

Influência do tipo de agregado graúdo no índice esclerométrico de concretos convencionais

JULIA DE ALBUQUERQUE E SILVA - ENG^a - (enjualbuquerqueesilva@gmail.com) – **Construtora Rocha**

MARIANA CORRÊA POSTERLLI - DOUTORA/PROF^a - <https://orcid.org/0009-0006-5415-6678> ;

ELLEN CÁSSIA CUNHA SILVA - MESTRE/PROF^a - <https://orcid.org/0009-0007-0972-6085> – **UFMT**

RESUMO

OS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS CONSTITUEM FERRAMENTAS RELEVANTES PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CONCRETO SEM COMPROMETER SUA INTEGRIDADE. ENTRE ESSES MÉTODOS, DESTACA-SE A ESCLEROMETRIA, AMPLAMENTE UTILIZADA NA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. ESTE TRABALHO ANALISOU A INFLUÊNCIA DO TIPO DE AGREGADO GRAÚDO NO ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM MATERIAIS UTILIZADOS NA REGIÃO DE BARRA DO GARÇAS-MT. FORAM AVALIADOS CONCRETOS CONFECCIONADOS COM AGREGADO BRITADO BASÁLTICO E SEIXO ROLADO, POR MEIO DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ESCLEROMETRIA. OS RESULTADOS INDICARAM INFLUÊNCIA DIRETA DO TRAÇO DE CONCRETO E DO TIPO DE AGREGADO NOS ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS. TODAVIA, A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO APRESENTOU VARIAÇÃO ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA ENTRE OS CONCRETOS ANALISADOS. ALÉM DISSO, AS CURVAS DO FABRICANTE SUBESTIMARAM A RESISTÊNCIA REAL DO CONCRETO EM ATÉ 48%, EVIDENCIANDO A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS NOS RESULTADOS E A NECESSIDADE DE CALIBRAÇÃO LOCAL DAS CURVAS DE CORRELAÇÃO PARA ESTIMATIVAS MAIS PRECISAS DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO.

PALAVRAS-CHAVE: ESCLEROMETRIA, ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS, DUREZA SUPERFICIAL, CONTROLE TECNOLÓGICO, RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil devido à sua versatilidade, resistência mecânica, durabilidade e viabilidade econômica, sendo empregado em obras de pequeno e grande porte, como edifícios, pontes, barragens e obras de infraestrutura (Mehta; Monteiro, 2008). O aumento da demanda por estru-

turas mais duráveis e seguras tem ampliado a necessidade de monitoramento das propriedades mecânicas do concreto ao longo da vida útil das edificações.

Quando se trata de estruturas existentes — nas quais o controle tecnológico realizado durante o processo de dosagem e produção do concreto (como a moldagem e ruptura de corpos de prova cilíndricos) não é mais aplicável —, a avaliação por meio de ensaios não destrutivos (END) tem se destacado como alternativa complementar aos métodos convencionais de controle tecnológico. Entre esses métodos convencionais, destacam-se a extração de testemunhos (corpos de prova extraídos) e os ensaios de compressão axial em laboratório, os quais, embora forneçam resultados de referência, apresentam caráter destrutivo e nem sempre são viáveis em elementos já construídos.

Nesse sentido, ensaios como a esclerometria surgem como técnica complementar, permitindo analisar as condições do material sem comprometer a integridade dos elementos estruturais, além de proporcionar maior agilidade e redução de custos nas inspeções (Bauer, 2019).

Adicionalmente, quando interpretados em conjunto com informações de projeto, histórico da estrutura, inspeção visual e, quando necessário, ensaios destrutivos ou semidestrutivos, esses métodos auxiliam na identificação de manifestações patológicas, como fissuras, segregação, carbonatação, presença de vazios e regiões de concreto degradado ou de baixa qualidade superficial, além de contribuir para a estimativa das propriedades mecânicas do concreto em estruturas existentes (Araújo, 2018).

Entre os métodos não destrutivos mais empregados, destaca-se o ensaio de esclerometria, também conhecido como ensaio do esclerômetro de Schmidt. O método baseia-se na medição da dureza superficial do concreto a partir do índice de rebote obtido por impacto controlado na superfície do material, sendo amplamente utilizado na estimativa da resistência à compressão (Oliveira; Lage; Carvalho, 2018).

Entretanto, diversos fatores podem influenciar os resultados obtidos pelo ensaio esclerométrico, como a idade do concreto, o tipo de cimento, as condições de cura e as características dos agregados empregados na mistura (Evangelista, 2002).

Os agregados graúdos exercem influência significativa nas propriedades mecânicas do concreto, uma vez que ocupam parcela expressiva do volume da mistura e interferem diretamente na resistência, na rigidez e nas características superficiais do material endurecido.

