

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
B 18 - COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS

III SIMPÓSIO SOBRE NORMALIZAÇÃO
DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS
São Paulo, novembro de 1984

CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO
DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA
ULTRA-SÔNICA - MÉTODO DE ENSAIO

por

Paulo Roberto do Lago Helene^(*)

Walter Caiaffa Hehl^(**)

Engenheiro Pesquisador da Divisão de Edificações (DEd) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), Professor Assistente do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Vice-Presidente do CB-18 da ABNT

Arquiteto Pesquisador da Divisão de Edificações (DEd) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.(IPT)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

2. ANTECEDENTES

3. ENSAIOS EM ESTRUTURAS ACABADAS

4. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA

4.1 Generalidades

4.2 Campo de aplicação

4.3 Definições

4.4 Aparelhagem

4.5 Preparação dos corpos de prova

4.6 Execução do ensaio

4.7 Análise e apresentação dos resultados

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6. PARTICIPANTES DA COMISSÃO

ANEXO A - Recomendações para ensaio

CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO
DE ONDA ULTRA-SÔNICA - MÉTODO DE ENSAIO

Paulo Roberto do Lago Helene(*)

Walter Caiaffa Hehl (**)

1. INTRODUÇÃO

A Comissão de Estudo "CE 18:04.08-001 - Concreto Endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica - Método de Ensaio" - foi constituída a convite do Presidente do CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT, *engenheiro Wanderley Guimarães Corrêa*.

A instalação da Comissão de Estudo se deu em 06/11/1981, reunindo-se mensal e regularmente na sede da Delegacia Regional da ABNT/SP, com a presença de representantes de órgãos técnicos, produtores e consumidores de concreto. Na ocasião da instalação foram eleitos Presidente e Secretário o *arquiteto Walter Caiaffa Hehl* e o *engenheiro Paulo Roberto do Lago Helene*, respectivamente.

Apesar que as reuniões técnicas das Comissões de Estudo da ABNT têm caráter notoriamente público, podendo dela participar todos os interessados, a Comissão houve por bem convidar formalmente o maior número possível de profissionais com atividades relacionadas ao tema. Acolheram ao convite 25 técnicos. O caráter nacional do texto foi assegurado pela participação do *engenheiro Renato da Fonseca Vasconcellos* do Rio de Janeiro e *profº Hernani Cássio Sobral* da Bahia.

(*) Engenheiro Pesquisador da DEd/IPT, profº assistente do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, e vice-presidente do CB-18/ABNT.

(**) Arquiteto Pesquisador da Divisão de Edificações - DEd do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

Os trabalhos e atividades foram desenvolvidos durante um total de nove reuniões. A Comissão encerrou a primeira etapa dos trabalhos em 27/08/82, remetendo o texto ao CB-18, que após análise, discussão e sugestões efetuadas na 40ª reunião de Diretoria, homologou-o em 27/09/82, autorizando sua impressão e divulgação como Projeto, pela ABNT.

O Projeto datado de janeiro/1983, recebeu dez votos dos Associados da ABNT, inscritos no CB-18, assim distribuídos:

APROVAÇÃO (07)

<i>Luiz Paulo do Amaral Pinto</i>	<i>CONSTRUTORA IBIRA</i>	<i>RJ</i>	<i>Sócio Individual</i>
<i>José dos Ramos A. Batista</i>	<i>-</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Individual</i>
<i>Adalberto Musa de Brito</i>	<i>C S N</i>	<i>RJ</i>	<i>Sócio Mantenedor</i>
<i>Alice J. Kosuta</i>	<i>I P T</i>	<i>SP</i>	<i>Entidade Associada</i>
<i>Agostinho Amatto</i>	<i>ELETROPAULO</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Mantenedor</i>
<i>Paulo R. do Lago Helene</i>	<i>I P T</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Individual</i>
<i>Alfredo Salem Filho</i>	<i>CONCRETEX</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Coletivo</i>

APROVAÇÃO COM SUGESTÕES (03)

<i>Antonio Silva dos Anjos</i>	<i>EPUFBA</i>	<i>BA</i>	<i>Sócio Individual</i>
<i>Fernando Jardim Mentone</i>	<i>L.A.FALCÃO BAUER</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Individual</i>
<i>Paulo Soichi Nogami</i>	<i>SABESP</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Mantenedor</i>

DESAPROVAÇÃO (02)

<i>Argos Menna Barreto</i>	<i>ABCP</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Mantenedor</i>
<i>José Antonio do N. Pinto</i>	<i>U F S M</i>	<i>RS</i>	<i>Sócio Coletivo</i>

ABSTENÇÃO (01)

<i>João de Valentim</i>	<i>ETERNIT</i>	<i>SP</i>	<i>Sócio Mantenedor</i>
-------------------------	----------------	-----------	-------------------------

Em 18/08/83 a Comissão reuniu-se pela 10. e última vez, analisou as sugestões e votos recebidos, alterando o texto no que cabia, obtendo o consenso dos votos de desaprovação e, enca

minhando-o em 07/11/83 ao INMETRO para registro e publicação definitiva como norma brasileira (categoria NBR 3).

2. ANTECEDENTES

O texto analisado pela Comissão de Estudo teve origem num trabalho preparado pelo *arquiteto Walter Caiaffa Heck*, com base na norma inglesa BS 4408, e que foi submetido informalmente à apreciação de laboratórios nacionais de ensaios de materiais. O ensaio proposto nesse texto-base que serviu para o início dos trabalhos da Comissão procurou levar em conta a experiência brasileira no assunto.

A difusão e emprego deste ensaio no País, infelizmente muitas vezes erroneamente interpretado, justificava sua normalização o mais breve possível a fim de estabelecer uma linguagem comum e evitar exageros de interpretação o que poderiam, e já se notava no meio técnico, criar um descrédito por uma metodologia útil e segura, desde que bem empregada.

O CB-18, há mais de seis anos incluiu no seu programa um conjunto de métodos e procedimentos de ensaio para análise de estrutura acabada. Esta norma é a terceira aprovada nessa área tão carente da normalização nacional. Uma outra, a de prova de carga, já está em fase final de aprovação e publicação. A intenção é, a médio prazo, prover o meio técnico de várias normas que *homogeneizarão* e *oficializarão* as práticas utilizadas para observação e ajuizamento da qualidade de estruturas acabadas.

Com relação ao ultra-som esta Comissão de Estudo estimou estabelecer as seguintes diretrizes básicas que nortearam as atividades de elaboração do método ora aprovado:

- incluir no texto todas as informações fundamentais sobre o problema evitando com isso a consultas laboriosa e aborrecida a outros textos, salvo quando claramente expressos em normas da ABNT/INMETRO;
- dar um caráter didático à norma, incluindo algumas notas e anexos que não tendo valor normativo contribuem,

no entanto, para o bom entendimento e aplicação da norma.

