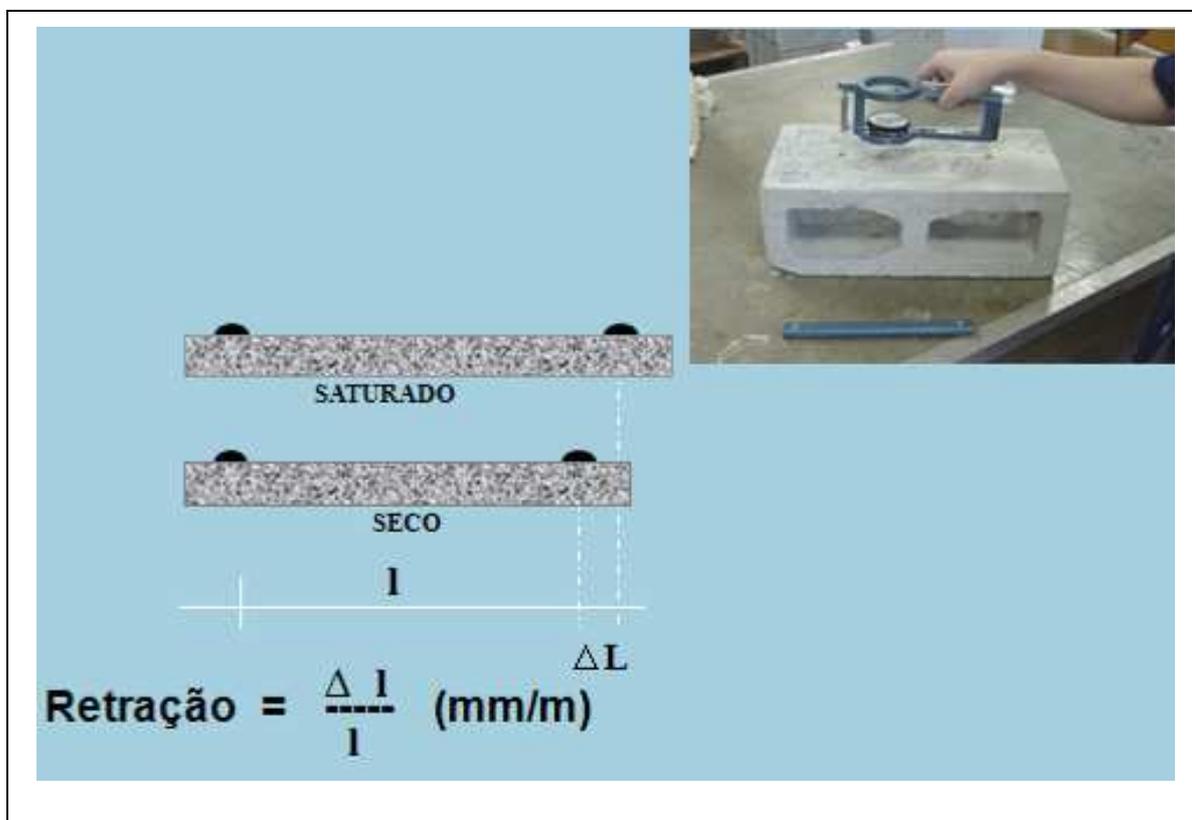


FIGURA 10: Ensaio de retração.

Fonte: Votorantim Cimentos

- Ensaio de permeabilidade (para blocos aparentes), conforme preconiza o item 6.4.5 da norma NBR 6136 (ABNT, 2007). Valores de absorção fora das especificações causam diminuição da estanqueidade, perda de aderência e aumento de fissuração da argamassa de revestimento. Podem ocorrer também maior proliferação de fungos e bolor e maior formação de eflorescência;
- Os blocos predominantes do lote que compõe a alvenaria geralmente são aqueles denominados como “inteiro” e referenciados na TAB. 1. Quando os blocos predominantes forem de outra denominação, igualmente podem constituir amostra para ensaio;
- Os blocos não predominantes, conforme os conjuntos de componentes de alvenaria, que interagem modularmente entre si e com outros elementos

construtivos, quando solicitada sua verificação através de ensaios, devem ser submetidos apenas aos ensaios de análise dimensional, absorção e permeabilidade, conforme norma NBR 12118 (ABNT, 2006)

A norma NBR 6136 (ABNT, 2007) define a quantidade de amostras a serem testadas consoante as informações constantes da TAB. 4.

TABELA 4
Tamanho da amostra.

Número de blocos do lote	Número de blocos da amostra		Número mínimo de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão		Número 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
10 001 a 20 000	10 ou 13	10 ou 13	10	6	3

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007)

De acordo com ALMEIDA (2009), alguns cuidados visuais bem simples podem ser tomados a quando da realização da inspeção visual, como, por exemplo, verificar se eles são uniformes e compactos; possuem arestas vivas; ausência de rachaduras, lascas e outros defeitos e superfície bastante abrasiva para conseguir uma boa aderência ao reboco, revestimentos e acabamentos.

3.1.4. Resistência a compressão

A Resistência à Compressão para blocos de concreto pode ser definida como a verificação da capacidade de carga que os blocos de concreto suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces. Isto é de fundamental importância para determinar a segurança estrutural da edificação. Quanto aos requisitos solicitados na NBR 6136 (ABNT, 2007) referentes a resistência característica à compressão são apresentados na TAB. 2.

3.2. Teste de ultrassonografia aplicado ao concreto

3.2.1. Conceituação

Métodos não destrutivos vêm sendo cada vez mais utilizados na avaliação da qualidade das estruturas de concreto, devido, principalmente, ao desenvolvimento tecnológico dos equipamentos e da contínua necessidade de se avaliar o interior dos elementos estruturais. De acordo com as normas que tratam deste assunto, o método de ensaio não destrutivo ultrassonografia determina a velocidade de propagação de ondas longitudinais de pulsos ultra-sônicos através de um componente de concreto. Isto permite o controle de qualidade e inspeção de estruturas de concreto, tendo como principais aplicações:

- determinação da homogeneidade do concreto ou entre os membros;
- a detecção da presença e extensão aproximada de fissuras, vazios e outros defeitos;
- monitoramento das mudanças que ocorrem com o tempo nas propriedades do concreto;
- a correlação da velocidade do pulso e resistência como uma medida da qualidade do concreto;
- a determinação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do concreto.

De acordo com a norma britânica BS 1881 203 - *Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete* (BSI, 1996), as medições de velocidade de pulso feita em estruturas de concreto podem ser utilizadas para o controle de qualidade. Em comparação com ensaios mecânicos em amostras de controle, como cubos ou cilindros, as medições de velocidade de pulso tem a vantagem que elas se relacionam diretamente com a estrutura do concreto ao invés de amostras que podem nem sempre representar verdadeiramente o concreto “in situ”. A velocidade do pulso deve estar relacionada com os resultados de testes em

componentes estruturais e, se uma correlação for estabelecida com a resistência ou outras propriedades necessárias desses componentes, é apropriado fazer uso dela.

Relações empíricas podem ser estabelecidas entre a velocidade do pulso e os módulos de elasticidade dinâmico e estático e a resistência do concreto. A última relação é influenciada por uma série de fatores incluindo o tipo e constituição do cimento, adições, tipo e tamanho do agregado, condições de cura e a idade do concreto.

A velocidade de um pulso de ultra-som é influenciada pelas propriedades do concreto que determinam a sua rigidez elástica e sua resistência mecânica. As variações obtidas em um conjunto de medições de velocidade de pulso feitas ao longo de intervalos diferentes em uma estrutura refletem uma variação correspondente no estado do concreto. Quando uma região de baixa compactação, vazios ou material danificado está presente no concreto analisado, uma redução correspondente na velocidade do pulso calculado ocorre e isso permite determinar a extensão aproximada das imperfeições. Como o concreto envelhece ou se deteriora, as mudanças que ocorrem com o tempo em sua estrutura são refletidas em um aumento ou uma diminuição, respectivamente, na velocidade de pulso. Isso permite monitorar as mudanças por meio de testes adequados em intervalos de tempo.

A FIG. 11 ilustra as diferentes condições que podem ser encontrados quando um elemento de concreto é testado. No caso 1, o percurso entre os transdutores é através do concreto sólido, e o tempo de viagem é curto. O exemplo seguinte, nº2, é o caso onde há uns vazios internos, semelhante a um concreto poroso. O pulso é dispersos enquanto propaga dentro da porosidade do concreto. Assim, o caminho da onda é mais longo e o tempo de propagação do pulso maior resultando em uma velocidade de pulso reduzido. No caso 3, os transdutores estão localizadas em um local em que a propagação direta é perto da borda de um fissura. O pulso não propaga através do ar dentro do concreto, mas é capaz de atingir o transdutor receptor por difração na borda da fissura. Como o caminho de propagação é maior que a distância entre os transdutores, a aparente velocidade de pulso é menor do que através do concreto sólido. No ultimo caso, nº4, o pulso é refletido completamente pela fissura, e o tempo de propagação não é medido.

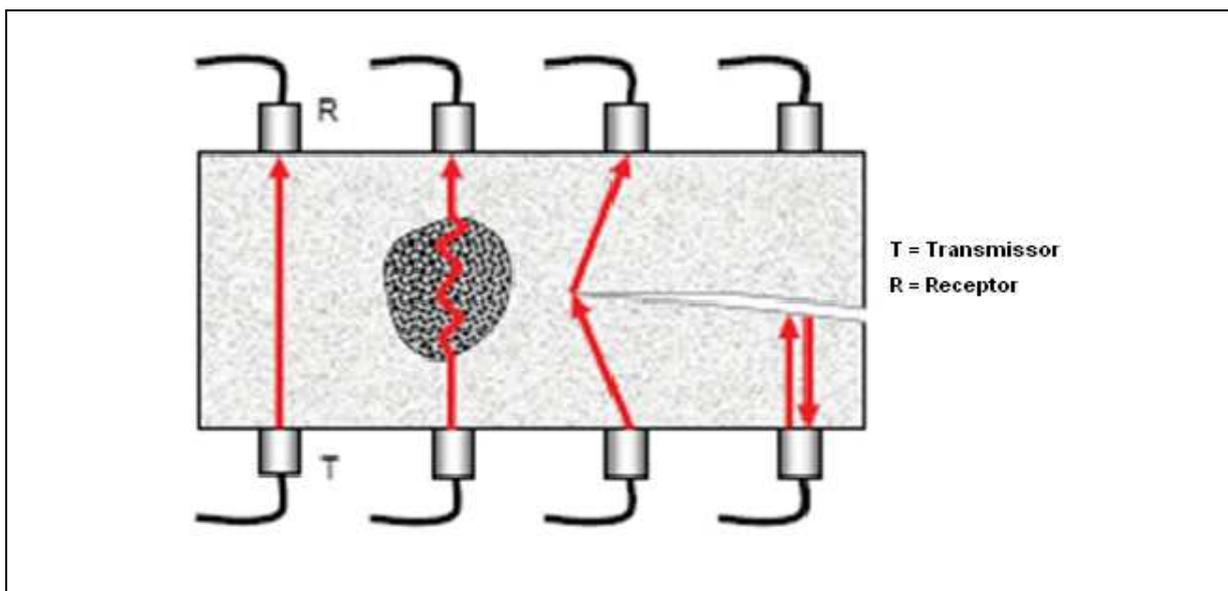


FIGURA 11 - Ensaio de ultrasonografia em concreto com diferentes situações.
 Fonte: Catálogo de NDT Systems - Germann Instruments

3.2.2. Princípio físico

Um pulso de vibrações longitudinais (FIG. 12) é produzido por um transdutor eletroacústico, que é mantido em contato com a superfície do concreto em análise. Depois de atravessar um comprimento conhecido (L), no concreto, a vibração do pulso é convertida em um sinal elétrico por um segundo transdutor. Circuitos de medição eletrônica marcam o tempo de travessia (t) do pulso a ser medido. A velocidade (V_p) do pulso é dada por:

$$V_p = \frac{L}{t}$$

onde:

V_p = velocidade de propagação (km/s);

L = distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (km);

t = tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção (μ s)

De acordo com ROCHA et al (2008), os impulsos mecânicos quando aplicados a materiais sólidos geram três tipos de ondas. Cada tipo de onda ocasiona um movimento específico das partículas no meio de transmissão. Os tipos de onda são conhecidos como longitudinal, transversal e de superfície.

No caso das longitudinais (compressão) elas são ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases. Na FIG.12 nota-se que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas, e passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda (longitudinal), e aparecerá “zonas de compressão” e “zonas diluídas”. A distância entre duas zonas de compressão determina o comprimento de onda (λ). Segundo MENEGHETTI (1999), as ondas longitudinais ou de compressão são duas vezes mais rápidas que os outros dois tipos. Em decorrência do processo de propagação, este tipo de onda possui uma alta velocidade de propagação, característica do meio. ANDREUCCI (2008) revela na TAB. 5 a velocidade de propagação das ondas longitudinais em diferentes meios de transmissão.

