

MODALIDADES DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO E SUAS PARTICULARIDADES

APRESENTAÇÃO



- **DEFINIÇÃO**
- **PROSPECÇÃO NO CONCRETO**
 - DETECÇÃO MAGNÉTICA
 - GEORADAR
 - RAO GAMA
 - RESSONÂNCIA MAGNÉTICA
- **PROPRIEDADES MECÂNICAS**
 - TOMOGRAFIA
 - ULTRASSONOGRAFIA
 - GEORADAR
- **PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**
 - POTENCIAL DE CORROSÃO
 - RESISTIVIDADE
 - PH
 - TEOR DE CLORETO E SULFATO

DEFINIÇÃO



Os END's podem fornecer informações que são diretamente utilizadas para avaliação de uma estrutura ou material, como também podem fornecer informações que serão utilizadas de forma comparativa ou correlacional para subsidiar uma outra análise. Como exemplo:

- Resistividade ou potencial de corrosão, pode ser diretamente utilizado;
- Dureza superficial, normalmente é comparativo e/ou correlacional;
- Velocidade de propagação de onda longitudinal, somente comparativo e/ou correlacional.

DEFINIÇÃO

Princípio de Permeabilidade Magnética

Princípio de Corrente Parasita

Princípio de Campo Magnético Reverso

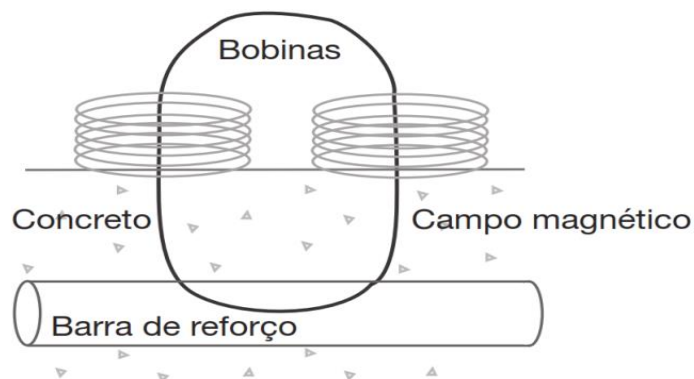
Localização de armadura até 14 centímetros*

Medida de cobrimento com diâmetro conhecido

Medida de diâmetro com cobrimento conhecido

Tipo de material (CA24, CA50, presença de corrosão)

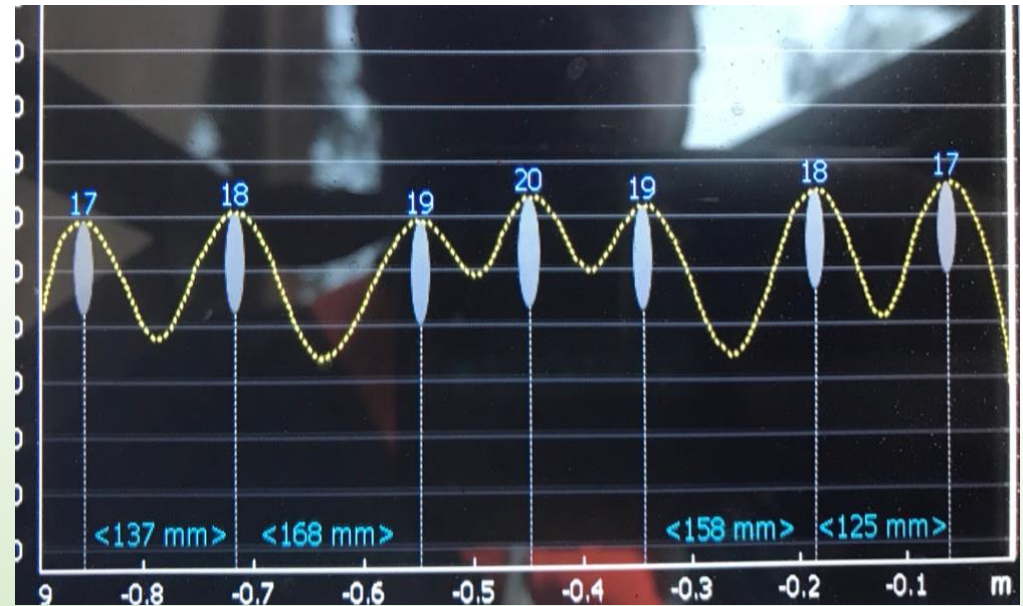
Proximidade de outras malhas



PACOMETRIA



PACOMETRIA



Princípio de Time Domain Reflector
Princípio do Coeficiente de Dielétrica

Localização de vazios grandes
Localização de armaduras em várias camadas
Medida de profundidade em vários materiais
Detecção de diferença entre materiais
Velocidade de ensaio
Possibilidade de avaliar diâmetro e corrosão***
Melhor visualização do interior da peça



Saturação por água
Interpretação

GEORADAR



GAMAGRAFIA

Princípio de Ionização

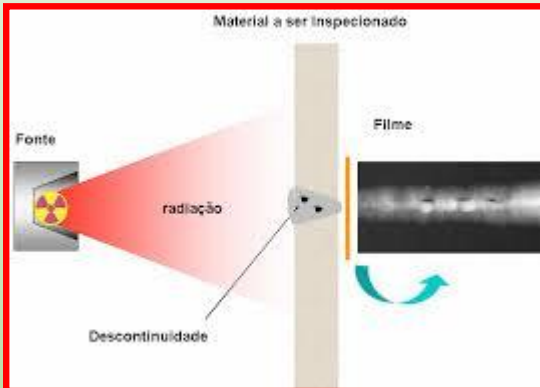
Princípio da Absorção e Difusão de Radiação

Grandes profundidades

Mensuração de objetos (diâmetro de barras)

Necessidade de blindagem

Risco grave a saúde



Fonte: abendi.org.br

Quando se coloca um material na trajetória da radiação de uma fonte radioativa, parte da radiação é absorvida e parte difundida, dependendo da densidade do material. A intensidade da radiação difundida é medida através de um contador de Geiger. O equipamento Gama independe de qualquer fonte de energia elétrica, pois está sempre emitindo irradiações, cuja intensidade varia com a atividade da fonte. Tem como fonte de radiação um componente radioativo, chamado de “isótopo radioativo”, que pode ser o Irídio, Cobalto, Túlio, Césio, ou modernamente o Selênio.

RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Princípio de Impedância

Método de Wenner (4 probes)

Princípio de Isolamento elétrico

Avalia qualidade da passivação do aço

Sem configurações complexas

Rápido e confiável para avaliar probabilidade de corrosão

Necessidade de saturação controlada

Necessidade de preparo da superfície

Limitação superficial

Não determina a profundidade da avaliação

Norma a ser confeccionada para ensaio de campo

RESISTIVIDADE ELÉTRICA

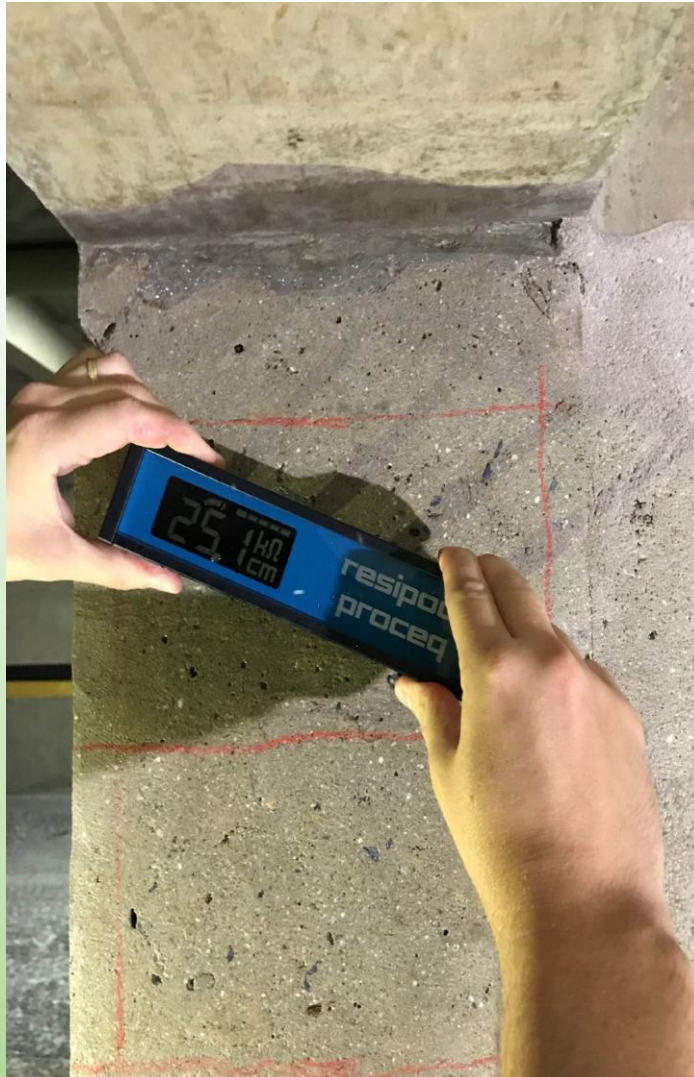
- Aço – Bons condutores de corrente elétrica – Baixa resistividade
- Plástico – Baixa condução de corrente elétrica – Alta resistividade

- Método de Wenner:

$\rho = 2.\pi.a.V/I$, onde:

- ρ = Resistividade elétrica do concreto ($\Omega.m$);
- a = Distância média entre os eixos dos eletrodos (m);
- V = Diferença de potencial entre os eletrodos internos (V);
- I = Corrente Elétrica (A).

RESISTIVIDADE ELÉTRICA



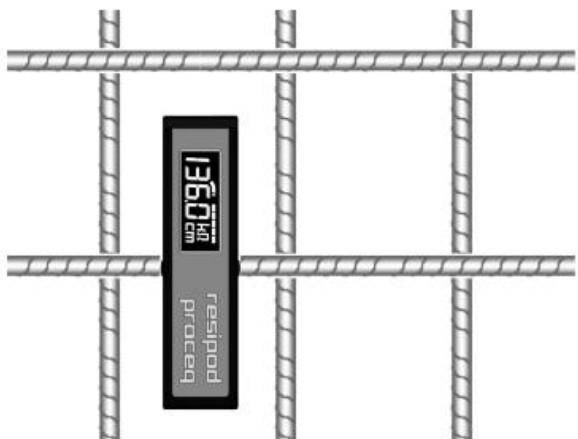
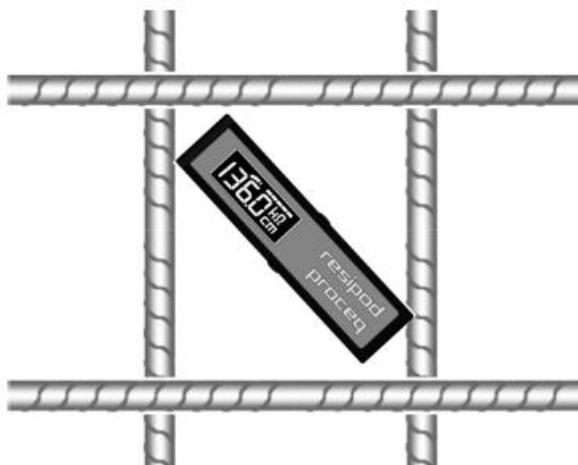
RESISTIVIDADE ELÉTRICA



RESISTIVIDADE ELÉTRICA



RESISTIVIDADE ELÉTRICA



Estimativa da probabilidade de corrosão

Quando $\geq 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$	Risco de corrosão insignificante
Quando $= 50 \text{ to } 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$	Risco de corrosão baixo
Quando $= 10 \text{ to } 50 \text{ k}\Omega\text{cm}$	Risco de corrosão moderado
Quando $\leq 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$	Risco de corrosão elevado

Indicação da taxa de corrosão

$> 20 \text{ k}\Omega \text{ cm}$	Taxa de corrosão baixa
$10\text{-}20 \text{ k}\Omega \text{ cm}$	Taxa de corrosão baixa a moderada
$5\text{-}10 \text{ k}\Omega \text{ cm}$	Taxa de corrosão alta
$< 5 \text{ k}\Omega \text{ cm}$	Taxa de corrosão muito alta

RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Valores de referência globais a 20°C para a resistividade elétrica do concreto de estruturas maduras (idade > 10 anos).

Ambiente	Resistividade do concreto ρ k Ω cm	
	Cimento Portland comum (CEM I)	Cimento de escória de alto forno (>65% escória) ou cinzas volantes (>25%) ou sílica ativa (5%)
Muito molhado, submerso, zona de respingos, câmara úmida	5-20	30-100
Exterior, exposto	10-40	50-200
Exterior, protegido, revestido, com tratamento hidrofóbico (sem carbonatação) (20°C / 80% RH)	20-50	100-400
Exterior, protegido como acima (com carbonatação)	100 e mais	200-600 e mais
Clima de ambiente interno (com carbonatação) 20°C / 50%RH	300 e mais	400-1000 e mais

POTENCIAL DE CORROSÃO



Grau de atividade de corrosão nas armaduras.