3. ENSAIOS EM ESTRUTURA ACABADA

Várias são as ocasiões em que os tecnologistas são solicitados a dar um parecer sobre a qualidade de estruturas de concreto armado e protendido, que já se encontram em serviço ou parcialmente acabadas.

A análise de estruturas nessas condições pode ser motivada por inúmeras razões, entre as quais:

- a) indicação dos resultados de controle de qualidade da execução, que apontam a inadequabilidade do concreto utilizado, obrigando o exame na estrutura acabada, para confirmação e identificação da região comprometida;
- b) comportamento inadequado da estrutura em serviço, apresentando deformações, fissuras e deficiências de funcionamento que não correspondem ao projeto original, sendo necessário portanto, a identificação da causa de tais anomalias;
- c) mudança do tipo de utilização da estrutura quando acarretar uma maior sobrecarga aos componentes estruturais já executados, obrigando o conhecimento da capacidade resistente atual para o correto dimensionamento do reforço, se necessário;
- d) ruína total ou parcial da estrutura e conseqüente necessidade de conhecimento das causas que a motivaram;
- e) ação danosa alheia à própria estrutura, tais como, incêndio, impactos por acidente, sobrecarga não prevista, que exigem o conhecimento do grau de comprometimento da segurança estrutural que tal fato ocasionou.

A investigação da qualidade do concreto, do aço, da estrutura e da edificação nessas condições, é sempre complexa e onerosa, sendo necessário estabelecer uma metodologia que conduza ao

maior número de resultados confiáveis e complementários.

Essa metodologia envolve o conhecimento dos métodos de ensaios disponíveis atualmente para avaliação das características físicas e mecânicas do concreto, dos aços, da estrutura e da edificação tendo para cada situação a predominância de alguns métodos sobre outros.

Em estruturas acabadas ou parcialmente acabadas de concreto armado, o objetivo principal de uma análise é fazer uma avaliação completa dos danos sofridos pelos componentes estruturais e estimar a capacidade resistente residual com a finalidade de projetar o reforço se, e onde necessário.

Para tal é imprescindível, avaliar as resistências características residuais dos materiais, aço e concreto, a fim de avaliar a segurança da estrutura através dos métodos de introdução da segurança no projeto estrutural.

Paralelamente a esta estimativa pode ser observado e medido, "in situ", os parâmetros de deformabilidade da estrutura como um todo com o objetivo de comprovar o seu funcionamento em regime elástico.

Conseqüentemente as propriedades principais a serem medidas são: módulo de deformação longitudinal, resistência à compressão do concreto, resistência à tração do aço, resistência à tração do concreto, diagramas tensão x deformação específica desses materiais, traço do concreto, cobrimento e posição geométrica da armadura, resistividade, alcalinidade e carbonatação do concreto, presença e teor de elementos agressivos.

Para responder a estas necessidades são comumente empregados os procedimentos e métodos de ensaio enumerados no quadro 1.

Dentre os métodos disponíveis, a velocidade de propagação de onda ultra sônica é o procedimento mais seguro para avaliação de falhas internas nas peças de concreto, o que exige seu estudo mais aprofundado.

Este método de ensaio não fornece, no entanto, resultados absolutos. Deve sempre ser analisado em conjunto com os resulta

dos de outros métodos, pois as variáveis que podem interferir nos resultados obtidos são muitas, como veremos a seguir.

QUADRO 1 - Procedimentos e métodos de ensaio que podem ser adotados para avaliar as características e propriedades de concretos e aços em estruturas acabadas

Método/Procedimento	Características e propriedades básicas que podem ser avaliadas
Ultra-som	Uniformidade da resistência do concreto Uniformidade do módulo dinâmico de deformação longitudinal do concreto Defeitos não visíveis Eventual avaliação da resistência à compressão do concreto
Esclerometria	Dureza superficial do concreto Uniformidade da resistência do concreto Eventual avaliação da resistência à compressão do concreto
Extração de testemunhos de concreto	Resistência característica à compressão ($f_{ck,est}$) Módulo de deformação longitudinal (E_c) Diagrama tensão x deformação específica ($\sigma_c \times \epsilon_c$) Resistência característica à tração (f_{tk}) Traço, porosidade, permeabilidade, alcalinidade, e outros
Extração de testemunhos de aço	Resistência característica à tração (f_{yk}) Módulo de deformação longitudinal (E_s) Diagrama tensão x deformação específica ($\sigma_s \times \epsilon_s$) Dutilidade (alongamento e estrição) Composição química, conformação superficial, tipo, classe
Provas de carga	Comportamento elástico de componentes estruturais fletidos
Gamagrafia	Defeitos invisíveis Cobrimento e posição geométrica da armadura
Pacometria	Cobrimento de concreto Bitola e posição da armadura

Atualmente nenhuma norma brasileira, a exceção da NBR 6118 (NB-1), apresenta referências ao ensaio em questão. Daí a necessidade do meio técnico recorrer a normas estrangeiras tais como, BS 4408, DIN 4240 e ASTM-C 597 juntando trechos de várias recomendações internacionais com evidentes prejuízos de natureza técnica e formal. O texto ora aprovado pelo CB-18 procura estabelecer uma sistemática racional de se levar a cabo uma avaliação da uniformidade e detecção de falhas internas do concreto de estrutura acabada, contendo em si mesmo todas as informações mais importantes além de ressaltar as limitações do significado dos resultados obtidos diretamente do ensaio.

4. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA SÔNICA

4.1. Generalidades

O termo onda ultra-sônica, ou vibrações ultra sônicas é comumente utilizado para designar ondas com frequência acima do limiar da audição humana, localizadas aproximadamente em 20 kHz com limite superior por volta de 1500 kHz.

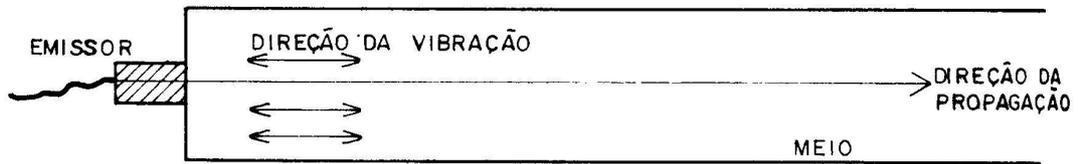
Nos campos das vibrações ultra sônicas as de baixa frequência, aquelas por volta de 50 kHz, atuam exatamente como ondas audíveis. As outras frequências que comumente são empregadas para ensaios não destrutivos em metais, têm um comportamento que, parcialmente, se aproxima do comportamento das ondas luminosas.