A brita basáltica, obtida por meio de britagem de rocha ígnea, apresenta superfície rugosa e angulosa, o que favorece a aderência mecânica entre o agregado e a pasta de cimento, resultando em zonas de transição pasta-agregado mais coesas e, conseqüentemente, em concretos com maior resistência à compressão e maior dureza superficial (Mehta; Monteiro, 2008). Já o seixo rolado, de origem sedimentar e formato arredondado, com superfície lisa, apresenta menor área de contato e menor ancoragem mecânica com a pasta de cimento, o que tende a reduzir a resistência da zona de transição e, por consequência, a resistência à compressão do concreto para um mesmo traço, quando

comparado a agregados de superfície mais rugosa (Neville, 2016).

Essa diferença nas características superficiais e na resistência da zona de transição pasta-agregado tende a refletir-se também no índice esclerométrico, uma vez que o ensaio de esclerometria está diretamente relacionado à dureza superficial do concreto (ABNT: NBR 7584, 2012), podendo apresentar índices distintos mesmo em concretos com traços e resistências à compressão semelhantes, em função do tipo de agregado empregado. Segundo Breyse e Fernández (2013), agregados mais densos e angulares tendem a aumentar a dureza superficial do concreto, enquanto agregados arredondados e mais porosos podem reduzir os valores do índice esclerométrico.

Diante disso, e considerando a disponibilidade regional desses dois tipos de agregado em Barra do Garças - MT — sendo o seixo rolado amplamente utilizado na construção civil local devido à sua abundância em depósitos aluvionares da região, e a brita basáltica empregada como alternativa de maior qualidade mecânica —, justifica-se a escolha desses materiais para o presente estudo, de modo a avaliar comparativamente sua influência no comportamento esclerométrico dos concretos produzidos.

Para isso, foram realizados estudos de dosagem, ensaios de resistência à compressão e ensaios de esclerometria em concretos produzidos com brita basáltica e seixo rolado, buscando correlacionar os resultados obtidos e verificar possíveis interferências do agregado nos índices esclerométricos.

2. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O ensaio de esclerometria, também denominado ensaio do esclerômetro de Schmidt, consiste na avaliação da dureza superficial do concreto por meio do índice de rebote obtido após um impacto controlado de uma esfera de 10 mm aplicado na superfície do material. O método fundamenta-se no princípio de choque entre dois corpos, no qual parte da energia aplicada pelo martelo é recuperada em forma de rebote, sendo esse valor relacionado à dureza superficial do concreto e, consequentemente, à sua resistência à compressão. A relação entre a leitura obtida e a resistência mecânica se dá através de curvas de correlação entre a resistência

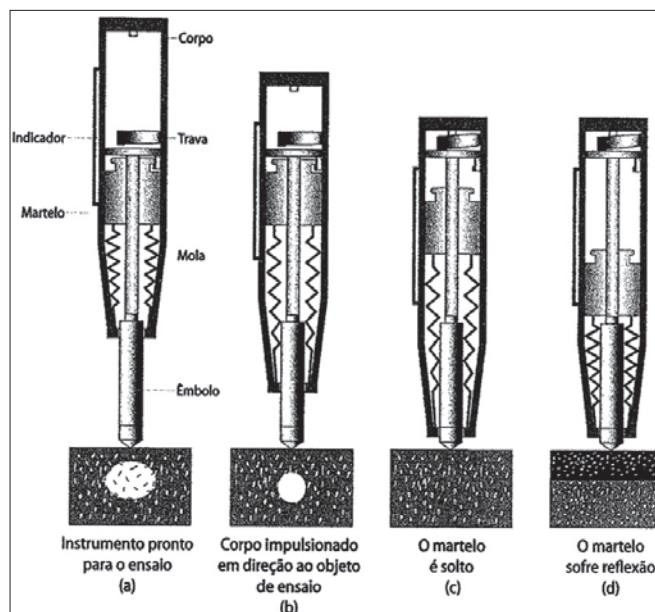


FIGURA 1

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ILUSTRANDO A OPERAÇÃO DO ESCLERÔMETRO

FONTE: METHA E MONTEIRO (2008)

à compressão e o índice esclerométrico (Bauer, 2019).

De acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), o ensaio tem início com a verificação do esclerômetro, devendo ser aferido antes de sua utilização ou a cada 300 impactos realizados na mesma inspeção. Este procedimento inicia-se com o manuseio da bigorna de aço, sendo necessários, no mínimo, 10 impactos sobre ela, a cada verificação. Quando, nesses impactos, for atingido o índice esclerométrico médio menor que 75, o esclerômetro não poderá ser empregado e deverá ser calibrado.

