De 24/06/2026 a 27/06/2026
São Paulo
https://doi.org/10.67775/zrgcne12

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ESTRATÉGIAS PARA ELIMINAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ABORDAGEM PREVENTIVA A PARTIR DOS AGREGADOS MIÚDOS

Bernardo Beckenkamp Hansmann[1]; Luciani Somensi Lorenzi[2]*; Lucas Alexandre Reginato[2]; Alexandre Lorenzi[2]

*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

Este trabalho avalia a influência da granulometria da areia natural, empregada como agregado miúdo, na resistência à compressão axial, na resistência à tração por compressão diametral e no módulo estático de elasticidade do concreto. Foram produzidos três concretos com traço fixo em massa 1:2:3 e fator água/cimento de 0,45, variando-se exclusivamente o tipo de areia (fina, média e grossa). Os agregados foram caracterizados por massa específica e unitária e por análise granulométrica. No concreto endurecido, executaram-se ensaios de compressão axial, de tração diametral e de módulo de elasticidade, em idades de referência de 7 e 28 dias. Os resultados indicaram influência sistemática do agregado miúdo nas propriedades mecânicas: a areia média, associada à maior massa unitária e a um empacotamento mais eficiente, apresentou os maiores valores médios de resistência e de módulo aos 28 dias, enquanto a areia grossa apresentou desempenho inferior, com maior sensibilidade à variabilidade experimental. Discute-se a relação entre a distribuição granulométrica, a porosidade e a zona de transição pasta-agregado, com implicações para o controle tecnológico e o desempenho.
Palavras-chave: agregado miúdo; granulometria; concreto; resistência à compressão; módulo de elasticidade.

ABSTRACT

This study evaluates how the grading of natural sand used as fine aggregate affects the compressive strength, splitting tensile strength, and static modulus of elasticity of concrete. Three concretes were produced with a fixed 1:2:3 mass proportion and a water-to-cement ratio of 0.45, changing only the sand grading (fine, medium, and coarse). Aggregates were characterized by specific and bulk density and by sieve analysis. Mechanical tests on hardened concrete were performed at reference ages of 7 and 28 days. Results show a systematic influence of fine aggregate on mechanical properties: medium sand, associated with higher bulk density and more efficient particle packing, provided the highest mean compressive strength and modulus at 28 days, whereas coarse sand led to lower performance and higher variability. The discussion links grading, void content, and the paste-aggregate interfacial transition zone, highlighting implications for quality control and performance.
Keywords: fine aggregate; grading; concrete; compressive strength; modulus of elasticity.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais empregados na construção civil devido à disponibilidade de insumos, à moldabilidade e à elevada resistência à compressão. O desempenho do concreto no estado endurecido resulta de um sistema multifásico cuja resposta mecânica depende, entre outros fatores, da qualidade da pasta de cimento, da porosidade e das características dos agregados. Em particular, o agregado miúdo desempenha papel relevante no empacotamento granular e na zona de transição pasta-agregado, influenciando a compacidade, a relação água/cimento efetiva e, por consequência, a resistência e a rigidez (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

Na prática, variações na granulometria da areia podem introduzir dispersão nos resultados de controle tecnológico e contribuir para um desempenho inferior do concreto, ampliando a suscetibilidade a manifestações como fissuração e deformações excessivas em serviço. Assim, compreender a influência da granulometria do agregado miúdo em concretos com dosagem fixa é relevante para a padronização de materiais e para a redução da variabilidade em obras e em processos de reabilitação.

Este trabalho investiga a influência da granulometria da areia natural nas propriedades mecânicas do concreto, avaliando a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral e o módulo estático de elasticidade. Para isolar o efeito do agregado miúdo, adotaram-se traço fixo e fator água/cimento constante, variando-se apenas o tipo de areia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agregado miúdo, empacotamento e demanda de pasta

A granulometria do agregado miúdo condiciona diretamente o empacotamento das partículas, o volume de vazios e, consequentemente, a demanda de pasta para preencher os poros e envolver os grãos. Distribuições mais contínuas tendem a reduzir os vazios e a necessidade de água para atingir determinada trabalhabilidade, enquanto granulometrias com carência de finos ou com excesso de partículas muito finas podem elevar a porosidade efetiva e aumentar a sensibilidade do concreto às variações de consistência e de resistência. Sob a ótica da dosagem, esses efeitos podem alterar a relação água/cimento efetiva e o teor de ar aprisionado, refletindo-se nas propriedades mecânicas e no desempenho em serviço (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016; SBRIGHI NETO, 2011).