Diferença de Potencial

Eletródo de Referência

Avalia qualidade da passivação do aço

Mapeamento de pilhas

Rápido e confiável para avaliar probabilidade de corrosão

Necessidade de saturação controlada

Necessidade de preparo da superfície

Não determina a corrosão já ocorrida

Norma a ser confeccionada para ensaio de campo

Dificuldade em avaliar corrosão localizada

POTENCIAL DE CORROSÃO

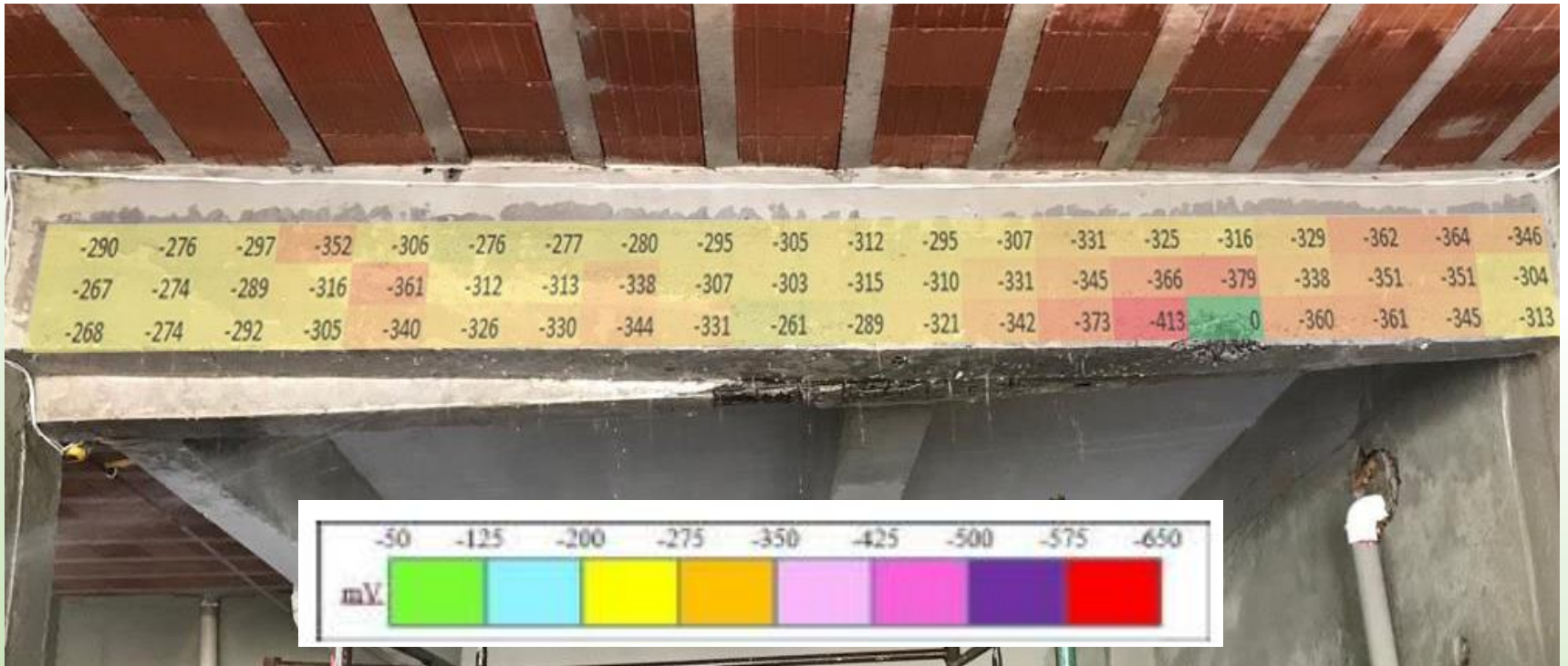


Um eletrodo de referência é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância à armadura e posicionado em pontos de uma grade na superfície do concreto. O eletrodo de referência é uma meia célula de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO) que consiste em uma vareta de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante e conhecido.

POTENCIAL DE CORROSÃO



POTENCIAL DE CORROSÃO



ULTRASSOM

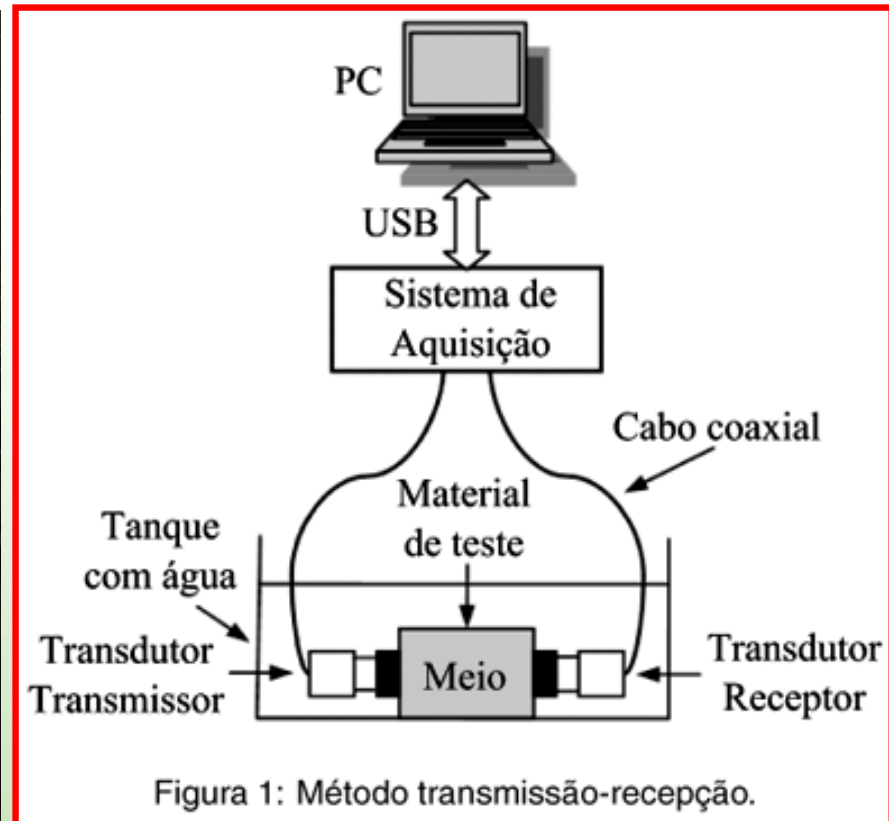


Figura 1: Método transmissão-recepção.

ULTRASSOM

Metódo transdutor emissor e transdutor receptor
Frequência de onda e Tipo de Onda
Distância entre Transdutores
Densidade dos Materiais

Avalia qualidade do concreto
Homogeneidade
Módulo de elasticidade dinâmico
Estimativa de resistência a compressão
Mapeamento de falhas

Necessidade de expertise para ensaio
Necessidade de calibração e criação de curvas próprias
Tempo de ensaio e complexidade

ULTRASSOM

Proceq PL-Link - C:\Users\isaug\Desktop\BACKUP ULTRASSOM SETEMBRO.usp

File Device Edit Calculate Help

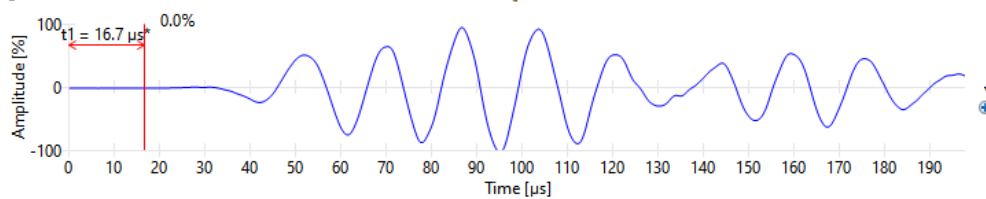


proceq

Measurements

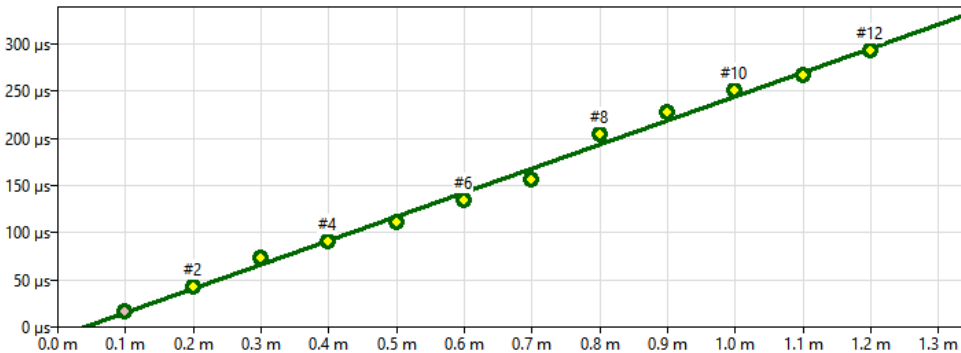
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Factor
	10/08/2019 2:00 PM	Surface Velocity	3932 m/s	--	3932 m/s	--	1.00

