

## **ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA**

**AZZI, Sarah Silva**

Mestranda UFMG  
saraazzi@hotmail.com

**LAGE, Eduardo Brando Diniz**

Mestre, Universidade Federal de Minas Gerais.  
brandaolage@yahoo.com.br  
Resumo

**LAGE, Dalison Ribeiro**

Engenheiro Mecânico  
dalison.lage@educadores.net.br

**MARTINS, Pedro Henrique**

Mestrando, Universidade Federal de Minas Gerais.  
pedromartins.eng@hotmail.com

### **Abstract:**

Techniques for quality control of concrete are usually connected with the investigation of the mechanical properties and their durability. Normally the preparation processes of concrete samples are slow and laborious. Furthermore, most of investigations are destructive testing making new experiments impossible. Therefore, nondestructive methods are required for an effective monitoring and inspection to evaluate the condition of the structure and the need for maintenance or repair. These nondestructive techniques should be able to identify possible durability problems before they become severe. The durability of concrete depends on most properties of its microstructure, such as the distribution of pore size and the shape of the interconnections among them. A thinner pore network with less connectivity leads to less permeability. A structure can undergo modifications caused by defects or fractures generated during the manufacturing process, handling or working conditions. All those problems generate a more porous microstructure with a higher degree of interconnections, but resulting in greater permeability and reduction of concrete durability. The main idea behind most electrical resistivity techniques is to find alternative ways of quantifying the conductive properties of the concrete microstructure. In general, the electrical resistivity of the concrete can be described as the ability of concrete to withstand transferring ions subjected to an electric potential

ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO  
DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

MARTINS, Pedro Henrique

difference. This paper aims to evaluate the electrical resistivity of concrete after fracture. Electrical resistivity measurements were performed to evaluate the variation of the same sample before and after the induction of a fracture by compression test along the concrete structure.

**Keywords:** Electrical Resistivity of Concrete, Nondestructive Testing, Fracture in Concrete Structures.

**RESUMO:**

As técnicas para controle de qualidade do concreto usualmente estão associadas à investigação das propriedades mecânicas e da durabilidade desse material. Normalmente os processos de preparação e as condições das amostras são lentos e trabalhosos, sendo que em sua maioria são destruídas durante as análises, impossibilitando novos experimentos. Portanto, métodos não destrutivos alternativos se tornam necessários para monitoramento e inspeção eficazes visando avaliar o estado da estrutura e quando a manutenção ou reparação são necessárias. Essas técnicas devem ser capazes de identificar eventuais problemas de durabilidade antes que esses se tornem graves. A durabilidade do concreto depende em grande parte das propriedades da sua microestrutura, tais como a distribuição do tamanho dos poros e a forma das interligações entre eles. Uma rede de poros mais fina, com menos conectividade, leva a uma menor permeabilidade. Uma estrutura pode sofrer modificações causadas por defeitos ou fraturas geradas durante o processo de fabricação, manuseio ou condições de trabalho gerando uma microestrutura mais porosa com maior grau de interconexões; por outro lado, resulta em maior permeabilidade e redução da durabilidade em geral. A ideia principal por trás da maioria das técnicas de resistividade elétrica é buscar formas alternativas de quantificar as propriedades condutoras da microestrutura do concreto. Em geral, a resistividade elétrica do concreto pode ser descrita como a capacidade de o concreto suportar a transferência de íons sujeitos a uma diferença de potencial elétrico. O presente trabalho visa avaliar a resistividade elétrica do concreto após a fratura. Foram realizadas medições da resistividade elétrica para avaliar sua variação após a indução de uma fratura por ensaio de compressão ao longo da estrutura do concreto.

**Palavras Chave:** Resistividade Elétrica do Concreto, Ensaios não Destrutivos, Fratura em Estruturas de Concreto.

## **Introdução**

De acordo com Malhotra & Carino [1], ao contrário de tubulações e estruturas metálicas soldadas, os ensaios não destrutivos para concreto são técnicas relativamente novas. Isto se deve à não homogeneidade do concreto, o qual é um compósito que pode ser feito de diversos materiais, gerando novas propriedades. Além disto, os autores informam que todas as propriedades do concreto dependem do manuseio durante o tempo de cura, o qual não há mão de obra muito especializada [1].