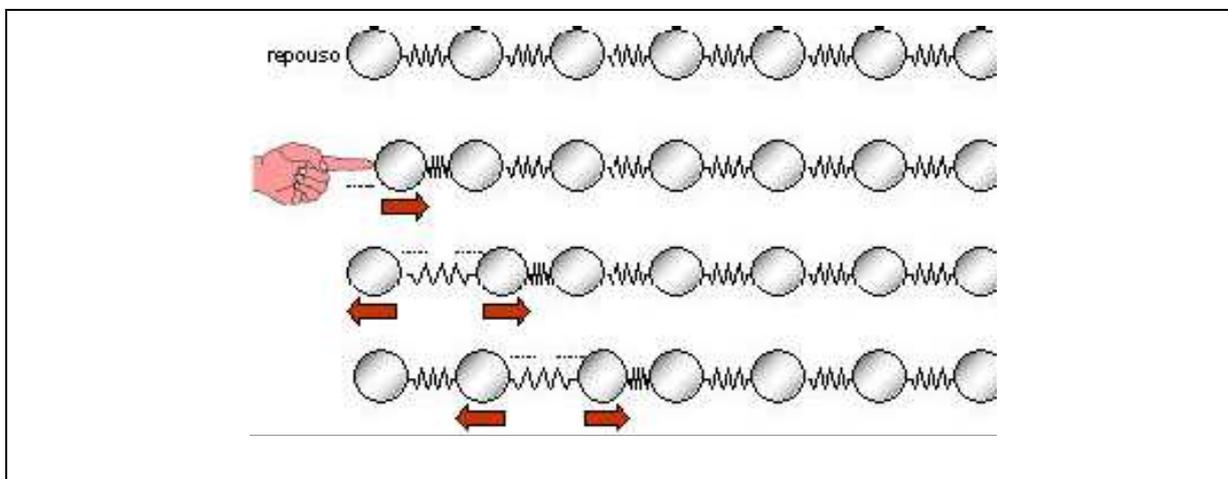


FIGURA 12 – Tipologia das ondas longitudinais.
Fonte: ANDREUCCI, 2008

TABELA 5
Velocidades da onda longitudinal em diferentes meios.

Material	Velocidade (m/s)
Aço	5900
Aço Fundido	4800
Aço Inox.	5800
Acrílico	2700
Água	1480
Alumínio	6300
Ar	330
Cobre	4700
Magnésio	5800
Níquel	5600
Nylon	2600
Óleo (SAE30)	1700
Ouro	3200
Prata	3600
Titânio	6100
Tungstênio	5200

Fonte: ANDREUCCI, 2008

Já no caso das transversais (cisalhamento), que é definida, quando as partículas do meio vibram na direção perpendicular ao de propagação. Neste caso, observa-se que os planos de partículas mantem-se na mesma distância um do outro, movendo-se apenas verticalmente. (FIG. 13).

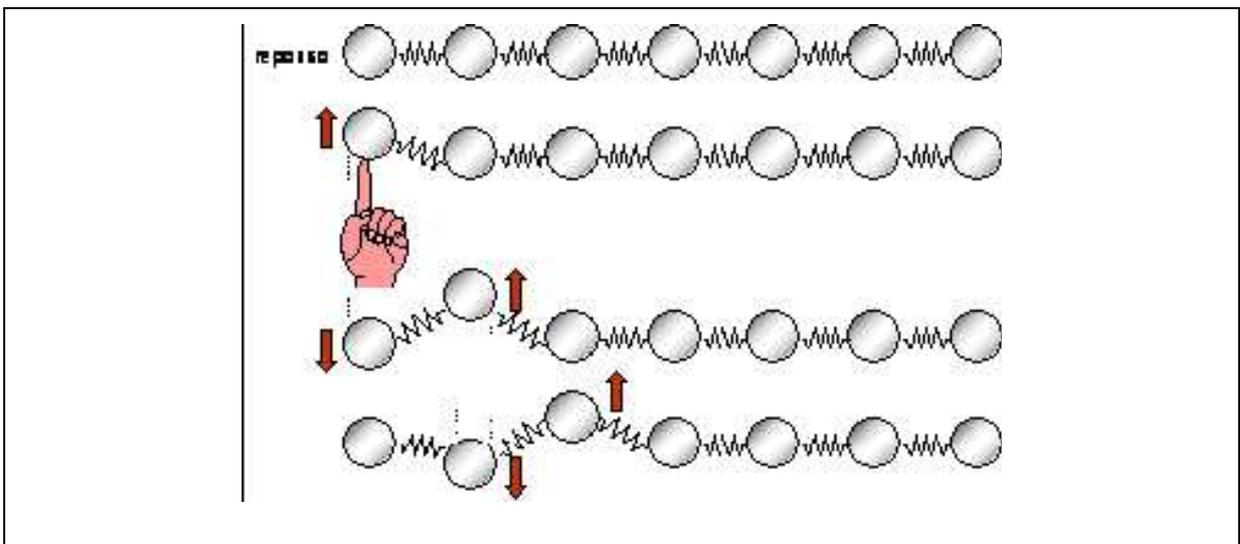


FIGURA 13 – Tipologia das ondas transversais.
 Fonte: ANDREUCCI, 2008

A oscilação das partículas na direção transversal a direção de propagação, são transmitidas somente a sólidos. Devido as características das ligações entre partículas destes meios, praticamente são incapazes de se propagarem nos líquidos e gases. O comprimento de onda é a distância entre dois “vales” ou dois “picos”. Na TAB. 6 são apresentadas as velocidades de propagação das ondas transversais em alguns meios.

TABELA 6
Velocidades da onda transversal em diferentes meios.

Material	Velocidade (m/s)
Aço	3200
Aço Fundido	2400
Aço Inox.	3100
Acrílico	1100
Água	-
Alumínio	3100
Ar	-
Cobre	2300
Magnésio	3000
Níquel	3000
Nylon	1100
Óleo (SAE30)	-
Ouro	1200
Prata	1600
Titânio	3100

Fonte: ANDREUCCI, 2008

Finalmente, as de superfície, também referenciadas como ondas Rayleigh, são assim chamadas pela característica de se propagar na superfície dos sólidos. Devido ao complexo movimento oscilatório das partículas da superfície, a velocidade de propagação da onda superficial entre duas fases diferentes é de aproximadamente 10% inferior que a de uma onda transversal. A onda superficial não possui a componente normal, portanto se propaga em movimento paralelo a superfície e transversal em relação à direção de propagação. Sua aplicação restringe-se ao exame de finas camadas de material que recobrem outros materiais.

No caso específico dos equipamentos utilizados em testes não destrutivos para concreto, todos os transdutores são projetados para gerar ondas longitudinais. Segundo a norma britânica BS 1881:203 (BSI, 1986), o transdutor receptor detecta a chegada do componente do pulso que chega mais cedo. Esta é geralmente a borda de ataque da vibração longitudinal. Embora a direção na qual a máxima energia propagada seja perpendicular à face do transdutor de transmissão, durante o processo de ensaio, pode ocorrer a geração de ondas de cisalhamento ou de superfície, mas estas não chegam a influenciar no resultado final, visto que as primeiras são mais rápidas que as últimas. De acordo com NAIK et.al.(2004), essas ondas produzidas por transdutores eletroacústicos acoplados a superfície do concreto podem estar dispostos em três maneiras: transmissão direta, transmissão indireta e transmissão semidireta. O Anexo B da norma brasileira NBR 8802 (ABNT, 1994) também menciona as três possibilidades de acomodação dos transdutores, e que corresponde a:

- (a) Transmissão Direta: É o arranjo mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas através de um material, pois desta forma as ondas são recebidas com maior intensidade e se movimentam de forma face a face. Nestas situações os transdutores são posicionados em faces opostas, conforme indicado na FIG. 14.

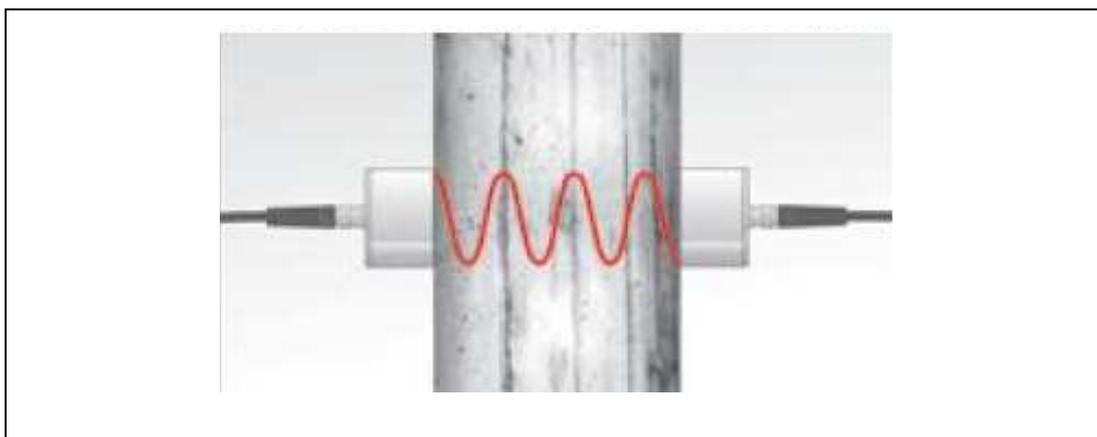


FIGURA 14 - Transmissão Direta
Fonte: Catálogo da PROCEQ

- (b) Transmissão Indireta: Este arranjo é utilizado quando se tem acesso a apenas uma face do corpo-de-prova ou do componente a ser inspecionado, e quando é necessário avaliar a intensidade, magnitude e

profundidade de trincas existentes, permitindo que o transdutor-receptor possa percorrer a face a ser analisada, mantendo-se o transdutor fixo (FIG. 15). Este arranjo não é tão eficiente quanto o sistema direto, na medida em que sofre a interferência de uma grande área do componente ou corpo de prova analisado, chegando a se obter tempos de propagações até 50% superiores quando adota-se o modo direto de transmissão. Sempre que possível, deve-se utilizar sistemas de medições diretos e indiretos objetivando obter fatores de correlação do tempo de propagação da onda ultrassônica.

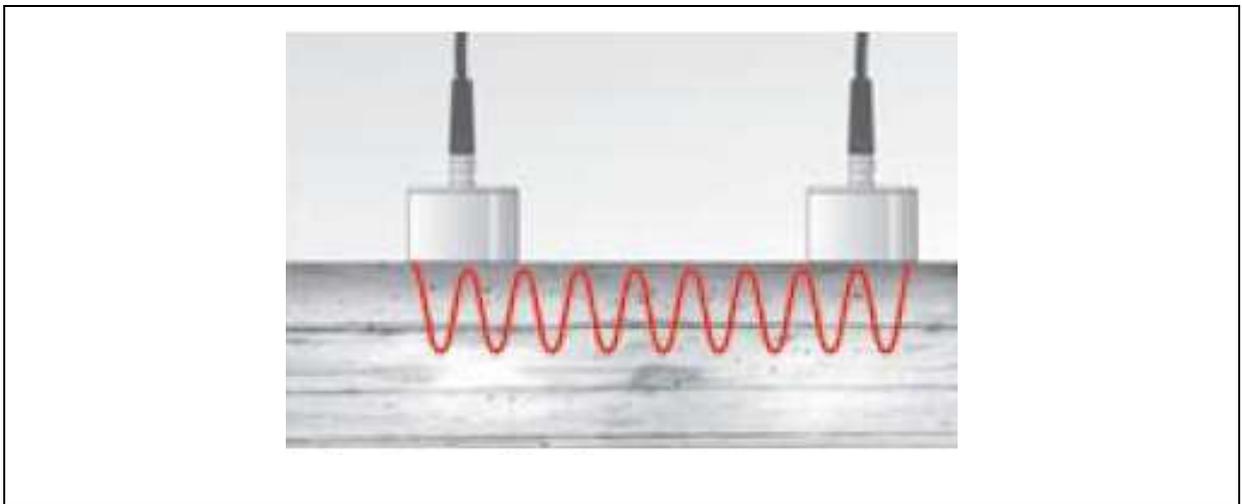


FIGURA 15 - Transmissão Indireta
Fonte: Catálogo da PROCEQ

- (c) Transmissão Semidireta: Tipo de arranjo de transdutores que só deverá ser utilizado quando não houver a possibilidade de uso do sistema direto ou semidireto. Nesta situação os transdutores são posicionados em duas faces perpendiculares como mostrado na FIG. 16.

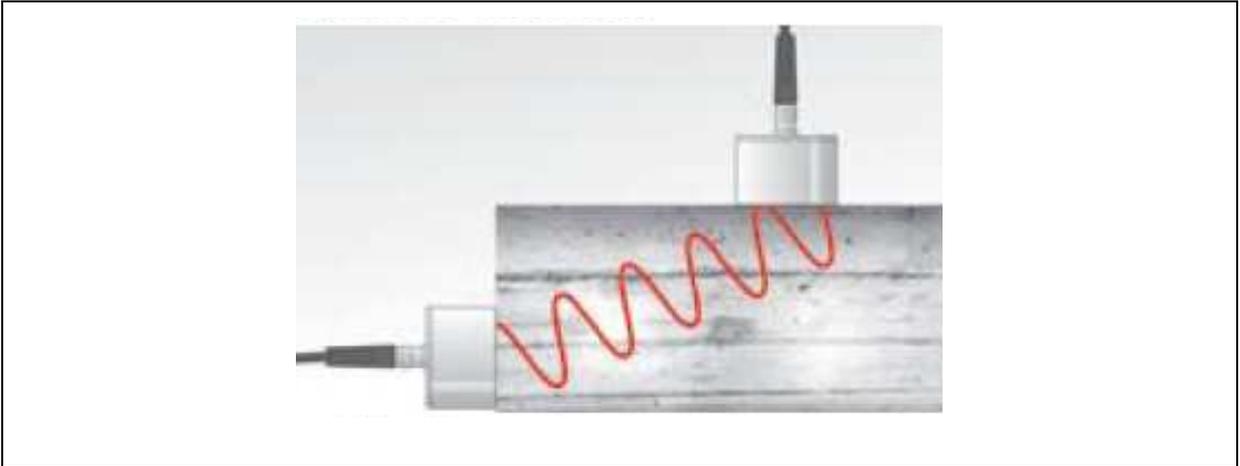


FIGURA 16 - Transmissão Semidireta
Fonte: Catálogo da PROCEQ

No caso do sistema de leitura indireto que objetiva avaliar a existência de trincas, fendas e fissuras no material concreto, e em outros tipos de materiais (madeira, cerâmica e plástico), a técnica operatória comumente utilizada para a determinação dos tempos de propagação das ondas ultrassônicas passantes, recomenda (FIG. 17):

- a) fixar o transdutor-emissor em um ponto (E);
- b) fazer a leitura do tempo de propagação de ondas estando o transdutor-receptor nos pontos R1, R2, R3,..., Rn, equidistantes entre si e sobre uma mesma reta que contém o ponto fixo do transdutor-emissor, conforme indicado na FIG. 17;
- c) locar, em um sistema cartesiano de eixos, as distâncias entre os pontos E e R1 a Rn e os tempos lidos para que a onda ultra-sônica percorra estas distâncias, conforme indicado na FIG. 18.