Segundo Metha e Monteiro (2008), após essa verificação, o início do ensaio é instaurado quando o êmbolo é posicionado perpendicularmente em contato com a superfície do concreto. Assim, em seguida, o corpo externo do esclerômetro é pressionado lentamente e perpendicularmente contra a superfície, estendendo a mola. A trava é acionada quando a mola está estendida, e o martelo se move em direção à superfície. Ao chocar-se com o êmbolo, o martelo sofre um recuo, cujo valor é registrado, sendo definido o índice esclerométrico, conforme a Figura 1.

Estudos ressaltam que são muitos os fatores que podem causar interferência

na esclerometria. Mehta e Monteiro (2008) destacam alguns como dosagem do concreto, uniformidade da superfície, condição de umidade, carbonatação superficial e localização do êmbolo. Além desses, outros autores apontam fatores como o tipo e teor de agregado empregado, a idade do concreto, a temperatura da superfície ensaiada, o tipo de cura e a presença de armadura próxima à superfície como elementos que também podem influenciar significativamente

os resultados do ensaio (Evangelista, 2002; Malhotra). Neville (2016) ainda ressalta que a direção de aplicação do esclerômetro (horizontal, vertical ou inclinada) interfere no índice esclerométrico obtido, sendo necessária a aplicação de fatores de correção específicos para cada orientação, conforme indicado pelo próprio fabricante do equipamento ou pela norma vigente.

Dessa forma, a NBR 7584 (ABNT, 2012) direciona que, na realização do ensaio esclerométrico, deve-se evitar superfícies irregulares, ásperas ou curvas, uma vez que superfícies como essas interferem na distribuição do impacto do esclerômetro, comprometendo a precisão dos resultados obtidos.

3. METODOLOGIA

A metodologia experimental desta pesquisa foi conduzida nos Laboratórios de Materiais de Construção, Mecânica dos Solos e Estruturas da Universidade Federal de Mato Grosso - Campus Universitário do Araguaia (UFMT-CUA). Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, produção e moldagem dos corpos de prova, além dos ensaios de resistência à compressão e de esclerometria.



FIGURA 2

AGREGADOS GRAÚDOS UTILIZADOS: (A) BRITA BASÁLTICA; (B) SEIXO ROLADO

3.1 Materiais e caracterização

Os materiais empregados na produção dos concretos foram selecionados com base na disponibilidade comercial e na ampla utilização na região de Barra do Garças-MT. Utilizou-se cimento Portland CP II-F-32, agregado miúdo natural de origem fluvial e composição silicosa, classificado como areia média, brita basáltica proveniente da região de Rio Verde-GO e seixo rolado extraído da região de Barra do Garças-MT.

A caracterização dos agregados miúdo e graúdo foi conduzida conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), a NBR 16916 (ABNT, 2021) e a NBR 16917 (ABNT, 2021). Os ensaios contemplaram análise granulométrica, determinação da densidade nas condições seca e saturada de superfície seca e absorção de água. Para os agregados graúdos foram avaliados dois materiais distintos: brita basáltica e seixo rolado, apresentados na Figura 2.

A massa específica do cimento foi determinada conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), utilizando o frasco de Le Chatelier e o querosene como líquido não reagente.

3.2 Dosagem dos concretos

A dosagem dos concretos foi realizada com base no método experimental proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/EPUSP), conforme Tutikian e Helene (2011). Inicialmente, foram definidos os parâmetros de consistência e teor de argamassa, visando obter uma mistura de concreto que atendesse aos requisitos mínimos de resistência e com o menor custo possível,

avaliando aspectos também de consistência e trabalhabilidade do concreto, conforme a norma NBR 16889 (ABNT, 2020).

Após ajustes experimentais, adotou-se teor de argamassa de 55%, valor que proporcionou condições adequadas de

lançamento e adensamento para ambos os agregados graúdos estudados. Com o teor de argamassa estabelecido, foram efetuados os três traços de concreto com proporções em massa de 1:3,5, 1:5 e 1:6,5, correspondendo aos traços pobre, médio e rico, respectivamente.

Posteriormente, definiu-se o traço de referência visando à resistência característica à compressão de aproximadamente 30 MPa, correspondente à classe C30. O traço do concreto calculado para a pedra britada e para o seixo rolado, apresentou, em proporção em massa, 1:2,30:2,70. A Tabela 1 apresenta o consumo dos materiais empregados na produção dos concretos.