As ondas ultra-sônicas, podem se propagar em qualquer material contínuo elástico. Esta propagação se dá como um deslocamento de sucessivos elementos no meio. Num material elástico, há uma força restauradora que tende a devolver cada elemento a sua posição original, depois do deslocamento inicial.

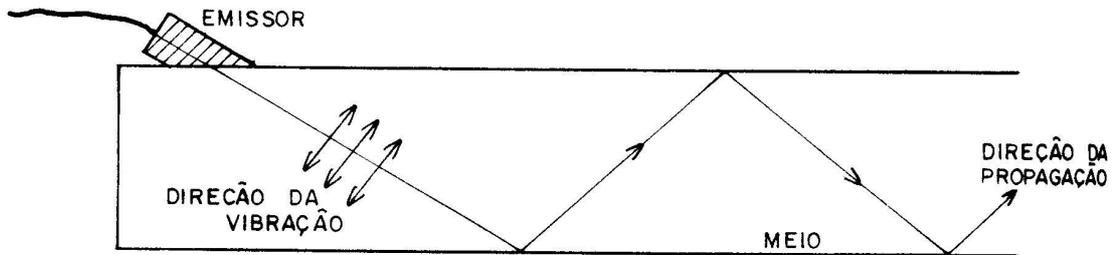
Devido à inércia do próprio início, os deslocamentos continuam de um lado para outro, porém sempre diminuindo de amplitude, devido a vários fatores englobados no conceito de atenuação.

Hã três tipos básicos de ondas ultra-sônicas conforme indicado na *Figura 1*.

a) ondas longitudinais, ou de compressão



b) onda transversal



c) ondas de superfície

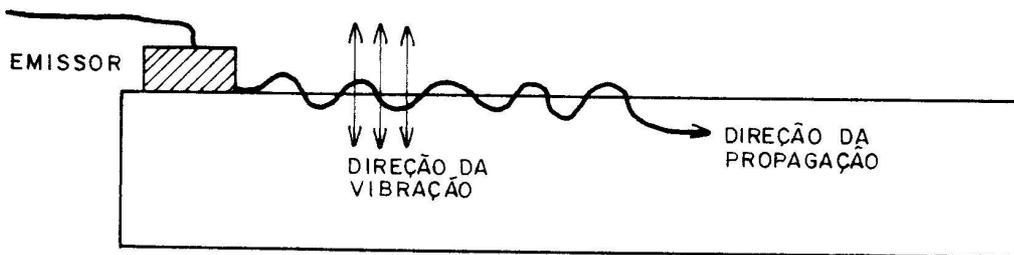


FIGURA 1. Tipos de ondas ultra-sônicas

No presente método do ensaio utilizaremos apenas as ondas longitudinais de compressão.

4.2 Campo de aplicação

O emprego de ondas longitudinais para avaliação da homogeneidade do concreto, em função da determinação da sua velocidade de propagação, é possível, sempre em meios elásticos, onde as dimensões das descontinuidades (vazios) sejam superiores às dimensões dos transdutores (emissor e/ou receptor) e que tais descontinuidades não estejam preenchidas por fluídos.

Variações na homogeneidade do concreto causam variações na velocidade de propagação que, por sua vez, indicam variações na qualidade do concreto. Medidas de velocidade de propagação permitem um meio de se conhecer a homogeneidade e, em tais medidas, um sistema de pontos deve ser definido para cobrir uniformemente um volume apropriado de concreto na estrutura. O espaçamento entre os pontos individuais depende das dimensões do componente da estrutura, da precisão requerida e da variabilidade do concreto. Em grandes estruturas e onde o concreto é razoavelmente uniforme, a verificação pode ser feita em pontos dispostos em malha de 1 m². Em pequenas peças ou em concreto com muita variação é necessário um espaçamento menor.

É possível expressar a homogeneidade do concreto em forma de parâmetros estatísticos tais como o desvio padrão (s) ou o coeficiente de variação (δ) das medidas de velocidade de propagação do concreto feitas em pontos da malha. Contudo, tais parâmetros só podem ser usados para comparar variações em componentes de concreto em condições similares tais como: traço, idade, condição de concretagem.

Variações na velocidade de propagação podem ser influenciadas pelo comprimento do percurso e isto determina os espaçamentos da malha no concreto sob exame.

As importâncias das variações devem ser julgadas em função da expectativa do desempenho desejado dos componentes da estrutura sob verificação. Isto geralmente significa que a tolerância permitida pela distribuição da qualidade nos componentes deve ser relacionadas com a importância estrutural do componente e condições de exposição aos agentes agressivos.

4.3. Definições

Para os efeitos da norma em questão foram adotadas as definições seguintes:

a) Acoplante

Qualquer material que pode ser usado entre as superfícies dos transdutores e do material ensaiado a fim de eliminar qualquer presença de ar entre elas e preencher pequenas irregularidades, permitindo o contato contínuo entre as superfícies na menor espessura possível.

b) Barra de referência

Peça onde o equipamento ultra sônico é aferido, feita em material metálico de composição específica, com forma geométrica definida e superfície com acabamento polido.

c) Fissura

Ruptura ocorrida no material sob ações mecânicas ou físico-químicas de até 0,5mm de abertura.

d) Frequência ultra-sônica

Frequência de vibração de onda longitudinal, acima de 20 kHz.

e) Onda longitudinal

Vibração ou distúrbio que percorre o interior do material onde o modo de vibração das partículas, em cada instante, tem o deslocamento na mesma direção da propagação do distúrbio.

f) Reflexão de onda

Mudança da direção de uma onda em um mesmo meio, causado por uma interface, quando pode haver ou não mudança de modo de propagação.

g) Refração de onda

Mudança de direção de uma onda ao atravessar a interface entre dois meios diferentes, quando pode haver

ou não mudança de modo de propagação.

h) Trinca

Ruptura ocorrida no material sob ações mecânicas ou físico-químicas acima de 0,5 mm de abertura.

i) Velocidade de propagação

Relação entre distância percorrida por uma vibração ou distúrbio durante um intervalo de tempo.

4.4. Aparelhagem

Os aparelhos de ultra-som utilizados hoje em dia, utilizam o princípio da geração e detecção de som por meio de transdutores.

Transdutores são dispositivos destinados a transformar uma energia em outra.

Uma descrição sucinta de uma montagem de um equipamento para ensaio onde se utiliza o método do ultra-som, é a seguinte.