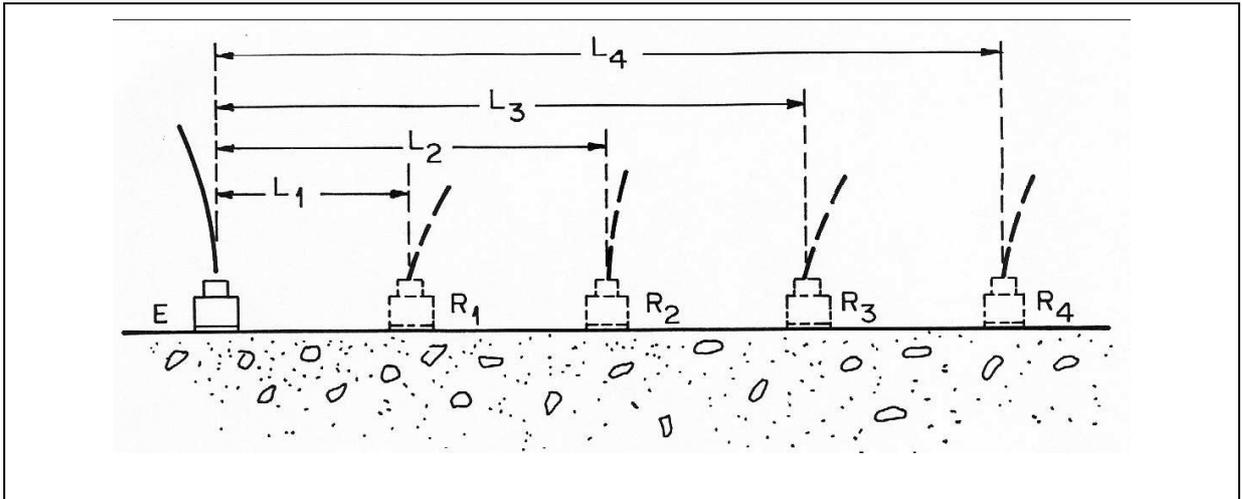


FIGURA 17 - Transmissão Indireta
 Fonte: NBR 8802 (ABNT,1994)

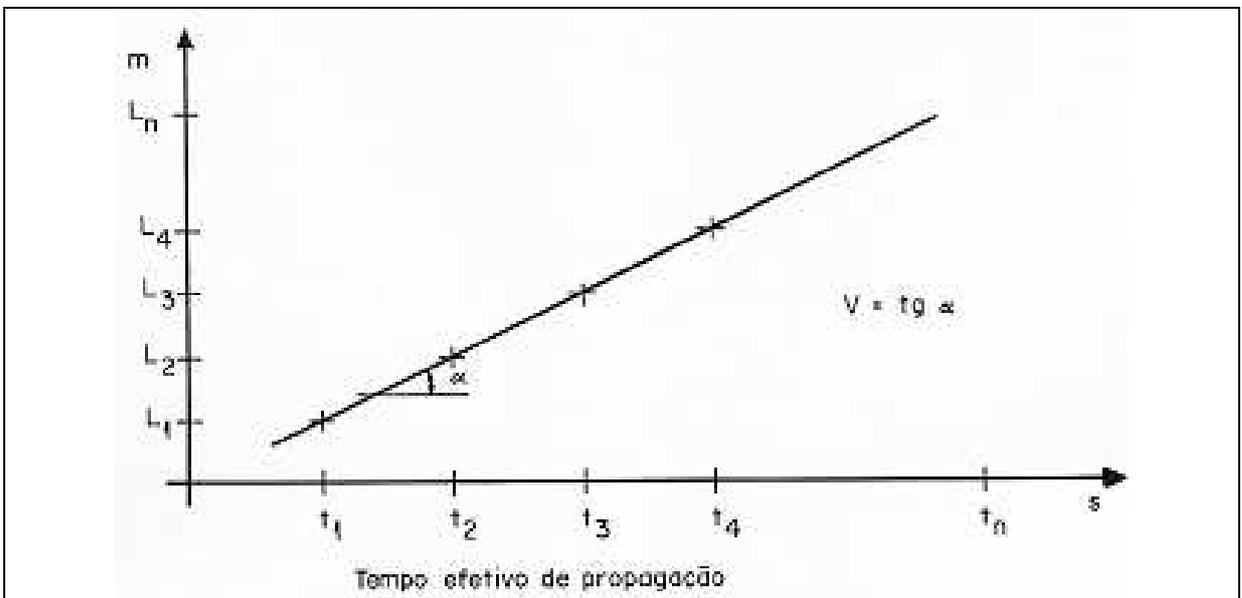


FIGURA 18 - Modelo do gráfico plotado para sistema de avaliação de trincas
 Fonte: NBR 8802 (ABNT, 1994)

3.2.3. Equipamentos utilizados

De acordo com a norma americana ASTM C597 - *Standart test method for pulse velocity through concrete* (ASTM, 2009), o aparelho de ultrassonografia, mostrado esquematicamente na FIG. 19, consiste de um gerador de pulso, um par de transdutores (transmissor e receptor), um amplificador, um circuito medidor de tempo, uma unidade de visualização de tempo e cabos coaxiais.

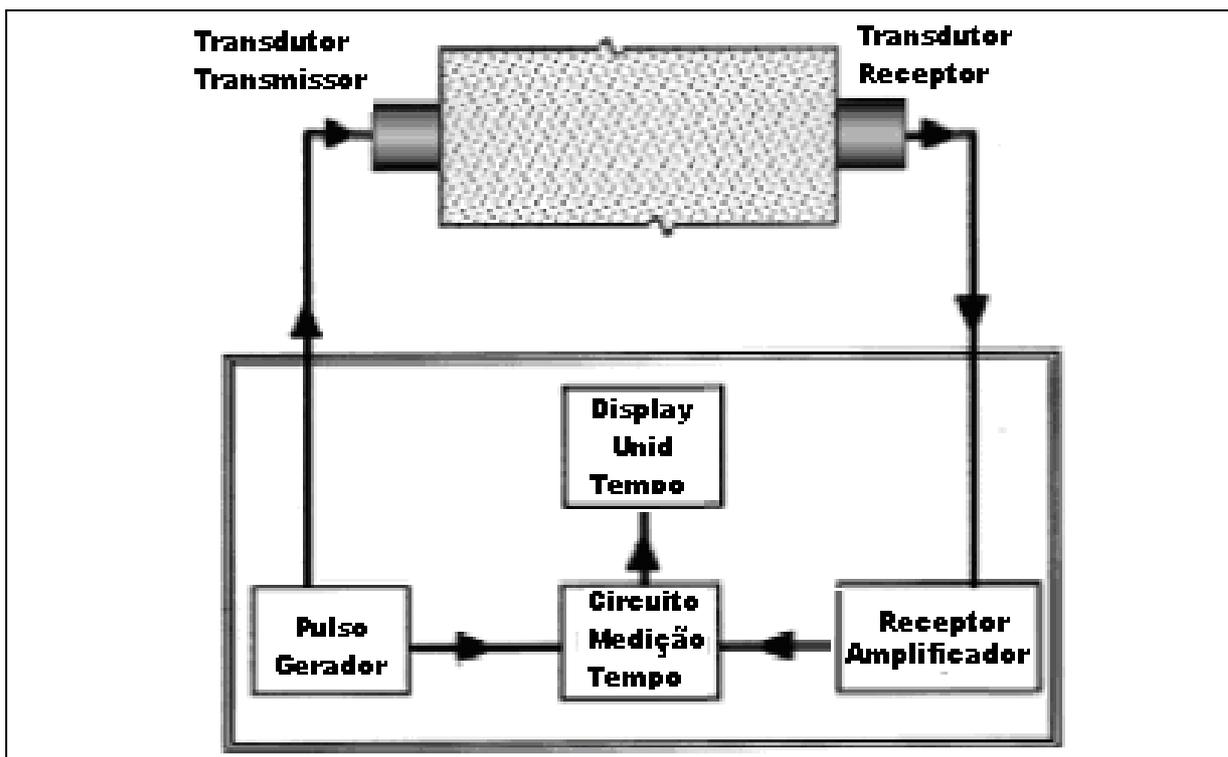


FIGURA 19 – Sistema de funcionamento do aparelho de ultrassonografia
 Fonte: ASTM C597 (ASTM, 2009)

A norma brasileira NBR 8802 (ABNT, 1994), define parâmetros da aparelhagem a ser utilizada nos testes:

- **Circuito gerador-receptor:** Aparelho de pulso elétrico de baixa frequência ultra-sônica, com alta estabilidade e precisão de leitura de pelo menos 0,1 μ s.
- **Transdutor-emissor:** Aparelho que possibilita a transformação do pulso elétrico em onda de choque numa faixa de 24 kHz a 500 kHz.
- **Transdutor-receptor:** Aparelho que possibilita a transformação da onda de choque em pulso elétrico, com amplificação adequada ao circuito do gerador-receptor.
- **Circuito medidor de tempo:** Aparelho que possibilita medir o tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção. Este circuito pode ser provido de um ajuste para descontar o tempo gasto nos cabos conectores entre o gerador-receptor e os transdutores. O tempo gasto no percurso pode ser lido em um tubo de raios catódicos ou em um mostrador digital.

- **Cabos coaxiais:** Cabos que devem permitir a conexão perfeita dos transdutores ao circuito gerador-receptor.
- **Barra de referência:** Peça que possibilita a aferição do equipamento ultrassônico, feita de material metálico, com superfícies de acoplamento com acabamento polido e vibração do tempo de trânsito gravada.

A norma britânica BS 1881:203 (BSI, 1996) referencia e exige que o aparelho deve possuir as seguintes características:

- Deve ser capaz de medir o tempo do trajeto no intervalo de comprimento que varia de 100 mm a 3000 mm, com uma precisão de + 1%.
- A excitação do pulso eletrônico aplicada deve ter um aumento de tempo não superior a um quarto do período normal do transdutor de transmissão. Isso é para garantir uma precisão no início do pulso.
- O intervalo entre pulsos deve ser suficientemente longo para garantir que o início do sinal recebido em pequenos corpos de prova de concreto seja livre de interferência por reverberações produzidas pela emissão do ciclo anterior.
- O aparelho deve manter seu desempenho ao longo as faixas de temperatura ambiente, umidade e voltagem de energia indicado pelos fornecedores.

Pulsos de alta frequência têm um início bem definido, mas, à medida que passam pelo concreto, tornam-se mais rapidamente atenuados do que os pulsos de baixa frequência. É, portanto, preferível o uso de transdutores de alta frequência para distâncias menores e transdutores de baixa frequência para distâncias maiores. Transdutores com frequência de 50 kHz a 60 kHz são adequados para as aplicações mais comuns focadas nas inspeções de concretos e argamassas.

Existem diversos fabricantes de aparelhos de ultrassonografia, tais como: MKTest fabricado pela James Instruments; PUNDIT (*Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester*) fabricado pela CNS Eletronics e o TICO (*Ultrasonic Instrumen*) fabricação PROCEQ.

No presente trabalho a opção de trabalho recaiu sobre dois tipos: o TICO e o PUNDIT. Observa-se nas FIG. 20 e 21 os aparelhos utilizados.



FIGURA 20 - Aparelho PUNDIT e seus acessórios.
Fonte: COSTA, 2004



FIGURA 21 - Aparelho TICO com os transdutores.
Fonte: Catálogo da PROCEQ

3.2.4. Variáveis que interferem nas avaliações e inspeções:

Uma série de fatores podem afetar a correlação entre a velocidade do pulso ultrassônico e a resistência do concreto conforme mostra o anexo C da norma brasileira NBR 8802 (ABNT,1994), que são:

- Distância entre as superfícies de contato dos transdutores.
- Presença de armadura, principalmente no sentido de propagação da onda.
- Densidade do concreto, que depende do traço e das condições de concretagem.
- Tipo, densidade e outras características dos agregados.
- Tipo de cimento e grau de hidratação.
- Direção de ensaio da peça.
- Tipo de adensamento do concreto.

EVANGELISTA (2002) cita em seu trabalho que dentre vários ensaios “in situ” destinados a avaliar a resistência de concretos por testes não destrutivos, é a ultrassonografia que apresenta a maior confiabilidade e os melhores resultados, e outros autores (MALHORTA, 1984 e FACAORU, 1984), apontam dispersões e variações que variam entre 2% e até 30%. Entretanto, FACAORU (1984), estimou, a partir de diversos trabalhos realizados, que a confiabilidade da estimativa de resistência pelo método do ultra-som é de:

- (a) 12 a 16% - quando estão disponíveis corpos de prova ou testemunhos e se conhece a composição do concreto;
- (b) 14 a 18% - quando estão disponíveis apenas corpos de prova ou testemunhos;
- (c) 18 a 25 % - quando se conhece apenas a composição do concreto;
- (d) acima de 30 % - quando não estão disponíveis corpos de prova ou testemunhos e nem se conhece a composição do concreto, dependendo apenas da experiência do profissional e da existência de dados auxiliares.