Durante a concretagem, houve a necessidade de aplicação gradual de aditivo químico plastificante na produção das amostras com pedra britada, com valores de aproximadamente 85,3 g de plastificante para o

TABELA 1

CONSUMO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS CONCRETOS

Componentes	Traço [kg/m³]		
	Pobre	Médio	Rico
Cimento	333,06	383,22	521,97
Agregado miúdo	1032,51	881,38	782,96
Agregado graúdo	1132,52	1016,95	1043,94
Água	211,14	179,07	204,15

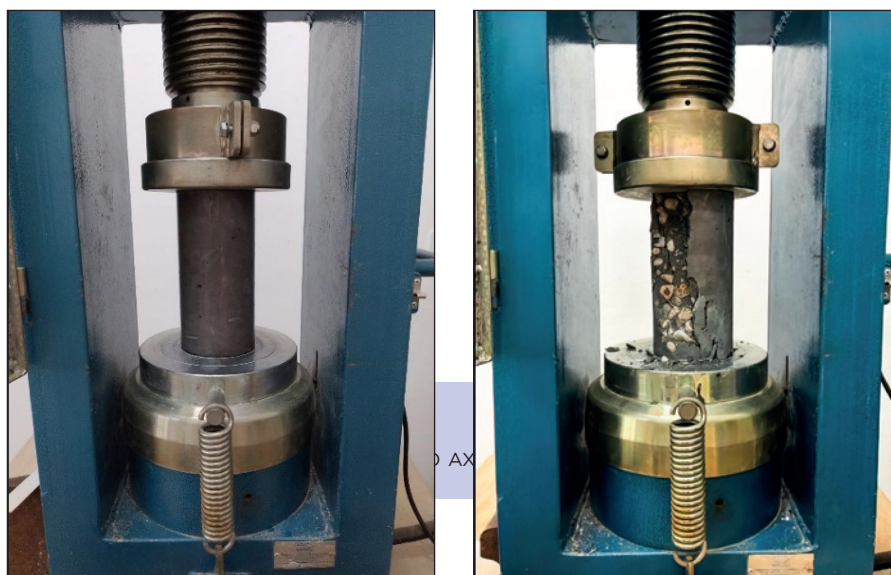


FIGURA 3

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

traço médio e 52,2 g para o traço rico. Essa necessidade está diretamente relacionada ao formato angular e à textura superficial rugosa da brita, características que, conforme discutido anteriormente, aumentam o atrito interno entre as partículas e reduzem a trabalhabilidade da mistura em comparação ao seixo rolado, de formato arredondado e superfície lisa. O uso do aditivo, exclusivamente nos traços com pedra britada, teve como objetivo aumentar a trabalhabilidade sem a necessidade de acréscimo adicional de água, visto que, durante o processo experimental,

avaliou-se a necessidade de melhorar a trabalhabilidade do material. Cabe destacar que o uso do aditivo plastificante não interfere nas leituras de resistência mecânica do concreto, uma vez que sua função está associada à melhoria da dispersão das partículas de cimento e à redução do atrito interno da mistura, sem alterar a relação água/cimento ou comprometer os produtos de hidratação responsáveis pelo ganho de resistência. Dessa forma, embora o uso do aditivo tenha sido uma variável diversa entre os traços com diferentes materiais, essa condição tende a

não interferir na análise comparativa de resistência proposta neste estudo.

3.3 Produção, moldagem e cura dos corpos de prova

A produção dos concretos foi realizada utilizando betoneira com capacidade de 150L. O processo de mistura iniciou-se com a incorporação dos agregados miúdo e graúdo, seguida da adição do cimento e da água de amassamento de forma gradual. Após a homogeneização da mistura,



FIGURA 4

PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA: (A) AFERIÇÃO DO EQUIPAMENTO NA BIGORNA; (B) PREPARAÇÃO SUPERFICIAL DOS PRISMAS; (C) DEMARCAÇÃO DOS PONTOS DE ENSAIO; (D) EXECUÇÃO DO ENSAIO

TABELA 2

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS EM MPa

Idade	Agregado	Seixo			Brita		
	Traço	Pobre	Médio	Rico	Pobre	Médio	Rico
28 dias	Média	21,43	29,08	33,38	21,18	33,43	38,03
	Desvio padrão	2,88	2,25	5,54	3,30	2,72	9,00
35 dias	Média	24,85	33,95	40,69	24,10	27,72	43,88
	Desvio padrão	6,34	2,52	2,72	3,43	4,59	6,69

realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020), visando avaliar a trabalhabilidade dos concretos produzidos.

Para cada traço foram moldados quatro corpos de prova prismáticos, com dimensões de 40 cm × 10 cm × 10 cm, destinados ao ensaio de esclerometria e oito corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10cm × 20cm, destinados ao ensaio de resistência à compressão. Após a concretagem, os corpos de prova foram submetidos à vibração mecânica para eliminação de vazios e, posteriormente, mantidos em ambiente protegido durante 24 horas. Após a desmoldagem, os corpos de prova permaneceram em cura submersa em solução saturada de hidróxido de cálcio até as idades de ensaio. Os procedimentos de moldagem e cura seguiram as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

3.4 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018), utilizando prensa hidráulica manual. Os corpos de prova cilíndricos foram ensaiados aos 28 e 35 dias de idade, sendo posicionados concêntricamente na prensa para aplicação gradual da carga até a ruptura, conforme mostrado na Figura 3.