- a) um gerador elétrico de pulsos excita um transdutor, (emissor) transformando a energia elétrica em mecânica;
- b) esta energia mecânica, gera a vibração (ondas) que se propaga através do meio que se pretende analisar;
- c) sendo captada por outro transdutor (receptor) que recombõe a forma inicial da energia elétrica;
- d) que é apresentada por meio de dispositivos analógicos c/ ou digitais.

4.5. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova ou os componentes de concreto a serem ensaiados devem ter as superfícies planas, lisas e isentas de sujeira.

Os corpos de prova ou componentes de concreto a serem ensaiados que não sejam suficientemente lisos devem ter sua superfície regularizada com camada de pasta de cimento, gesso ou resina.

na epóxi, numa espessura mínima afim de possibilitar bom acoplamento com os transdutores.

A necessidade de um bom acoplamento entre as superfícies do transdutor e do corpo de prova, visa eliminar qualquer tipo, de interferência próxima à interface onde se deu a conversão de tipos de energia.

4.6 Execução do ensaio

- a) calibrar o aparelho usando a barra de referência ou dispositivo equivalente;
- b) verificar se as superfícies dos corpos de prova ou componentes de concreto a serem ensaiados, possuem a superfície com bom acoplamento;
- c) aplicar uma fina camada de acoplante nas faces dos transdutores ou no corpo de prova a ser ensaiado;
- d) posicionar os transdutores de acordo com os arranjos seguintes.

. TRANSMISSÃO DIRETA

Este arranjo é o mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas através de um material. Os transdutores se posicionam em faces opostas, conforme indicada na *Figura 2*.

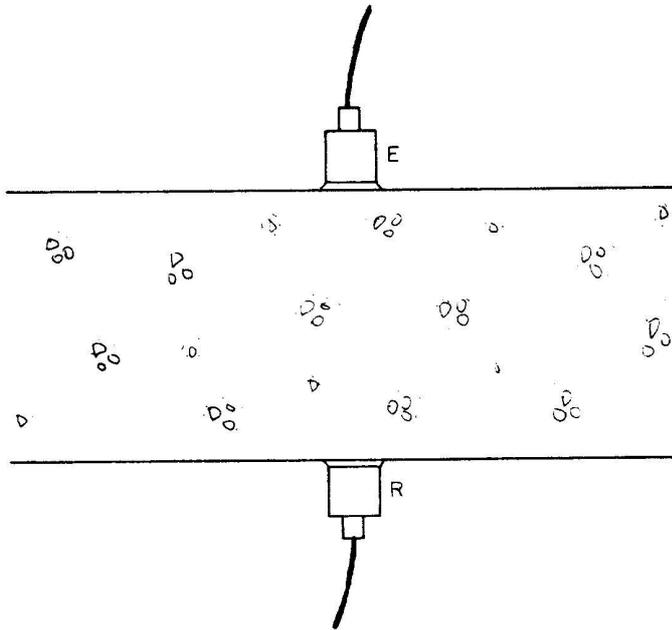


FIGURA 2 - Transmissão direta

. TRANSMISSÃO INDIRETA

Este arranjo é utilizado quando se tem acesso a apenas uma face do corpo de prova ou componente a esta face tem um comprimento suficiente para se deslocar o transdutor/receptor. Deve-se tomar cuidado com a determinação da distância entre os transdutores.

Para se determinar a velocidade de propagação é necessário:

- 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 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, equidistantes entre si e sobre uma mesma reta que contém o ponto fixo do transdutor emissor, conforme indicado na *Figura 3-a*);
- c) locar em um sistema cartesiano de eixos as distâncias entre E e R_1 a R_n e os tempos lidos para estas distâncias, conforme indicado na *Figura 3-b*).

A inclinação da reta obtida é a velocidade de propagação de onda do material ensaiado.

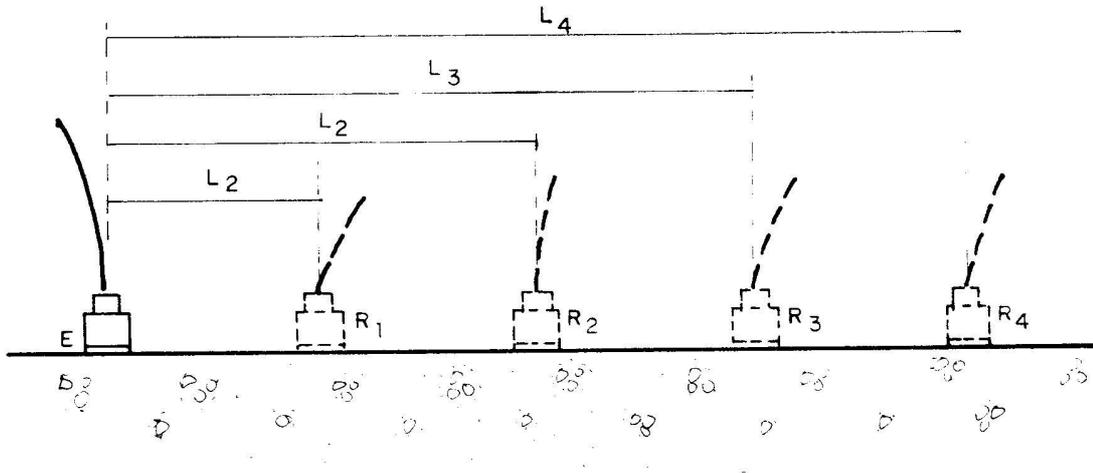


Figura 3-a)