De acordo com GONÇALVES (1986) em condições ideais, ou seja, com calibração realizada a partir de concretos idênticos previamente produzidos em laboratório e outro lançado na estrutura, a confiabilidade é da ordem de + 20 %. Em caso contrário, poderá ser registrados erros de até 50 %. Em resumo, erros e desvios existem e devem ser adequadamente analisados para a emissão de um estimativa mais ajustada. Situações similares também foram observadas nos trabalhos de POPOVICS (2001).

A norma britânica BS 1881:203 (BSI, 1986) trata deste assunto dizendo que para fornecer uma medida de velocidade de pulso que seja reprodutível e que depende essencialmente das propriedades do concreto sob exame, é necessário considerar os vários fatores que podem influenciar a velocidade do pulso e sua correlação com diferentes propriedades físicas do concreto, a saber:

- Teor de umidade: apresenta dois efeitos sobre a velocidade de pulso, um químico e outro físico. Estes efeitos são importante na produção de correlações para a estimativa da resistência do concreto. Entre um cubo padrão devidamente curado e um elemento estrutural feito a partir do mesmo concreto, pode haver uma velocidade de pulso significativamente diferente, sendo que grande parte da diferença é explicada pelo efeito de diferentes condições de cura sobre a hidratação do cimento e algumas diferenças são devidas a presença de água livre nos vazios. É importante que estes efeitos sejam cuidadosamente considerados ao estimar a resistência.
- Temperatura do concreto: quando a temperatura do concreto estiver entre 10 °C e 30 °C não são registradas mudanças abruptas na velocidade do pulso ultrassonográfico, e, portanto nenhuma mudança significativa na estimativa de resistência ou propriedades de um concreto. Entretanto fora desta faixa correções nas medições da velocidade do pulso devem ser realizadas consoante proposta apresentada na TAB. 7.

TABELA 7
Efeitos da temperatura na transmissão do pulso.

Temperatura (°C)	Correção da velocidade do pulso medido	
	Concreto Seco (%)	Concreto Saturado (%)
60	5,0	4,0
40	2,0	1,7
20	0,0	0,0
0	-0,5	-1,0
-4	-1,5	-7,5

Fonte: BS 1881:203 (BSI, 1986)

- Comprimento do trajeto: o comprimento do trajeto sobre o qual a velocidade de pulso é medida não deve ser muito longo e sim suficiente para a realização de leituras confiáveis. Recomenda-se que o comprimento mínimo da distância percorrida pelo pulso seja de 100 mm, para os casos em que o diâmetro máximo do agregado empregado no concreto for menor ou igual a 20 mm. Nos casos de diâmetros máximos entre 20 e 40 mm não utilizar distâncias entre transdutores menores que 150 mm. A velocidade de pulso geralmente não é influenciada por mudanças no comprimento do trajeto, embora o dispositivo de cronometragem eletrônica possa indicar uma tendência para a redução um pouco da velocidade com aumento do trajeto. Isso ocorre porque a maior freqüência dos componentes do pulso são atenuadas mais do que o componentes de freqüência mais baixa e a forma de o início da o pulso torna-se mais arredondada com maior distância percorrida. Assim, a aparente redução da velocidade do pulso decorre da dificuldade de se definir exatamente o início do pulso e isto depende do método particular utilizado para sua definição. Esta aparente redução na velocidade é geralmente pequena e bem dentro da tolerância de tempo para a exatidão da medida determinada.
- Forma e o tamanho da amostra: a velocidade dos pulsos curtos de vibrações independe do tamanho e da forma da amostra em que viajam, a menos que sua menor dimensão lateral seja inferior a certo valor mínimo. Abaixo deste valor, a velocidade de pulso pode ser reduzida sensivelmente. A extensão desta redução depende principalmente da relação entre o comprimento de

onda das vibrações do pulso e a menor dimensão lateral da amostra, mas é insignificante se a relação for inferior a unidade. A TAB. 8 apresenta a relação entre a velocidade do pulso no concreto, a frequência do transdutor e a dimensão lateral mínima admissível da amostra. Se a dimensão lateral mínima é menor que o comprimento de onda ou se o arranjo de transmissão indireta for utilizado, o modo de propagação muda e, portanto, a velocidade medida será diferente. Isto é particularmente importante nos casos de elementos de concreto com tamanhos significativamente diferentes que estão sendo comparados.

TABELA 8
Efeitos das dimensões das amostras na transmissão do pulso.

Frequência do transdutor (kHz)	Velocidade do pulso no concreto (km/s)		
	$v_c = 3,5$	$v_c = 4,0$	$v_c = 4,5$
	Dimensão lateral mínima permitida da amostra (mm)		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

Fonte: BS 1881:203 (BSI, 1986)

- Efeito das barras no concreto armado: A velocidade do pulso medido em concreto armado nas proximidades das barras de aço é geralmente mais elevada que em concreto simples com a mesma composição. Isto porque a velocidade do pulso no aço pode ser até o dobro da velocidade no concreto e, sob certas condições, o primeiro pulso para chegar ao transdutor receptor viaja parte no concreto e parte no aço. O aumento aparente na velocidade de pulso depende da proximidade das medidas com a barra de aço, o diâmetro e o número de barras e sua orientação em relação ao trajeto de propagação. (FIG. 22). A frequência do pulso e as condições da superfície da barra também podem afetar o grau de influencia do aço nas velocidades medidas. Correções nos valores medidos reduzirão a precisão na estimativa da velocidade do pulso no concreto, de forma que, sempre que possível, as

medições sejam feitas de tal forma que o aço não esteja dentro ou perto do caminho entre os transdutores.

- Determinação da homogeneidade do concreto: Heterogeneidades no interior do concreto ou entre partes causam variações na velocidade de pulso que, por sua vez, estão relacionados às variações de qualidade. As medições de velocidade de pulso fornecem meios de estudar a homogeneidade e, para este propósito, um sistema de pontos de medição que abrangem uniformemente o volume apropriado de concreto na estrutura tem que ser escolhido. O número de pontos de teste individual depende do tamanho da estrutura, a precisão requerida e a variabilidade do concreto. Em uma grande unidade de concreto bastante uniforme, testes em uma rede de 1 m é geralmente adequada, mas, em pequenas unidades ou concreto variável, uma rede mais fina pode ser necessária. Deve-se notar que, nos casos em que o comprimento do trajeto é o mesmo durante o levantamento, o tempo medido pode ser usado para avaliar a uniformidade de concreto sem a necessidade de converter velocidade. Esta técnica é particularmente adequada para inquéritos onde todas as medições são feitas por métodos de transmissão indiretos. É possível expressar homogeneidade na forma de parâmetro estatístico como o desvio padrão ou coeficiente de variação das medidas de velocidade de pulso feitas ao longo de gráficos. No entanto, esses parâmetros só são adequados se utilizados para comparar as variações nas unidades de concreto de dimensões amplamente similares. Entretanto, para se estabelecer tal correlação é necessário um número suficiente de corpos-de-prova a fim de se ter confiabilidade estatística.

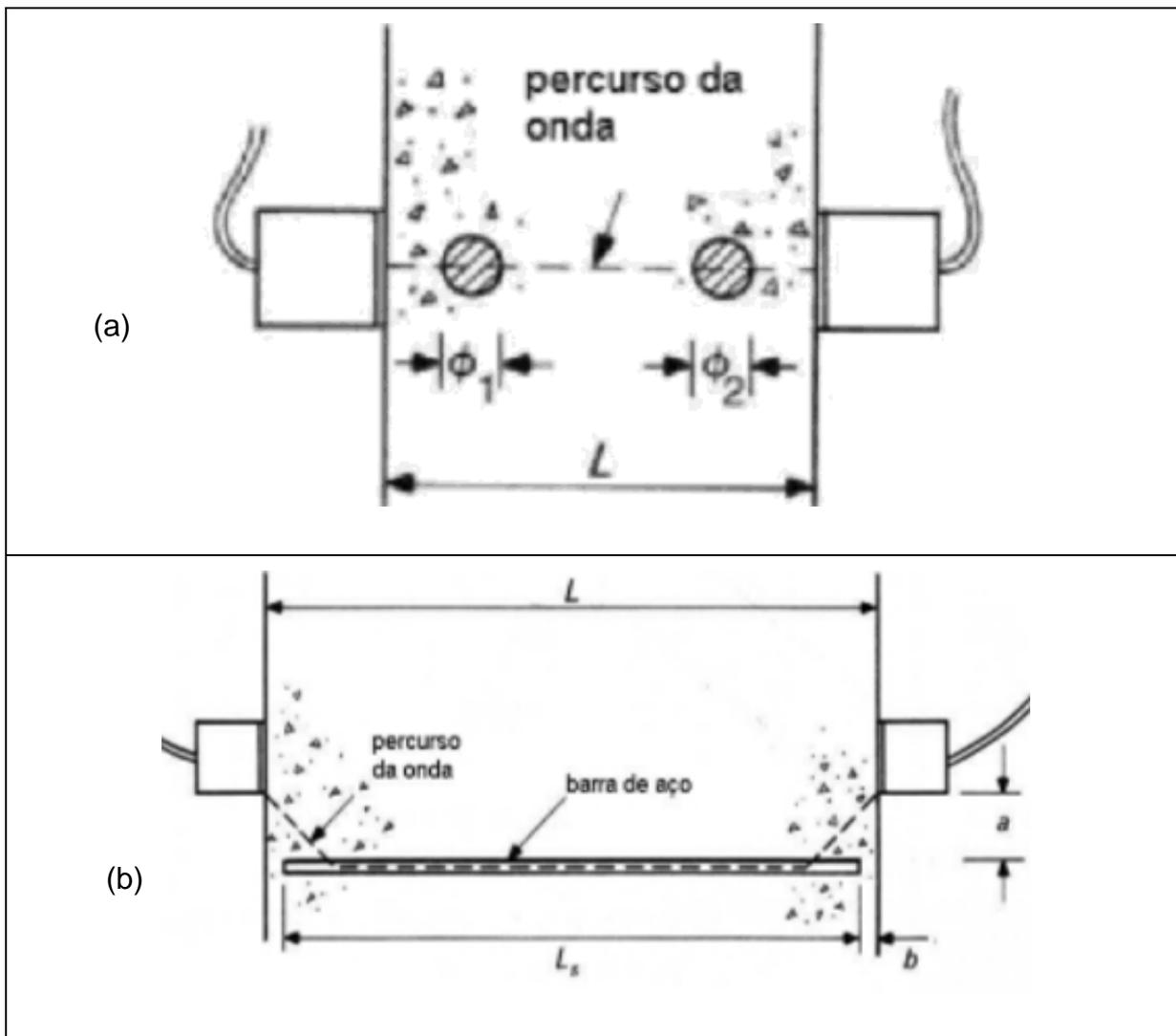


FIGURA 22 - Influencia das barras transversais (a) longitudinais (b) ao percurso da onda.
 Fonte: BUNGEY, 1989.

4. Metodologia de trabalho

O trabalho experimental foi desenvolvido de forma a atender e ajustar o prescrito no item objetivos gerais e específicos da pesquisa, e que para o atendimento recomendou.

4.1. Seleção blocos para estudo e análise

Foram utilizados blocos de concreto vazados estruturais (família de blocos M15) de diferentes lotes de fabricação cujas dimensões atendem as especificações contidas na norma NBR 6136 (ABNT, 2007). Os blocos selecionados para testes foram os seguintes (dimensões nominais):

- Bloco vazado 15 x 20 x 40 cm;
- Bloco vazado 15 x 20 x 54 cm;
- Bloco vazado 15 x 20 x 30 cm.

Os blocos foram fornecidos por uma tradicional empresa fabricante localizada na cidade de Pedro Leopoldo, Minas Gerais, e que atende grandes construtoras do Estado de Minas Gerais, e, sobretudo da região metropolitana de Belo Horizonte.

A classificação dos blocos vazados, segundo testes realizados pelo controle de qualidade da empresa fabricante e validados pelo Laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UFMG, variou entre $f_{bk} = 3,0$ até $f_{bk} = 8$ MPa, portanto aptos para serem utilizados como blocos de vedação e com função estrutural.

Os exemplares selecionados para estudo possuíam, em função da sua classe, espessuras das paredes, longitudinais e transversais, superiores aos valores nominais exigidos tal como apresentado na TAB. 2.

4.2. Identificação das amostras para inspeção ultrassonográfica

Os mesmos blocos que foram retirados pelo controle de qualidade da fábrica para realização dos testes de compressão foram também utilizados para a inspeção com

o aparelho de ultrassom de forma que os valores obtidos sejam do mesmo objeto utilizado.

Todas as amostras selecionadas pelo controle de qualidade da empresa e que seriam submetidas aos testes de avaliação da resistência à compressão simples, conforme especificações da NBR 6136 (ABNT, 2007) foram identificadas e previamente submetidas a avaliação ultrassonográfica.

4.3. Seleção equipamento de teste

Em função da disponibilidade de dois diferentes tipos de equipamentos, foram realizadas inspeções, tanto nas amostras em processo de análise por parte do laboratório de controle de qualidade do fabricante, quanto nas amostras enviadas para o canteiro de obra de tradicional construtora mineira, quanto em amostras já assentadas nas paredes das edificações da mesma construtora.

Foram selecionados ao trabalho os aparelhos referenciados como TICO e PUNDIT, e com transdutores de frequência 54 kHz e diâmetro de 50 mm, adequadamente calibrados pelo bloco aferidor padrão fornecido conjuntamente com o aparelho.

Foi mantido o operador dos aparelhos, não havendo, portanto riscos de ter ocorrido algum tipo de interferência relativa ao manuseio e operação.