No contexto brasileiro, a ABNT NBR 7211 estabelece faixas granulométricas e requisitos para agregados destinados ao concreto, visando limitar variações abruptas na distribuição e reduzir o risco de heterogeneidade do material. A composição granulométrica é determinada conforme a ABNT NBR NM 248, permitindo avaliar parâmetros como a dimensão máxima característica e o módulo de finura, indicadores úteis para o controle tecnológico e para a rastreabilidade do fornecimento.

2.2 Zona de transição interfacial e rigidez do compósito

Além do empacotamento, a distribuição granulométrica influencia a microestrutura da matriz e a zona de transição interfacial (ITZ) entre a pasta e os agregados. A ITZ tende a apresentar maior

porosidade e concentração de microfissuras, funcionando como região preferencial para a iniciação e a propagação de danos, com efeitos mais evidentes nas propriedades relacionadas à deformabilidade, como o módulo de elasticidade. Assim, concretos com maior compacidade e menor volume de vazios tendem a exibir maiores resistências e maior rigidez, desde que se mantenham o teor de cimento e a relação água/cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016; HELENE, 2010).

2.3 Implicações para desempenho e patologia do concreto

Variabilidades no agregado miúdo repercutem em parâmetros que, em escala estrutural, influenciam as deformações, a fissuração e a durabilidade. Mudanças na resistência e no módulo alteram a estimativa de flechas, as redistribuições de esforços e, indiretamente, a suscetibilidade a fissuras por retração e por carregamento. Do ponto de vista da patologia das construções, o controle do agregado miúdo integra o sistema de garantia da qualidade do concreto, pois reduz a dispersão dos resultados e apoia decisões de aceitação e de rastreamento em obra (HELENE, 1984; PACHECO; HELENE, 2013). Para estimativas normativas de rigidez, por exemplo, a ABNT NBR 6118 prevê coeficientes de correção associados ao tipo de agregado graúdo, reforçando que o compósito é sensível às características dos constituintes e não apenas ao teor de cimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Foram utilizados cimento Portland do tipo CP IV-32 RS, água potável, agregado graúdo britado (brita 0) de origem basáltica e três areias naturais (fina, média e grossa) provenientes da mesma região de extração. Para fins de avaliação cega, a instituição executora e o local específico foram omitidos.

3.2 Caracterização dos agregados

Os agregados foram caracterizados por massa específica e massa unitária, bem como por análise granulométrica por peneiramento, conforme os procedimentos normativos aplicáveis (ABNT NBR NM 45, 2006; ABNT NBR NM 52, 2009; ABNT NBR NM 53, 2009; ABNT NBR NM 248, 2003; ABNT NBR 7211, 2005).

3.3 Dosagem, moldagem e cura

Foram produzidos três concretos com traço fixo em massa 1:2:3 (cimento:areia:brita) e fator água/cimento 0,45, variando-se exclusivamente o tipo de areia: Traço A (areia fina), Traço B (areia média) e Traço C (areia grossa). A mistura foi executada em betoneira de eixo inclinado, seguindo a sequência de adição dos materiais e o tempo mínimo de mistura até a homogeneidade. Corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm foram moldados e submetidos à cura úmida até a data do ensaio (ABNT NBR 5738, 2003).

3.4 Programa experimental e ensaios

Para cada traço foram moldados 18 corpos de prova, totalizando 54 unidades. Ensaios de compressão axial (ABNT NBR 5739, 2018) foram realizados em 6 corpos de prova na idade de referência de 7 dias e em 3 corpos de prova aos 28 dias. Ensaios de tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222, 2011) foram realizados em 3 corpos de prova aos 7 dias.

