

Avaliação de concretos produzidos com variadas areias de mineração – Em busca de dosagens de alto desempenho e sustentáveis

Evaluation of concretes produced with different ore sands – In search of high-performance and sustainable dosages

Cheila Barbosa de Souza, Engenheira Civil.

cheila.barbosa@hotmail.com

Mariana Menezes, Mestre em Engenharia Civil.

mariana.menezes@agera.co

Resumo

A areia proveniente do beneficiamento do minério de ferro vem sendo amplamente utilizada na construção civil do Brasil, em especial nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo. Ela é utilizada como agregado miúdo na produção de argamassas, artefatos cimentícios e concreto. Com a possibilidade de produção de novas areias em diversas minas de minério de ferro no estado de Minas Gerais, o presente estudo teve o objetivo de desenvolver e analisar dosagens de concreto com variadas areias de mineração e as areias presentes no mercado industrial da região de Belo Horizonte. Foi avaliada a substituição da areia natural de rio pela areia de mineração nas dosagens de concreto e feita a análise das curvas de Abrams para as variadas dosagens desenvolvidas. Foi possível observar ganho de desempenho nas dosagens executadas com as areias de mineração com redução de até 7% do consumo de cimento nos traços. Assim, pode-se concluir que o uso das areias de mineração na produção de concreto mostra-se eficiente, com ganhos técnicos e produtivos, impulsionando uma construção sustentável, com redução de CO₂ e promoção da economia circular na cadeia construtiva.

Palavras-chave: Areia de mineração; Dosagem de concreto; Sustentabilidade; Economia circular.

Abstract

The sand from the processing of iron ore has been widely used in civil construction in Brazil, especially in the states of Minas Gerais, Espírito Santo and São Paulo. It is used as fine aggregate in the production of mortars, cement products and concrete. With the possibility of producing new sand in several iron ore mines in the state of Minas Gerais, the present study aimed to develop and analyze concrete dosages with various ore sands and sands present in the industrial market in the Belo Horizonte region. The replacement of natural river sand with mining sand in concrete dosages was evaluated and the Abrams curves were analyzed for the various dosages developed. It was possible to observe a performance gain in the dosages carried out with ore sands, with a reduction of up to 7% in cement consumption in the mixes. Thus, it can be concluded that the use of mining sand in the production of concrete is efficient, with technical and productive gains, promoting sustainable construction, reducing CO₂ and promoting the circular economy in the construction chain.

Keywords: Ore sand; Concrete dosage; Sustainability; Circular economy.

1. Introdução

O uso de agregados na construção civil, incluindo areia, triplicou nas últimas duas décadas, com um consumo aproximado de 50 bilhões de toneladas por ano e com um indicativo ainda mais crescente acompanhando o crescimento das grandes cidades e da população (UNEP, 2019). A UNEP recomenda que a areia seja reconhecida como um recurso estratégico devido à alta demanda pelo produto no desenvolvimento da construção civil.

Com o consumo em alta, há indicações de que esse recurso pode virar um problema crítico para a sustentabilidade com extração superior à capacidade natural de abastecimento, além de problemas com erosões dos leitos dos rios e alteração da biodiversidade local. Considerado como um ponto de preocupação mundial, cresce a demanda pela sustentabilidade na extração e consumo de areia, ao ponto que a 4ª Assembleia Ambiental das Nações Unidas solicitou a identificação e conhecimento de ações para sustentabilidade na cadeia produtiva de recursos minerais. Resoluções com essa finalidade visam incentivar todos os envolvidos na busca pelo desenvolvimento sustentável e melhores práticas, além da conscientização sobre os impactos e riscos oriundos da extração não regulamentada (GOLEV, Artem et al. 2022).

Nesse cenário, o beneficiamento do minério de ferro que consiste na moagem e concentração, principalmente por flotação ou separação magnética, gera um rejeito arenoso. Segundo dados da FEAM (2020), o estado de Minas Gerais gera cerca de 290 milhões de toneladas de rejeitos e materiais estéreis na atividade de mineração.

A areia da mineração oriunda do processo de beneficiamento do minério de ferro é considerada um coproduto e possui em sua composição aproximadamente 88% de sílica e 12 % de hematita. Em um passado recente, esse material era depositado em pilhas e barragens de rejeitos, sendo considerado um passivo ambiental. A areia de mineração é considerada fina em relação aos agregados utilizados em concreto e com grãos de formato esféricos.