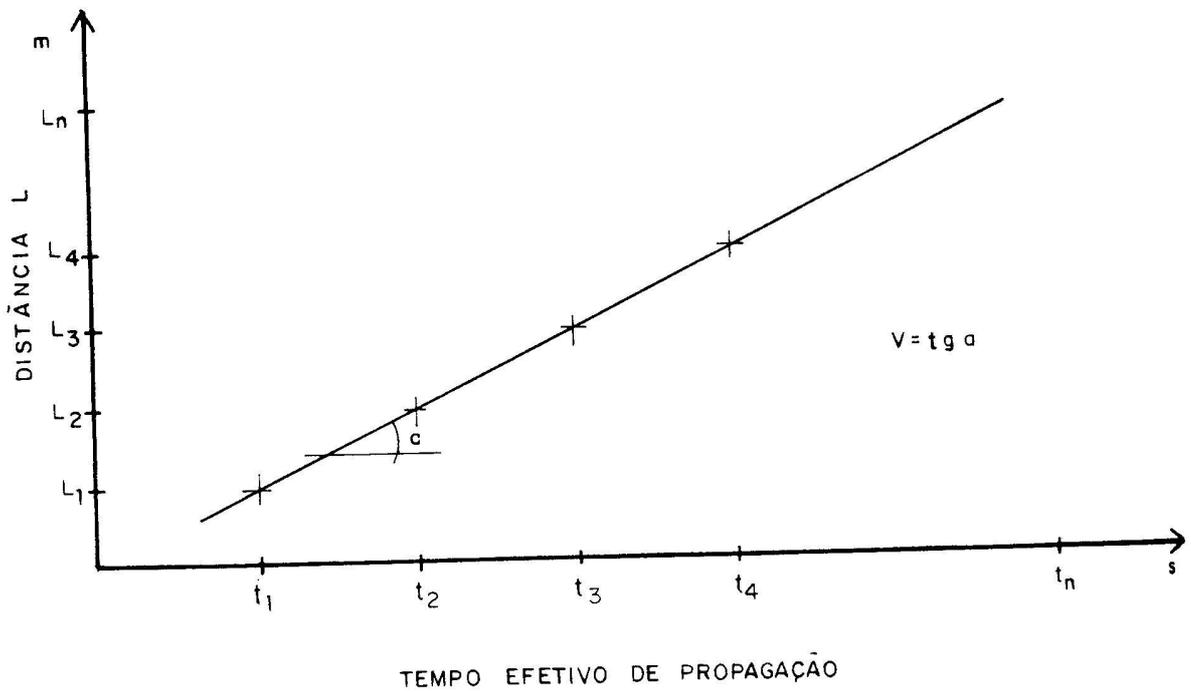
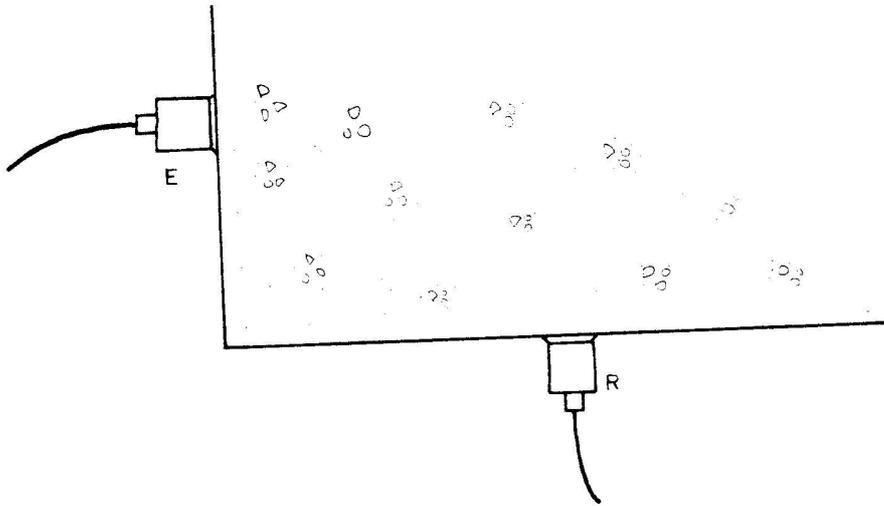


Figura 3-b)

FIGURA 3 - Transmissão indireta

. TRANSMISSÃO SEMI-DIRETA

Este arranjo entre os transdutores é o menos utilizado. Deve ser utilizado quando não houver a possibilidade de se alcançar duas faces opostas de um corpo de prova ou componente de concreto e a única face acessível não tem comprimento suficiente para se utilizar o arranjo de transmissão indireta. (vide Figura 4).



FUGURA 4 - Transmissão semi-direta

- e) considerar com bom acoplamento e boa pressão entre as superfícies dos transdutores e as do componente que está sendo ensaiado, quando se obtiver um valor mínimo de leitura e sua variação percentual entre $\pm 1\%$ do valor lido;
- f) a medida da distância a ser considerada deve ser tomada nos corpos de prova ou nos componentes de concreto entre os pontos onde serão acoplados os centros das faces dos transdutores, com precisão de $\pm 1\%$ da distância.

4.7. Análise e apresentação dos resultados

Calcular a velocidade de propagação de ondas conforme a fórmula abaixo:

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

onde:

V = velocidade de propagação (m/s);

L = menor distância obtida entre o transdutor emissor e o receptor (m);

t = tempo efetivo de propagação (s).

Nota: O tempo efetivo é o tempo mínimo lido menos o tempo gasto nos cabos conectores, caso o equipamento não tenha esta correção.

A apresentação dos resultados deve conter as seguintes informações:

- a) localização e identificação dos corpos de prova, ou componentes de concreto ensaiados;
- b) distância entre as superfícies de contato dos transdutores durante o ensaio;
- c) direção de propagação de onda;
- d) indicação da posição relativa dos transdutores;
- e) velocidade de propagação;
- f) descrição sucinta da preparação das superfícies e condições de umidade do concreto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Descrever sucintamente todas as atividades de uma Comissão de Estudo da ABNT é um trabalho difícil que geralmente não traduz tudo que foi discutido, analisado, considerado e até mesmo aquilo que foi adotado.

Uma norma sempre envolve diferentes interesses e encon

trar um consenso, principalmente quando as informações técnicas disponíveis são escassas e muitas vezes até contraditórias, é sempre uma incógnita.

Apesar dessas dificuldades a Comissão de Estudo CE 18:04.08-001 encontrou uma forma adequada e satisfatória de apresentação e conteúdo do texto que ora se torna público.

Resta agora aplicar essa metodologia e reunir os elementos e dados para enriquecer o texto por ocasião da primeira revisão, que certamente deverá ocorrer nos próximos 5 anos.

6. PARTICIPANTES DA COMISSÃO

Tomaram parte na elaboração desta norma:

- Walter Caiaffa Hehl (Presidente)	IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS
- Paulo Roberto do Lago Helene (Secretário)	TECNOLÓGICAS DO EST.DE SÃO PAULO
- Sylvio Ferreira Jr.	ABCP - ASS.BRAS.DE CIMENTO PORTLAND
- Heitor Cantergiani	ENGEMIX
- Ary Gentil Russo	
- Dirceu Franco de Almeida	CONSULTOR INDEPENDENTE
- Ronaldo Tartuce	CONCREBRÁS
- Sérgio da Silva Borges	CONCREMAT
- Salvador E. Giammusso	CONSULTOR INDEPENDENTE
- Eneida Melo Cruz	CONCRETO REDIMIX
- Simão Prizskulnik	HIDROSERVICE
- Renato da Fonseca Vasconcellos	INSPECTOR ENGA.
- Hélio Alves de Azevedo	INST. DE ENGENHARIA
- Fernando Jardim Mentone	L.A.FALCÃO BAUER
- Rubens Curti	
- José Victor Soalheiro Couto	METRÔ/SP
- Sergio Simondi	SABESP

- Marco Aurélio Lima Barbosa
- Luiz Y. Narimatsu
- Adilson M. M. Campos

SABESP

- Hernani Sávio Sobral
- Allando Mello Teixeira Jr.
- Gunter Manfred Keine
- Francisco Chagas Carvalho
- Lucila Machado de Azevedo

UFBA - UNIV.FED.DA BAHIA

EPT - ENGA.E PESQ.TECNOLÓGICAS

CONSULCRET - SERV.E PROM.S/C LT.