O módulo estático de elasticidade à compressão foi determinado pelo método de tensão fixa (método A), conforme a ABNT NBR 8522 (2017), com 3 corpos de prova aos 7 dias e 3 aos 28 dias. No Traço A, a campanha prevista para 7 dias foi executada aos 10 dias devido a restrições operacionais no laboratório; os valores são apresentados com essa observação.

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova por ensaio e por traço.

Traço	Compressão axial	Módulo de elasticidade	Tração diametral	Total
A - Areia fina	9	6	3	18
B - Areia média	9	6	3	18
C - Areia grossa	9	6	3	18

Fonte: os autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos agregados

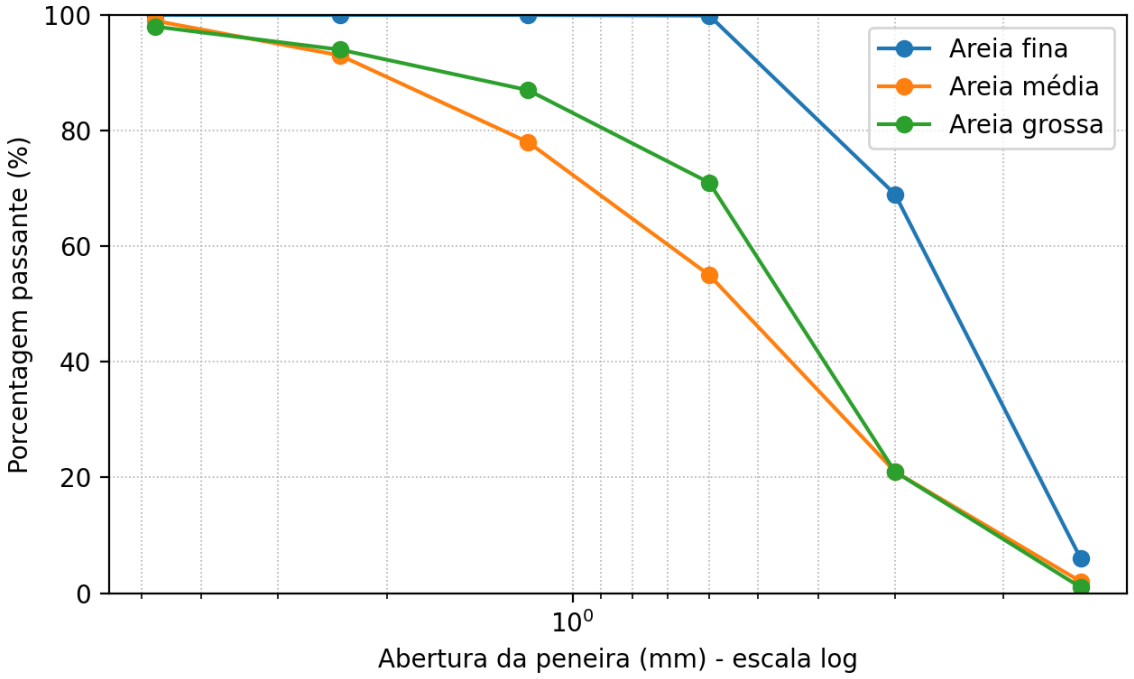
A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros físicos e granulométricos das areias avaliadas. Observa-se que a areia média apresentou a maior massa unitária (1,53 g/cm³), enquanto a areia grossa apresentou a menor (1,09 g/cm³), indicando diferenças de empacotamento e de conteúdo de vazios no estado seco. O módulo de finura variou de 1,25 (areia fina) a 2,52 (areia média).

Tabela 2 – Características físicas e granulométricas dos agregados miúdos.

Parâmetro	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Massa específica (g/cm³)	2,62	2,62	2,62
Massa unitária (g/cm³)	1,46	1,53	1,09
Dimensão máxima característica (mm)	0,60	4,80	4,80
Módulo de finura	1,25	2,52	2,28
Retida acumulada a 4,75 mm (%)	0	1	2
Retida acumulada a 2,38 mm (%)	0	7	6
Retida acumulada a 1,18 mm (%)	0	22	13
Retida acumulada a 0,60 mm (%)	0,1	45	29
Retida acumulada a 0,30 mm (%)	31	79	79
Retida acumulada a 0,15 mm (%)	94	98	99

A Figura 1 ilustra as curvas granulométricas dos agregados miúdos utilizados.

Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados miúdos (porcentagem passante em função da abertura de peneira). Fonte: do autor.



A Tabela 3 resume as características do agregado graúdo (brita 0) utilizado na dosagem. Os resultados de granulometria indicam uma dimensão máxima característica de 9,5 mm, compatível com o sistema de dosagem adotado.

Tabela 3 – Características físicas e granulométricas do agregado graúdo (brita 0).

Parâmetro	Brita 0
Massa específica (g/cm³)	2,84
Massa unitária (g/cm³)	1,46
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Módulo de finura	5,79
Absorção (%)	3,4
Retida acumulada a 9,5 mm (%)	1
Retida acumulada a 6,3 mm (%)	43
Retida acumulada a 4,75 mm (%)	79
Retida acumulada a 2,36 mm (%)	100

Do ponto de vista microestrutural, diferenças na distribuição granulométrica do agregado miúdo afetam a compacidade do esqueleto granular e a demanda de pasta para preenchimento de vazios. Areias com empacotamento mais eficiente tendem a reduzir a porosidade e a favorecer o desempenho mecânico, especialmente em idades mais avançadas, quando o desenvolvimento de produtos de hidratação é mais expressivo (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

4.2 Resistência à compressão axial

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão axial. Observa-se que, aos 28 dias, o Traço B (areia média) apresentou a maior resistência média (28,65 MPa), enquanto o Traço C (areia grossa) apresentou a menor (20,58 MPa). Os coeficientes de variação (CV) evidenciam maior dispersão no Traço B aos 7 dias, associada à variabilidade experimental.

Tabela 4 – Resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739:2018).

Traço	Idade (dias)	n	Resistência Média (MPa)	CV (%)
A - Areia fina	10*	6	13,78	7,45
A - Areia fina	28	3	22,34	5,17
B - Areia média	7	6	14,18	26,98
B - Areia média	28	3	28,65	13,70
C - Areia grossa	7	6	10,38	7,87
C - Areia grossa	28	3	20,58	7,60

O melhor desempenho do Traço B aos 28 dias pode ser relacionado ao empacotamento mais favorável do agregado miúdo, evidenciado pela maior massa unitária, o que tende a reduzir a fração de vazios e a concentrar a pasta de cimento em um volume mais eficiente. Por outro lado, o Traço C apresentou resistências inferiores, coerentes com a hipótese de deficiência de finos e de descontinuidade granulométrica, condições que aumentam a porosidade global e fragilizam a zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

4.3 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral, apresentada na Tabela 5, seguiu uma tendência consistente com os resultados de compressão: o Traço B apresentou maior resistência média (1,91 MPa), seguido por Traço A (1,55 MPa) e Traço C (1,24 MPa). A maior variabilidade do Traço C (CV de 13,76%) reforça a sensibilidade do concreto à granulometria do agregado miúdo.

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011).

Traço	Idade (dias)	n	Resistência média (MPa)	CV (%)
A - Areia fina	10*	3	1,55	3,32
B - Areia média	7	3	1,91	5,24
C - Areia grossa	7	3	1,24	13,76

4.4 Módulo estático de elasticidade

A Tabela 6 apresenta os módulos estáticos de elasticidade. Aos 28 dias, o Traço B apresentou o maior valor médio (36,00 GPa), seguido por Traço C (27,42 GPa) e Traço A (26,14 GPa). Aos 7 dias, os valores refletem a condição de ensaio do Traço A aos 10 dias. Registra-se a ocorrência de discrepância no Traço B aos 28 dias, fenômeno compatível com a variabilidade experimental do ensaio de módulo do concreto (MONTIJA, 2007).

Tabela 6 – Módulo estático de elasticidade (ABNT NBR 8522:2017).

Traço	Idade (dias)	n	Módulo médio (GPa)
A - Areia fina	10*	3	24,35
B - Areia média	7	3	22,96
C - Areia grossa	7	3	20,57
A - Areia fina	28	3	26,14
B - Areia média	28	3	36,00
C - Areia grossa	28	3	27,42

Em termos de implicações práticas, os resultados reforçam que a caracterização granulométrica do agregado miúdo e o controle do fornecimento são determinantes para reduzir a dispersão das propriedades mecânicas. Em concretos produzidos com traço fixo, a variação na areia pode alterar a compacidade e afetar simultaneamente a resistência e o módulo, parâmetros relevantes para o desempenho estrutural e para a avaliação de integridade em estruturas e elementos reabilitados.