Pesquisas recentes apontam a viabilidade técnica e ganhos de desempenho com o uso da areia de mineração na produção de pré-moldados e concretos. A morfologia da areia proporciona melhoria no empacotamento das partículas e otimização das dosagens de concreto. É o que apresentam Faria e Menezes (2022), Bento et al. (2023) Moura et al. (2020).

Desde meados de 2021, a areia de mineração vem sendo comercializada em Minas Gerais, especialmente na região metropolitana de Belo Horizonte. Seu uso tem se mostrado efetivo na produção de concreto, argamassa, artefatos, pré-moldados entre outros. Assim, com trabalhos comprovando a eficácia do material, há novos estudos em diversas minas de minério para a produção, beneficiamento e comercialização de diversificadas areias.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi desenvolver dosagens de concreto para a produção industrial, utilizando variadas areias de mineração em substituição aos agregados normalmente utilizadas na região de Belo Horizonte e avaliar o desempenho técnico destes concretos.

2. Procedimentos Metodológicos

1.1. Materiais

Os materiais que normalmente são utilizados na produção de concreto usinado foram coletados diretamente com os fornecedores e as areias de mineração foram recolhidas nas minas onde ocorre a produção das mesmas. Após coleta, os materiais foram enviados para laboratório onde foi feita a caracterização dos agregados com os ensaios de massa específica, absorção de

água, granulometria e material pulverulento. As dosagens de concreto foram executadas com cimento Portland CP-V ARI RS (aglomerante), areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo) e aditivo plastificante polifuncional (aditivo redutor de água tipo 1 – RA1 – NBR 11768) (ABNT 2019). A Figura 1 ilustra todos os agregados que foram usados no teste e a Tabela 1 apresenta as características físicas e composição granulométrica dos agregados. Os ensaios foram executados conforme normas NBR 17054, NBR 16973 e NBR 16916 (ABNT 2022, ABNT 2021).



Figura 1: Agregados usados no estudo. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 1: Análise granulométrica dos agregados.

Peneiras (mm)	Porcentagem retida e acumulada (%)									
	A1BR	Jigue	Monjolos	V. Cobras	Liheng	Cauê	Natural de rio	Artificial gnaisse	Brita 0	Brita 1
25										
19										11,0
12,5										80,0
9,5									26,0	97,0
6,3		13,0							76,0	100,0
4,8		27,0							90,0	100,0
2,4		50,0						14,0	98,0	100,0
1,2	1,0	67,0		1,0		1,0	3,0	37,0	99,0	100,0
0,6	4,0	76,0	11,0	8,0	1,0	2,0	34,0	54,0	100,0	100,0
0,3	11,0	80,0	34,0	32,0	9,0	3,0	84,0	65,0	100,0	100,0
0,15	40,0	89,0	73,0	70,0	56,0	22,0	96,0	77,0	100,0	100,0
Fundo	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Dimensão máxima característica (mm)	0,6	9,5	0,6	1,2	0,6	0,6	1,2	4,8	12,5	25,0
Módulo de finura (%)	0,56	3,89	1,18	1,11	0,63	0,28	2,17	2,47	6,10	7,08
Pulverulento (%)	21	6,0	13,60	13,20	6,80	13,80	1,0	13,20	1,0	0,20
Massa específica (%)	2,78	3,09	3,09	3,13	2,89	2,86	2,63	2,66	2,66	2,68

Fonte: Autores.

1.2. Métodos

Inicialmente foram definidas as mesclas e composições dos agregados graúdos e miúdos que seriam utilizados nas dosagens dos concretos. Para o cálculo das dosagens foi feita a análise dos ensaios de todos os materiais estudados e definidas as mesclas de materiais, teor de argamassa de cada traço e a demanda de água. Após essa análise foram rodados em laboratório alguns traços iniciais para análise visual do estado fresco dos concretos e possíveis ajustes para melhoria de desempenho e aplicação.

Por fim, com os devidos ajustes foi possível determinar a demanda de água e argamassa de cada concreto a ser executado. Como premissa, foi definido o slump 14 cm para todos os traços e um lançamento bombeável, ou seja, para tal aplicação e abatimento, o traço tem um teor de argamassa mais alto, deve ser coeso, não apresentar desagregação/segregação e de boa trabalhabilidade. Para os traços com presença da areia de jigüe foi utilizada somente a brita 1, visto que o Jigüe tem em sua composição granulométrica 27% de material retido na peneira 4,8 mm (pedrisco). Para os demais traços foi utilizada a proporção de 85% de brita 1 e 15% de brita 0. A dosagem do aditivo polifuncional foi de 0,85% sobre o peso do aglomerante.