3.5 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O ensaio de esclerometria foi conduzido conforme a NBR 7584 (ABNT, 2012). Inicialmente, realizou-se a aferição do equipamento em bigorna metálica, sendo aplicados no mínimo 10 impactos antes da execução dos ensaios (Figura 4a). As superfícies dos corpos de prova prismáticos foram previamente polidas com pedra de *Carborundum* (Figura 4b) e limpas a seco, visando minimizar interferências decorrentes da rugosidade superficial. Em seguida, os pontos de impacto foram demarcados, respeitando a distância mínima de 5 cm das bordas e espaçamento de 3 cm entre impactos (Figura 4c).

Durante o ensaio, o êmbolo do equipamento foi posicionado perpendicularmente à superfície do concreto, registrando-se os índices esclerométricos individuais de cada impacto (Figura 4d). Foram coletados os valores dos índices esclerométricos médios, os quais foram ajustados para os índices esclerométricos efetivos ($IE\alpha$), calculados

conforme Equação 1, seguindo as recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012). O coeficiente de correção do índice esclerométrico (K) é determinado pela Equação 2.

$$[1] \quad IE\alpha = K * IE$$

Em que:

$IE\alpha$ é o índice esclerométrico médio efetivo; K é o coeficiente de correção do índice esclerométrico; e

IE é o índice esclerométrico médio.

$$[2] \quad K = \frac{n \cdot IE_{nom}}{\sum_{i=1}^n IE_i}$$

Em que:

n é o número de impactos na bigorna de aço; IE_{nom} é o índice esclerométrico nominal do aparelho na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante; e o

IE_i é o índice esclerométrico obtido em cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

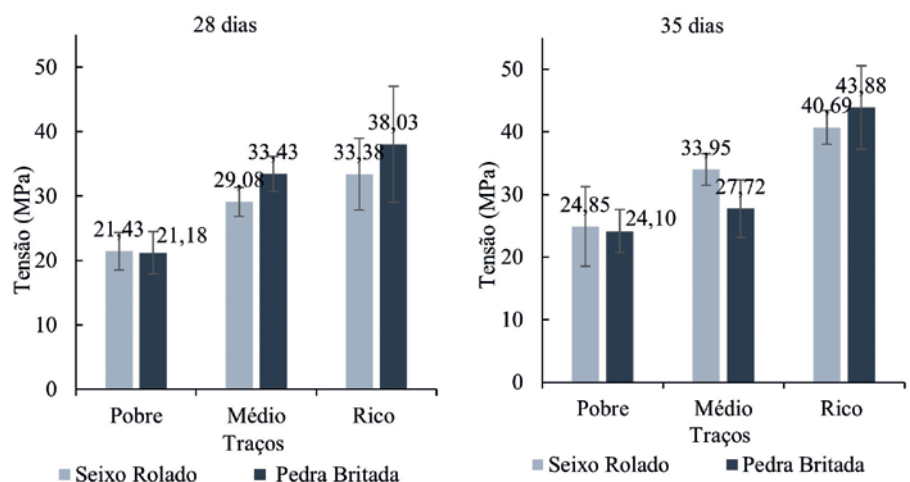
4.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à compressão axial,

avaliados para os três traços, em idades de cura de 28 dias e 35 dias, são apresentados e discutidos na sequência. A Tabela 2 apresenta um resumo desses valores. Em primeira análise, verificou-se que o valor previsto da resistência à compressão (30 MPa) está dentro da margem de erro dos desvios, com médias próximas a 20 MPa e 40 MPa.

Aos 28 dias de cura, para os traços médio e rico, a média das resistências à compressão evidenciou um pequeno aumento nas amostras com brita em relação às com seixo, comportamento este que pode estar associado ao maior intertravamento mecânico promovido pela geometria angular da brita. Entretanto, levando em consideração a faixa de variação do desvio padrão das amostras e os p-valores calculados conforme teste estatístico de *t-student*, os quais resultaram em 0,912, 0,049 e 0,413 para os traços pobre, médio e rico, respectivamente, apenas para o traço médio é possível afirmar que a resistência à compressão do concreto produzido com brita superou a resistência mecânica do concreto produzido com seixo.