Para Malhotra & Carino [1], há duas classes de métodos de ensaios não destrutivos para o concreto. A primeira consiste em métodos para estimar a resistência mecânica e a segunda inclui métodos para medir outras características como teor de umidade, densidade, espessura, resistividade elétrica e permeabilidade. Dentro da segunda classe, estão inclusos métodos que permitem identificar defeitos como delaminações, vazios e rachaduras no concreto. Nesta segunda classe, os métodos elétricos são muito utilizados para localizar o reforço e medir espessura, umidade e potencial de corrosão através da indutância elétrica[1]. Isto ocorre pois ao se fazer uma mistura de cimento com água, uma série de reações de hidratação e hidrólises ocorrem, formando uma pasta viscosa de cimento, que ao realizar a cura, se torna uma estrutura porosa sólida [2,3,4]. A medida que essas reações ocorrem, os íons desaparecem, fazendo com que a estrutura se torne cada vez menos condutora. Ao reidratar o concreto, água entrará nestes poros, liberando íons, em grande maioria  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $SO^-$  e  $OH^-$ ; permitindo uma condução iônica entre os eletrodos [2,3,4,5].

De acordo com Layssi et al [2] e Santos [4], há dois processos de medição de resistividade elétrica que são muito utilizados. O processo de medição unilateral, que é medido através de dois eletrodos, geralmente placas de metal; e a medição de quatro pontos, que é medida através de quatro pontos na superfície do concreto. O método de quatro pontos é mais aconselhável para medidas em campo, porém ele é mais sensível a mudanças de superfície para medição. Por serem ensaios não destrutivos, eles podem ser usados em qualquer estrutura, sem danos significativos às mesmas.

Essa resistividade elétrica do concreto se dá pela impedância do mesmo [2]. Ela é o valor que representa a capacidade do concreto de permitir o trânsito de íons em sua estrutura quando aplicado uma diferença de potencial elétrico. Assim, esse valor pode ser associado às características da sua estrutura, ou seja, a distribuição do tamanho dos poros e a forma das interligações entre eles. Uma rede de poros mais fina, com menos conectividade, leva a uma

menor permeabilidade. A medida em que a permeabilidade aumenta, a resistividade elétrica diminuí [2,3,4,5,6]. Para que a permeabilidade aumente, é necessário que mais poros sejam acessíveis. Este acesso se dá a deterioração do concreto, o qual pode ser de processos químicos ou físicos [7]. Isto ocorre, pois toda deterioração resulta em rachaduras, as quais interconectam as microestruturas [7].

O presente trabalho visa avaliar a viabilidade do ensaio de resistividade elétrica para a detecção de defeitos causados pela à não homogeneidade do concreto e pelo manuseio durante o tempo de cura.

### **Materiais e Métodos**

De acordo com Layssi et al [2], Santos [4], Elkey & Sellevold [5] e Medeiros Junior et al [8] a relação água-cimento, tipo e quantidade de agregados, seus aditivos minerais e/ou químicos, o grau de hidratação e o tempo e a temperatura de cura, alteram as propriedades elétricas do concreto. Divi algumas o tempo de cura foram alteradas entre as amostras, para que apresentassem propriedades diferentes.

Foram feitas 09 amostras de concreto utilizando Cimento Portland (CPV). Visando a viabilidade do teste, as amostras foram separadas em 3 grupos distintos cada um contendo 3 Cp(s), no qual o Grupo A foram confeccionadas segundo a norma NBR 5738. O Grupo B com intuito de simular um mal adensamento, essas amostras foram submetidas a apenas 25% dos golpes exigidos pela norma NBR 5738.

