

DEFINIÇÃO DE UMA CURVA DE CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E O ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO UTILIZANDO DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO

Gabriel Sady Sperandio¹

Jhulis Marina Carelli²

Resumo

A resistência à compressão é o ensaio mais comum para avaliação do concreto empregado em estruturas. Para estimá-la em estruturas acabadas deve ser feita uma inspeção, possibilitando a manutenção eficaz. Essa determinação pode ser feita tanto por ensaios destrutivos quanto por não destrutivos (END), ou por ambos. Os END não causam dano no elemento ensaiado, eliminando a necessidade de reparos. Como foco deste estudo, o ensaio de esclerometria é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto. No entanto, os resultados que se obtêm podem ser afetados por muitas variáveis, como a relação água/cimento. Para estudar essa influência, buscou-se fazer o ensaio de esclerometria e o de compressão axial em corpos de prova de concreto de traço 1:5 e 1:3,5, variando a relação água/cimento de cada um deles em 0,45, 0,55 e 0,65. A análise foi realizada por correlação entre os valores obtidos pelos dois ensaios. Para o traço 1:5, os resultados não corresponderam ao esperado, tendo variações possivelmente ocasionadas pelos vazios contidos existentes nos elementos. O traço 1:3,5, mesmo com algumas misturas bem fluidas, manteve uma boa correlação entre os ensaios. O índice esclerométrico (I.E) médio em cada traço obtido foi em torno de 50% menor do que a resistência à compressão, mas ambos foram proporcionais à quantidade de água utilizada. Percebe-se que o ensaio de esclerometria é um bom estimador de qualidade do concreto, especialmente para verificar a homogeneidade do material. No entanto, vazios podem afetar os resultados e induzir a avaliações equivocadas.

Palavras-chave: Resistência à compressão. Esclerometria. Relação água/cimento.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; gabrielsadysperandio@hotmail.com

² Mestre em Estruturas pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; jhulis.carelli@unoesc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a necessidade de investigação da qualidade e da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas tem aumentado. A importância ocorre pela necessidade de avaliação estrutural e também pela previsão da vida útil das estruturas de concreto. Há inúmeros fatores que influenciam a resistência do concreto após a sua produção, como lançamento, compactação e condições de cura.

Para a inspeção de uma estrutura, é necessário adquirir informações sobre o concreto, a fim de estimar suas propriedades. Para isso, podem-se utilizar diferentes métodos, destrutivos e ou não, ou ambos. Os ensaios não destrutivos destacam-se pela facilidade de execução por não causarem danos a estruturas, que já pode estar comprometida. Um dos mais comuns é o ensaio de esclerometria, regido pela NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), que mede a dureza superficial do concreto. Por ser um método que não danifica a superfície do concreto, este pode ser aplicado com a estrutura em uso e permite que problemas possam ser detectados em estágio inicial.

Como o ensaio de esclerometria fornece elementos para a avaliação do concreto endurecido por meio do índice esclerométrico, é importante analisar a influência da relação água/cimento nesse ensaio, elaborando curvas de correlação

entre este e a resistência à compressão axial para diferentes traços.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

Conforme Mehta e Monteiro (2008) descrevem, concreto é um material composto que possui uma pasta aglomerante ao qual se aglutinam partículas ou fragmentos agregados. No concreto de cimento hidráulico o aglomerante é formado pela mistura de cimento hidráulico e água. Já agregado é material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado dentro de um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa.

2.1.1 Propriedades

2.1.1.1 Trabalhabilidade

Andolfato (2002) diz que a consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada ao estado de fluidez da mistura. Essa propriedade é fundamental para garantir a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto pode ser colocado em um certo tipo de fôrma, sem segregação. A medição ocorre pelo ensaio de abatimento (*slump test*).

2.1.1.2 Resistência à compressão

De maneira geral, Mehta e Monteiro (2008) conceituam a resistência do concreto como a propriedade mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade. Nos sólidos, existe uma relação inversa fundamental entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Conseqüentemente, em materiais multifásicos como o concreto, a porosidade de cada componente da microestrutura pode se tornar um fator limitante para a resistência. Agregados naturais são geralmente densos e fortes; assim, a porosidade da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e agregado graúdo normalmente determina a resistência característica do concreto de densidade normal.

Para Evangelista (2002), comumente são feitos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias em cilindros para verificar se o concreto está de acordo com o exigido pelo projeto. No entanto, os corpos de prova não são verdadeiramente representativos do concreto existente na estrutura, em razão das diferentes condições de lançamento, compactação e condições de cura.