CONBRÁS ENGA. LTDA

6. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

01. ALMEIDA, D.F. Ensaio não destrutivo do concreto. São Paulo, L.A. Falcão Bauer, 1978. 21p. (Boletim 2).
02. BLOEM, D.L. Concrete Strength in Structures. Journal of the American Concrete Institute. Proceedings, 65 (3): 176-87, Mar. 1968.
03. BORGES, J.F. A utilização dos ultrasons para o estudo de propriedades dos materiais. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954.
04. CHEFDEVILLE, M.J. Nouvelles methodes pour l'avaliation de la quantité du béton par la mesure de la vitesse de propagation du son. Rilem Bulletin, Paris (15).
05. CHEFDEVILLE, M.J. & DAWANCE, G. L'auscultation dynamique du beton. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. (140), Jul-Aug. 1950.
06. COUTINHO, A.S. Fabrico e propriedades do betão. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1971, 2v.
07. DRYSDALE, R.C. Variation of concrete strength in existing buildings. Magazine of Concrete Research, 25 (85): 201-07, Dec. 1973.
08. ELVERY, R.H. Non-destructive testing of concrete and its relationship to specifications. Concrete, 5 (5): 137-41, May 1971.
09. ELVERY, R.H. & DIN, R.M. Ultrasonic inspection of reinforced flexural members. In: Symposium on Non-destructive Testing of Concrete and Timber. London, Institution of Civil Engineers, Jun. 1969. p. 35-43.
10. ELVERY, R.H. & FORRESTER, J.A. Non-destructive testing of concrete. Aylesbury, Medical and Technical Publishing Co., 1971. p. 175-216. (Progress in Construction Science and Technology).
11. ELVERY, R.H. & NWOKOYE, D.N. Strength assessment of timber for glued laminated beams. London, Institute of Civil Engineers, 1969. p.105-13.

12. FACOARU, I. Non-destructive testing of concrete in Romania.
In: Symposium on Non-destructive Testing of Concrete and Timber. London, Institution of Civil Engineers, Jun. 1969. p. 39-49.
13. GOODELL, C.E. Improved sonic: apparatus for determining the dynamic modulus of concrete specimens. Journal of the American Concrete Institute, Detroit, 14:53-60, Jun. 1917.
14. HEHL, W.C. Aplicação de técnicas ultrassônicas no estudo da influência da temperatura sobre as constantes estáticas do cimento e concreto utilizados em vazão de pressão de reatores nucleares. São Paulo, 1970. (Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP).
15. HEINE, G.M. Manual para el uso del PUNDIT: comprobador de indicación numérica indestructive ultrasonico portátil. São Paulo, 1980. 33p.
16. JONES, R. El ensayo indestructivo del hormigón. Magazine of Concrete Research, (2): 67-78, Jun. 1949.
17. _____. Non-destructive testing of concrete. Cambridge, University Press, 1962. p. 104.
18. _____. A review of the non-destructive testing of concrete. In: Symposium on Non-destructive Testing of Concrete and Timber. London, Institution of Civil Engineers, Jun. 1969. p. 1-7.
19. _____. The ultrasonic testing of concrete. Proceedings Highway Research Board, (32), 1953.
20. JONES, R. & GATFIELD, E.N. Testing concrete by an ultrasonic pulse technique. London, H.M.S.O. 1955 (Road Research Laboratory - Technical paper 34).
21. LEE, I.D.G. Non-destructive testing of timber heels blades. Timber Research and Development Association. Test Record E/TR/15.
22. KAPLAN, M.F. Compressive strength and ultrasonic pulse velocity relationships for concrete in columns. Journal of the American Concrete Institute. Proceedings. 54: 675-88, Feb. 1958.

23. LESLIE, J.R. & CHEESMAN, W.J. An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures. Journal of the American Concrete Institute. Proceedings. 46:17-36, 1949.
24. LEWANDOWSKI, R. Comparison of actual structural strength and quality control tests results. Betonstein-Prüfung, 17 (8): 477-81, Aug. 1971.
25. MacLEOD, G. An assessment of two non-destructive techniques as a means of examining the quality and variability of concrete in structures. London, Cement and Concrete Association, 1971. p. 26. (Technical Report 42.464).
26. MALHOTRA, V.M. Non-destructive methods for testing concrete. Ottawa, Canada, 1966.
27. NEVILLE, A.M. Properties of concrete. London, Isaac Pitman, 1963, p. 280-82, 422-28.
28. PETERSONS, N. The strength of concrete in finished structures. Kungl. Tekniska Hogskolans Handlingar (1964), 1964. p. 139.
29. PETRUCCI, E.G.R. Concreto de cimento portland. Porto Alegre, Globo 1971. p. 226-232.
30. SHARP, R.S. Research techniques in non-destructive testing. London, Academic Press, 1970.
31. TOBIO, J.M. El aparato ultrasônico del I.E.T.C.C.: resistencia del hormigón en estructuras terminadas, medidor ultrasônico portátil. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1966.
32. TOMSETT, H.N. O método da velocidade de pulsações ultrasônicas para o ensaio do concreto em estruturas; trad. Hans Roman Edmundo Bucher. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland - 1979. 24p.
33. _____. Non-destructive testing of floor slabs. Concrete, 1 (3): 41-42, Mar. 1974.
34. _____. Site testing of concrete. The British Journal of Non-destructive Testing, 18 (3): 82 - 87, May 1976.

35. TRETYAKOV, A.K. & FILONIDOV, A.M. Effects of concretes characteristics on the pulse velocity. Research Board Bulletin, (206), 1959.
36. _____. Ultrasound in the production and inspection of concrete. New York, Consultants Bureau, 1965. p. 64.
37. WIEBENGA, J.G.A. Comparison between various combined non-destructive methods to derive the compressive strength of concrete. TNO. 11.p.
38. WILCE, B.J. High strength gunite in the repair of fire damage. Concrete, 9 (3): 28 - 31, Mar. 1975.
39. WHITEHURST, E.A. Soniscopes tests concrete structures. Journal of the American Concrete Institute. Proceedings, 47: 433 - 44, Feb. 1951.
40. WOLFF, C.M. & COSTA, R.R. & BAUER, L.A.F. Avaliação de características do concreto por ensaios de ultra-som. (Separata da Revista Politécnica - Edição Especial de 1973, S.P.).