Os blocos de concreto foram testados pela empresa fabricante através do uso de uma prensa fabricação CONTENCO, capacidade nominal de 1000 kN, devidamente aferida e com sensibilidade de 50 kgf. Já os resultados dos testes dos blocos foram convalidados através do Laboratório de Materiais da UFMG, através de prensa EMIC, capacidade nominal de 2000 kN e sensibilidade de 50 kgf.

4.4. Definição de “modus operandis” padronizado para inspeção de blocos

O procedimento adotado para a execução dos ensaios de ultrasonografia nos blocos foi proposto através da adaptação daquele constante da norma NBR 8802 (ABNT, 1994).

A seqüência das operações propostas para o trabalho utilizando ambos aparelhos foi (FIG. 23 a 29):

- (a) Preparar o aparelho para seu uso, ainda desligado, conectando os cabos dos transdutores nas saídas respectivas no aparelho e depois aos transdutores;



FIGURA 23 - Aparelho TICO com os acessórios na bancada.



FIGURA 24 - Conexão dos cabos no aparelho.

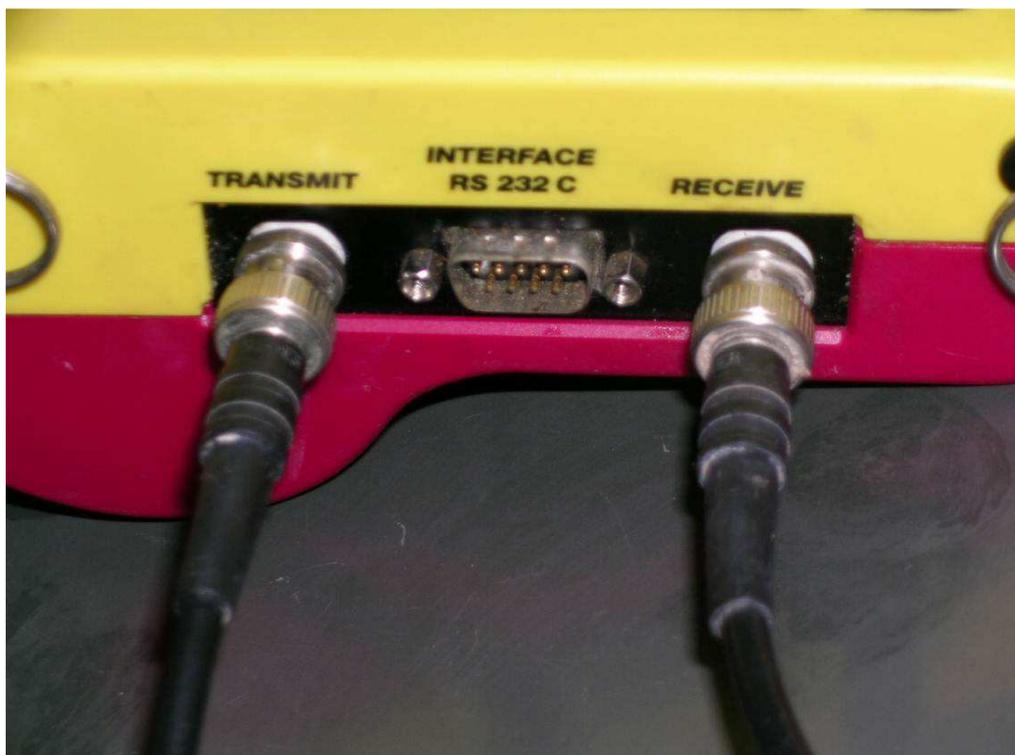


FIGURA 25 - Cabos ligados em suas saídas específicas – transmissor e receptor.



FIGURA 26 - Cabos com transdutores conectados ao aparelho.

(b) Ligar o aparelho;



FIGURA 27 – “Lay out” do aparelho ligado.

(c) Calibração do aparelho: através da barra de referencia que possui velocidade conhecida para a propagação da onda ultra-sônica (FIG. 28). A norma britânica BS 1881:203 (BSI, 1986) diz que é necessário estabelecer a leitura correta da calibragem do aparelho, uma vez que a medida indicada é influenciada por um tempo de atraso, devido tanto à transmissão do pulso através do material dos transdutores e da transmissão do sinal elétrico ao longo dos cabos dos transdutores. O aparelho deve incorporar um ajuste de atraso de tempo adequado para que as leituras indicadas possam ser feitas independente do presente efeito. O ajuste de tempo de atraso deve ser feito enquanto os transdutores estão acoplados às extremidades opostas de uma barra de referência para o qual o tempo de trajeto é conhecido com precisão. É importante sempre usar a mesma técnica de colocar os transdutores na barra de referencia. Uma quantidade mínima de acoplante deve ser utilizada e o transdutor pressionado firmemente contra o fim da barra. Ajustes no atraso de tempo para proporcionar uma correta configuração da calibragem do aparelho devem ser feitos cada vez que o equipamento for utilizado, sempre que os transdutores forem trocados e

sempre que forem utilizados cabos de diferentes comprimentos. Também pode ser necessário realizar verificações mais freqüentes sobre a configuração da calibragem dependendo da estabilidade dos circuitos eletrônicos ou dos cabos. Além disso, a precisão da medição do tempo de trajeto do pulso depende da precisão do dispositivo eletrônico usado para medir intervalos de tempo e também por sua sensibilidade em detectar o início do pulso. As medições são feitas sobre essas barras de referência através da colocação de um transdutor em cada extremidade e tendo a leitura do tempo de trajeto. A medida obtida não deve diferir do valor conhecido para a amostra de referência em mais do que $\pm 0,5\%$. Tempos de trajeto do pulso são demonstrados na barra de referência pelo fabricante com uma precisão de $\pm 0,2 \mu\text{s}$.



FIGURA 28 - Barra de calibração com os transdutores.



FIGURA 29 - Velocidade de propagação da barra de calibração

- (d) Preparo da superfície a ser ensaiada: a superfície deve ser plana, lisa e isenta de sujeira. Quando estas condições não são atendidas, a superfície pode ser regularizada por processos mecânicos ou por meio de camada de pasta de cimento, gesso ou resina epóxi, com espessura mínima de modo a permitir o bom acoplamento com os transdutores;
- (e) Acoplamento dos transdutores: para a perfeita transmissão das ondas sônicas, é necessária a aplicação de uma fina camada de acoplante entre as superfícies da peça e dos transdutores. Usa-se como acoplante vaselina, graxa ou gel para cabelo.
- (f) Posicionar o transdutor transmissor sobre a superfície do bloco a ser ensaiado, sob pressão, a uma distância de 200 mm do transdutor receptor na face externa do bloco (utilizando o método indireto);

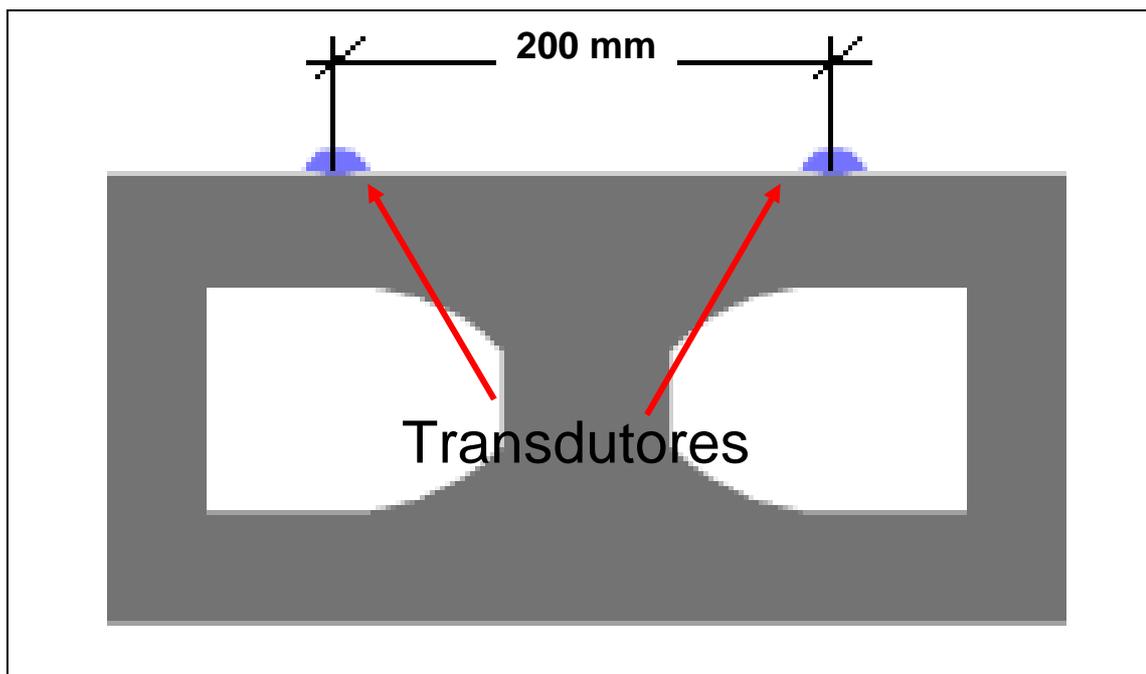


FIGURA 30 - Posição utilizada dos transdutores no bloco de concreto.

- (g) Realizar, ordenadamente, algumas medições no mesmo bloco dos lotes de fabricação.
- (h) Após estes procedimentos, foi realizado em laboratório o rompimento dos mesmos blocos analisados da seguinte forma: 6 (seis) amostras de cada lote de blocos fabricados para realização deste ensaio, segundo a seqüência abaixo:
- capeamento do bloco com 3 mm de espessura através de uma pasta de cimento e água (1:3) deixado por 24h, e nivelado com um nível de bolha;
 - colocação na prensa para ruptura das amostras, obtendo-se as tensões para o cálculo da resistência à compressão, conforme a FIG. 31.



FIGURA 31 - Bloco de concreto na prensa

Procedimento semelhante foi realizado em blocos de concreto já assentados na alvenaria conforme observados nas FIG. 32 e 33.

- (i) Posicionar o transdutor transmissor sobre a superfície do bloco a ser ensaiado, sob pressão, a uma distância de 200 mm do transdutor receptor na face externa dos blocos da parede (utilizando o método indireto);
- (j) Efetuar, através de um termômetro a laser a avaliação da temperatura superficial dos blocos. Caso ela seja superior a 30 °C, aguardar a redução da mesma, ou proceder ao resfriamento;

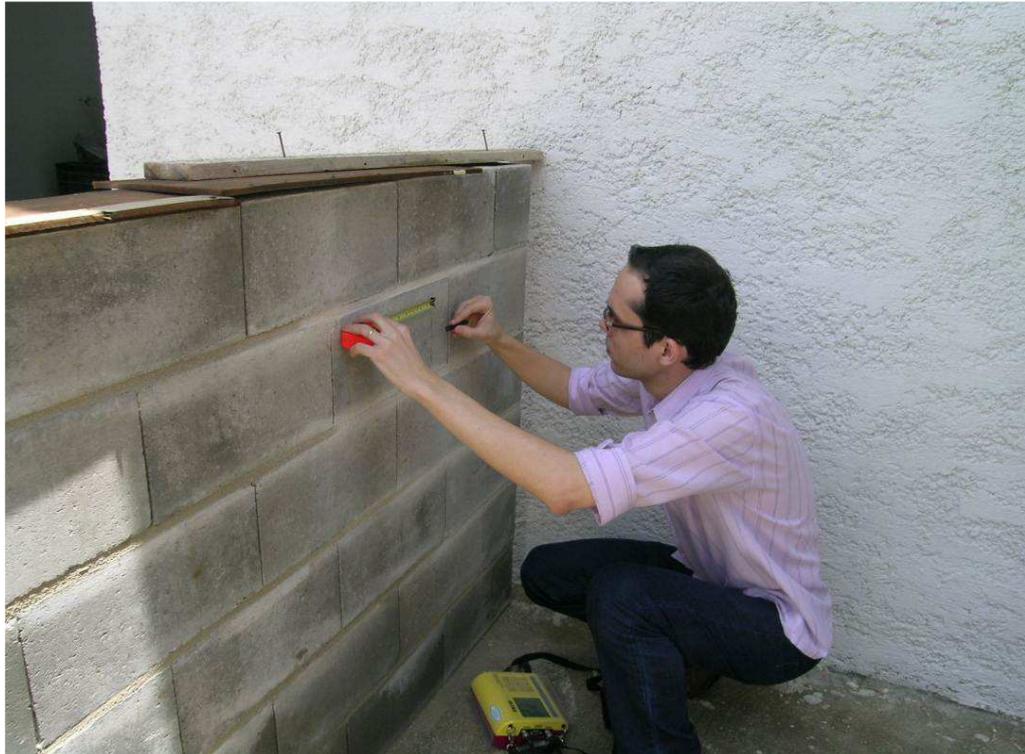


FIGURA 32 - Marcação no bloco da distancia adotada.