2.1.1.3 Relação água/cimento

A relação água/cimento é de extrema importância na determinação tanto da porosidade da matriz quanto da zona de transição na interface e, portanto, na resistência do concreto; porém, fatores

como adensamento, condições de cura, mineralogia e dimensão do agregado, tipos de aditivos, adições, condições de umidade e geometria do corpo de prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento podem, também, ter efeito importante na resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

2.2.1 Ensaio de esclerometria

Segundo a NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), a esclerometria é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O índice esclerométrico é o valor obtido por meio de um impacto do esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho, correspondente ao número de recuo do martelo. A área de ensaio é a região da superfície do concreto em estudo, na qual se efetua o ensaio esclerométrico. O impacto é o ato de aplicação do esclerômetro de reflexão sobre um ponto.

O método consiste em um martelo controlado por uma mola que desliza por um pistão. Para a avaliação da dureza superficial do concreto, o operador exerce um esforço sobre o pistão contra uma estrutura; ele reage contra a força da mola, e quando completamente estendida a mola é automaticamente liberada. O martelo se choca no embolo que atua contra a

superfície do concreto, e a massa controlada pela mola recua, deslizando com um ponteiro de arraste ao longo de uma escala guia que é usada para indicar o valor da reflexão do martelo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2.1.1 Vantagens e limitações

Sobre as vantagens do referido ensaio, Evangelista (2002) cita a facilidade de manuseio, o baixo custo do equipamento, a rapidez com que os dados são obtidos e danos praticamente nulos à superfície ensaiada. Entre as desvantagens têm-se as pequenas marcas na superfície ensaiada que podem ocorrer em concretos de baixas idades ou baixas resistências.

2.2.1.2 Fatores de influenciam os resultados

“Os resultados que se obtém podem ser afetados por muitas variáveis, entre elas: o fenômeno da carbonatação, rugosidade da superfície, umidade do concreto, tamanho e rigidez da peça, concentração de agregado graúdo na superfície, posição da armadura e posição do martelo.” (CASTRO, 2009).

2.2.1.3 Curvas de correlação entre a resistência à compressão e o índice esclerométrico

A curva de correlação é feita usando-se corpos de prova padrão para obtenção da resistência à compressão do concreto.

Antes de empregar o ensaio não destrutivo no campo, é recomendável estabelecer a correlação por meio de um programa de ensaios no laboratório. Deve-se usar nesse programa os mesmos materiais do concreto que serão empregados na obra. Para alguns ensaios não destrutivos é possível realizar no corpo de prova primeiramente o ensaio não destrutivo e, em seguida, o ensaio para obter a resistência à compressão. Porém, na maioria dos casos, os ensaios são realizados em separado, tendo-se corpos de prova distintos para os ensaios de resistência à compressão e para os ensaios não destrutivos. É importante que os corpos de prova tenham as mesmas condições de compactação e maturidade (EVANGELISTA, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados foram realizados conforme normas regulamentadoras: granulometria (NM 248) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b); (NBR 7211) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), massa específica (NBR NM 52 e NBR NM 53) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a, 2009b), teor de material pulverulento (NBR NM 46) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), massa unitária e volume de vazios (NBR NM 45) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

De forma a fazer com que a pesquisa se tornasse o mais próximo possível da realidade atual das obras da região Meio-Oeste catarinense, foram determinados previamente dois traços a serem utilizados, sendo eles 1:2,24:2,76 (cimento:areia:brita) e 1:1,43:2,07, denominados traço normal e traço rico, respectivamente. O teor de argamassa utilizado foi 54%, e as relações água/cimento (para cada traço) foram 0,45, 0,55 e 0,65.

Foram moldados três corpos de prova para cada amostra, seguindo o procedimento recomendado pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A cura úmida foi realizada por 27 dias em tanque de água com temperatura controlada de 24 (+/-2) °C.

Os ensaios foram realizados 28 dias após a moldagem.

3.2.1 Trabalhabilidade

O ensaio foi realizado conforme a NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

3.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Para a realização do ensaio foi utilizado um esclerômetro SilverSchmidt, da Proceq

S.A., do tipo N, com energia de impacto de 2,207 N.m e número de fabricação SH 01-002-0043.

De acordo com a NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 1), esse esclerômetro se encaixa com o segundo tipo especificado, com energia de percussão de 2,25 N.m, com ou sem fita registradora automática, que pode ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e elementos estruturais.

Os corpos de prova foram posicionados na prensa que faria sua posterior ruptura à compressão. Com o auxílio dos pratos do equipamento, os corpos de prova foram travados, para permitir que os impactos do esclerômetro não os movimentasse (Fotografia 1).

Fotografia 1 – Ensaio de esclerometria



Fonte: os autores.

Com um disco de carborundum, toda a lateral dos corpos de prova foi polida em movimentos circulares. Tomou-se o devido cuidado com os elementos mais frágeis.

Os impactos foram realizados em toda a lateral (face vertical) dos corpos de prova, todos com 50 mm de distância das arestas. No

total foram 16 impactos em cada elemento, distanciados 30 mm ou mais.

Para cada corpo de prova foi calculada a média aritmética dos 16 impactos. Em seguida, foram desprezados todos os valores que estavam afastados em mais de 10% do valor médio, denominados valores atípicos. Em dois corpos de prova, com os valores desprezados, sobraram apenas três valores, havendo, então, a necessidade de se utilizarem os dois valores mais próximos fora dos 10%, pois a NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) pede para que restem no mínimo cinco. Em seguida, foi feita uma nova média.

O fator de correção para um cilindro de 100 x 200 mm é de 0,86, conforme orienta o manual de instruções operacionais do aparelho. A nova média, sem valores atípicos, foi multiplicada por esse fator, originando um novo valor médio.

Dando sequência, a NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) fornece uma fórmula para o cálculo de um coeficiente de correção. O esclerômetro já havia sido aferido anteriormente ao ensaio, e o coeficiente resultante encontrado foi 0,94. O valor calculado anteriormente foi multiplicado por esse coeficiente, resultando em um Q (coeficiente esclerométrico obtido pelo equipamento) médio efetivo.

Por fim, esse valor foi correlacionado com a curva de conversão própria para o tipo do aparelho, encontrando, assim, o índice esclerométrico, em MPa.

3.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em sequência ao ensaio de esclerometria, com aplicação de carga em velocidade controlada. A prensa é da marca EMIC, com capacidade de carga de 2000 kN, e estava de acordo com a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Agregado miúdo

Verificou-se que a curva granulométrica do material ensaiado ficou muito próxima das duas zonas ótimas. Da peneira 0,15 a 1,18 mm, a curva ficou levemente acima da zona ótima superior, mas, mesmo assim, abaixo do limite máximo utilizável, o que não caracteriza o material como ruim. Entre as peneiras 1,18 e 4,75 mm, a curva granulométrica ficou dentro da zona ótima estabelecida pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c). O módulo de finura obtido foi de 2,85 e ficou entre 2,20 e 2,90, estabelecido para a zona ótima. A dimensão máxima característica do agregado foi de 4,75 mm.

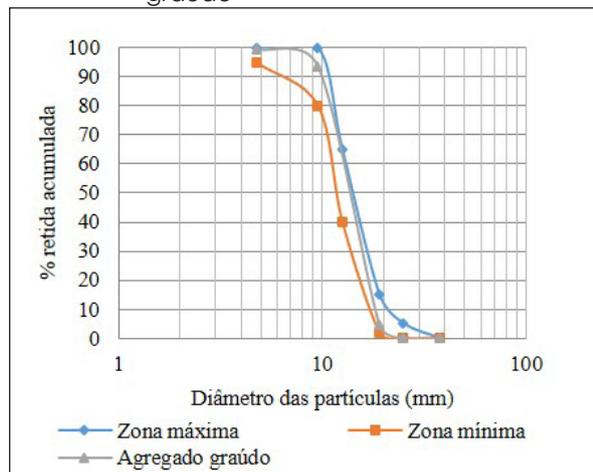
A massa unitária seca do material ensaiado foi 1,50 g/cm³, e o índice de vazios, de 14,6%. O material pulverulento da amostra

ensaiada foi de 1,5%, inferior a 3,0% conforme exige a NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c). O agregado em questão apresentou massa específica aparente de 2,59 g/cm e absorção de água de 0,27%.

4.1.2 Agregado graúdo

A curva de granulometria está apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: os autores.

A zona granulométrica do agregado graúdo foi 9,5/25. Verificou-se que a curva granulométrica do material ensaiado ficou totalmente dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c), caracterizando o material como apto para utilização em concreto. O módulo de finura foi de 6,97, e a dimensão máxima característica do agregado foi de 19 mm.

A massa unitária do agregado graúdo ensaiado foi 1,54 g/cm³, e o índice

de vazios, de 17,9%. De acordo com a NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c), a quantidade de material pulverulento, sendo o último considerado uma substância nociva ao concreto, não pode ultrapassar 1,0%. A amostra ensaiada possuía 1,1% de material fino, sendo ligeiramente acima do estabelecido. Com isso, conclui-se que a amostra de agregado possuía material fino em excesso, mas não o bastante para prejudicar o concreto. O agregado graúdo possuía massa específica aparente de 2,89 g/cm e absorção de água de 1,33%.

4.2 TRABALHABILIDADE

O ensaio de consistência do concreto tem seus resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio de abatimento do tronco de cone

Relação a/c	0,45	0,55	0,65
1:2,24:2,76 (1:5)	0 mm	10 mm	70 mm
1:1,43:2,07 (1:3,5)	80 mm	220 mm	240 mm

Fonte: os autores.

A diferença entre a consistência de alguns concretos foi ampla. Houve concretos muito secos, com abatimento entre 0 e 10 mm, como no caso do traço 1:5 com relação água/cimento de 0,45 e 0,55. Nesses casos, a baixa quantidade de água foi o provável causador da baixa trabalhabilidade, fazendo com que a pasta do concreto não envolvesse e aglutinasse os agregados de maneira satisfatória.

Alguns concretos obtiveram trabalhabilidade satisfatória, como o de traço 1:5,

com 0,65 de relação água/cimento (Fotografia 2) e o de traço 1:3,5, com 0,45 de relação água/cimento. No primeiro caso, a quantidade de água era elevada, porém havia menos cimento na mistura do que no segundo caso.

Fotografia 2 – Traço 1:5 com relação a/c de 0,65



Fonte: os autores.

Nos concretos de traço 1:3,5, com 0,55 e 0,65 de relação água/cimento, a consistência foi muito baixa, dando origem a concretos muito fluidos. Com a proporção de cimento baixa, o aumento na quantidade de água fez com que esta sobrasse e causasse elevada fluidez, característica propícia a causar segregação ao serem usados em obra.

Na comparação entre os traços com mesma relação água/cimento, observa-se que com a mesma proporção de água na mistura, o aumento na proporção de cimento causou uma grande diferença de trabalhabilidade. Pode-se concluir que, apesar da proporção de água ser a mesma, nos concretos com quantidade de cimento

menor, e por consequência mais agregados, nas relações a/c de 0,45 e 0,55 não existiu água suficiente para a mistura (Fotografia 3). Enquanto isso, nos concretos com proporção de cimento maior, houve excesso de água necessária para sua hidratação com as relações a/c de 0,55 (Fotografia 4) e 0,65.

Fotografia 3 – Traço 1:5 com relação a/c de 0,45



Fonte: os autores.

Fotografia 4 – Traço 1:3,5 com relação a/c de 0,55



Fonte: os autores.

4.3 ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS

Após a realização dos ensaios, foram retirados valores atípicos da média dos 16 valores obtidos nos impactos. De acordo com o desvio padrão calculado, concluiu-se que os valores foram heterogêneos. O traço 1:5 com relação a/c de 0,45 foi o que apresentou o maior desvio padrão, ou seja, os impactos nesse concreto foram os que apresentaram a maior divergência. Esse fato ocorreu, muito provavelmente, pois era o concreto menos uniforme entre todos. Em geral, os concretos com desvio padrão alto possuíam superfície com vazios ou apenas com pasta, sem que os agregados fossem envolvidos, fazendo com que os impactos tivessem grande variação.

As médias, assim como o desvio padrão e coeficiente de variação dos I.E. dos três corpos de prova de cada amostra, sem valores atípicos, já multiplicada pelos coeficientes necessários, correlacionada com a curva adequada do fabricante, encontram-se nas Tabela 2 e 3.

Tabela 2 – Índices esclerométricos para o traço 1:5

	Traço 1:5, a/c 0,45	Traço 1:5, a/c 0,55	Traço 1:5, a/c 0,65
IE médio (MPa)	11,03	19,83	12,50
Desvio padrão	0,84	3,01	1,32
Coeficiente de variação (%)	7,60	15,20	10,60

Fonte: os autores.

Tabela 3 – Índices esclerométricos para o traço 1:3,5

	Traço 1:3,5, a/c 0,45	Traço 1:3,5, a/c 0,55	Traço 1:3,5, a/c 0,65
IE médio (MPa)	24,50	16,33	11,67
Desvio padrão	2,29	2,25	1,26
Coeficiente de variação (%)	9,30	13,80	10,80

Fonte: os autores.

Analisando os resultados e relacionando-os com o coeficiente de variação de cada traço, valores resultantes são heterogêneos, em razão da sensibilidade do aparelho, que avalia a dureza superficial e que está sujeito a variações por motivos de naturezas distintas, conforme exposto por Castro (2009). Pode-se classificar todas as amostras como de média dispersão.

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Utilizaram-se as médias dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, visto que se fez a análise dos I.E desse mesmo modo. Esses valores estão expostos na Tabela 4 para o traço 1:5 e na Tabela 5 para o traço 1:3,5.

Tabela 4 – Resultados de compressão axial para o traço 1:5

	Traço 1:5, a/c 0,45	Traço 1:5, a/c 0,55	Traço 1:5, a/c 0,65
Resistência média (MPa)	5,03	25,30	30,67
Desvio padrão	0,85	4,23	0,31
Coeficiente de variação (%)	16,90	16,70	1,00

Fonte: os autores.

Tabela 5 – Resultados de compressão axial para o traço 1:3,5

	Traço 1:3,5, a/c 0,45	Traço 1:3,5, a/c 0,55	Traço 1:3,5, a/c 0,65
Resistência média (MPa)	47,20	31,17	21,70
Desvio padrão	1,04	0,64	2,34
Coefficiente de variação (%)	2,20	2,05	10,80

Fonte: os autores.

Pode-se observar, por meio do coeficiente de variação, que os traços 1:3,5 foram mais homogêneos, ou seja, os três corpos de prova de cada amostra possuíam características similares. Isso se deve ao fato, provavelmente, de apresentarem maior fluidez, verificada no ensaio de trabalhabilidade, o que facilitou a moldagem e diminuiu a presença de vazios.

O contrário foi encontrado no traço 1:5, que, em função do excesso de agregados, necessitaria de maior quantidade de água para envolvê-los. Desse modo, somente o traço com a maior relação a/c, de 0,65, apresentou baixa dispersão.

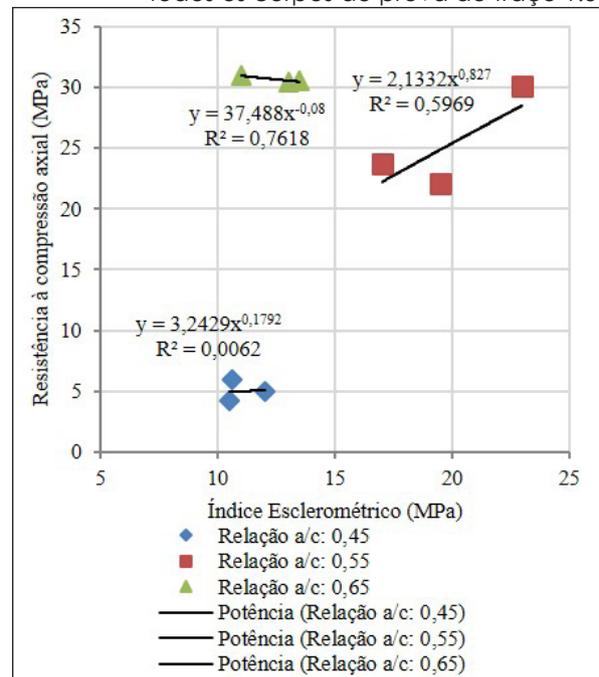
4.5 CORRELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

A partir dos resultados apresentados anteriormente, foram traçados os gráficos, correlacionando os I.E e as resistências à compressão axial.

4.5.1 Traço 1:5

O Gráfico 2 mostra a variação de resultados dentro de uma mesma amostra, no traço 1:5. Neste gráfico foram utilizados os resultados dos três corpos de prova de cada amostra, e é apresentada a linha de tendência, do tipo potência, sua equação e seu coeficiente de determinação (R^2).

Gráfico 2 – I.E x Resistência à compressão de todos os corpos de prova do traço 1:5



Fonte: os autores.

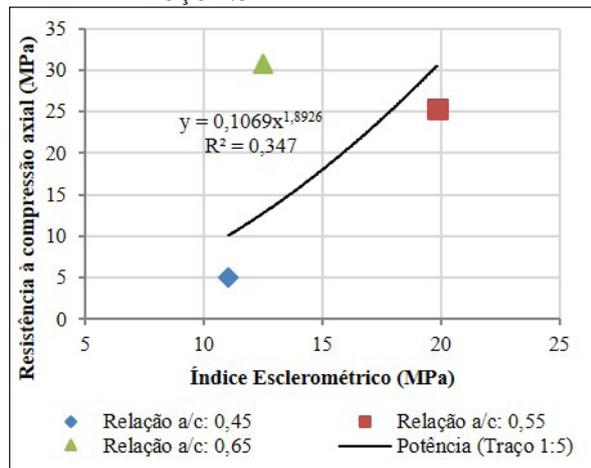
Na análise entre todos os corpos de prova, observa-se que os coeficientes de determinação são muito menores que 1, o que identificaria, estatisticamente, que o índice esclerométrico (eixo x) determina o valor da resistência à compressão (eixo y). Dessa forma, mais uma vez, percebe-se que a falta de água necessária para a mistura

gerou vazios que deixaram os resultados ainda mais variáveis do que normalmente já se apresentam em razão de suas características.

De qualquer forma, o Gráfico apresenta a relação entre os valores de ambos os ensaios, utilizando-se das médias de cada amostra, a fim de avaliar a influência gerada pela água/cimento no traço 1:5.

Novamente se observa uma linha de tendência que pouco se aproxima do ideal, tornando esse traço pouco representativo do que realmente ocorre em concretos com essas características. Para o ensaio de resistência à compressão axial, o esperado era que o concreto com relação água/cimento de 0,45 fosse o que apresentasse a maior resistência e o concreto com relação a/c de 0,65, a menor. Isso porque o último apresenta uma maior quantidade de água, fazendo com que a quantidade de pasta (água + cimento) fosse maior, gerando regiões com ausência de agregado.

Gráfico 3 – I.E x Resistência à compressão do traço 1:5



Fonte: os autores.

Entretanto, ocorreu o oposto, o primeiro, com relação a/c de 0,45, pela baixa quantidade de água e, conseqüentemente, baixa consistência e uniformidade, teve o adensamento dificultado, acarretando uma alta quantidade de vazios, como mostra a Fotografia, levando a uma baixa resistência à compressão. Já o de relação 0,65, com uma boa trabalhabilidade, teve os agregados totalmente envolvidos e aglutinados pela pasta, o que fez com que a resistência à compressão fosse maior.

Fotografia 5 – Corpos de prova de traço 1:5 com relação a/c de 0,45



Fonte: os autores.

O concreto com relação água/cimento de 0,55 obteve a resistência esperada, pois houve equilíbrio, a pasta preencheu maior quantidade de vazios do que o concreto de relação a/c de 0,45. Contudo, a consistência não aumentou significativamente com a adição de água.

Para o índice esclerométrico, a análise não foi exatamente a mesma. Os concretos de relação água/cimento de 0,45 e 0,65 apresentaram valores muito semelhantes,

enquanto que o de relação a/c de 0,55 obteve índice maior. Neste ensaio, para o concreto de relação a/c de 0,45, a baixa uniformidade e a alta porosidade nas laterais e no interior fizeram com que os resultados não fossem o esperado, porém se manteve condizente com o resultado da resistência à compressão. A quantidade de pasta, responsável por envolver os agregados e preencher os vazios, não foi suficiente. Os impactos ocorreram, inevitavelmente, em locais onde o agregado gráúdo estava exposto ou em regiões onde não havia agregado, causando uma grande variação nos resultados desse ensaio.

No concreto de relação a/c de 0,65, os resultados também foram mascarados, mas por um motivo diferente. Nesse caso, a quantidade de pasta era maior, o que levou a haver locais com ausência de agregado, gerando uma grande variação nos impactos e diminuindo, assim, o índice esclerométrico.