NORMAS TÉCNICAS

- ASTM - C 597/ 1971. Standard method of test for pulse velocity through concrete.
- BS 4408 - Recommendations for non-destructive methods of test for concrete.
- DIN 54119 E - Jan/1964 - Non-destructive testing/Ultrasonic Testing/Definitions.
- DIN 54120 E - Jul/1963 - Non-destructive testing/Calibration blocks and its use for the adjustment and control of ultrasonic echo equipment.

ANEXO A

Recomendações para ensaio

NOTA: São apresentados alguns critérios normalmente utilizados quando do emprego do método em questão.

1. Critério de avaliação do concreto segundo BS 1881

Velocidade de propagação - V_c mys	Qualidade do Concreto
> 4500	excelente
3500 a 4500	bom
3000 a 3500	regular
2000 a 3000	ruim
< 2000	péssimo

2. Fatores que influem:

- . natureza e características dos agregados (~10%)
 - calcário (4400 m/s) p/36 MPa
 - granito (4000 m/s) p/36 MPa
- . umidade: (\leq 8%)
 - concretos ruins afeta mais que concretos bons.
- . armadura:
 - figura 1
 - figura 2
 - figura 3

3. Homogeneidade

	coeficiente de variação
mesma estrutura	~ 1,5%
mesmo elemento/componente	~ 2,5%
mesma estrutura	5 a 8%
	\geq 6% atenção
	\geq 10% ruim

ANEXO A

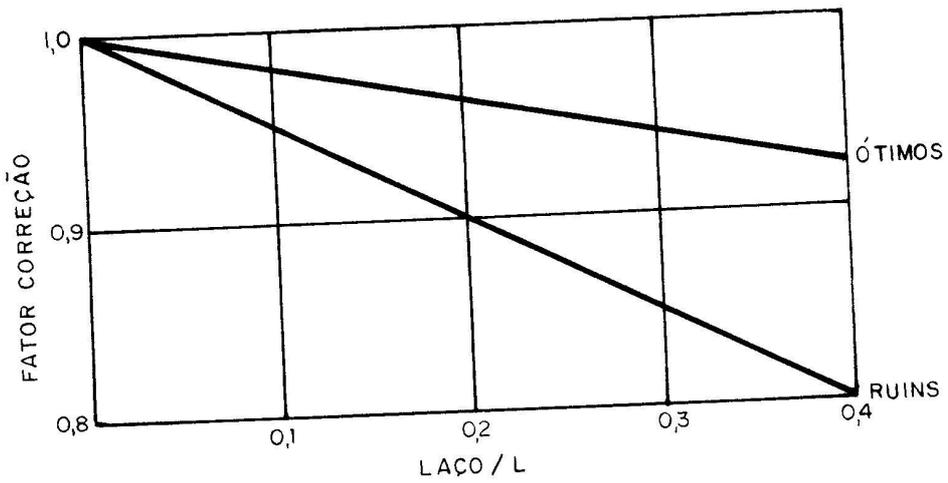
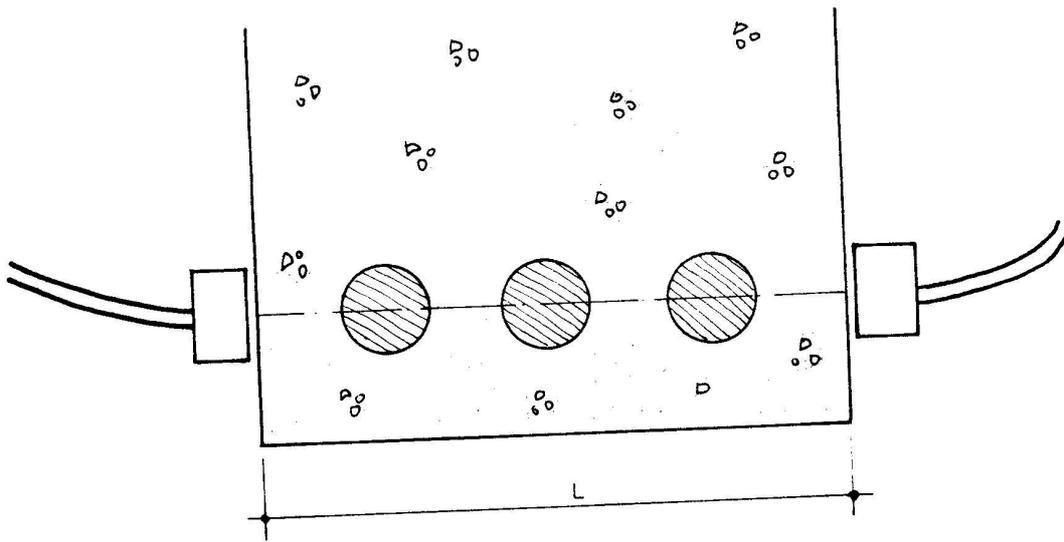


FIGURA 1 - INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE ARMADURA TRANSVERSAL