Signal Curve #1



[Reset Time 1]

Measurements



Settings & Results

Calib. Time Offset: -3.3 µs
Probe Type: P-wave
Probe Freq.: 54 kHz
Distance b: 0.100 m
No. of Meas.: 12

Device Information

Device Name: Pundit
Serial Number: UP01-001-0749
Software Version: 3.0.11
Hardware Revision: C1

Meas. #	Pulse Voltage (V)	Probe Gain (x)	Time 1 (µs)
1	150	2	16.7
2	150	1	42.7
3	300	2	72.7
4	200	10	90.7
5	200	10	110.6
6	200	20	133.4
7	150	50	156.2
8	400	20	204.3
9	350	10	226.5
10	200	20	250.5
11	250	50	266.2
12	250	20	292.6

Comment

[Add]

✓ Piso Galpao Principal - 02	10/08/2019 2:20 PM	Line Scan	--	--	--	--	1.00
✓ Piso Galpao Principal - 03	10/08/2019 2:21 PM	Compr. Strength	23 MPa	0.100 m	--	34.2 µs	1.00

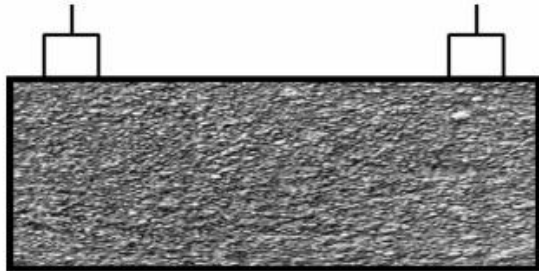
Selected measurements: 1 Total measurements: 9

NUM

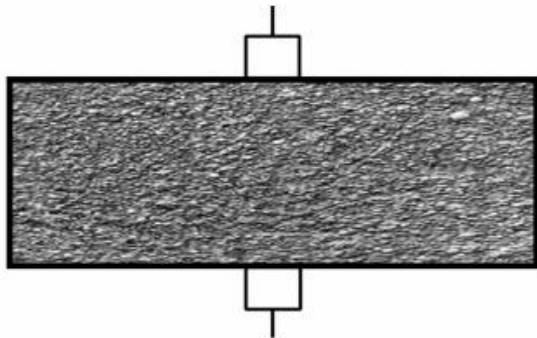
ULTRASSOM



ULTRASSOM



Indireto ou superfície



Direto

Velocidade do pulso longitudinal (m/s)

Qualidade

$V < 2000$

Muito pobre

$2000 < V < 3000$

Pobre

$3000 < V < 3500$

Duvidosa

$3500 < V < 4500$

Boa

$V > 4500$

Excelente

MÓDULO DE ELASTICIDADE

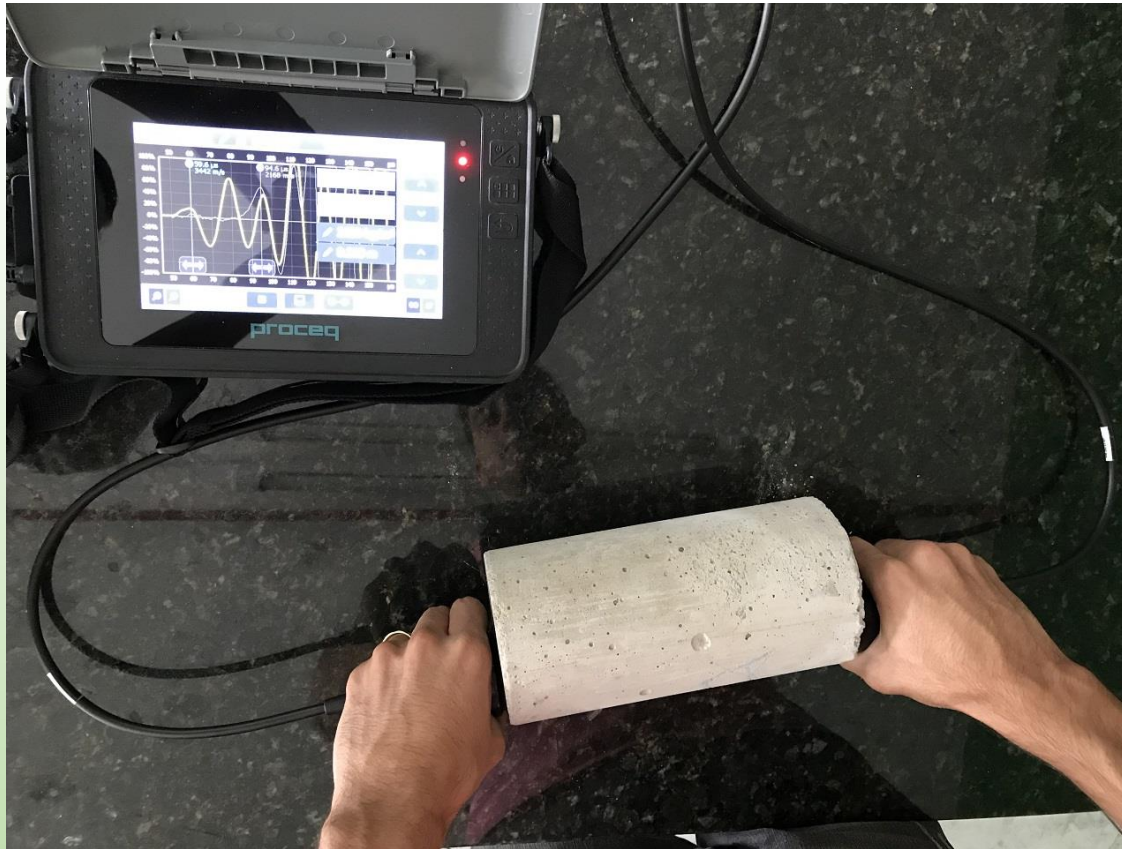


É um ensaio não destrutivo (END) que tem como finalidade determinar a medição de velocidade o pulso da onda de cisalhamento no elemento estrutural “in loco”, sem que seja necessário realizar a extração de testemunho.

Quando/onde deve ser utilizado:

Em estruturas em execução, novas ou antigas; para determinação do modulo de elasticidade, por exemplo, confirmando o determinado em projeto ou até mesmo para se desformar uma estrutura ou retirar o escoramento.