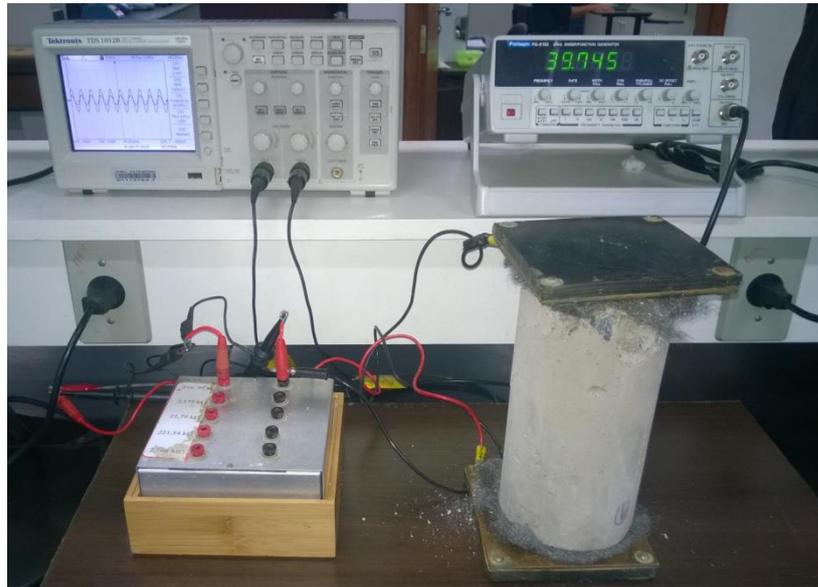
O Grupo C as amostras foram adicionados defeitos simulando uma pré-trinca nas amostras. Todas as amostras passaram pelo o processo de cura submersa para ser realizado as medições. Foi utilizado areia média e brita zero, com traço massa de 1:1,43:2,31 e relação água/cimento de 0,47.

Após a cura, foram realizadas as medições nos padrões normativos. Em todas as medições, os corpos de prova foram mantidos submersos dentro de um recipiente com água de fornecimento da companhia local (COPASA) durante 48 horas conforme norma ABNT NBR 9204:2012 [9], porém ao invés de câmara úmida utilizou-se submersão.

ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO  
DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

MARTINS, Pedro Henrique

Figura 1 - Medição da Resistência Elétrica Uniaxial



Utilizando os equipamentos de medição de resistividade elétrica uniaxial (Figura 1) e a de quatro pontos do concreto (Figura 2), se mediu a resistividade dos corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm. Pela sonda Wenner da fabricante Resipod trabalhou-se com a frequência de 40Hz, sendo este valor o mesmo utilizado no gerador de frequências. Utilizou-se por razões de segurança uma tensão de 8V, devido a este valor, uma resistência de Chant se fez necessária para medir a corrente e assim medir a resistividade da amostra.

Foram realizadas medições espaçadas 90 graus ao longo da superfície das amostras utilizando a sonda Wenner, totalizando quatro medições por amostra. A medição uniaxial foi feita pela a média de cinco medições variando as cinco resistências diferentes do Chant.

Figura 2 - Medição da Resistência Elétrica de Quatro Pontos



ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO  
DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

MARTINS, Pedro Henrique

**Resultados e Discussões**

A Tabela 1 apresenta os resultados das medições realizadas pelos métodos uniaxial e por quatro pontos. Para a confecção da Tabela 1 foi medido a resistividade elétrica de 09 corpos prova de concreto pelos métodos de uniaxial e quatro pontos durante 21 dias.

Tabela 1 - Resultado das Medições

		Nome da Amostra	Método quatro pontos		Método dois pontos	
			Resistividade (ohm.m)	média	Resistividade (ohm.m)	média
CORPOS DE PROVA 07 DIAS	GRUPO A	CP1 - 7	46,25	48,17	23,11	23,30
		CP2 - 7	48,75		23,91	
		CP3 - 7	49,50		22,87	
	GRUPO B	CB1 - 7	62,00	55,08	27,22	26,94
		CB2 - 7	50,25		25,32	
		CB3 - 7	53,00		28,29	
	GRUPO C	CPN1 - 7	56,25	56,83	25,05	25,36
		CPN2 - 7	56,25		25,25	
		CPN3 - 7	58,00		25,78	
CORPOS DE PROVA 14 DIAS	GRUPO A	CP1 - 14	56,17	58,36	26,59	26,74
		CP2 - 14	57,75		25,98	
		CP3 - 14	61,17		27,64	
	GRUPO B	CB1 - 14	63,25	63,67	28,94	29,28
		CB2 - 14	64,42		28,28	
		CB3 - 14	63,33		30,61	
	GRUPO C	CPN1 - 14	61,75	61,03	28,94	28,84
		CPN 2- 14	60,83		28,80	
		CPN3 14	60,50		28,79	
CORPOS DE PROVA 21 DIAS	GRUPO A	CP1 - 21	60,58	63,06	29,24	29,70
		CP2 - 21	62,67		30,00	
		CP3 - 21	65,92		29,85	
	GRUPO B	CB1 - 21	68,92	68,25	31,09	30,71
		CB2 - 21	68,67		33,62	
		CB3 - 21	67,17		27,43	
	GRUPO C	CPN1 - 21	65,75	65,25	28,35	29,86
		CPN2 - 21	65,75		30,78	
		CPN3 - 21	64,25		30,46	