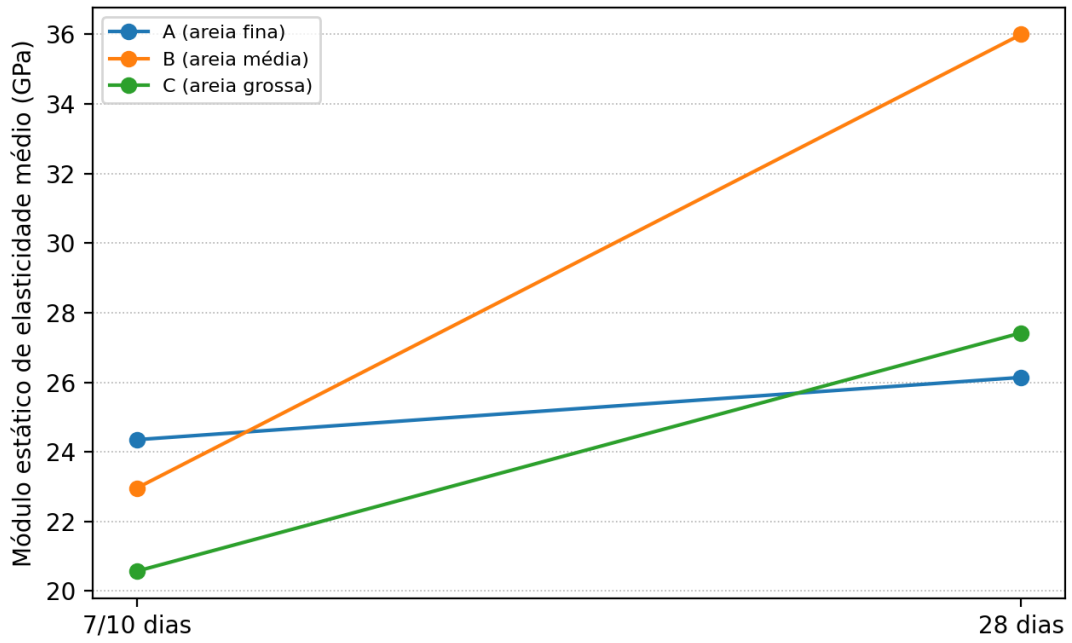
Como verificação adicional, comparou-se o módulo medido aos 28 dias com a estimativa normativa da ABNT NBR 6118, que utiliza coeficiente αE associado ao tipo de agregado graúdo. Na ausência de identificação petrográfica do agregado, adotou-se αE = 1,0 como valor de referência, observando-se que a estimativa é compatível com o Traço A, enquanto os Traços B e C apresentaram módulos superiores, sugerindo contribuição adicional de empacotamento, da qualidade da matriz e da dispersão experimental (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação entre o módulo de elasticidade medido e o estimado segundo a ABNT NBR 6118 (αE = 1,0).

Traço	fcm,28 (MPa)	E medido,28 (GPa)	É estimado NBR 6118 (GPa)	Diferença (%)
Traço A	22,34	26,14	26,47	-1,2
Traço B	28,65	36,00	29,97	20,1
Traço C	20,58	27,42	25,40	7,9