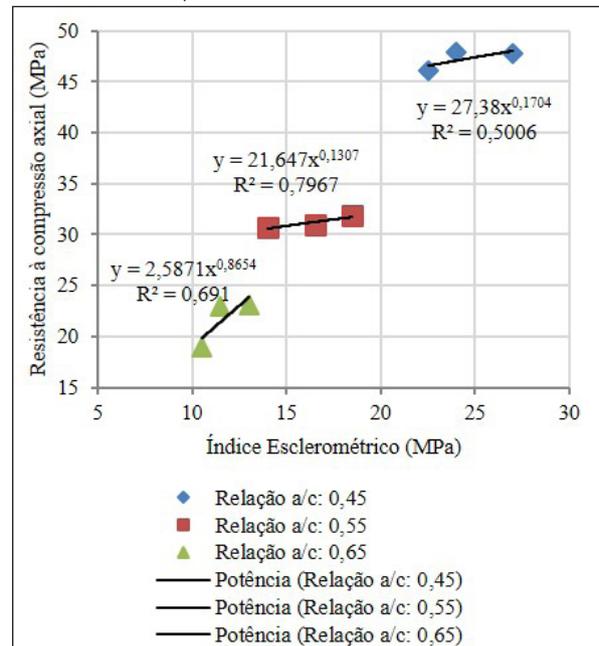
Na mesma situação, no concreto de relação a/c de 0,55 havia porosidade, mas não na mesma quantidade do concreto de relação a/c de 0,45. Por isso, a pasta conseguiu preencher melhor os vazios, fazendo com que os impactos fossem dados em regiões representativas do concreto. Os impactos, na sua grande maioria, não eram aplicados sobre agregados gráudos, nem em regiões com vazios. Esse concreto foi o que fez com que o ensaio de esclerometria melhor se equivalesse ao ensaio de compressão axial, atingindo aproximadamente 78% do valor da resistência à compressão.

Em todos os casos, pode-se dizer que a granulometria dos agregados não influenciou nos resultados, visto que ambos os agregados possuíam graduação uniforme e dentro dos limites estabelecidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

4.5.2 Traço 1:3,5

O Gráfico mostra o comportamento dos três corpos de prova de cada um dos traços 1:3,5, juntamente com a linha de tendência e o coeficiente de determinação.

Gráfico 4 – I.E x Resistência à compressão de todos os corpos de prova do traço 1:3,5



Fonte: os autores.

Novamente se observa baixa correlação entre os dados de uma mesma amostra, já esperada em função dos coeficientes de variação obtidos

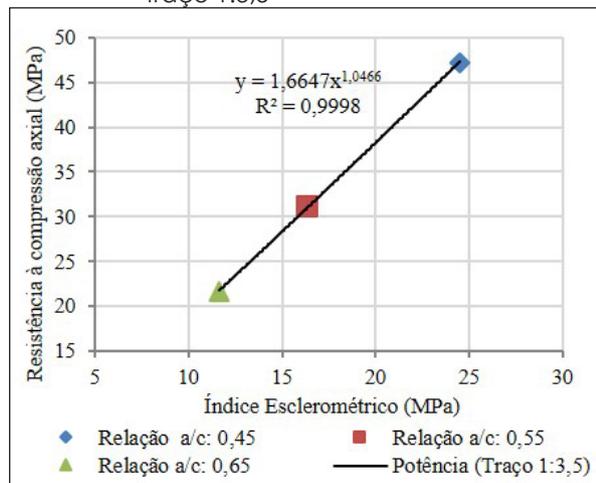
anteriormente em cada ensaio. Porém, apresentam-se ligeiramente melhores do que para o traço 1:5.

O Gráfico apresenta como a variação de relação água/cimento se comportou no traço 1:3,5, por meio das médias dos testes realizados.

Diferentemente do traço anterior, observa-se uma linha de tendência muito próxima do ideal para os dados, visto o coeficiente de determinação ser praticamente unitário.

Para esse traço a relação entre os dois ensaios pode ser bem observada. Com o aumento da relação água/cimento, ou seja, com o aumento da quantidade de água, tanto a resistência à compressão axial, quanto o índice esclerométrico diminuíram, conforme o esperado.

Gráfico 5 – I.E x Resistência à compressão do traço 1:3,5



Fonte: os autores.

A dureza superficial e a resistência não foram as mesmas, como observado no gráfico, mas a influência da relação água/cimento

foi a mesma para os três casos, chegando a uma relação de aproximadamente 50% entre o I.E. e a resistência à compressão.

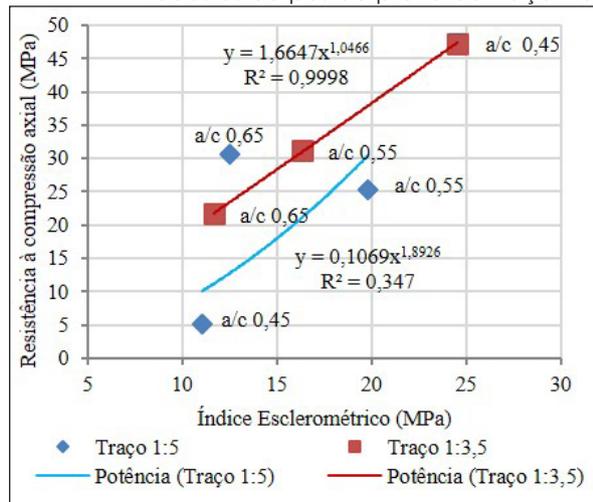
Nem a baixa quantidade de água, que aumentou a porosidade, nem a grande quantidade de água, que fez com que sobrasse pasta para envolver os agregados, gerando regiões frágeis onde havia apenas a pasta, interferiu na correlação dos ensaios.