Com todos os parâmetros definidos, foram executadas as curvas de Abrams para verificar a resistência e desempenho de cada dosagem. Na execução das curvas foram rodados 4 traços para as variadas mesclas de areias com a/c's (relação água/cimento) diferentes: 0,450 / 0,600 / 0,750 e 0,900. Com os a/c's espaçados (baixo, intermediário e alto) foi possível construir as curvas de Abrams de forma mais precisa. Para todos os a/c's foram moldados corpos de prova para ensaio de resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias conforme NBR 5738 (ABNT 2015).

Com todas as curvas finalizadas e os resultados disponíveis, foi possível desenhar as curvas de Abrams e fazer a análise de todo o estudo para verificar quais curvas tiveram melhor desempenho no quesito resistência, demanda de água e consumo de cimento para as variadas resistências que normalmente são utilizadas na construção civil. As dosagens executadas estão apresentadas nas Tabelas 2 a 8.

Tabela 2: Dosagem 60% Jigüe + 40% A1BR.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Jigüe	A1BR	Brita 1
		kg/m ³					
60% Jigüe + 40% A1BR	0,483	448,0	217,0	3,811	527,0	352,0	922,0
	0,595	342,0	204,0	2,906	601,0	400,0	937,0
	0,732	274,0	201,0	2,333	641,0	428,0	941,0
	0,893	228,0	203,0	1,937	665,0	443,0	938,0

Fonte: Autores.

Tabela 3: Dosagem 60% Jigüe + 40% Monjolos.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Jigüe	Monjolos	Brita 1
		kg/m ³					
60% Jigüe + 40% Monjolos	0,468	441,0	206,0	3,748	597,0	398,0	892,0
	0,600	333,0	200,0	2,833	668,0	445,0	899,0
	0,776	265,0	205,0	2,251	702,0	468,0	893,0
	0,972	219,0	213,0	1,859	722,0	481,0	885,0

Fonte: Autores.

Tabela 4: Dosagem 60% Gnaisse + 40% Vale das Cobras.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Gnaisse	V. Cobras	Brita 0	Brita 1
		kg/m ³						
60% Gnaisse + 40% Vale das Cobras	0,476	452,0	215,0	3,839	503,0	336,0	138,0	781,0
	0,624	340,0	212,0	2,889	566,0	378,0	138,0	784,0
	0,774	272,0	211,0	2,315	604,0	403,0	139,0	785,0
	0,967	225,0	218,0	1,912	623,0	415,0	137,0	778,0

Fonte: Autores.

Tabela 5: Dosagem 60% Gnaisse + 40% Liheng.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Gnaisse	Liheng	Brita 0	Brita 1
		kg/m ³						
60% Gnaisse + 40% Liheng	0,471	453,0	214,0	3,852	490,0	326,0	138,0	782,0
	0,630	340,0	214,0	2,887	549,0	366,0	138,0	782,0
	0,827	269,0	222,0	2,285	578,0	385,0	137,0	774,0
	0,947	226,0	214,0	1,924	608,0	405,0	138,0	782,0

Fonte: Autores.

Tabela 6: Dosagem 60% Gnaisse + 40% Natural de rio.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Gnaisse	Natural de rio	Brita 0	Brita 1
		kg/m ³						
60% Gnaisse + 40% Natural de rio	0,450	458,0	206,0	3,891	477,0	318,0	139,0	790,0
	0,612	342,0	209,0	2,907	533,0	355,0	139,0	787,0
	0,765	274,0	209,0	2,325	567,0	378,0	139,0	787,0
	0,900	229,0	206,0	1,946	593,0	395,0	139,0	790,0

Fonte: Autores.

Tabela 7: Dosagem 60% Gnaisse + 40% Cauê.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Gnaisse	Cauê	Brita 0	Brita 1
		kg/m ³						
60% Gnaisse + 40% Cauê	0,472	453,0	214,0	3,851	448,0	299,0	147,0	835,0
	0,654	337,0	220,0	2,864	503,0	336,0	146,0	829,0
	0,781	272,0	213,0	2,314	544,0	363,0	148,0	837,0
	0,967	225,0	218,0	1,915	564,0	376,0	147,0	831,0

Fonte: Autores.

Tabela 8: Dosagem 60% Gnaisse + 40% A1BR.