MÓDULO DE ELASTICIDADE



MÓDULO DE ELASTICIDADE



MÓDULO DE ELASTICIDADE



MÓDULO DE ELASTICIDADE



MÓDULO DE ELASTICIDADE



MÓDULO DE ELASTICIDADE

A velocidade do pulso longitudinal é relacionada com suas propriedades elásticas e densidade através da seguinte relação:

$$V = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}$$

onde:

V = velocidade do pulso longitudinal

E = módulo de elasticidade dinâmico

μ = coeficiente de Poisson dinâmico

ρ = densidade

O coeficiente de Poisson é relacionado com as velocidades longitudinais e transversais pela seguinte equação:

$$\mu = \frac{Vp^2 - 2Vs^2}{2(Vp^2 - Vs^2)}$$

onde:

μ = coeficiente de Poisson dinâmico

Vp = velocidade do pulso longitudinal

Vs = velocidade do pulso transversal

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

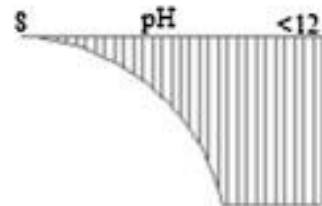
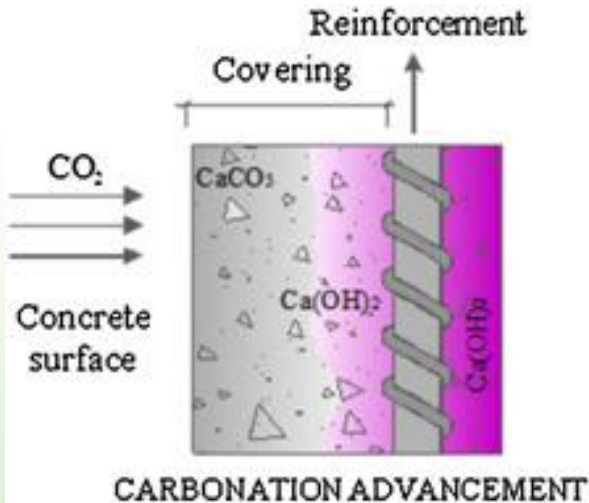


O ensaio de profundidade de carbonatação do concreto indica a intensidade do ataque do dióxido de carbono ao longo da profundidade do elemento estrutural. A carbonatação é um dos mecanismos responsável pela deterioração do concreto armado gerando uma redução da alcalinidade do concreto, fazendo com que as armaduras fiquem despassivadas, o que permite o início de processo de corrosão.

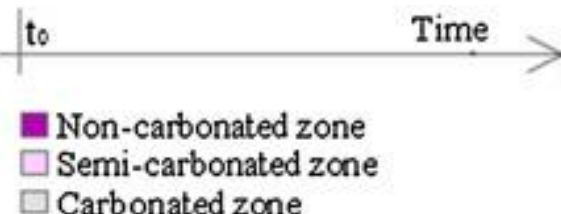
Quando/onde deve ser utilizado:

Em estruturas novas e antigas que apresentem ou não patologias;
Em elementos estruturais que apresentam patologias do tipo lixiviação.

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO



pH ALTERATION



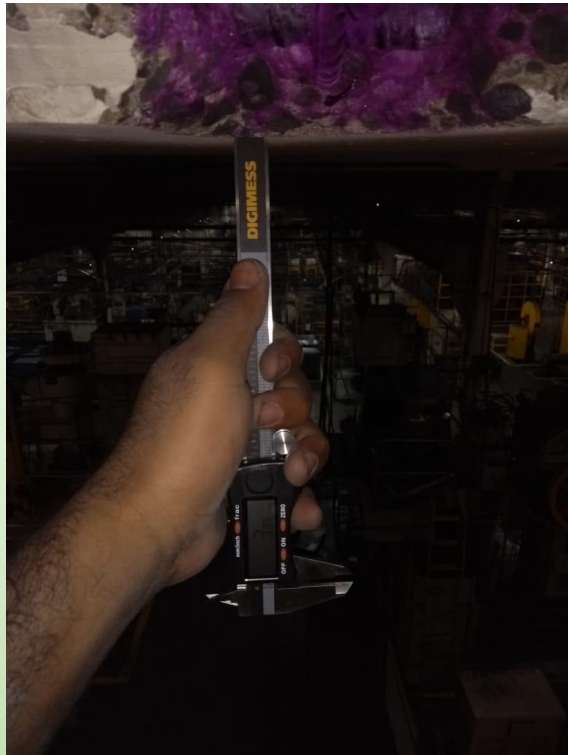
CO_2 PENETRA POR DIFUSÃO NO CONCRETO

O CO_2 EM CONTATO COM A ÁGUA INTERNA FORMA O ÁCIDO CARBÔNICO H_2CO_3

O H_2CO_3 REAGE COM OS COMPONENTES DA PASTA DE CIMENTO HIDRATADA PRINCIPALMENTE COM O HIDRÓXIDO DE CÁLCIO Ca(OH)_2 , FORMANDO O CARBONATO DE CÁLCIO CaCO_3

O CaCO_3 CONSOME OS ÁLCALIS DA PASTA REDUZINDO ASSIM O PH E INICIANDO A CARBONATAÇÃO

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO



PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO



OBRIGADO!



Eng. Isau Guilherme de Souza Matos Alves

Escritórios:

*MG: Av. Cristiano Machado, nº640, sala 1402, Sagrada Família,
CEP: 31.030-514, Belo Horizonte - MG.*

*DF: SIA Trecho 3/4 lote 625/695, sala 207 B -
SIA Centro Empresarial, CEP: 71.200-038, Brasília - DF.*

e-mail: diagnostica@piengenharia.com.br

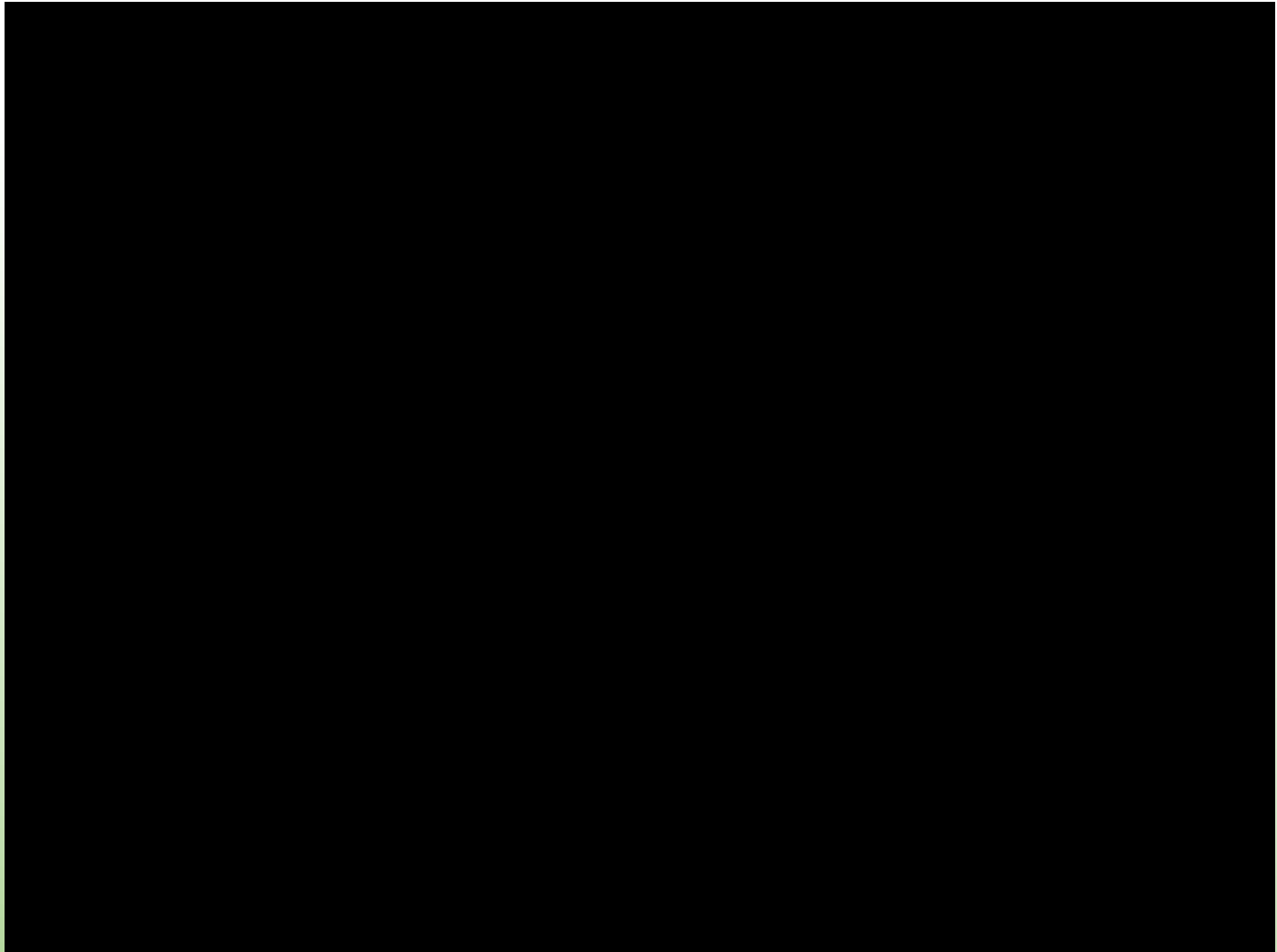
Contatos: +55(31)3426-6308/+55(79)99803-5201

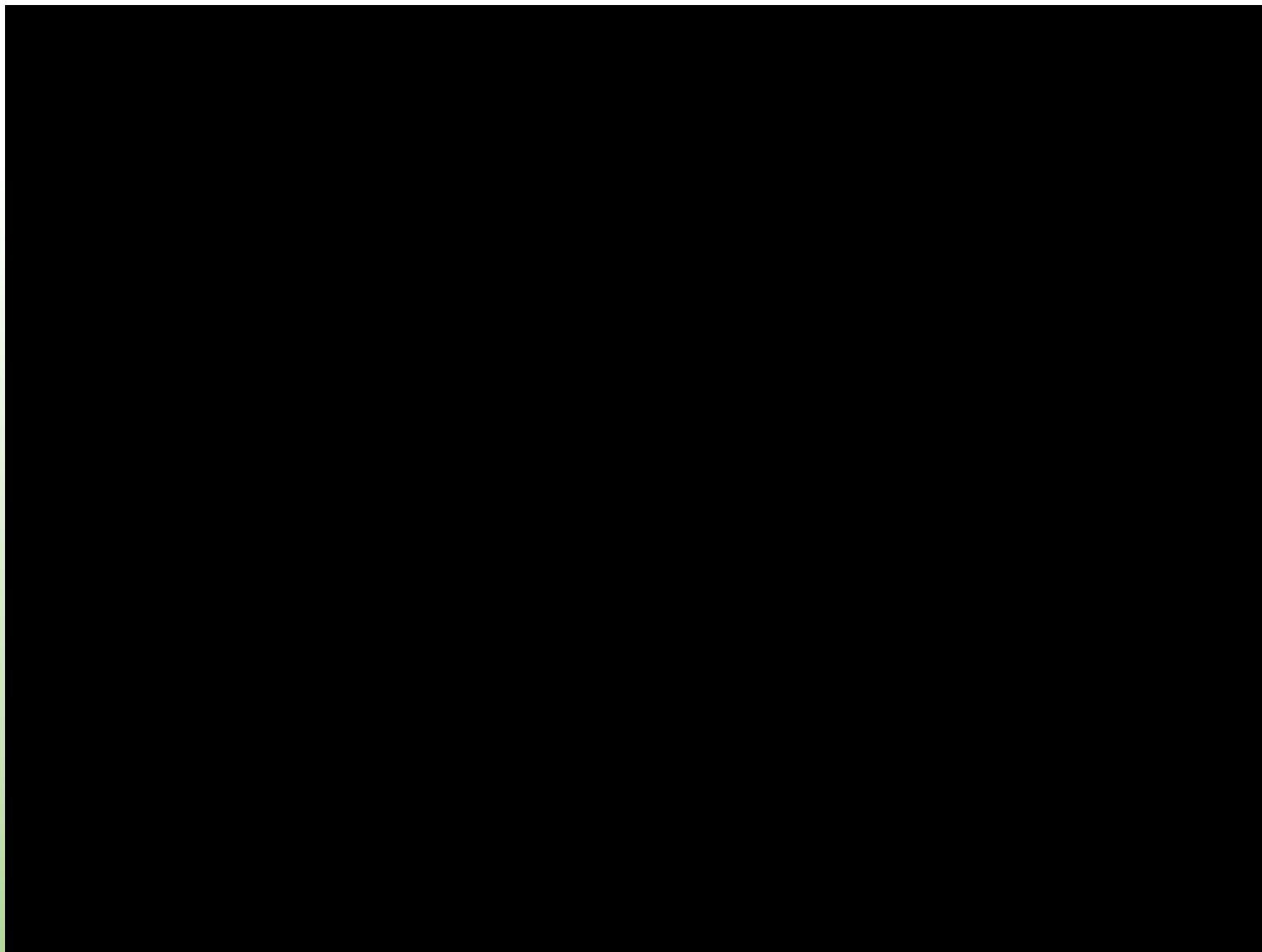
www.piengenharia.com.br

Ensaaios e Projetos Estruturais

GPR

Ground Penetrating Radar

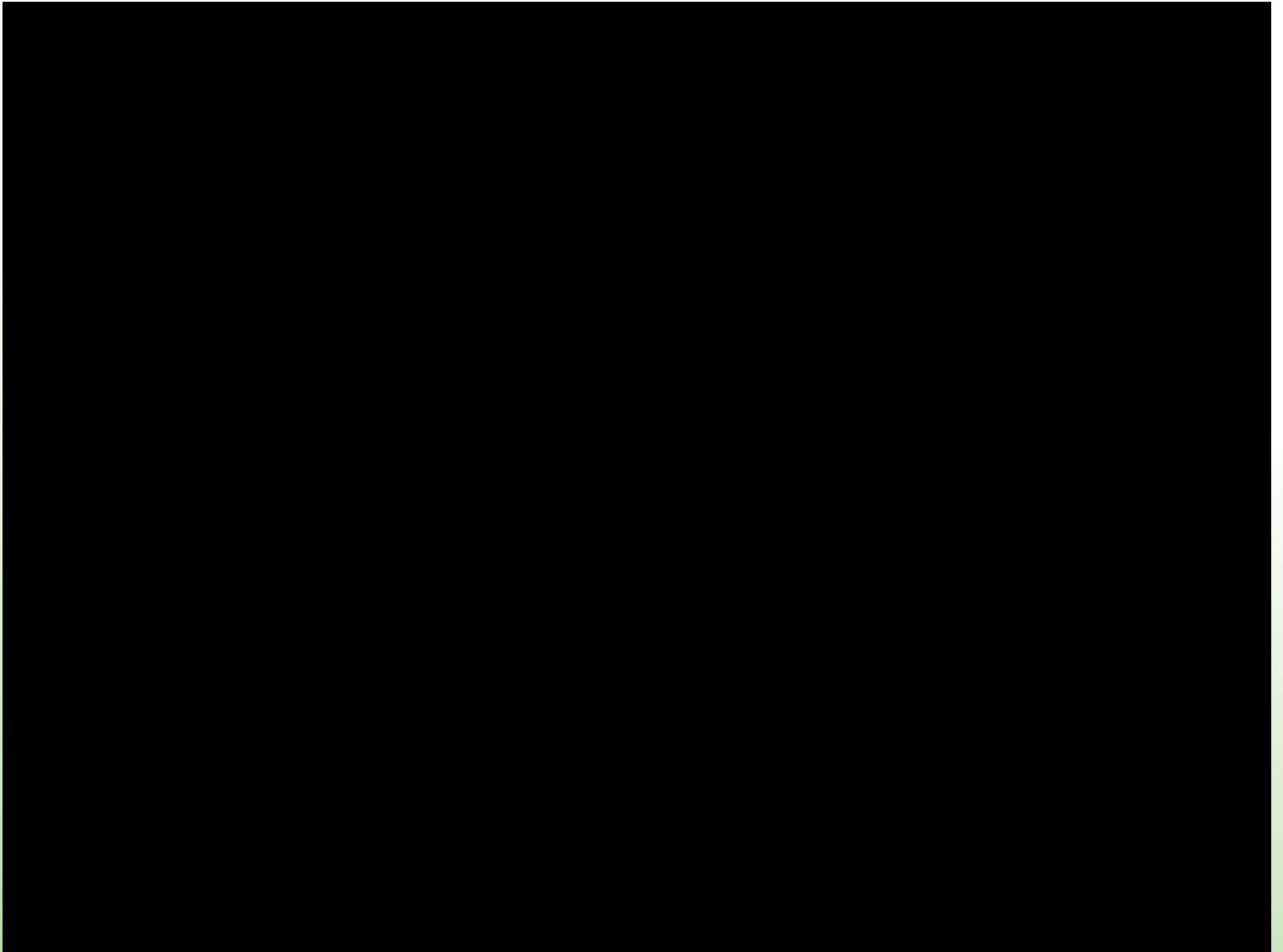




TOMÓGRAFO



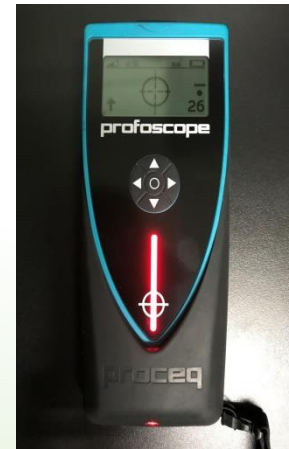
TOMÓGRAFO



OUTROS ENSAIOS

- MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura;
- PH
- TDR - Time Domain reflectometry
- Determinação de teor de sulfatos em concreto;
- Determinação de teor de cloretos em concreto;