ANEXO A

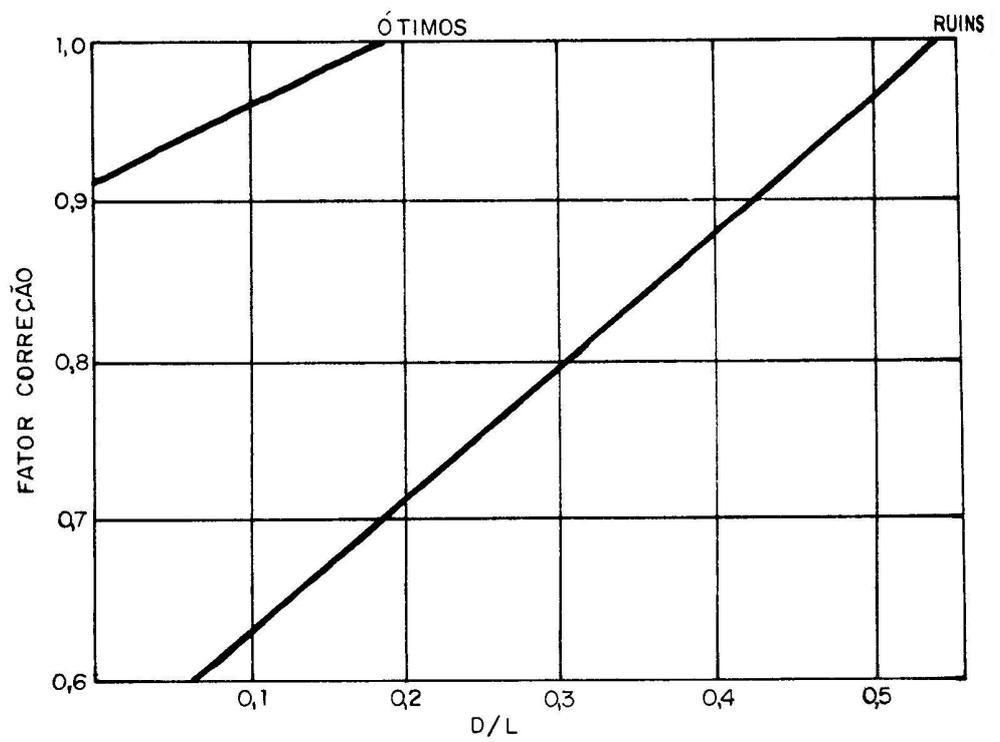
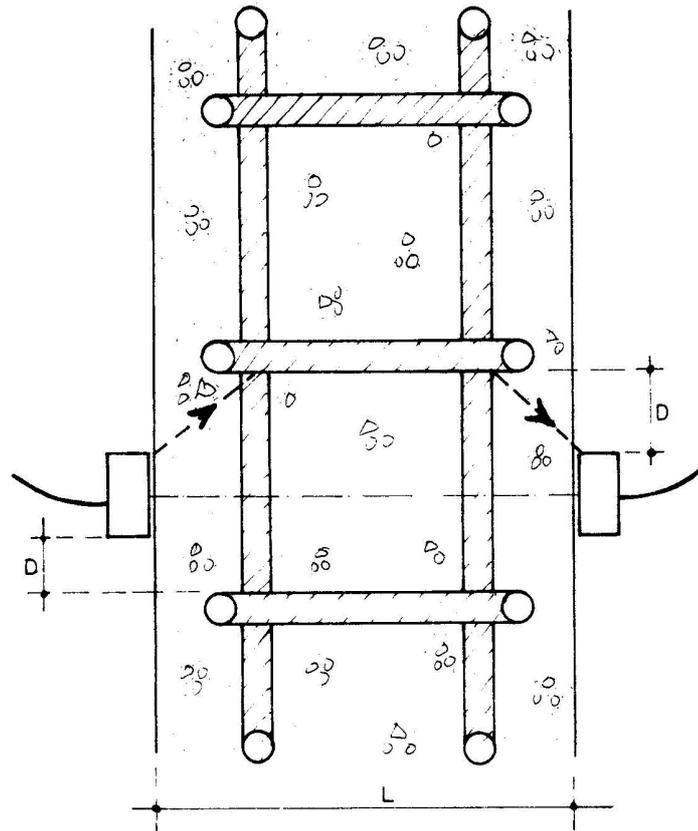


FIGURA 2 - INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE ARMADURA LONGITUDINAL

ANEXO A

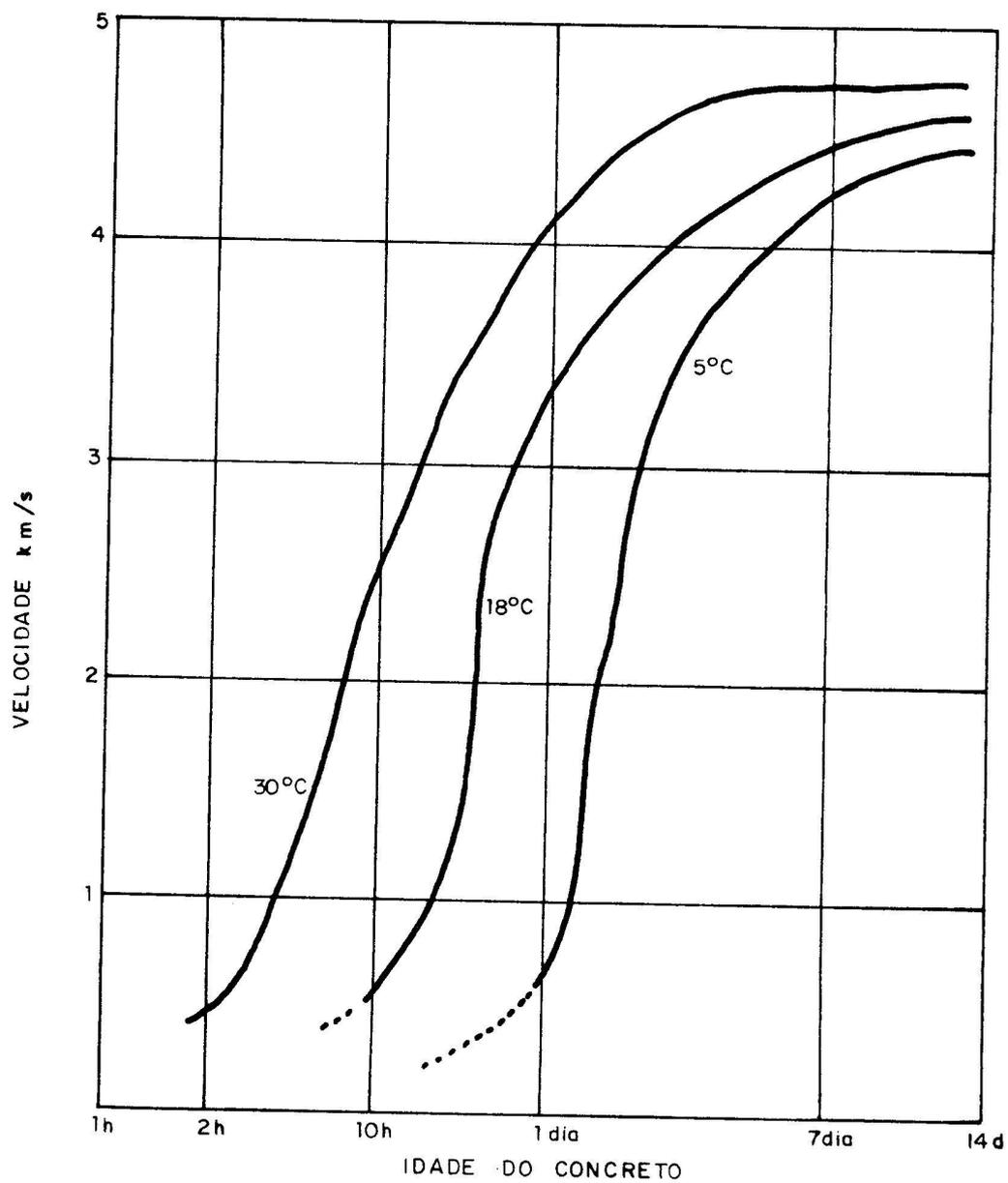


FIGURA 3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE