

ESTUDO DO ÍNDICE ESCLEROMETRICO EM CONCRETO DE PILARES

Gabriel Agrisi Paigel¹, Danielli Cristina Borelli Cintra²

Graduado em Engenharia Civil na Faculdade Brasileira.

Mestre em Engenharia Civil, Docente na Faculdade Brasileira MULTIVIX.

RESUMO

Os pilares são considerados os elementos de maior responsabilidade estrutural numa edificação e ensaios não destrutivos podem fornecer elementos para avaliar a qualidade do material e o desempenho da estrutura. A homogeneidade do concreto e a estimativa de sua resistência à compressão podem ser avaliadas pelo ensaio de esclerômetro de reflexão, de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012). O objetivo do presente estudo é avaliar a influência do adensamento, consistência e altura de pilares na qualidade do concreto endurecido por meio de índices esclerométricos e da resistência à compressão do concreto obtida por ensaios em testemunhos extraídos de oito pilares de seção transversal de 19cm x 19cm e 170cm de altura, sem armadura. A partir de materiais e dosagens praticadas na região de Vitória, Espírito Santo, os pilares foram moldados em laboratório, utilizando-se concretos de classe de consistência S100 e S200, vibrados e não vibrados, lançados a uma altura de queda de 2m, totalizando duas réplicas de cada tipo de pilar. A resistência à compressão e o índice esclerométrico do concreto foram determinados em três diferentes alturas dos pilares, com idade de 100 dias. Os resultados foram analisados por meio de planejamento fatorial, indicando que os valores de dureza superficial e resistência à compressão têm significativa variação ao longo da altura dos pilares, sendo que o concreto da base possui melhor qualidade. Também é apresentada a curva de correlação entre índice esclerométrico e a resistência à compressão do concreto utilizado.

Palavras-chave: índice esclerométrico, pilar, concreto.

ABSTRACT

Pillars are considered the elements of greater structural responsibility in a building and non-destructive testing can provide elements to evaluate the quality of the material and the performance of the structure. The homogeneity of the concrete and the estimation of its resistance to compression can be evaluated by the sclerometer test, according to NBR 7584 (ABNT, 2012). The objective of the present study is to evaluate the influence of the density, consistency and height of pillars on the quality of the hardened concrete by means of sclerometric ratings and the compressive strength of the concrete obtained by tests in testimonies extracted from 8 columns of 19cm x 19cm cross section and 170cm high, without armor. From materials and dosages practiced in the region of Vitória, Espírito Santo, the pillars were molded in a laboratory, using S100 and S200 consistency class concretes, vibrated and not vibrated, launched at a drop height of 2m, totaling two replicas of each type of pillar. The compressive strength and the sclerometric ratings of the concrete were determined at three different heights of the pillars, aged 100 days. The results were analyzed by means of factorial planning, indicating that the value of surface hardness and compressive strength have significant variation along the height of the pillars, being that the concrete of the base has a better quality. The correlation curve between the sclerometric ratings and the compressive strength of the concrete used is also presented.

Keywords: rebound hammer, column, concrete.

INTRODUÇÃO

A resistência à compressão do concreto e a homogeneidade do material são propriedades de fundamental importância para a durabilidade da construção e sua segurança, uma vez que os

parâmetros mecânicos do material têm relação direta com a resistência à compressão, validando o modelo estrutural adotado em projeto.

A extração de testemunhos é um método bastante utilizado e confiável para a determinação da resistência à compressão do concreto em estruturas já existentes. Mesmo sendo um ensaio de fácil execução, ele apresenta algumas limitações por causar dano à estrutura. Dessa forma, em situações em que uma estrutura pronta precisa ser avaliada, os métodos destrutivos podem prejudicar a utilização e durabilidade da construção. São nessas ocasiões que os ensaios não destrutivos passaram a ganhar destaque.

Os ensaios não destrutivos são aqueles que, por meio de processos mais rápidos, simples e econômicos, permitem obter informações sobre propriedades do concreto e não provocam danos à estrutura investigada. Muitos métodos não destrutivos já foram desenvolvidos para obter informações da estrutura, porém seus resultados geralmente possuem menor confiabilidade do que as técnicas destrutivas.

A esclerometria é um método de ensaio não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido, segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012). Consiste na utilização de um equipamento denominado esclerômetro de reflexão, também conhecido como martelo de Schmidt (Figura 1).

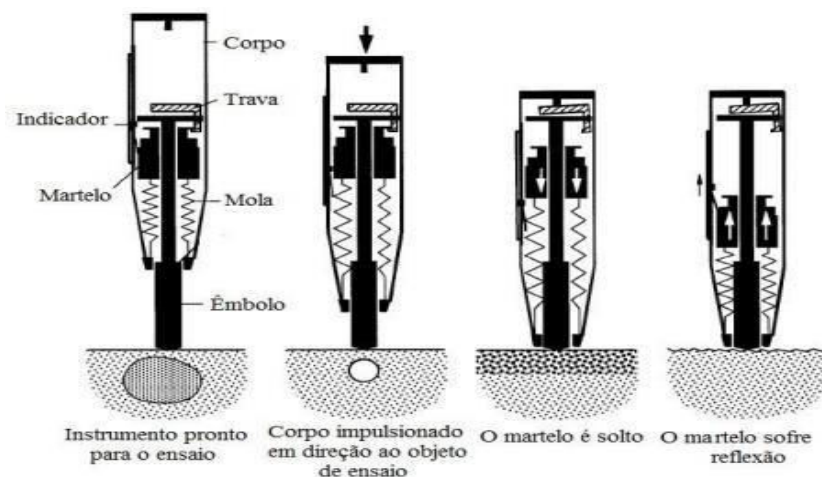


Figura 1: Esquema do ensaio de esclerometria (PALACIOS, 2012).

O equipamento é composto por um sistema massa-martelo impulsionado por uma mola, que se choca com a superfície do concreto por meio de um êmbolo de impacto que possui uma ponta esférica. Depois de solta, a massa-martelo sofre uma reflexão pelo êmbolo ainda em contato com a superfície do material. A energia do impacto é, em parte, utilizada na deformação permanente provocada na área de ensaio e, em parte, conservada elasticamente propiciando o retorno da massa-martelo.

O método de ensaio consiste em submeter uma superfície de concreto a um impacto padronizado, conhecido como "*rebound hammer method*", que mede o valor do ricochete, isso é, a distância percorrida no retorno da massa, denominada índice esclerométrico (IE). O ricochete depende do valor da energia cinética antes do impacto e quanto dessa energia é absorvida durante o impacto, sendo a energia absorvida relacionada à resistência e à rigidez do concreto (ACI 228, 2003).

Vale frisar que o ensaio esclerométrico apenas mede propriedades da região superficial do concreto, sendo que ela deve estar lisa durante o momento da análise para maior precisão do dado recolhido. A grande vantagem do esclerômetro se deve ao fato de ser um equipamento leve, barato e de fácil manuseio.

A aplicação da esclerometria em estruturas tem a capacidade de verificar a homogeneidade do material e apesar de ser uma técnica recomendada para a determinação da resistência à compressão, existem inúmeros fatores que influenciam nos resultados do ensaio. As superfícies devem ser secas ao ar, limpas e, preferencialmente, planas. Superfícies irregulares, ásperas, curvas ou talhadas não fornecem resultados homogêneos e devem ser evitadas, conforme a NBR 7584 (ABNT, 2012).

O presente trabalho estuda a influência dos fatores consistência, adensamento e altura do pilar nos resultados da dureza superficial e da resistência à compressão do concreto por meio de um método estatístico denominado planejamento fatorial. Os dados foram determinados a partir da medição de índices esclerométricos e ensaios de ruptura axial de testemunhos extraídos de três alturas diferentes de um total de oito pilares moldados em laboratório por Cintra (2013), com seção transversal de 19cm x 19cm e 170cm de altura, sem armadura, utilizando-se concretos com relação água/cimento de 0,52 em massa, de classe de consistência S100 e S200, vibrados e não vibrados, lançados a uma altura de queda de 2m, totalizando duas réplicas de cada tipo de pilar.

Também é analisada a correlação entre os valores do índice esclerométrico e da resistência à compressão dos testemunhos de pilares para verificar a possibilidade de utilizar o ensaio de esclerometria como estimativa da resistência do concreto utilizado na pesquisa.

METODOLOGIA

Planejamento fatorial

Considerando-se os fatores controláveis variando conjuntamente, por meio das combinações entre seus níveis, o planejamento fatorial busca a eficiência e economia do processo experimental, desde que os seguintes princípios sejam adotados: a replicação, a aleatoriedade e a blocagem, conforme Montgomery (2005).