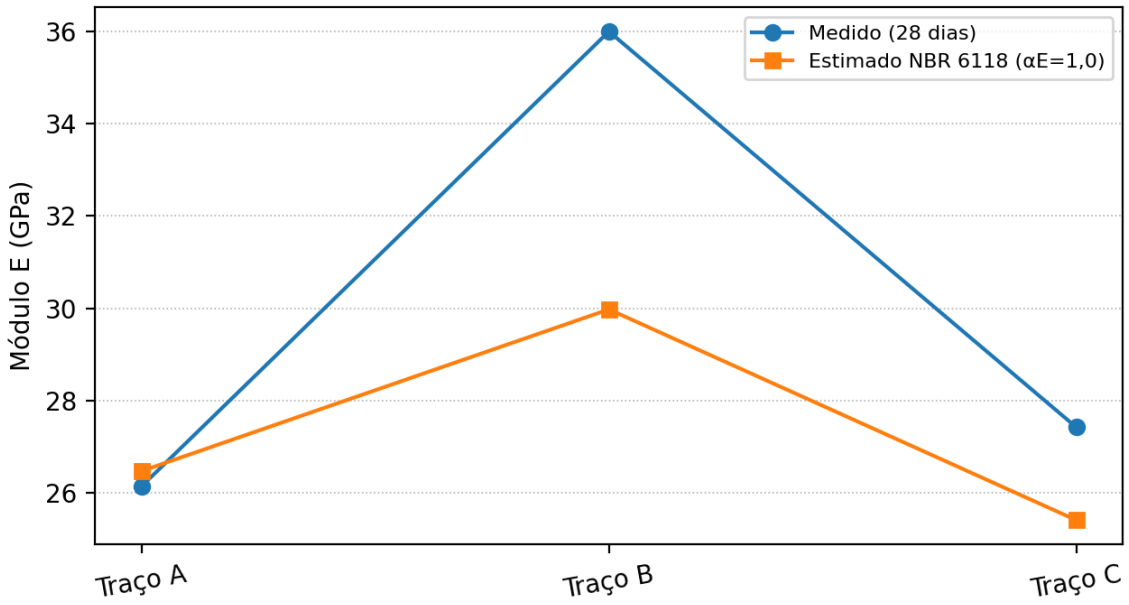
A Figura 2 apresenta o comportamento do módulo de elasticidade com base nos resultados dos ensaios.

Figura 2 - Evolução do módulo estático de elasticidade médio (7/10 e 28 dias).



Analisando a Figura 2, observa-se um aumento do módulo de elasticidade à medida que aumenta a idade de ruptura dos corpos de prova, o que atende à expectativa. Partindo da análise da influência do tipo de agregado miúdo, observa-se que a areia média apresentou melhores resultados no módulo de elasticidade aos 28 dias.

Figura 3 – Comparação entre o módulo de elasticidade medido e estimado segundo a ABNT NBR 6118 (αE = 1,0).



4.5 Implicações para controle tecnológico e variabilidade

Os resultados indicam que o agregado miúdo exerce influência relevante na resistência e na rigidez do concreto, mesmo mantendo-se o traço 1:2:3 e a relação água/cimento constantes. A comparação entre a massa unitária das areias e o desempenho médio aos 28 dias sugere tendência de aumento de fcm,28 e de E, com maior compacidade do agregado miúdo, especialmente no Traço B (Figura 4). Esse comportamento é coerente com a redução do volume de vazios e da demanda de pasta, com reflexos na porosidade da matriz e na qualidade da ITZ (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

Outro aspecto crítico observado foi a variabilidade. Enquanto o Traço B apresentou CV reduzido aos 28 dias, os ensaios em idades iniciais indicaram dispersão mais elevada, evidenciando a sensibilidade da resposta mecânica às condições de moldagem e de cura, bem como às características granulométricas. A Figura 5 sintetiza essa dispersão, reforçando que a avaliação apenas pela média pode ocultar riscos de não conformidade no controle estatístico de aceitação.

Do ponto de vista do controle tecnológico, recomenda-se que a composição granulométrica e a umidade do agregado miúdo sejam monitoradas em frequência compatível com a variabilidade do fornecedor, adotando-se ajustes de dosagem quando necessário. Diretrizes de amostragem, preparo e aceitação de concreto são discutidas na ABNT NBR 12655, sendo a rastreabilidade do agregado um elemento-chave para mitigar desvios de resistência e reduzir a probabilidade de fissuração e de patologias associadas à retração e à deformabilidade excessiva (ABNT, 2015; HELENE, 1984).

Figura 4 – Relação entre a massa unitária do agregado miúdo e o desempenho aos 28 dias (fcm e E).