O concreto de relação a/c de 0,45, que obteve uma excelente trabalhabilidade, cerca de 80 mm, foi o que resultou na maior resistência, pois com essa boa consistência e uniformidade, tiveram os seus agregados preenchidos e aglutinados, sem excesso de pasta. Os de relação a/c de 0,55 e 0,65, que obtiveram abatimentos altos, resultaram em uma resistência menor, pois com o aumento da água houve um aumento da pasta na mistura, causando maior quantidade de pontos frágeis. A partir do momento em que os agregados são envolvidos e os vazios são preenchidos, o excesso de pasta é prejudicial à resistência.

4.5.3 Comparação entre os traços

O Gráfico 6 faz uma comparação do comportamento da relação água/cimento entre os dois traços utilizados na pesquisa. Foram utilizadas apenas as médias dos corpos de prova.

Gráfico 6 – I.E x Resistência à compressão de todos os corpos de prova do traço 1:5



Fonte: os autores.

Percebe-se que os dois traços chegaram a resultados muito diferentes um do outro, como visto anteriormente. No entanto, destaca-se que a linha de tendência do traço 1:5 ficou abaixo daquela do traço 1:3,5, condizendo com o que deveria ocorrer. Dessa forma, apesar dos problemas de homogeneidade gerados pela metodologia adotada, é visível que há uma relação bastante interessante entre os resultados de ambos os ensaios, permitindo que a esclerometria possa ser utilizada como estimativa da resistência à compressão do concreto, desde que utilizado um fator de correção para os ensaios, além dos já utilizados no aparelho, ou aplicação em uma curva de correlação mais real possível.

Para que o traço 1:5 pudesse ter gerado resultados mais satisfatórios de correlação e menor variabilidade, poderia ter sido utilizado um teor de argamassa maior ou sido fixado o abatimento.

Por fim, observou-se também a sensibilidade do aparelho utilizado no ensaio esclerométrico, pois, com essa variação na quantidade de água nos traços, a superfície de ensaio apresentava-se de diversas formas, sendo determinante para a dificuldade na análise dos resultados.

5 CONCLUSÃO

Nos dias de hoje, a inspeção é extremamente importante e está sendo de grande interesse para os profissionais da construção civil. Todavia, a estimativa da resistência de estruturas acabadas pode ser feita tanto por ensaios destrutivos quanto por ensaios não destrutivos.

As características de um concreto para outro variam muito, por isso as resistências dificilmente serão as mesmas. Os ensaios de resistência à compressão axial, normalmente feitos após 28 dias da moldagem, deveriam representar o concreto existente, mas isso normalmente não acontece. Por isso, também, ocorre a necessidade de inspeção, a fim de verificar se o concreto está de acordo com o exigido no projeto.

No presente trabalho, analisou-se a influência da quantidade de água na mistura no ensaio de esclerometria, em comparação com o ensaio de compressão axial. Como é comumente feito, é sabido que neste último, a relação água/cimento influencia nos resultados. A curva de correlação obtida para o traço 1:3,5 condisse com o

esperado e pode ser utilizada para concretos semelhantes em nossa região.

Como resultado da pesquisa, verificou-se que a quantidade de água influencia de forma parcial nos resultados. Não obtendo valores iguais em um resultado e outro, a tendência nos valores foi observada no traço 1:3,5, pois quanto maior a relação a/c na mistura, menor foi a resistência e o índice esclerométrico, concluindo-se que a influência é igual nos dois ensaios. No traço 1:5, em razão da menor proporção de cimento, a mistura não foi uniforme, gerando, em alguns casos, vazios e pontos frágeis, o que mascarou o resultado dos dois ensaios.

Apesar de ser um bom avaliador da resistência do concreto, diversos fatores podem causar alterações nos resultados do ensaio de esclerometria. Como visto, quantidade de água, adensamento, consistência e a sensibilidade de aparelho são fatores que devem ser considerados na análise do concreto.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. 2002. 30 f. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002. Disponível em: <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Moldagem e cura dos corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 2013.

CASTRO, Elisângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://penelope.dr.ufu.br/bitstream/123456789/445/1/EstudoResistencia-Compressao.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2014.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.