A variável resposta é a dureza superficial do concreto, medida pelo índice esclerométrico. Os fatores controláveis são: a classe de consistência do concreto, que varia em dois níveis (S100 e S200); altura do pilar, variando em três níveis (base, meio e topo); e o adensamento interno mecânico, que varia em dois níveis (vibrado e não-vibrado). Os demais fatores relevantes são considerados constantes. As variáveis aplicadas ao planejamento fatorial para concretos com abatimento estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis aplicadas ao planejamento fatorial

Variável resposta	Fatores controláveis		Fatores constantes
Dureza	Consistência do concreto	S100	Características geométricas dos pilares; altura de lançamento;
		S200	
		Base (0)	

superficial do concreto	do	Altura no pilar	Meio ($\ell/2$)	origem dos componentes do concreto; relação água/cimento; equipe de concretagem; idade das amostras.
			Topo (ℓ)	
	Adensamento mecânico	Sim (V)		
		Não (NV)		

Pilares

O programa experimental é composto por quatro tipos de pilares diferentes, com duas réplicas de cada pilar, totalizando oito pilares, com seção transversal de 19cm x 19cm, altura de 170cm (Figura 2) e sem armadura para evitar a interferência das barras de aço nas propriedades do concreto a serem estudadas. Todo trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção, da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes).

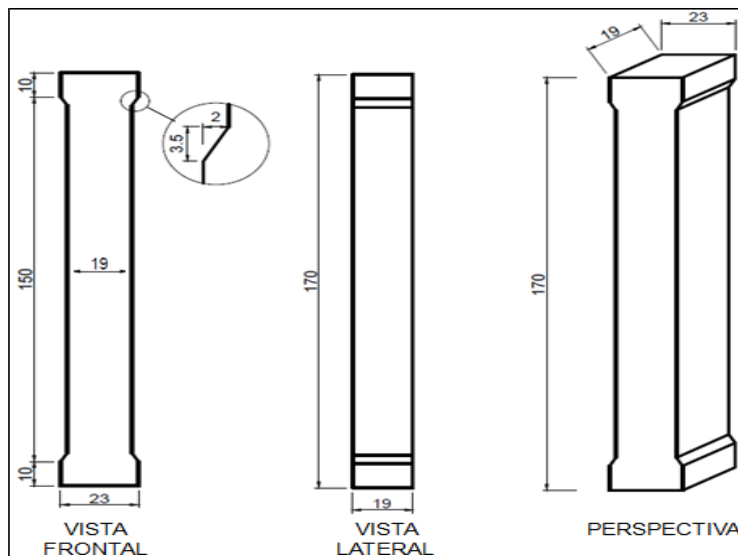


Figura 2: Geometria dos pilares (CINTRA, 2013)

Materiais

O concreto utilizado na fabricação dos pilares foi preparado em betoneira estacionária de eixo inclinado. Em cada betonada, cerca de 175 litros, foram moldados dois pilares e 12 corpos de prova cilíndricos de diâmetro $\Phi 100\text{mm}$. Em todas as betonadas foram realizados os ensaios de controle e aceitação do concreto, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), que são ensaios de consistência em estado fresco e ensaio de resistência à compressão, em estado endurecido, esse realizado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007). Para os concretos com consistência S100 e S200 foram feitos ensaios de abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), realizados após o final da mistura e também antes da moldagem dos corpos de prova, que ocorreu entre as concretagens do primeiro e do segundo pilar.

No total, foram executadas quatro betonadas de concreto. Os traços adotados foram testados antecipadamente e estão apresentados na Tabela 2, sendo que os materiais são de fornecimento comum na região da Grande Vitória, ES.

Tabela 2 - Composição dos concretos produzidos

Consistência do concreto	Relação água cimento a/c	Consumo de materiais em massa (kg) por m ³ de concreto					
		Cimento CP III – 40 RS	Areia de jazida	Brita 0	Brita 1	Água	Plastifican-te
S 100	0,52	350	822,85	299,95	819,98	182	-
S 200	0,52	350	822,85	299,95	819,98	182	3,50

Concretagem

Os pilares foram moldados na vertical, com dois conjuntos idênticos de formas de madeira compensada plastificada de 20mm de espessura, enrijecidas com gravatas de madeira e tirantes metálicos. O lançamento do concreto na forma foi feito com baldes de 10 litros, despejados sobre uma calha de madeira previamente umedecida, posicionada no topo da forma, conferindo uma altura de queda do concreto de 2m.

A moldagem do primeiro pilar de cada betonada foi feita com o lançamento do concreto em camadas de aproximadamente 25cm de altura, totalizando sete camadas, atendendo à prescrição do item 9.6 da NBR 14931 (ABNT, 2004) sobre a altura máxima de camadas para vibração de concreto, que é $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador ou 50cm, o que for menor.

Cada camada de concreto foi adensada durante 12 segundos por vibrador de imersão com agulha de diâmetro de 25mm e 33cm de comprimento. Foram feitas marcações no mangote do vibrador para controlar a profundidade de penetração da agulha nas camadas de concreto, já que o operador do vibrador praticamente não tinha visibilidade das camadas inferiores dentro da forma, considerando-se que a ponta da agulha penetrasse cerca de 5cm na camada inferior, a fim de promover a costura de aderência entre as camadas, procedimento chamado de revibração do concreto (ANDRIOLO, 1984 e CINTRA *et al*, 2013). A moldagem do segundo pilar de cada betonada foi feita com o lançamento contínuo do concreto, sem nenhum tipo de adensamento.

Por fim, os pilares foram cobertos com lona plástica para evitar a perda de água do concreto por evaporação precoce. No terceiro dia após sua concretagem os pilares foram transportados com um guincho para o local de armazenamento e em seguida desformados.

Ensaio Esclerométrico

Cerca de cem dias após as concretagens dos pilares, foram realizados os ensaios de esclerometria, conforme NBR 7584 (ABNT, 2012). A calibração do equipamento foi realizada de acordo com o procedimento indicado pelo fabricante.

A Norma Americana C 805-97 destaca, também, que superfícies porosas ou rugosas devem ser evitadas, sendo que nesse ensaio, a superfície dos pilares foi lixada e limpa. Em seguida, foram marcadas as referências para medição, como é apresentado na Figura 3.

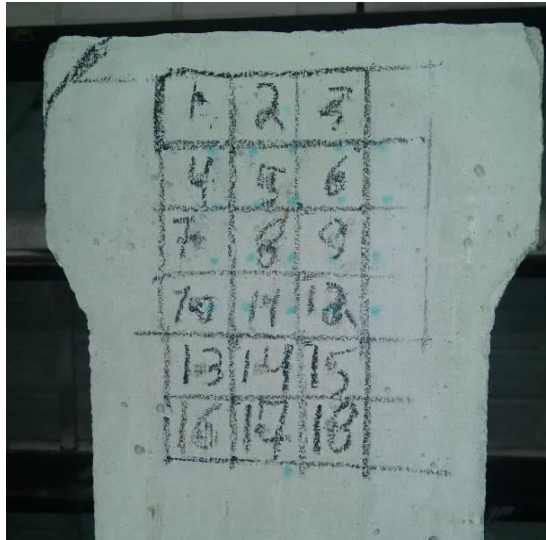


Figura 3: Marcação dos pontos de medição na superfície do pilar (PAIGEL et al., 2015)

As medições de dureza superficial foram feitas na base, no meio e no topo do pilar, na face frontal e também na face posterior, sempre pelo mesmo operador de equipamento. A Figura 4 ilustra os pilares utilizados na pesquisa.



Figura 4: Pilares moldados em laboratório

Testemunhos

A forma mais confiável de se avaliar a resistência do concreto de uma estrutura é por meio do ensaio de compressão em amostras extraídas do material da própria estrutura, denominados testemunhos. Após os testes dos índices esclerométricos, iniciou-se o processo de extração

de testemunhos dos pilares, conforme NBR 7680 (ABNT, 2015), com a utilização de uma sonda HILTI DD 130 e broca HILT 102mm/4". Todos os cuidados foram tomados no processo de extração para obter testemunhos íntegros, isentos de fissuras, segregação e ondulações (Figura 5).



Figura 5: Extração de testemunhos dos pilares

Vale ressaltar que antes da extração foram definidos os pontos para corte, sendo eles dois no topo, dois no meio e dois na base, totalizando seis testemunhos por pilar de concreto, que foram identificados e armazenados em tanque de água e cal, numa câmara úmida. Dez dias após essas amostras terem sido colocadas no tanque, elas foram retiradas e tiveram superfícies retificadas para o ensaio de compressão.

RESULTADOS

Concreto

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos seguintes ensaios: consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), e resistência à

compressão do concreto aos 28 e 100 dias, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007), realizados em corpos de prova cilíndricos de diâmetro $\Phi 100\text{mm}$.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios para controle e aceitação do concreto.

Betonadas	Estado fresco		Estado endurecido		
	Parâmetro de referência	Consistência obtida	Idade (dias)	Resistência média - fcm (MPa)	Desvio padrão - s (MPa)
1	Consistência S100	Abatimentos: 90mm/90mm	28	39	0,2
			100	46	1,5
2		Abatimentos: 95mm/95mm	28	34	1,0
			100	39	0,9
3	Consistência S200	Abatimentos: 200mm/195mm	28	36	0,6
			100	41	1,4
4		Abatimentos: 185mm/180mm	28	34	0,6
			100	35	0,8

De acordo com os resultados obtidos, considera-se que as propriedades requeridas para os diferentes concretos da pesquisa foram atendidas, tanto no estado fresco como no endurecido.

Índices Esclerométricos

A média dos resultados dos índices esclerométricos para as diferentes alturas de pilares com concreto de abatimento está representada na Figura 6. Observa-se que o concreto da região da base dos pilares apresenta os maiores valores de índices esclerométricos e, portanto, de maior dureza superficial do concreto, exceto para o concreto S200 não vibrado. Segundo Paigel (2015), tal fenômeno é atribuído à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto, considerado um efeito de revibração.

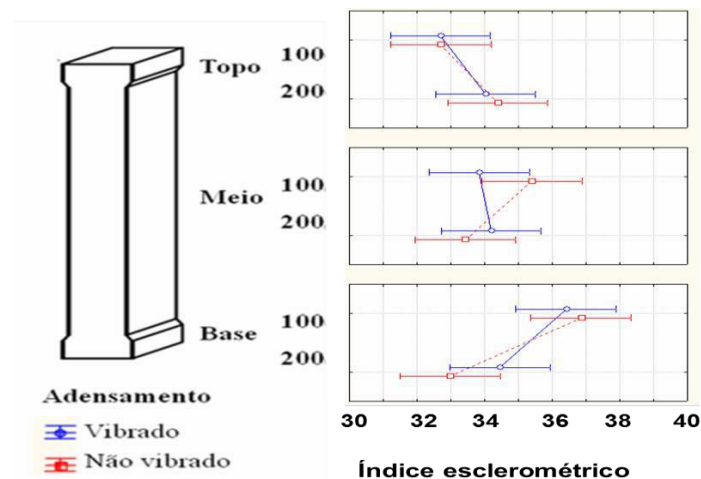


Figura 6: Valores médios de índice esclerométrico em diferentes alturas de pilares, concretos de classe de consistência S100 e S200, vibrado e não vibrado - barras horizontais denotam 0,95 de intervalo de confiança (PAIGEL et al., 2015)

Na Tabela 4 é apresentada a análise de variância (ANOVA), feita no programa Statistica, versão 10, que avalia a importância que cada fator tem nos resultados e quais combinações entre fatores exercem maior influência, adotando-se um nível de significância estatística $\alpha = 0,05$. Observa-se que a altura do pilar, além da interação entre os fatores consistência e altura, influenciaram significativamente os resultados dos índices esclerométricos do concreto.

Tabela 4 – Análise de variância (ANOVA) do índice esclerométrico do concreto em relação aos fatores controláveis e suas interações, nível de significância $\alpha = 0,05$, dos concretos com consistência S100 e S200 (PAIGEL et al., 2015)

Variável Resposta	Fatores controláveis	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	Teste F	Valor p	Significância
Índice esclerométrico	Consistência	6,57	1	6,57	3,07	0,0885	Não
	Adensamento	0,00	1	0,00	0,00	0,9637	Não
	Altura	23,75	2	11,88	5,54	0,0080	Sim
	Consistência x adensamento	5,00	1	5,00	2,33	0,1354	Não
	Consistência x altura	39,33	2	19,66	9,17	0,0006	Sim
	Consistência x altura	1,81	2	0,91	0,42	0,6587	Não
	Consistência x altura x adensamento	4,12	2	2,06	0,96	0,3923	Não
	Erro		77,16	36	2,14	-	-

Na Figura 7 são apresentadas as médias dos índices esclerométricos ao longo da altura dos pilares para os diferentes tipos de concretos considerados na pesquisa. A região do topo dos pilares apresentou os menores valores de dureza superficial do concreto, sendo notável que as amostras retiradas da base apresentam maior resistência à compressão. O concreto da base dos pilares apresenta melhor qualidade devido à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto.

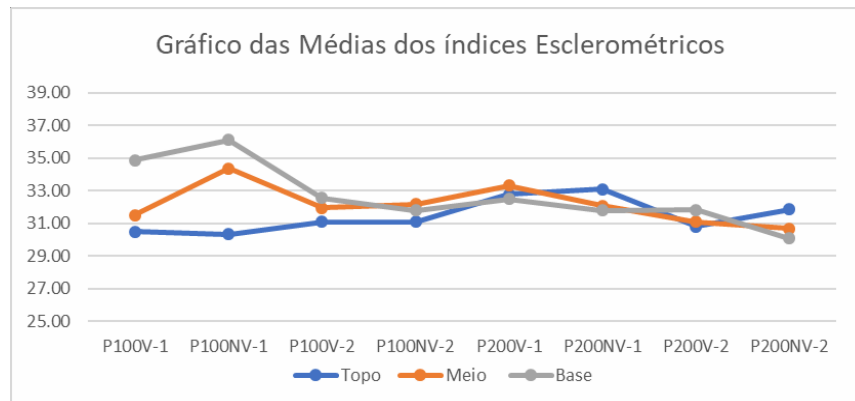


Figura 7: Valores médios dos índices esclerométricos relacionando os diferentes tipos de concretos

A nomenclatura dos pilares descritos no gráfico acima é atribuída de acordo com a classe de consistência do concreto, que varia em dois níveis (S100 e S200), e o adensamento interno mecânico, que varia em dois níveis (vibrado e não-vibrado). Foram moldadas duas réplicas de cada tipo de pilar, totalizando oito pilares de seção transversal de 19cm x 19cm e 170cm de altura, sem armadura.

Resistência à Compressão de Testemunhos

Na Tabela 5 é apresentado uma média dos valores de resistência à compressão do concreto na idade de 100 dias obtida com o rompimento dos testemunhos. Observa-se novamente que a altura do pilar, além da interação entre os fatores consistência e altura, influenciaram significativamente os resultados obtidos nos testes à compressão. Tal fenômeno é atribuído à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto, resultando em maior resistência.

Tabela 5 – Resistência média à compressão dos testemunhos

Consistência do concreto	Adensamento mecânico	Altura no Pilar	Resistência média à compressão - f_c (MPa)
S 100	V	Topo	32.9
		Meio	34.6
		Base	38.3
		Topo	36.3

S 200	NV	Meio	40.2
		Base	41.8
	V	Topo	30.9
		Meio	34.7
		Base	32.5
	NV	Topo	33.3
		Meio	39.2
		Base	38.1

Na Tabela 6 é apresentada a análise de variância (ANOVA), feita no programa Statistica, versão 10, que avalia estatisticamente a importância que cada fator tem nos resultados da resistência à compressão e quais combinações entre fatores exercem maior influência, adotando-se um nível de significância estatística $\alpha = 0,05$. Observa-se que o adensamento e a altura do pilar influenciaram significativamente os resultados da resistência à compressão do concreto dos testemunhos.

Na Figura 8 são apresentadas a resistência média de compressão dos testemunhos para os diferentes tipos de concretos considerados na pesquisa. Novamente, o concreto da base dos pilares apresenta melhor qualidade, confirmando a compactação mais efetiva do mesmo.

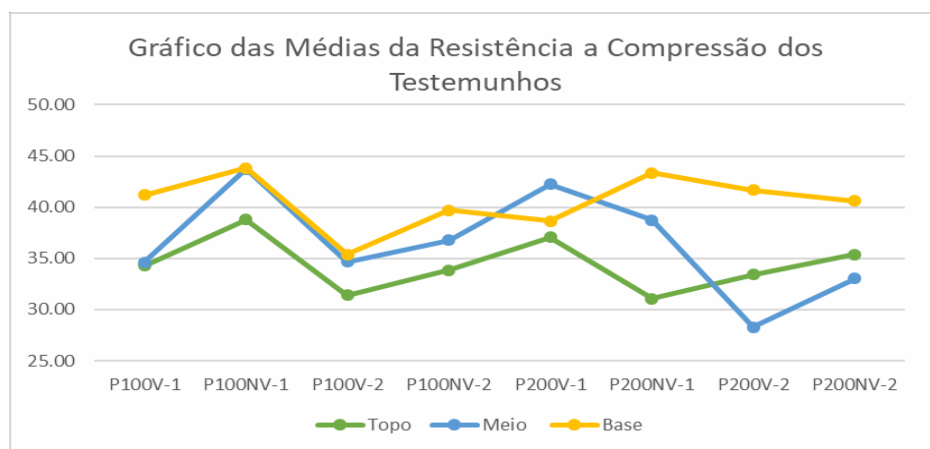


Figura 8: Valores médios da resistência a compressão dos testemunhos relacionando os diferentes tipos de concretos

A nomenclatura dos pilares descritos no gráfico acima também é atribuída de acordo com a classe de consistência do concreto e o adensamento interno mecânico.

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão do concreto dos testemunhos extraídos dos pilares em relação aos fatores controláveis e suas interações, nível de significância $\alpha = 0,05$, dos concretos com consistência S100 e S200

Variável resposta	Fatores controláveis	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	Teste F	Valor P	Significância
Resistência à compressão dos testemunhos	Consistência	0,35	1	0,35	0,026	0,873966	Não
	Adensamento	88,25	1	88,25	6,398	0,015947	Sim
	Altura	297,52	2	148,76	10,784	0,000214	Sim
	Consistência x adensamento	25,42	1	25,42	1,843	0,183054	Não
	Consistência x altura	4,41	2	2,2	0,160	0,852989	Não
	Consistência x altura	31,28	2	15,64	1,134	0,333013	Não
	Consistência x altura x adensamento	8,89	2	4,45	0,322	0,726528	Não
	Erro	496,59	36	13,79	-	-	-

Curvas de Correlação

Foram desenvolvidas técnicas especiais para medir algumas propriedades do concreto diferente da resistência à compressão para depois serem correlacionadas. Algumas dessas propriedades são a capacidade de permitir a propagação de ondas ultrassônicas, dureza superficial e resistência à penetração (QASRAWI, 2000).

O ACI 228.1R (ACI,2003) cita que é preferível desenvolver curva de correlação empregando-se a extração de testemunhos do concreto na estrutura, pois ensaios feitos em corpos de prova cilíndricos podem levar a erros devido às diferentes condições de umidade entre os cilindros e o concreto *in loco*.

A ASTM C805 (ASTM, 1985) cita que, preferencialmente, os índices esclerométricos devem ser correlacionados com resultados de ensaios de resistência obtidos em testemunhos extraídos da estrutura, e que esse ensaio deve ser empregado para uma rápida investigação em grandes áreas de concreto com a mesma composição. Na tabela 7 é apresentado o estudo de correlação entre a resistência à compressão dos testemunhos com as grandezas medidas nos ensaios.

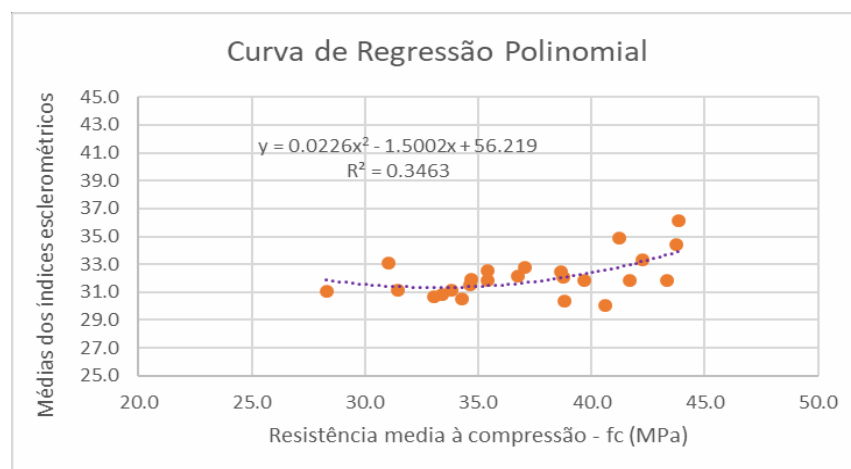
Tabela 7 – Correlação entre índice esclerométrico e a resistência à compressão dos testemunhos.