- Ensaios dinâmicos e estáticos utilizando transdutores de deslocamentos, acelerômetros, extensômetros e inclinômetros;
- R.A.A – Reação álcali agregado;
- VANT – Veículos aéreos não tripulados;
- Dentre outros...

➤ Cobrimento da armadura



➤ Módulo de elasticidade e resistência



Sustentabilidade: Durabilidade

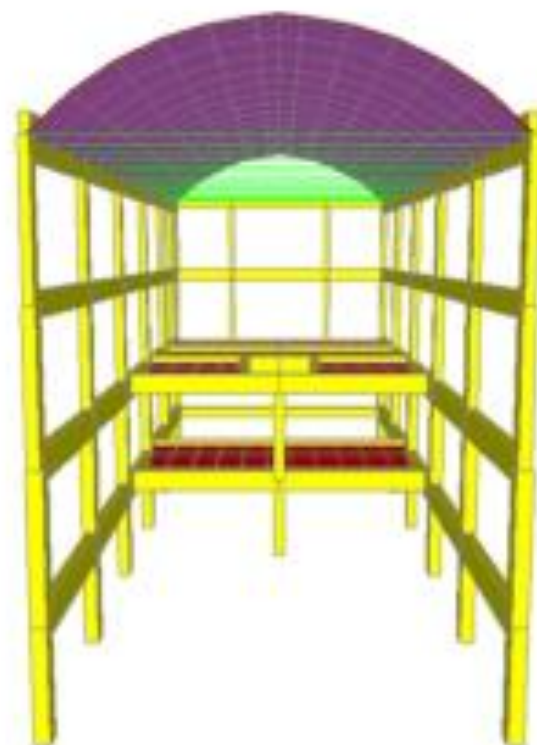
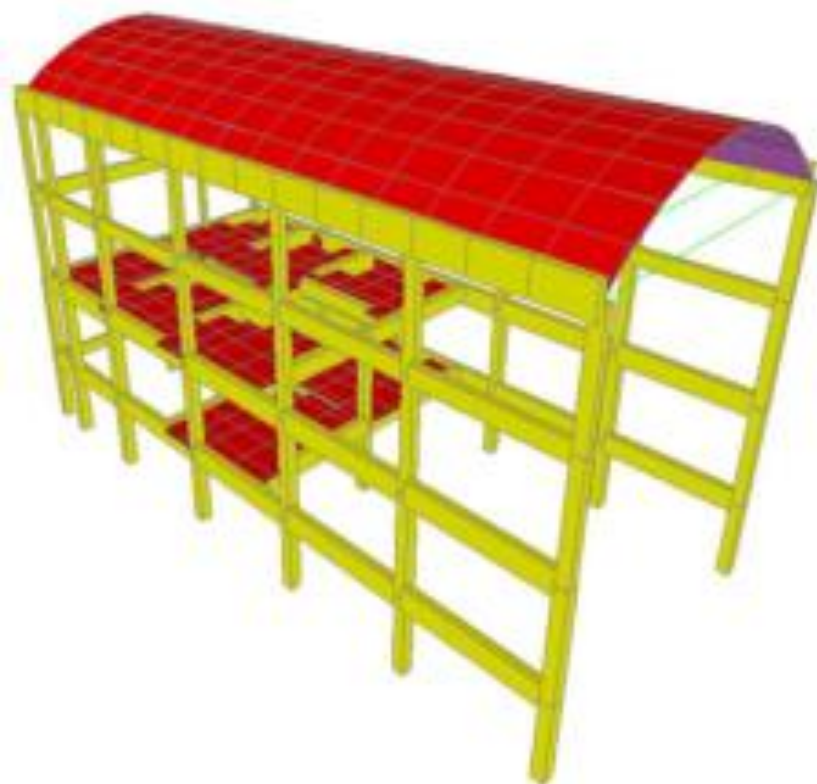
- Cobrimento da armadura
- Módulo de elasticidade e resistência
- Fissuração, delaminações, compacidade, vazios