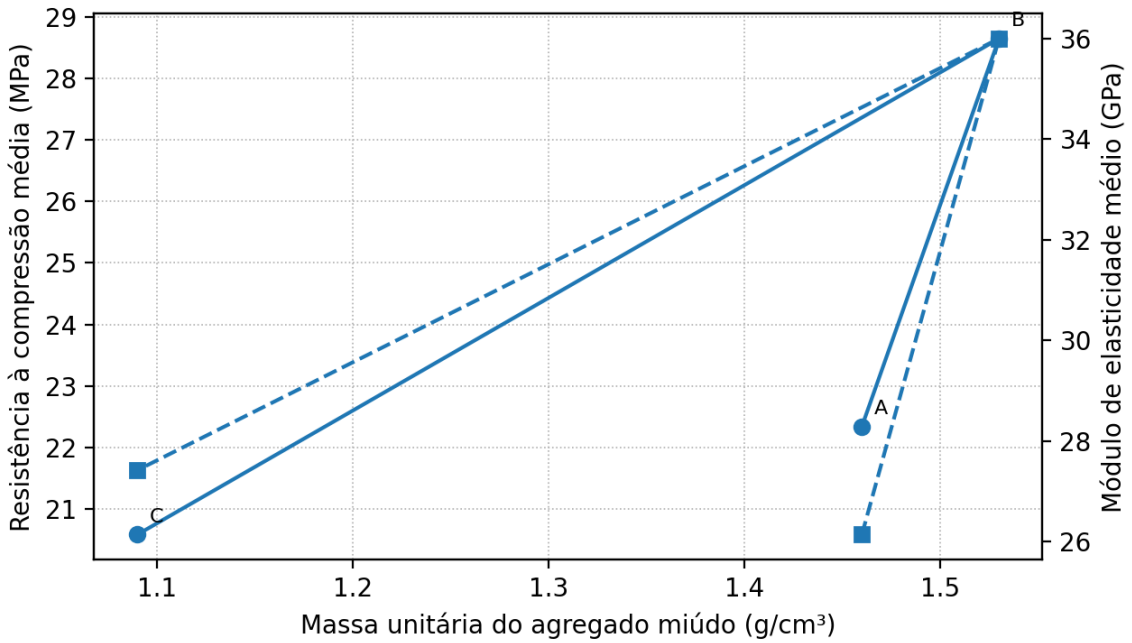
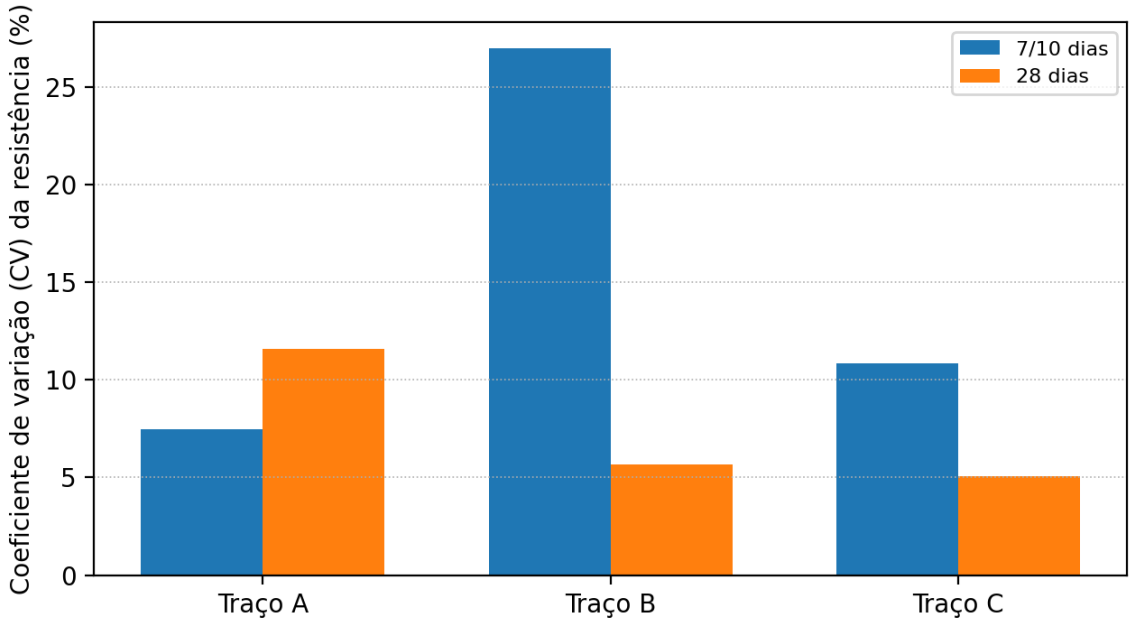


Figura 5 – Coeficiente de variação (CV) da resistência à compressão em função do traço e da idade.