Correlação entre índice esclerométrico e a resistência à compressão dos testemunhos

Correlação	Regressão	Equação	R ²
------------	-----------	---------	----------------

IE x fc	Linear	$y = 0.1719x + 25.715$	$R^2 = 0.2591$
	Exponencial	$y = 26.439e^{0.0052x}$	$R^2 = 0.2544$
	Logaritimica	$y = 6.0554\ln(x) + 10.251$	$R^2 = 0.2406$
	Polinomial	$y = 0.0226x^2 - 1.5002x + 56.219$	$R^2 = 0.3463$
	Potencial	$y = 16.561x^{0.1831}$	$R^2 = 0.2365$

Segundo Palacios (2012), as curvas mais indicadas por diversos autores para representar a relação IE x fc são as polinomiais e linear. A Figura 9 apresenta a curva com o maior coeficiente de correlação proposto, além de todos os dados experimentais obtidos, sendo essa



uma curva de regressão polinomial.

Figura 9: Correlação entre os índices esclerométricos e resistência à compressão dos testemunhos

CONCLUSÃO

O programa experimental apresentou a influência dos fatores adensamento, consistência e altura de pilares nos resultados da resistência à compressão e dureza superficial do concreto, por meio de ensaios esclerométricos e de ruptura à compressão axial em testemunhos de oito pilares moldados em laboratório, de acordo com as boas práticas recomendadas por normas e bibliografia técnica, sem armadura, com concretos de classe de consistência S100 e S200, vibrados ou não, e as conclusões do trabalho são apresentadas a seguir: a região do topo dos pilares apresentou os menores valores de resistência à compressão do concreto na idade de 100 dias obtida com o rompimento dos testemunhos, com uma redução média de 11,75% em relação à base, indicando que o concreto da base dos pilares apresenta melhor qualidade devido à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto; a região do topo dos pilares também apresentou os menores valores de dureza superficial do concreto, com redução de até 13% em relação à base, confirmando que o concreto da base dos pilares apresenta melhor qualidade devido à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto; com exceção dos concretos de classe de consistência S200, é notável que os testemunhos retirados da base apresentam maior resistência à compressão, confirmando a compactação mais efetiva do concreto; em uma análise dos dados recolhidos, tanto do índice esclerométrico como do rompimento dos testemunhos, percebe-se que os valores do rompimento dos testemunhos foram mais consistentes em comparação com os valores obtidos pelo ensaio esclerométrico.

Porém, em uma análise geral, ambos os resultados recolhidos foram considerados satisfatórios para a pesquisa; no estudo de correlação entre os dados de rompimento dos testemunhos e os índices esclerométricos, observa-se uma taxa de correlação muito abaixo da desejada, indicando que tais métodos possuem uma baixa confiabilidade quando correlacionados e tal fato deve ser atribuído ao grande número de parâmetros que influencia nos resultados do ensaio de esclerometria, como os vazios presentes na superfície dos pilares de concreto, que comprometem uma leitura com maior precisão do martelo de Schmidt; a altura do pilar, além da interação entre os fatores consistência do concreto e altura do pilar, influenciaram significativamente os resultados do índice esclerométrico; o adensamento do concreto e a altura do pilar influenciaram significativamente os resultados da resistência à compressão dos testemunhos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **In-place methods for determination of strength of concrete**. ACI 228.1R, Detroit, 2003.

AMERICAN STANDARD TEST METHOD (ASTM). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. C 805-97

ANDRIOLO, F.R. Construções de concreto: manual de práticas para controle e execução. São Paulo: Pini, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 5739**.

Concreto – ensaios de compressão de corpo-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7584**. Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7680-1** – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1 – Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12655** – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 14931**. Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 67**. Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

CINTRA, D.C.B. **Análise experimental de emenda em armadura longitudinal de pilares curtos de concreto**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2013.

CINTRA, D.C.B. et al, Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na Grande Vitória-ES. **55º Congresso Brasileiro do Concreto**. Gramado-RS, 2013. p. 8.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 6. ed. Danvers: John Wiley & Sons, 2005.

PAIGEL, G.A. et al. Estudo da dureza superficial do concreto em diferentes alturas de pilares. **57º Congresso Brasileiro do Concreto**. Bonito-MS, 2015.

PALACIOS, E. et al. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto.** Tese de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília. Brasília, 19 de Abril de 2012.

PEREIRA, E. et al. Ensaio de “Pull Off” para avaliar uma resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 2012, v.5, n. 6, p. 757-780.

QASRAWI, H. Y. Concrete strength by combined nondestructive methods Simply and reliably predicted. *Cement and Concrete Research*, n.30, January, 2000, pp.739–746.