Mescla	A/C	CP-V	Água	Aditivo	Gnaisse	A1BR	Brita 0	Brita 1
		kg/m ³						
60% Gnaisse + 40% A1BR	0,480	452,0	217,0	3,839	467,0	311,0	141,0	797,0
	0,612	342,0	209,0	2,906	530,0	354,0	142,0	805,0
	0,738	276,0	203,0	2,342	570,0	380,0	143,0	811,0
	0,888	229,0	204,0	1,951	593,0	395,0	143,0	810,0

Fonte: Autores.

3. Apresentação e Análise dos Resultados

Inicialmente, foi feita a análise granulométrica de todas as mesclas de areias e das britas que foram executadas nas dosagens dos concretos. As mesclas de areias onde há a presença do jigue e da areia natural ficaram com uma granulometria mais grossa quando comparadas às demais mesclas. As Figuras 2 e 3 indicam os limites e as zonas utilizáveis de granulometrias, dispostas na norma NBR 7211 (ABNT 2022) comparados com todos os agregados usados nesse estudo. Algumas mesclas de areias ficaram fora desses limites e as britas mescladas ficaram próximas do limite superior estabelecido para a zona granulométrica 9,5/25 mm. Mas, conforme ressalta a norma em questão, os agregados com distribuição granulométrica diferentes dos limites estabelecidos podem ser usados desde que estudos prévios de dosagem de concreto comprovem a aplicabilidade dos materiais.

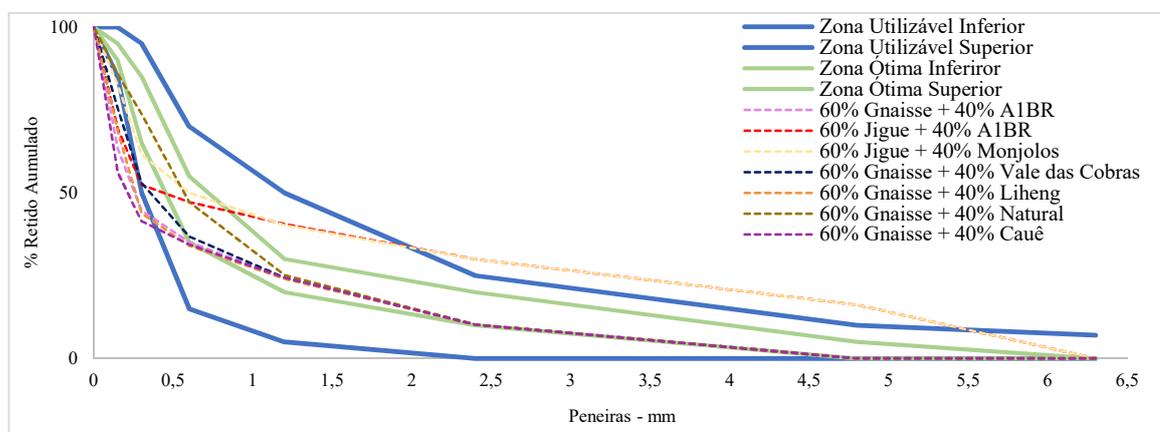


Figura 2: Granulometria de agregados miúdos comparativa com NBR 7211. Fonte: elaborado pelos autores.

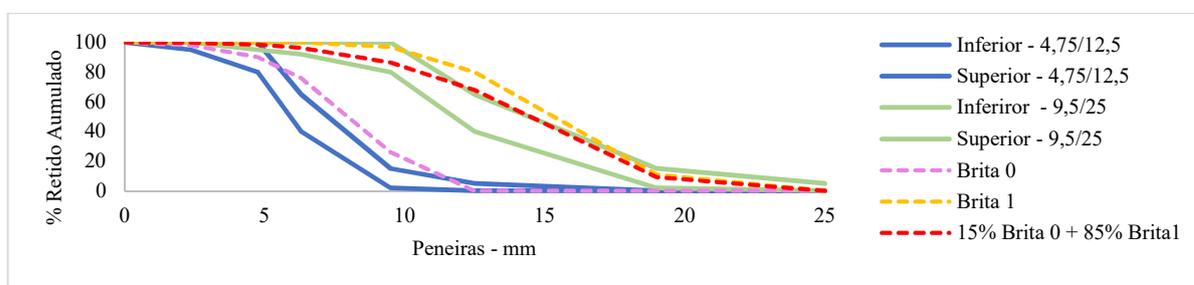


Figura 3: Granulometria de agregados graúdos comparativa com NBR 7211. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 9 mostra o comparativo de todas as curvas executadas nesse estudo para as dosagens de concreto no estado fresco. As curvas com uma demanda de água mais alta foram as de 60% Gnaisse + 40% Cauê e 60% Gnaisse + 40% Liheng. As curvas com menor demanda de água foram as curvas com a areia jigue. Conforme demonstra a Tabela 1, esse material tem uma curva granulométrica ampla, que abarca faixas granulométricas tanto de brita 0 como de areia grossa, o que contribuiu para um bom empacotamento de partículas dos agregados.