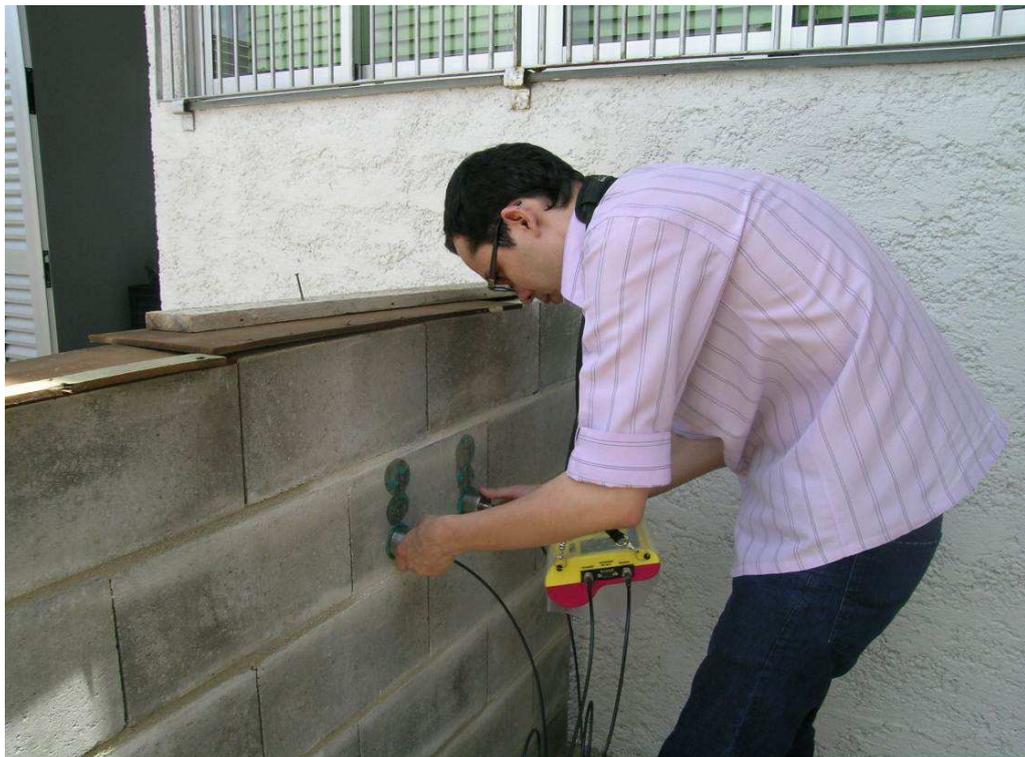


FIGURA 33 - Realização do ensaio nos blocos diretamente na parede.

- (k) Não realizar testes sobre superfícies visivelmente úmidas;
- (l) Realizar, ordenadamente, 3 (três) leituras em cada bloco analisado.

4.5. Resultados dos testes realizados em campo e em laboratório

Na TAB. 9 são apresentados os resultados individuais, e dos respectivos lotes, de todos os testes de ultrassonografia realizados nos blocos vazados de concreto, contendo o tempo e a velocidade de propagação das ondas, bem como indicando a informação da resistência à compressão das amostras e de que classe (f_{bk}) o bloco era representativo.

Na TAB.10 visualizam-se os resultados de ultrassonografia apresentados nas inspeções realizadas diretamente nas pilhas de armazenagem de blocos, localizados no pátio de desova do fabricante, e contendo a informação, dada pelo fabricante, da classe a que representava os blocos empilhados.

Já na TAB.11 observam-se os resultados apresentados nos testes de ultrassonografia realizados “in situ”, diretamente nas alvenarias já com blocos assentes, e onde também são apresentadas, em função do fator de correção K_1 obtido a partir da média aritmética constantes da TAB. 9.

Na FIG.34 pode-se observar o resultado do Laudo elaborado pelo Controle de Qualidade da empresa fornecedora dos blocos de concreto, e cujos blocos foram utilizados nas alvenarias inspecionadas “in situ” (que gerou a TAB. 11), em uma obra na cidade de Belo Horizonte.

TABELA 9

Resultados testes realizados em Laboratório via equipamento PUNDIT (Continua)

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (µs)			Velocidade de propagação da onda Vp (km/s)			Vpm (km/s)	fb (MPa)	K (Vpm/fb)	K1 (fb/Vpm)
PUNDIT	1	27/6/2009	28/7/2009	31	BE 1554 V 8,0 MPa	1	67,1	65,5	68,6	2,98	3,05	2,92	3,01	8,16	0,37	2,71
						2	62,4	65,7	68,7	3,21	3,04	2,91		8,31	0,36	2,76
						3	66,6	66,0	68,7	3,00	3,03	2,91		8,36	0,36	2,78
						4	53,6	66,4	80,6	3,73	3,01	2,48		9,33	0,32	3,10
						5	68,6	73,3	72,9	2,92	2,73	2,74		7,52	0,40	2,50
						6	67,1	72,9	51,7	2,98	2,74	3,87		7,81	0,39	2,59
	2	29/6/2009	28/7/2009	29	BE 1554 V 6,0 MPa	1	79,1	72,7	72,4	2,53	2,75	2,76	2,25	5,93	0,38	2,64
						2	84,1	86,9	80,6	2,38	2,30	2,48		5,17	0,44	2,30
						3	96,0	79,6	81,4	2,08	2,51	2,46		4,08	0,55	1,81
						4	80,5	84,1	110,4	2,48	2,38	1,81		5,51	0,41	2,45
						5	110,2	109,1	81,3	1,81	1,83	2,46		5,60	0,40	2,49
						6	103,3	133,6	98,8	1,94	1,50	2,02		4,27	0,53	1,90
	3	16/7/2009	28/7/2009	12	BE 1540 V 6,0 MPa	1	75,4	81,0	75,9	2,65	2,47	2,64	2,33	6,52	0,36	2,80
						2	86,5	81,4	81,8	2,31	2,46	2,44		6,16	0,38	2,64
						3	76,1	70,0	73,4	2,63	2,86	2,72		7,22	0,32	3,10
						4	79,9	77,7	102,5	2,50	2,57	1,95		7,14	0,33	3,06
						5	109,0	94,3	99,3	1,83	2,12	2,01		6,06	0,38	2,60
						6	111,4	108,7	98,1	1,80	1,84	2,04		6,17	0,38	2,65
	4	15/7/2009	28/7/2009	13	BE 1540 V 6,0 MPa	1	73,1	71,3	69,9	2,74	2,81	2,86	2,34	7,47	0,31	3,19
						2	68,1	71,0	69,9	2,94	2,82	2,86		6,52	0,36	2,79
						3	71,7	72,0	72,6	2,79	2,78	2,75		7,11	0,33	3,04
						4	98,1	102,6	110,6	2,04	1,95	1,81		7,12	0,33	3,04
						5	107,5	111,5	112,1	1,86	1,79	1,78		6,35	0,37	2,71
						6	112,2	114,7	99,0	1,78	1,74	2,02		6,20	0,38	2,65
5	30/6/2009	28/7/2009	28	BE 1530 V 4,0 MPa	1	50,4	52,0	52,7	3,97	3,85	3,80	3,13	7,86	0,40	2,51	
					2	52,6	56,0	55,5	3,80	3,57	3,60		5,63	0,56	1,80	
					3	76,6	78,8	82,9	2,61	2,54	2,41		8,87	0,35	2,83	
					4	84,7	80,9	52,5	2,36	2,47	3,81		6,10	0,51	1,95	
					5	57,2	53,6	77,2	3,50	3,73	2,59		7,41	0,42	2,37	
					6	80,1	74,1	80,8	2,50	2,70	2,48		7,54	0,42	2,41	

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 9

Resultados testes realizados em Laboratório via equipamento PUNDIT (Conclusão)

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (μs)			Velocidade de propagação da onda Vp (km/s)			Vpm (km/s)	fb (MPa)	K (Vpm/fb)	K1 (fb/Vpm)
PUNDIT	6	16/7/2009	28/7/2009	12	BE 1540 V 4,0 MPa	1	86,10	85,20	82,50	2,32	2,35	2,42	2,73	6,89	0,40	2,52
						2	55,30	57,10	53,70	3,62	3,50	3,72		9,40	0,29	3,44
						3	81,00	85,60	81,60	2,47	2,34	2,45		5,83	0,47	2,14
						4	83,10	83,40	58,10	2,41	2,40	3,44		6,40	0,43	2,34
						5	56,90	81,10	93,50	3,51	2,47	2,14		7,08	0,39	2,59
						6	81,90	78,20	79,60	2,44	2,56	2,51		7,57	0,36	2,77
	7	11/7/2009	28/7/2009	17	BE 1540 V 4,0 MPa	1	52,1	54,5	50,4	3,84	3,67	3,97	3,10	7,73	0,40	2,49
						2	55,4	60,1	81,1	3,61	3,33	2,47		6,87	0,45	2,22
						3	81,1	64,8	80,6	2,47	3,09	2,48		5,58	0,56	1,80
						4	76,0	72,9	52,1	2,63	2,74	3,84		7,61	0,41	2,45
						5	56,9	54,1	84,9	3,51	3,70	2,36		7,38	0,42	2,38
						6	88,4	84,4	56,8	2,26	2,37	3,52		6,59	0,47	2,13
	8	13/7/2009	28/7/2009	15	BE 1540 V 6,0 MPa	1	50,2	50,5	48,1	3,98	3,96	4,16	3,58	8,03	0,45	2,24
						2	72,2	52,1	49,4	2,77	3,84	4,05		8,18	0,44	2,28
						3	52,6	53,2	51,0	3,80	3,76	3,92		7,35	0,49	2,05
						4	71,4	70,0	58,8	2,80	2,86	3,40		6,98	0,51	1,95
						5	60,1	56,1	53,9	3,33	3,57	3,71		6,43	0,56	1,80
						6	52,0	51,3	70,2	3,85	3,90	2,85		8,54	0,42	2,39
	9	14/7/2009	28/7/2009	14	BE 1540 V 8,0 MPa	1	60,1	81,7	54,0	3,33	2,45	3,70	2,88	8,15	0,35	2,83
						2	75,1	74,2	73,6	2,66	2,70	2,72		9,32	0,31	3,24
						3	77,0	58,3	72,6	2,60	3,43	2,75		8,18	0,35	2,84
						4	66,1	65,3	74,5	3,03	3,06	2,68		10,16	0,28	3,53
						5	75,6	71,1	71,6	2,65	2,81	2,79		8,21	0,35	2,85
						6	71,9	67,9	71,8	2,78	2,95	2,79		9,33	0,31	3,24
10	13/7/2009	28/7/2009	15	BE 1540 V 10,0 MPa	1	67,4	71,9	66,6	2,97	2,78	3,00	2,71	12,80	0,21	4,72	
					2	72,6	72,0	71,8	2,75	2,78	2,79		12,90	0,21	4,76	
					3	82,7	71,2	71,0	2,42	2,81	2,82		13,00	0,21	4,80	
					4	83,1	66,6	87,0	2,41	3,00	2,30		14,20	0,19	5,24	
					5	72,5	66,8	82,8	2,76	2,99	2,42		12,80	0,21	4,72	
					6	85,9	70,0	77,8	2,33	2,86	2,57		13,70	0,20	5,06	

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 10

Resultados testes realizados em Laboratório via equipamento TICO (Continua)

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (µs)			Velocidade de propagação da onda Vp (km/s)			Vpm (km/s)	fb (MPa)	K (Vpm/fb)	K1 (fb/Vpm)
TICO	1	1/10/2009	16/10/2009	15	BE 1540 V 4,5 MPa	1	100,8	115,5	112,6	1,98	1,73	1,78	1,97	5,77	0,34	2,93
						2	109,5	93,7	111,6	1,83	2,13	1,79		5,10	0,39	2,59
						3	101,8	102,9	108,6	1,96	1,94	1,84		6,44	0,31	3,27
						4	112,8	86,7	105,7	1,77	2,31	1,89		5,75	0,34	2,92
						5	118,6	111,7	83,7	1,69	1,79	2,39		5,61	0,35	2,85
						6	112,6	85,6	81,6	1,78	2,34	2,45		5,77	0,34	2,93
	2	2/12/2009	16/12/2009	14	BE 1540 V 6,0 MPa	1	100,3	111,4	103,4	1,99	1,80	1,93	1,92	7,16	0,27	3,73
						2	81,2	85,4	100,5	2,46	2,34	1,99		6,07	0,32	3,16
						3	101,4	110,3	102,3	1,97	1,81	1,96		6,53	0,29	3,40
						4	101,4	112,3	110,5	1,97	1,78	1,81		7,05	0,27	3,67
						5	117,4	113,4	108,6	1,70	1,76	1,84		6,05	0,32	3,15
						6	116,3	110,3	107,7	1,72	1,81	1,86		6,05	0,32	3,15
	3	1/12/2009	16/12/2009	15	BE 1540 V 4,5 MPa	1	105,0	111,3	107,2	1,90	1,80	1,87	2,85	6,01	0,47	2,11
						2	98,3	10,1	102,5	2,03	19,80	1,95		7,75	0,37	2,72
						3	109,4	113,3	110,5	1,83	1,77	1,81		5,47	0,52	1,92
						4	103,4	100,3	110,3	1,93	1,99	1,81		7,63	0,37	2,68
						5	114,3	108,2	119,3	1,75	1,85	1,68		5,46	0,52	1,92
						6	119,3	111,1	98,0	1,68	1,80	2,04		5,33	0,53	1,87
	4	27/11/2009	16/12/2009	19	BE 1540 V 4,5 MPa	1	121,9	124,0	107,3	1,64	1,61	1,86	1,80	5,77	0,31	3,21
						2	104,5	105,3	94,5	1,91	1,90	2,12		6,47	0,28	3,59
						3	103,4	115,3	117,4	1,93	1,73	1,70		7,29	0,25	4,05
						4	98,3	111,3	117,4	2,03	1,80	1,70		7,30	0,25	4,06
						5	118,4	118,3	111,0	1,69	1,69	1,80		6,29	0,29	3,49
						6	117,4	118,5	103,4	1,70	1,69	1,93		6,82	0,26	3,79
5	3/12/2009	16/12/2009	13	BE 1540 V 4,5 MPa	1	107,1	117,4	110,4	1,87	1,70	1,81	1,80	4,88	0,37	2,71	
					2	115,1	120,1	110,1	1,74	1,67	1,82		4,57	0,39	2,54	
					3	112,4	119,5	116,4	1,78	1,67	1,72		4,81	0,37	2,67	
					4	118,2	108,5	111,2	1,69	1,84	1,80		5,73	0,31	3,18	
					5	111,0	115,4	100,4	1,80	1,73	1,99		6,67	0,27	3,71	
					6	101,2	99,1	111,5	1,98	2,02	1,79		5,28	0,34	2,93	