Aos 35 dias de cura, em que a idade de referência tradicional (28 dias) conforme a

**FIGURA 5**

COMPARATIVO GRÁFICO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

TABELA 3

ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS CORRIGIDOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS

Agregado		Seixo				Brita			
Traço	Corpo de prova	IE	K	IE α	IE α Médio	IE	K	IE α	IE α Médio
Pobre	1	20,18	0,978	19,74	20,44	22,40	0,977	21,88	22,69
	2	20,33		19,89		23,60		23,05	
	3	21,17		20,70		23,10		22,56	
	4	21,92		21,43		23,83		23,28	
Médio	1	29,36	0,982	28,83	28,82	27,33	0,977	26,70	27,25
	2	28,54		28,02		27,73		27,08	
	3	29,10		28,58		27,27		26,64	
	4	30,40		29,85		29,25		28,57	
Rico	1	32,55	0,978	31,83	31,19	33,79	0,983	33,20	32,78
	2	31,78		31,08		33,67		33,09	
	3	31,31		30,62		33,71		33,13	
	4	31,92		31,21		32,25		31,70	

NBR 6118 (ABNT, 2023) é ultrapassada, ainda houve um ganho gradual de resistência entre os diferentes traços, para o mesmo tipo de agregado graúdo. Assim, identificou-se uma variação no desempenho apresentado pelos traços do concreto. De acordo com os p-valores para essa idade do concreto, iguais a 0,843, 0,055 e 0,411 para os traços pobre, médio e rico, respectivamente, observa-se que a variação na resistência à compressão dos traços dosados com brita ou seixo rolado não foi significativa. Na Figura 5, é apresentado o comportamento desse com-

parativo dos agregados, fundamentado nas médias e nos desvios padrão para os três traços e para as duas idades analisadas.

Nascimento (2024) também avaliou a influência do tipo de agregado na resistência à compressão de concretos produzidos com seixo rolado e brita basáltica. A autora observou que apenas para o traço pobre houve uma diferença significativa entre as resistências à compressão.

4.2 Índice esclerométrico

Os índices esclerométricos foram obti-

dos aos 35 dias após a concretagem correspondentes aos traços de concreto e aos agregados em análise. Foram considerados limites com variação mínima e máxima de 10%, conforme estabelece a NBR 7584 (ABNT, 2012). Os valores médios dos índices esclerométricos (IE) foram definidos desconsiderando-se aqueles que ultrapassaram os limites. Feito isso, aplicou-se o coeficiente de correção K de modo a obter os índices corrigidos, denominados índices esclerométricos médios efetivos (IE α). Esses resultados estão resumidos na Tabela 3.

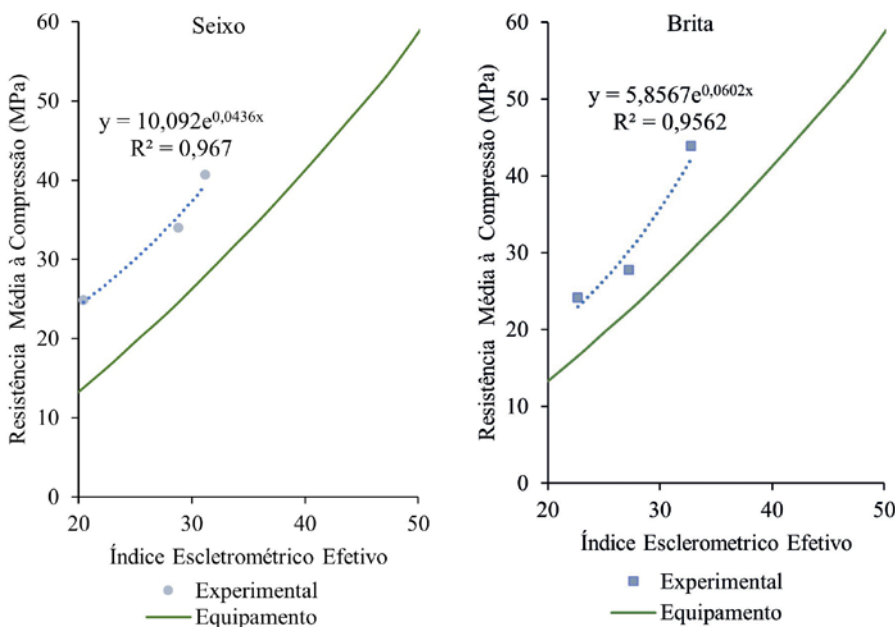
Analisando-se os resultados e com base nos p-valores resultantes, iguais a 0,004, 0,0038 e 0,011 para os traços pobre, médio e rico, respectivamente, observou-se que os índices esclerométricos médios efetivos variam de forma significativa com a mudança no tipo de agregado. Os resultados evidenciaram maior influência da pedra britada em relação ao seixo rolado, embora essa influência tenha se manifestado com intensidades distintas entre os traços avaliados. Sob essa perspectiva, os resultados corroboram, ainda que de forma não uniforme entre os traços, a tendência observada por Breyse e Fernández (2013) e Evangelista (2002) de que os agregados angulares tendem a proporcionar maior resistência superficial em relação aos agregados lisos.