5. CONCLUSÕES

Estudos experimentais e revisões mostram que a granulometria e o módulo de finura do agregado miúdo afetam diretamente o empacotamento, a demanda de água, a porosidade e, como consequência, a resistência e o módulo de elasticidade. Em geral, ajustes que melhoram a distribuição granulométrica tendem a elevar a resistência à compressão e à tração, enquanto graduações deficientes (por falta de finos ou excesso de partículas muito finas) podem reduzir o desempenho por aumento de vazios ou por maior relação a/c efetiva.

Esses mecanismos ajudam a explicar por que uma faixa intermediária de areia pode favorecer o comportamento mecânico do concreto, mas também apontam para a necessidade de controle estatístico e de variáveis de produção para obter conclusões robustas. A análise dos resultados indica que a granulometria da areia influencia as propriedades do concreto endurecido, conforme evidenciado nos gráficos comparativos. Ressalta-se que as areias empregadas foram obtidas na região de Santa Cruz do Sul – RS.

De modo geral, o concreto produzido com areia média apresentou melhor desempenho global nos ensaios realizados, quando comparado às misturas com areia grossa e fina. Esse comportamento é coerente com os resultados de caracterização dos agregados miúdos: o agregado com maior massa unitária (areia média) apresentou as maiores resistências, sugerindo maior empacotamento e menor volume de vazios na matriz.

No ensaio de resistência à compressão, a areia média apresentou os maiores valores nas idades de 7 dias (14,18 MPa) e de 28 dias (28,65 MPa). Observa-se que, aos 7 dias, a areia fina atingiu 13,78 MPa, resultado próximo ao obtido com areia média. Em contrapartida, o traço executado com areia grossa apresentou o menor desempenho, atingindo 20,58 MPa aos 28 dias. Quanto à resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova foram rompidos aos 7 dias, e verificou-se novamente a superioridade da areia média (1,91 MPa), seguida da areia fina (1,55 MPa) e da areia grossa (1,24 MPa). Registra-se que, por limitações operacionais do laboratório, os corpos de prova da areia fina foram rompidos aos 10 dias, o que deve ser considerado na comparação direta dos resultados. No ensaio de módulo de elasticidade, observou-se comportamento dependente da idade: aos 7 dias, a areia fina apresentou o maior valor (24,35 GPa) e a areia grossa, o menor (20,57 GPa); já aos 28 dias, a areia média apresentou o maior valor (36,00 GPa) e a areia fina, o menor (26,14 GPa). Os menores valores obtidos com areia grossa (especialmente em compressão e tração) podem estar associados à baixa presença de finos, com possível deficiência no empacotamento granulométrico e aumento de vazios, o que prejudica o desempenho mecânico.

Por fim, embora os resultados apontem tendência de melhor desempenho para concretos com areia média (compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade), recomenda-se aumentar o número de amostras e repetir os ensaios com maior representatividade estatística, além de padronizar rigorosamente as idades de ruptura, para fortalecer a confiabilidade das comparações e das conclusões.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 308R-01: **Guide to Curing Concrete**. Farmington Hills, 2001.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: UNESP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: **Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7222: **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8522: **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

HELENE, P. **Controle da resistência à compressão do concreto**. São Paulo: PINI, 1984.

HELENE, P. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1, cap. 26.

PACHECO, J. **Concretos convencionais**. In: HELENE, P. et al. Controle da resistência do concreto. São Paulo: IBRACON, 2013.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados naturais, produção e especificação**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. Berkeley: McGraw-Hill, 2006.

MONTIJA, F. C. **Aspectos da variabilidade experimental do ensaio de módulo de deformação do concreto**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propiedades del concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.