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 10

Resultados testes realizados em Laboratório via equipamento TICO (Conclusão)

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (µs)			Velocidade de propagação da onda Vp (km/s)			Vpm (km/s)	fb (MPa)	K (Vpm/fb)	K1 (fb/Vpm)
							1	2	3	1,90	1,88	1,86				
TICO	6	30/11/2009	16/12/2009	16	BE 1540 V 4,0 MPa	1	105,1	106,2	107,4	1,90	1,88	1,86	3,17	5,00	0,63	1,58
						2	95,4	112,6	108,3	2,10	1,78	1,85				
						3	98,3	103,0	101,5	2,03	1,94	1,97				
						4	91,4	93,3	100,8	2,19	2,14	1,98				
						5	85,4	103,9	103,4	2,34	1,92	1,93				
						6	109,1	104,7	101,0	1,83	1,91	1,98				
	7	4/1/2010	19/1/2010	15	BE 1540 V 4,0 MPa	1	94,3	122,7	119,0	2,12	1,63	1,68	1,96	4,93	0,40	2,52
						2	114,3	105,4	117,1	1,75	1,90	1,71				
						3	99,4	103,2	119,3	2,01	1,94	1,68				
						4	108,0	101,1	87,2	1,85	1,98	2,29				
						5	89,3	86,5	95,0	2,24	2,31	2,11				
						6	97,3	96,3	104,3	2,06	2,08	1,92				
	8	5/1/2010	19/1/2010	14	BE 1540 V 4,0 MPa	1	104,4	110,3	107,4	1,92	1,81	1,86	1,89	5,49	0,34	2,90
						2	108,5	116,3	92,3	1,84	1,72	2,17				
						3	107,9	110,8	88,4	1,85	1,81	2,26				
						4	110,4	106,0	108,4	1,81	1,89	1,85				
						5	116,3	113,3	104,5	1,72	1,77	1,91				
						6	94,3	106,7	108,3	2,12	1,87	1,85				
	9	5/1/2010	19/1/2010	14	BE 1540 V 4,5 MPa	1	98,3	93,1	89,4	2,03	2,15	2,24	2,01	5,80	0,35	2,89
						2	107,4	113,4	110,3	1,86	1,76	1,81				
						3	103,4	89,4	90,3	1,93	2,24	2,21				
						4	93,0	96,5	104,2	2,15	2,07	1,92				
						5	93,4	91,4	105,3	2,14	2,19	1,90				
						6	110,6	109,4	102,3	1,81	1,83	1,96				
	10	6/1/2010	19/1/2010	13	BE 1540 V 4,0 MPa	1	86,3	89,4	86,3	2,32	2,24	2,32	2,12	6,16	0,34	2,91
						2	85,8	89,7	87,2	2,33	2,23	2,29				
						3	111,3	98,4	116,2	1,80	2,03	1,72				
						4	90,6	92,2	88,0	2,21	2,17	2,27				
						5	92,3	89,3	97,5	2,17	2,24	2,05				
						6	119,4	112,1	87,3	1,68	1,78	2,29				

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 11

Resultados testes ultrassonografia realizados diretamente na pilha via equipamento TICO e resistência realizadas em Laboratório com apresentação dos fatores de correlação K e K₁

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (μs)			Velocidade de propagação da onda Vp (km/s)			Vpm (km/s)	fb (MPa)	K (Vpm/fb)	K1 (fb/Vpm)
TICO	1	1/10/2009	16/10/2009	15	BE 1540 V 4,5 MPa	1	132,6	116,6	102,6	1,51	1,72	1,95	1,98	5,77	0,34	2,91
						2	75,7	113,1	107,7	2,64	1,77	1,86		5,10	0,39	2,58
						3	82,5	92,8	120,8	2,42	2,16	1,66		6,44	0,31	3,25
						4	109,6	126,9	129,5	1,82	1,58	1,54		5,75	0,34	2,90
						5	103,4	110,4	81,7	1,93	1,81	2,45		5,61	0,35	2,83
						6	103,4	83,7	82,6	1,93	2,39	2,42		5,77	0,34	2,91
	2	2/12/2009	16/12/2009	14	BE 1540 V 6,0 MPa	1	88,3	90,4	87,4	2,27	2,21	2,29	2,33	7,16	0,33	3,07
						2	80,9	86,4	81,4	2,47	2,31	2,46		6,07	0,38	2,61
	3	1/12/2009	16/12/2009	15	BE 1540 V 4,5 MPa	1	90,9	92,0	105,2	2,20	2,17	1,90	2,17	6,01	0,36	2,77
						2	90,8	89,9	85,3	2,20	2,22	2,34		7,75	0,28	3,57
	4	27/11/2009	16/12/2009	19	BE 1540 V 4,5 MPa	1	109,1	118,4	101,4	1,83	1,69	1,97	2,22	5,77	0,38	2,60
						2	91,8	73,4	69,1	2,18	2,72	2,89		6,47	0,34	2,91
	5	3/12/2009	16/12/2009	13	BE 1540 V 4,5 MPa	1	95,4	98,4	94,5	2,10	2,03	2,12	2,01	4,88	0,41	2,43
						2	103,1	104,2	103,4	1,94	1,92	1,93		4,57	0,44	2,27
	6	4/1/2010	19/1/2010	15	BE 1540 V 4,0 MPa	1	66,5	94,8	91,2	3,01	2,11	2,19	2,77	4,93	0,56	1,78
						2	66,0	67,4	66,3	3,03	2,97	3,02		5,01	0,55	1,81
						3	63,3	88,3	62,4	3,16	2,27	3,21		5,44	0,51	1,96
	7	5/1/2010	19/1/2010	14	BE 1540 V 4,0 MPa	1	116,3	109,0	99,5	1,72	1,83	2,01	2,07	5,49	0,38	2,65
						2	95,1	94,0	92,2	2,10	2,13	2,17		6,20	0,33	3,00
						3	89,8	91,3	90,3	2,23	2,19	2,21		5,45	0,38	2,63
	8	5/1/2010	19/1/2010	14	BE 1540 V 4,5 MPa	1	92,5	96,3	92,5	2,16	2,08	2,16	2,24	5,80	0,39	2,59
						2	93,0	93,6	92,3	2,15	2,14	2,17		5,58	0,40	2,49
						3	105,4	67,4	82,8	1,90	2,97	2,42		6,33	0,35	2,83
	9	6/1/2010	19/1/2010	13	BE 1540 V 4,0 MPa	1	98,4	99,8	95,4	2,03	2,00	2,10	2,06	6,16	0,33	2,99
						2	98,5	98,2	100,4	2,03	2,04	1,99		5,74	0,36	2,79
						3	92,5	96,0	94,6	2,16	2,08	2,11		5,22	0,39	2,53

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 12

Estimativa de resistências dos blocos assentes em alvenaria a partir do fator de correção K_1 a partir de um caso real

Equipamento	Lote	Fabricação	Ensaio	Idade (dias)	Tipo	Amostra	Tempo de propagação da onda (μ s)			Velocidade de propagação da onda (km/s)			Vpm (km/s)	Resistência individuais estimadas via Fator de correlação (MPa)			K_1 (lb/Vpm)
							1	2	3	1	2	3		1	2	3	
TICO	1	26/11/2009	23/2/2010	89	BE 1540 V 4,5 MPa	1	85,3	88,4	82,3	2,34	2,26	2,43	1,98	8,96	8,64	9,28	3,82
						2	117,3	118,5	109,3	1,71	1,69	1,83		6,51	6,45	6,99	
						3	92,2	95,4	91,4	2,17	2,10	2,19		8,29	8,01	8,36	
						4	99,1	97,9	97,4	2,02	2,04	2,05		7,71	7,80	7,84	
						5	94,3	112,3	85,4	2,12	1,78	2,34		8,10	6,80	8,95	
						6	83,4	91,3	93,4	2,40	2,19	2,14		9,16	8,37	8,18	
						7	126,7	129,9	109,4	1,58	1,54	1,83		6,03	5,88	6,98	
					Resistência média real amostras NBR 6136 (Laboratório) (MPa)	7,02	Resistência média via ultrassonografia (in situ) (MPa)		7,78	Diferença entre real e ultrassonografia (%)		-10,77					

Fonte: Dados da pesquisa



LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO
ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 6136/2006

Data: 15.06.09
Certificado n°: 001/09

CLIENTE:
OBRA:
FABRICANTE: CONSTRUCOM ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

1. MATERIAL: Bloco de concreto para alvenaria

IDENTIFICAÇÃO: BE1540 V 4,0 Mpa **LOTE:** 25.06.09 **NOTA FISCAL:**

2. DADOS DO ENSAIO:

DATA DE FABRICAÇÃO: 25.06.09	<input type="checkbox"/> GALPÃO	CONDIÇÕES ROMPIMENTO BLOCOS
DATA DE ROMPIMENTO: 09.07.09	<input type="checkbox"/> ESTUFA	<input type="checkbox"/> Úmido
IDADE: 14 DIAS	<input checked="" type="checkbox"/> PÁTIO	<input checked="" type="checkbox"/> SECO
		<input type="checkbox"/> SECO ESTUFA

Tempo: horas

DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA										Peso (g)	Seção Trabalho (cm ²)	550
C.P.	Largura (mm)			Altura (mm)			Comprimento (mm)			<input type="checkbox"/> Seco <input checked="" type="checkbox"/> Úmido	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência Compressão (MPa)
	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda			
1	141	141	141	190	190	190	390	390	390	13470	33860	6,16
2	141	141	141	190	190	190	390	390	390	12950	31570	5,74
3	141	141	141	190	190	190	390	390	390	13090	28680	5,22
4	141	141	141	190	190	190	390	390	390	12700	33230	6,04
5	141	141	141	190	190	190	390	390	390	12540	36790	6,69
6	141	141	141	190	190	190	390	390	390	13510	28940	5,26
Médias	141			190			390			13043	32178	5,85

Desvio Padrão	Largura (mm)	Comprimento	Altura (mm)	Peso (g)	Carga Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	0,00	0,00	0,00	395	3108	0,57

3. CÁLCULO DO VALOR CARACTERÍSTICO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (fbk):

a)	$fbk_{est} = 2 \times fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1) - fb(i),$ i-1	onde: fbk _{est} = valor estimado da resistência do lote fb1, fb2, fbn = valores resistências em ordem crescente i = metade do número de amostras	fbk _{est} 4,74
b)	Limites para o fbk _{est} * mínimo = 6 x fb(1) = 0,89 x fb(1)	Onde: *6 - tabela 5; NBR 6136/2006 - ABNT	Limites fbk _{est} Mínimo 4,64
c)	Conclusão final		fbk_{est} (MPa) 4,74

4. Exigências ABNT (Valores Mínimos):

4.1. Requisitos e exigências Blocos vazados de concreto simples para alvenaria segundo ABNT NBR 6136/2006:
 .. Blocos Classe A: fbk ≥ 6,0 MPa (60 kgf / cm²) .. Blocos Classe A: fbk ≥ 6,0 MPa (60 kgf / cm²)
 .. Blocos Classe C: fbk ≥ 3,0 MPa (30 kgf / cm²) .. Blocos Classe D: fbk ≥ 2,0 MPa (20 kgf / cm²)

5. Reclassificação:

5.1 - Produto reclassificado para: MPa
 5.2 - Motivo da reclassificação:

6 - Equipamentos utilizados para análise:

Balança digital, Prensa hidráulica 1200 kN, Paquímetro e Termo-higrometro aferidos pelo INMETRO

7 - Notas importantes:

- 7.1. 1 MPa (Mega Pascal) = 10 Kgf / cm²
- 7.2. Os resultados deste documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiadas
- 7.3. A Construcôm Artefatos de Cimento Ltda é responsável apenas pelo fornecimento dos blocos de sua fabricação, sendo a assessoria técnica um serviço gratuito para orientação do consumidor. O cliente deverá realizar o Controle de Qualidade dos produtos em empresa capacitada e contratada, por ele, para tal fim.

FIGURA 34 - Laudo do controle de qualidade de blocos de concreto
 Fonte: Construcôm Artefatos de Cimento

4.6. Análise geral dos resultados:

A partir da TAB. 9 foi possível avaliar que:

- O fator de correlação médio (K_1) obtido especificamente para o aparelho PUNDIT foi de 2,90;
- O fator de correlação médio (K_1) obtido especificamente para o aparelho TICO foi de 3,82.

Nesta situação é conclusivo que os resultados apresentados em testes de ultrassonografia realizados em blocos de concreto, são muito influenciados pelo tipo de aparelho utilizado, sendo que para cada tipo de equipamento deverá ser adotado um fator de correlação específico, que possa avaliar e estimar as resistências dos concretos, a partir das velocidades das ondas expressas em km/s.

Tal fato também ocorre e é observado nos testes realizados no material concreto armado sendo observado e relatado na literatura (GOMES, 2009).

A partir da TAB.10, que envolve os testes realizados diretamente na pilha de armazenagem existente no pátio de desova da fábrica, e, portanto exposta às intempéries, observou-se:

- O fator de correlação médio (K_1) obtido especificamente quando utilizado o aparelho TICO foi de 2,79.

Fica sinalizada a tendência de que, como o trabalho realizado nas pilhas envolvia um bloco vazado (classificado segundo NBR 6136 como Classe B), o fator de correlação (K_1) obtido foi inferior àquele oriundo de testes laboratoriais realizados a partir de blocos pertencentes à diversas classes, resistências e tipos e, nesta situação, propicia um ajuste mais harmonizado entre os valores de resistência à compressão obtidos em Laboratório (a partir dos blocos amostrados nas pilhas e testados acordo NBR 6136) e os resultados estimados via ultrassonografia através do K_1 , na medida em avalia produtos de mesmo tipo e procedência.