Além disso, os resultados mostraram que o traço do concreto também influencia diretamente no índice esclerométrico. Traços mais ricos, com maior teor de cimento tendem a produzir concretos mais resistentes e índices esclerométricos mais elevados, enquanto traços pobres apresentam índices esclerométricos menores.

Além disso, o traço rico proporcionou uma pasta de cimento mais densa e uniforme devido ao maior teor de cimento em relação à água, originando uma matriz cimentícia mais compacta e homogênea. Dessa forma, o traço rico apresentou-se mais homogêneo e, conseqüentemente, com uma superfície menos irregular. Essas características contribuíram para a redução das variações no ensaio de esclerometria, diminuindo as dispersões dos resultados.

4.3 Correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão

Embora os ensaios de esclerometria

**FIGURA 6**

CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E O ÍNDICE ESCLEROMÉTRICOS

avaliem a dureza superficial e os testes destrutivos avaliem a resistência mecânica de formas diferentes, eles são complementares e podem ser correlacionados empiricamente (Neville, 2016). Para isso, foram desenvolvidas curvas de tendência a partir dos resultados experimentais obtidos, sendo os pontos correspondentes aos resultados de resistência à compressão para os três traços propostos (pobre, médio e rico), de modo a compará-las com a curva de correlação do manual do esclerômetro, fornecida pelo fabricante.

A comparação entre as curvas é mostrada na Figura 6, em que é possível verificar a distância entre elas. Sob essa perspectiva, a utilização da curva fornecida pelo manual do equipamento para a estimativa da resistência à compressão evidencia uma diferença em relação aos valores obtidos experimentalmente.

Com relação aos traços dosados com seixo, para o traço pobre, a resistência à compressão estimada a partir da curva fornecida pelo equipamento corresponde a aproximadamente 13MPa, enquanto a resistência à compressão média obtida experimentalmente foi de 24,85MPa, representando uma diferença de 48%. Para o traço médio, a estimativa fornecida para a resistência à compressão seria de 23MPa, representando uma diferença de 32% em relação à resistência efetiva de 33,95MPa. Para o traço rico, a resistência à compressão estimada foi de 29MPa, enquanto a obtida experimentalmente alcançou registros de aproximadamente 40,69MPa, com uma discrepância de 29%.

Além disso, também foram constatadas divergências nos resultados estimados a partir da curva do aparelho para os concretos contendo agregados britados. No traço pobre, a resistência à compressão estimada foi de 13MPa, enquanto a resistência efetiva alcançou 24,10MPa, correspondendo a uma diferença de 46%. Para o traço médio, a divergência aproximou-se de 23%, uma vez que a resistência média à compressão foi na ordem de 27,72MPa. Por fim, foi analisado o traço rico, com uma resistência efetiva à compressão de 43,88MPa e com uma diferença de 34%, em relação ao valor recomendado pela curva de correlação, que seria de aproximadamente 29MPa.

Evidencia-se, portanto, a necessidade de adequação das curvas de correlação

para concretos dosados com materiais de origem local confirmando os estudos de Evangelista (2002). Em seu estudo, o tipo de agregado graúdo, a dimensão máxima, o tipo de cimento e o tipo de cura influenciaram no índice esclerométrico. Desse modo, o ajuste nas curvas de correlação é necessário para melhorar as estimativas de resistência do concreto.

Na Figura 7, os resultados desta pesquisa são confrontados com outros resultados obtidos na literatura para concretos dosados com materiais nacionais, ainda que com traços e dosagens distintos dos adotados neste estudo. É possível notar que, mesmo diante dessas diferenças, as linhas de tendência obtidas a partir dos resultados deste trabalho apresentam boa aproximação com alguns dos resultados nacionais encontrados na literatura.

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram influência direta do traço de concreto (pobre, médio e rico) e do tipo de agregado (brita basáltica e seixo rolado) nos índices esclerométricos. Entretanto, o mesmo não ocorreu para a

resistência à compressão, que apresentou variação irrelevante entre os concretos analisados com traços e agregados distintos.

Ademais, embora o ensaio de esclerometria seja uma ferramenta prática e de rápida aplicação para estimar a resistência à compressão do concreto, sua confiabilidade depende de calibrações específicas para o contexto local. Discrepâncias entre as curvas de correlação do fabricante e os valores medidos (com subestimações de até 48%) evidenciaram a não captação adequada das variabilidades introduzidas por fatores como origem e granulometria dos agregados, tipo de cimento, proporção dos materiais e idade do concreto no momento do ensaio.