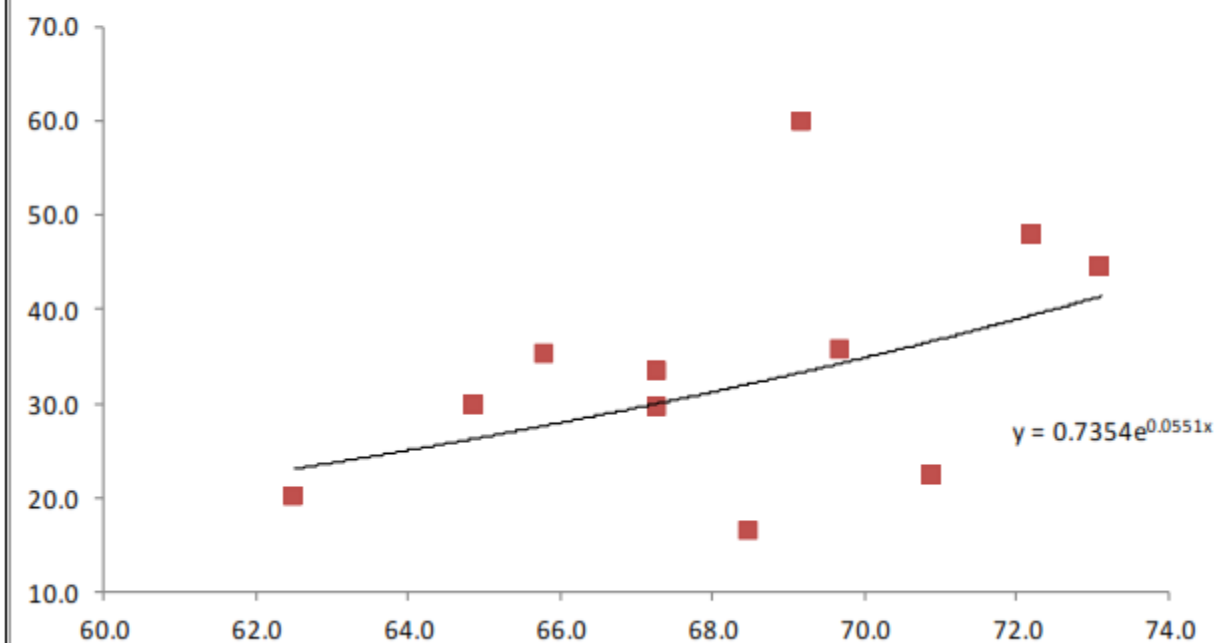






ENSAIO	TIPO	QUANTIDADE - G1 (und)			QUANTIDADE - G2 (und)			TOTAL (und)
		PILAR	VIGA	LAJE	PILAR	VIGA	LAJE	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS)	ED	5	2	-	6	3	-	16
PACOMETRIA	END	5	2	2	6	3	2	20
ESCLEROMETRIA	END	2	2	3	7	2	6	22
ULTRASSONOGRRAFIA	END	2	2	2	3	2	2	13
POTENCIAL DE CORROSÃO	END	2	2	2	3	2	2	13
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	END	5	2	-	6	3	-	16
TOTAL		21	12	9	31	15	12	100

Gráfico Extração x Esclerometria



	Extração	Esclerometria
P1-1	22.2	70.9
P1-4	33.2	67.3
PR-1	19.9	62.5
PR-2	16.4	68.5
P13-2	29.7	64.9
P19-1	47.7	72.2
P19-2	44.4	73.1
V301a	29.4	67.3
V303e	59.8	69.2
V304a	35.1	65.8
V401a	35.6	69.7

ESCLEROMETRIA

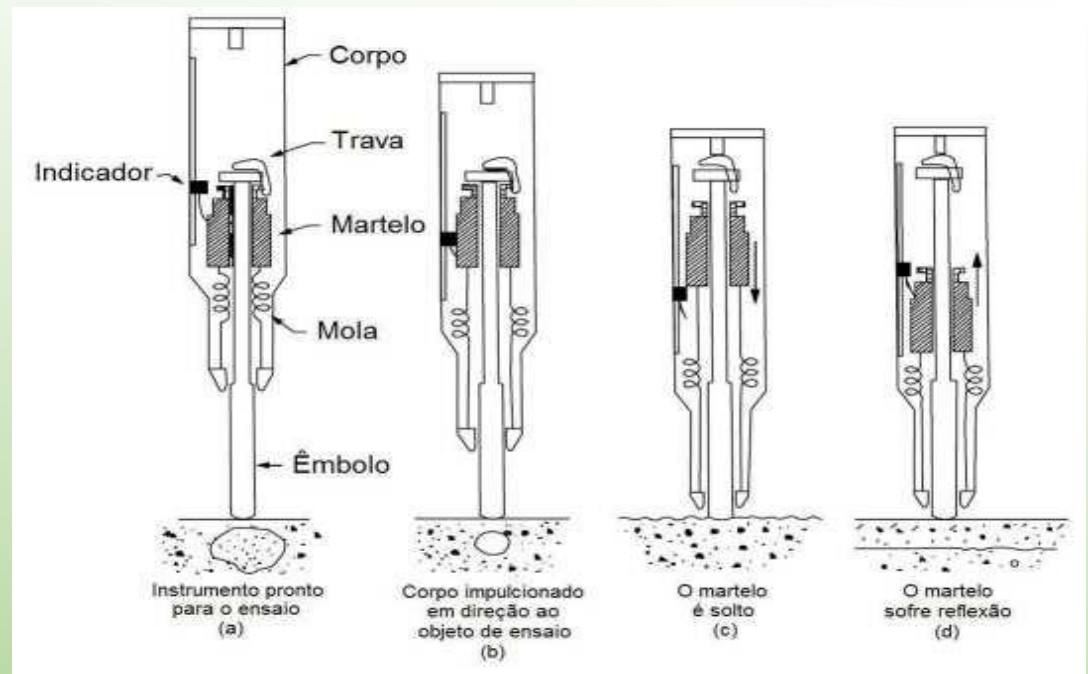
O que é:

A esclerometria é um ensaio não destrutivo (END) que é empregado para averiguar a uniformidade da dureza superficial do concreto e para a estimativa não destrutiva das propriedades de resistência do concreto. Deve ser realizado conforme a NBR 7584:2013.

Quando/onde deve ser utilizado:

Auxílio na realização da escolha de elementos estruturais a serem ensaiados através de outros métodos destrutivos e não destrutivos (ultrassonografia e extração de corpos de provas para rompimento); Investigação de estruturas onde não foram identificados os projetos; Verificação e confirmação em estrutura que possuem projetos.

O princípio da esclerometria baseia-se na avaliação de dureza superficial. O ensaio basicamente consiste em impactar uma superfície de concreto de maneira padrão, com uma dada energia de impacto e, então, medir o rebote ou a reflexão de uma massa padrão após o impacto no concreto







Para se medir a resistência elétrica de um determinado material é necessário aplicar uma tensão ou diferença de potencial (V) e medir a corrente que passa (I) – Lei de Ohm.

$$V = R.I$$

O que é:

O ensaio de avaliação do potencial de corrosão das armaduras tem como objetivo estimar o grau de atividade de corrosão nas armaduras.

Quando/onde deve ser utilizado:

Pode ser utilizado em qualquer elemento estrutural em concreto armado, porém principalmente em elementos que apresentam algum tipo de patologia derivada da corrosão de armaduras (fissuras e deslocamentos no concreto).