Neste sentido fica patente que fatores de correlação propiciam ajustes cada vez mais finos e próximos de resistências à compressão, quando os mesmos são isolados e obtidos de mesma produção, remessa, classe, tipo e origem, tornando uma importante ferramenta para avaliar “ f_{bm} ” (resistência à compressão média de blocos) de forma não destrutiva. Em, resumo, novos trabalhos de campo e laboratoriais deverão ser realizados no sentido de gerar cada vez mais fatores de correlação K_1 , de ajustes confiáveis e ajustados.

A TAB.11 apresenta um teste realizado em verdadeira grandeza, ou seja:

- (a) blocos assentados em parede de uma obra
- (b) inspeção ultrassonográfica realizada “in situ”;
- (c) cálculo da velocidade de propagação média do pulso;
- (d) aplicação do fator K_1
- (e) obtenção de valor estimativo de resistência à compressão média dos blocos;
- (f) comparativo entre resistência item (e) e a resistência média dos blocos informadas e inspecionadas pela construtora, através de testes realizados em laboratório de controle de qualidade parceiro da construtora (que no presente exemplo foi de 7,02 MPa).

Na FIG. 34 é apresentada uma sinopse (padrão) de uma planilha e laudo emitido pela empresa parceira do presente trabalho, ocasião em que as amostras testadas e ensaiadas advêm de amostras analisadas no Laboratório de Controle de qualidade do fabricante, e que serviram para o preenchimento e simulação de aplicação do formulário e planilha “*Controle Estatístico Aceitação ou Rejeição de Blocos de Concreto*” (referenciada no presente trabalho como FIG. 35).

4.7. Proposta de planilha como modelo de referência:

Foi criada uma planilha a ser adotada nas inspeções de blocos vazados de concreto que incorpora muitos dos conceitos metodológicos adotados no presente trabalho, e que irá facilitar lançar, processar e concluir de forma rápida e ágil, e sobretudo não destrutiva, a aceitação ou rejeição de um lote de blocos já assentados; dispostos em pilhas na fábrica; dispostos e armazenados nos canteiros das obras; posicionados em cima do caminhão de entrega ou prestes a descarga; ou em qualquer outro local.

Tal modelo, referenciado como “*Controle Estatístico Aceitação ou Rejeição de Blocos de Concreto*” é apresentado na FIG. 35. A formatação da planilha foi gerada a partir de programa Excel, onde as células estão harmonizadas para, ao ser objeto de preenchimento, efetuarem o cálculo imediato, e assim propiciar a tomada de decisão por parte da equipe técnica e de controle.

CONTROLE ESTATÍSTICO ACEITAÇÃO OU REJEIÇÃO LOTES DE BLOCOS DE CONCRETO											
1 - INFORMAÇÕES GERAIS											
MATERIAL		Bloco estrutural de concreto para alvenaria									
IDENTIFICAÇÃO		BE1540 V 5,0 MPa			DATA FABRICAÇÃO DO LOTE			6/1/10			
2 - INFORMAÇÕES DOS TESTES E ENSAIOS											
Teste de Ultrassonografia (ABNT NBR-8802/1994)											
Informações Gerais da Amostragem											
fbk PROJETO (MPa)		6,0			DATA DO TESTE			16/1/10			
Nº DE AMOSTRAS		18			IDADE (dias)			10			
Dados das Medições				Método utilizado							
				Direto <input type="checkbox"/>		Indireto <input checked="" type="checkbox"/>		Semi Direto <input type="checkbox"/>			
Tempo de Propagação onda (µs)	105,5	95,1	92,7	92,6	90,1	101,5	96,0	102,9	101,0		
	110,0	96,7	110,4	110,2	109,1	96,8	103,3	133,6	98,8		
Velocidade de Propagação da onda (km/s)	1,90	2,10	2,16	2,16	2,22	1,97	2,08	1,94	1,98		
	1,82	2,07	1,81	1,81	1,83	2,07	1,94	1,50	2,02		
Ensaio de Resistência à Compressão (ABNT NBR 6136/2006)											
Informações Gerais da Amostragem											
LOCAL DAS AMOSTRAS		GALPÃO <input type="checkbox"/>		PÁTIO <input type="checkbox"/>		ESTUFA <input type="checkbox"/>		DATA DO TESTE		16/1/10	
CONDIÇÃO DE ROMPIMENTO		UMIDO <input type="checkbox"/>		SECO <input type="checkbox"/>		IDADE (dias)		10			
Dados dos Corpos de Prova											
C.P.	Largura (mm)			Altura (mm)			Comprimento (mm)				
	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda		
1	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
2	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
3	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
4	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
5	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
6	141	141	141	190	190	190	390	390	390		
Médias	141			190			390				
3 - RESULTADOS											
Testes de Ultrassonografia											
Tempo de Propagação Médio (µs)		102,57		Velocidade Média (km/s)		1,97		fbm (MPa)		7,51	
Desvio padrão real tempo (µs)		10,08		Desvio padrão real velocidade (km/s)		0,17		sd real (MPa)		0,68	
Ensaio de Resistência à Compressão											
C.P.	Peso (g)	Seção Trabalho (cm²)			550			Desvio Padrão (Sd)			
	<input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/> Úmido	Carga de Ruptura (kgf)		Resistência Compressão (MPa)							
1	12490	33860		6,16		Largura (mm)		Comprimento (mm)		Altura (mm)	
2	12990	31570		5,74							
3	12150	28680		5,21		Peso (g)		Carga Ruptura (kgf)		Resistência (MPa)	
4	12500	33230		6,04							
5	12250	36790		6,69		364		3108		0,57	
6	11940	28940		5,26							
Médias	12387	32178		5,85							
4 - CONCLUSÃO											
Teste de Ultrassonografia											
Estimativa do valor característico e médio de resistência a compressão (fbk e fbm)											
fbkest NBR 6136(MPa)		K1		fbm (MPa)		fb via ultrassonografia		fbk Projeto (MPa)			
4,74		3,82		5,85		7,51		5,0			
Ensaio de Resistência à Compressão											
Cálculo do valor característico de resistência à compressão (fbk):											
a)	$fb_{k,est} = 2 \times fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1) - fb(i)$ i-1			Onde: fb _{k,est} = valor estimado da resistência do lote fb ₁ , fb ₂ , fb _n = valores resistências em ordem crescente i = metade do número de amostras			fbkest (MPa)				
b)	Limites para o fbkest: * mínimo = 6 x fb(1) = 0,89 x fb(1)			Onde: *6 - tabela 5; NBR 6136/2007 - ABNT			Limites fbkest				
c)				Avaliação Final			fbkest (MPa)				
						4,74					

FIGURA 35 – Modelo padronizado de planilha aceitação ou rejeição de blocos de concreto via ultrassonografia.

5. Conclusão

De forma resumida e objetiva, observou-se:

- que os resultados dos testes de ultrassonografia em blocos vazados de concreto varia consoante o tipo e modelo de equipamento utilizado;
- que o fator de correlação (K_1) obtido varia conforme o tipo de equipamento e é influenciado pela tipologia e classe do bloco de concreto analisado via inspeção ultrassonográfica;
- na TAB. 13 visualizam-se os fatores de correlação obtidos.

TABELA 13

Fatores de correlação (K_1) velocidade pulso ultrassonográfico expresso em km/s e a resistência à compressão blocos vazados de concreto expressa em MPa

<i>Aparelho</i>	<i>Inspeção</i>	<i>K₁</i>
TICO	Laboratorial	3,82
PUNDIT	Laboratorial	2,90
TICO	Pilhas armazenagem	2,79
TICO	“in situ” na alvenaria	3,82

Fonte: Dados da pesquisa

6. Propostas para novos trabalhos

- Executar a metodologia adotada no presente trabalho com foco na obtenção de fatores de correlação velocidade x resistência à compressão, especificamente para cada uma das classes e tipos de blocos de concreto, e de diferentes origens (fabricantes);
- Realizar novos testes “in situ” em diferentes panos de alvenarias já assentadas com blocos vazados de concreto, avaliando a confiabilidade e tendência do modelo de inspeção não destrutiva proposto, no caso ultrassonografia.

7. Referências bibliográficas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - **PR1 – Prática Recomendada – Alvenaria com Blocos de Concreto.**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland - **Caderno Analítico de Normas – Sistemas a Base de Cimento** – Comunidade da construção.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland - **Alvenaria de Vedação com Blocos de Concreto** - Cartilha capacitação de equipes de produção – Comunidade da Construção – ABCP – Recife - outubro 2008.

ALMEIDA, E. **Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento do Centro Universitário Univates, Lajeado.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C597-09:** standart test method for pulse velocity through concrete. 2002. 4p

ANDREUCCI, R. **Ensaio por ultra-som: manual de aspectos básicos.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Ensaaios não Destrutivos, 2008. 77p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:2007:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria. ABNT: Rio de Janeiro, dez. 2007. 9p.

_____, **NBR 8802:1994:** concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. ABNT: Rio de Janeiro, fev. 1994. 8p.

_____, **NBR 12118:2006:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. ABNT: Rio de Janeiro, mai. 2006. 9p.

ATLÂNTICA MAQ. Disponível em <http://www.atlanmaq.com.br/fabricarblocos.-asp>. Acesso em outubro de 2010.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 1881: Part 203: 1986:** recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete. BSI: London, 1986. 16p.

CIMENTO ITAMBÉ. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/novas-regras-para-os-blocos/>>. Acesso em fevereiro de 2010.

COSTA, R. M. **Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfato mediante utilização do upv.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. **Manual de Inspeção de Obras de Arte Especiais**, 1994.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FERNANDES, I. **Detalhes da fabricação de blocos de concreto.** Votorantim Cimentos – Palestra Técnica.

FOCAOARU, I. **Romanian Achievements in Nondestructive Strength of Concrete**, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp.35-56, 1984.

GERMANN INSTRUMENTS, INC. **Catalog NDT Systems.** USA, 2010.

GOMES, A.M. **Relatório técnico de inspeção em peças de concreto armado.** Belo Horizonte. 2009.

GONÇALVES, A. **Novos ensaios não destrutivos para a determinação da resistência do betão nas estruturas.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 34p. 1986.

INMETRO. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/-blococoncreto.asp>>. Acesso em março de 2010.

IRRIGARAY M.A.P, PINTO R.C.A, PADARATZ I.J. **Avaliação do comportamento da velocidade de pulso ultra-sônico e resistência à compressão em concretos com diferentes cimentos.** 50º Congresso Brasileiro de Concreto; Setembro de 2008; Salvador, Brasil.

JUNIOR A.C.L, PÓVOAS Y.V, SOUSA R.V.R, SILVA C.F.C. **Blocos De Concreto Para Vedação: Estudo Da Conformidade Através De Ensaios Laboratoriais** – 28º Encontro Nacional De Engenharia De Produção; Outubro de 2008; Rio de Janeiro, Brasil.

JÚNIOR A.F, OLIVEIRA A.L, JUNIOR L.R.P. **Metodologia de Dosagem para Blocos de Concreto Empregados em Alvenaria Estrutural** - Revista Prima – Caderno técnico alvenaria estrutural.

JUNIOR, S. F. **Produção de blocos de concreto para alvenaria – Prática recomendada.** ABCP – Boletim Técnico 103. São Paulo, 3a edição, 1995a.

MALHOTRA, V. M. **In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-16, 1984.

MARCHAND, J.; HORNAIN, H.; DIAMOND, S.; PIGEON, M.; GUIRAUD, H. **The microstructure of dry concrete products.** Cement and Concrete Research, vol. 26, No. 3, p. 427-438, 1996.

MENEGHETTI, L.C. **Avaliação da resistência à compressão de concretos nas primeiras idades através do ultra-som.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MOISES R. Disponível em: <<http://www.moyses.com.br/>>. Acesso em fevereiro de 12/02/10

MONTEIRO, P. J. M.; MEHTA, P. K. **Concreto – estrutura, propriedades e materiais.** 3.ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 674p.

MOTA R.O, JUNIOR P.F, SOUZA R.A. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através da velocidade de propagação da onda ultra sônica.** Pro Reitoria de Pesquisa e Pós graduação, Universidade Estadual de Goiás, Goiânia.

NAIK, T. R., MALHOTRA, V. M., POPOVICS, J. S. **The ultrasonic pulse velocity method.** In: Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. 2 ed. CRC Press, 2004.

PINI - **Revista Técnica – Blocos delgados** – edição 131 de fevereiro de 2008.

Popovics, S. **Analysis of the concrete strength versus ultrasonic pulse velocity relationship,** Materials Evaluation, Fevereiro, 2001.

PROCEQ SA. **Proceq Brochure Tico English.** Switzerland.

PRISMA - **Revista Prisma - Por Dentro de Uma Fábrica de Blocos de Concreto** - edição 7 de junho de 2003.

ROCHA F.C, MEDEIROS B.L, LACERDA L.A, PATZA E. **Correlação entre a propagação ultra-sônica e características físicas de testemunhos de concreto.** 50º Congresso Brasileiro de Concreto; Setembro de 2008; Salvador, Brasil.

RODRIGUES, P. P. F. **Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação** – Prática recomendada. 2a ed. São Paulo, ABCP, 1995, 15p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural; Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural - vedação.** Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2007. 28 p. (Programa Qualimat Sinduscon-MG)

TANGO, C. E. S.. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais.** 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis, Brazil, Aug. 21 – 24, 1994, p. 21 – 30.

TANGO, C.E.S; MACHADO, J.R; DIONISI, A; HIGA, C.K. Compcret –
Dosagem de Concreto pelo Método IPT. 1994.