De acordo com a Tabela 1, em ambos os métodos de medição de resistividade elétrica, houve redução do valor após a fratura. Esses valores reduzem de 15 a 35% após à fratura. Mesmo que os valores das resistividades não sejam os mesmos em ambos os métodos, a variação percentual entre os processos possuíram um erro de até 11,42%. Porém, os valores se mantém entre a faixa de 15 a 35%. Este erro de aproximadamente 10% pode ser devido à variação de 90° de ângulo ao se medir à resistividade do bloco. Devido ao fato do método de quatro pontos medir a superfície, algumas trincas podem não causar variação na medição, causando o erro. Todas as

# ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

MARTINS, Pedro Henrique

medidas de resistividade pelo método de quatro pontos são maiores que a de uniaxial, o que pode exemplificar que algumas trincas podem não participar da medição da resistividade.

Durante os experimentos, alguns valores da resistividade uniaxial foram maiores que antes de serem fraturados. Isto pode ter ocorrido devido à falta de contato entre as placas de eletrodos e o concreto. Por estar fraturado, em algumas medições, não houve o íntimo contato entre o concreto e a placa, sendo necessário a troca do contator com intuito de reduzir essa variação.

## Conclusão

Por em ambos os métodos de medição os valores foram próximos aos dos corpos de prova de referência, em apenas 21 dias não foi possível avaliar se a resistividade elétrica pode informar a existência de trincas e/ou defeitos no concreto.

Visando ter um controle de trincas e rachaduras no interior do concreto e importante manter a medição da resistividade elétrica durante a execução da obra e ao término dela. Quando obtiver a linearidade da resistividade elétrica aconselha-se registrar esta faixa de valor e utilizar como padrão para a detecção de uma possível fratura.

## Referências

- [1] MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition**. [S.l.]: CRC press, 2004.
- [2] LAYSSI, H. et al. Electrical Resistivity of Concrete. **Concrete International**, v. 37, n. 5, p. 41-46, 2015.
- [3] MCCARTER, W. J. et al.. Two-point concrete resistivity measurements: interfacial phenomena at the electrode–concrete contact zone. **Measurement Science and Technology**, v. 26, n. 8, p. 085007, 2015.
- [4] SANTOS, L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). **Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília**, Brasília/DF, 2006.
- [5] ELKEY, W.; SELLEVOLD, E. J. **Electrical resistivity of concrete**, 1995.
- [6] BADILLA, V.; ZAMORA I MESTRE, J.-L. Correlación de diferentes métodos no destructivos de detección superficial de anomalías en el hormigón armado. **Actas de CONPAT 2015**, Instituto Superior Tecnico, p. 3.3-9309., 2015.
- [7] WANG, K. et al. Permeability study of cracked concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 3, p. 381-393, 1997.
- [8] MEDEIROS-JUNIOR, R. A. et al. Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. **Revista Alconpat**, v. 4, n. 2, p. 113-128, 2014.
- [9] ABNT. NBR 9204. Concreto endurecido — Determinação da resistividade elétrico-volumétrica —

ANÁLISE DE CONCRETO FRATURADO E MAL ADENSADO POR MEIO DE INSPECÇÃO DO ENSAIO  
DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

MARTINS, Pedro Henrique

Método de ensaio, Procedimento, Rio de Janeiro, 2012.