Apesar disso, a proximidade dos resultados experimentais com estudos realizados em outras regiões do Brasil indica que tais influências seguem padrões consistentes em contextos nacionais, mas não elimina a necessidade de ensaios prévios para cada realidade construtiva. Portanto, recomenda-se que a aplicação da esclerometria em avaliações estruturais seja sempre acompanhada do desenvolvimento de

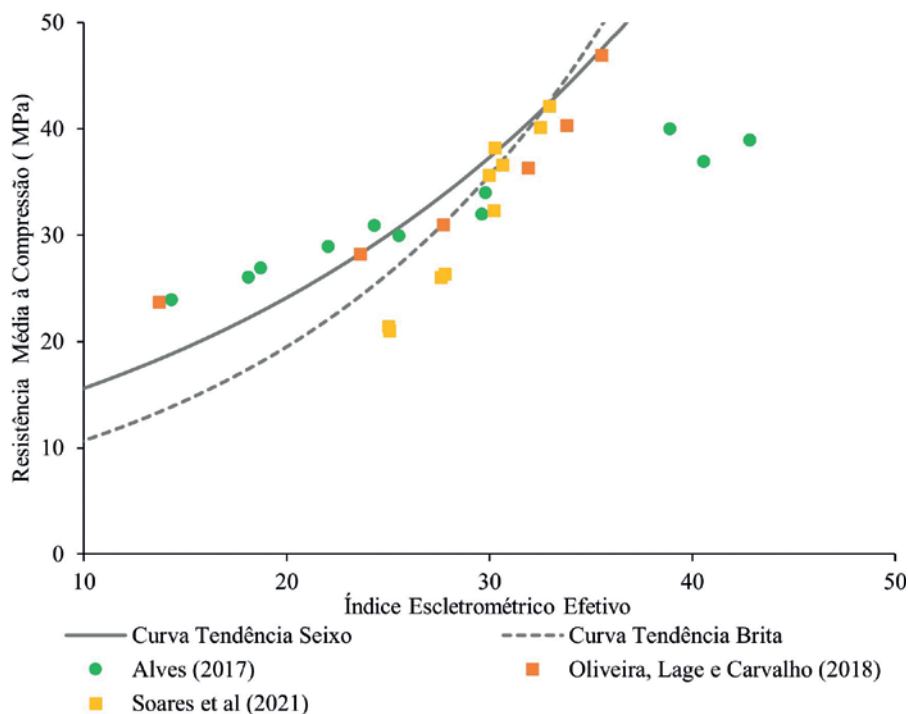


FIGURA 7

CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E O ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO EM UM COMPARATIVO COM OUTROS ESTUDOS

curvas de correlação locais, garantindo diagnósticos mais precisos e decisões técnicas mais seguras.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso

(Fapemat) pelo auxílio financeiro via edital FAPEMAT-PRO.000817/2024. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, R. Resistência mecânica de concreto de cimento Portland: Correlação de ensaio de compressão uniaxial com esclerometria. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Centro Universitário UNIVATES, 2027.
- [2] ARAÚJO, C. C. Estudo de correlações entre Propriedades do Concreto e ensaios não destrutivos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- [3] BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 6ª Ed. Rio de Janeiro. LTC, 2019.
- [4] BREYSSE, D; FERNÁNDEZ, J. L. M. Assessing concrete strength with rebound hammer: review of key issues and ideas for more reliable conclusions. Materials and Structures, v47, p.1589 – 1604, 2013. <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-013-0139-9>.
- [5] EVANGELISTA, A. C. J. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro RJ, 2002.
- [6] ISAIA, G. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2 ed. IBRACON. 2010.
- [7] MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.
- [8] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. B. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Ibracon, 2008.
- [9] NASCIMENTO, P. K. Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas do concreto produzido com brita basáltica e seixo rolado. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças-MT, 2024.
- [10] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- [11] OLIVEIRA, T. M de; LAGE, E. C.; CARVALHO, V. C. R. Estudo de diferentes classes de concreto para curvas de correlação nacionais para o ensaio de esclerometria. Principia: Caminhos da Iniciação Científica, v18, n1, 2018. <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2018.v18.29851>.
- [12] SOARES, L. K. O.; GOTT, A. P. P.; ANDRADE, G. S.; BORTONE, T. P.; MARTINI, R. J.; RAMOS, M. P. Análise da resistência à compressão axial do concreto a partir de ensaios de esclerometria. Anais do XVII Congresso Internacional sobre Patologia e reabilitação das Construções, Fortaleza, 2021.
- [13] TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e tecnologia, v1, cap. 12, São Paulo: IBRACON, 2011.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00

Patrocínio



Adquira o seu na
Loja Virtual
do IBRACON:
<http://lojaibacon.org.br>