Ao analisar o teor de argamassa necessário para cada dosagem, observa-se que a curva com a areia Cauê possui um menor teor de argamassa devido à própria característica do material, que tem granulometria fina e com isso possibilita que a dosagem do concreto tenha uma argamassa mais baixa de forma que sua reologia fique adequada. Já a curva com 60% Jigue + 40% Monjolos foi a que demandou um teor de argamassa mais alto, pois como a granulometria dos agregados miúdos é mais grossa, para uma dosagem adequada e com reologia apropriada, o concreto demanda uma argamassa alta.

Tabela 9: Curvas de Abrams - comparativo do estado fresco das dosagens.

Curvas de Abrams	Média de demanda de água (litros)	Ar incorporado (%)	Teor de argamassa (%)	Slump final (cm)
60% Jigue + 40% A1BR	206,3	1,6	56,0	14,0
60% Jigue + 40% Monjolos	206,0	2,7	58,0	14,0
60% Gnaisse + 40% Vale das Cobras	214,0	3,9	56,0	14,0
60% Gnaisse + 40% Liheng	216,0	3,2	56,0	14,0
60% Gnaisse + 40% Natural de rio	207,5	4,4	56,0	14,0
60% Gnaisse + 40% Cauê	216,3	5,1	53,0	14,0
60% Gnaisse + 40% A1BR	208,3	3,9	55,0	14,0

Fonte: Autores.

Com os ensaios de resistência à compressão axial finalizados, as curvas de Abrams foram desenhadas a partir das resistências obtidas em cada idade e suas respectivas relações água/cimento. As curvas foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados com o coeficiente de determinação R^2 acima de 0,98. A Figura 4 indica as curvas desenhadas na idade 28 dias. Percebe-se que todos os concretos com os agregados da mineração tiveram desempenho superior ao concreto referência 60% gnaisse + 40% natural.

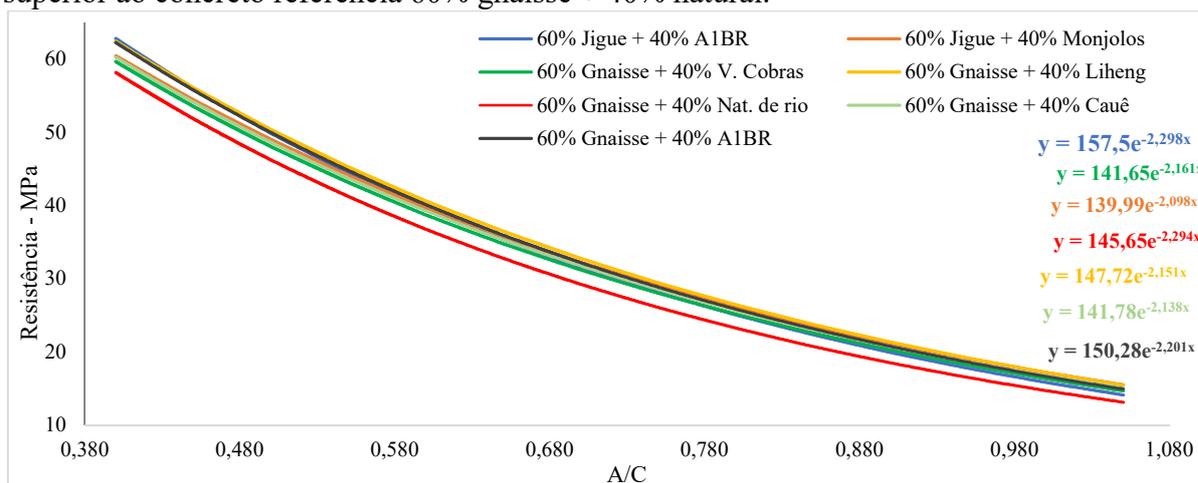


Figura 4: Curvas de Abrams - 28 dias. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 10 mostra o crescimento médio de resistência entre a idade de 7 e 28 dias de cada curva executada nesse estudo. As curvas onde há a presença dos agregados de mineração apresentaram melhores crescimentos quando comparados com a curva referência de areia gnaisse e natural, que teve o menor crescimento de resistência entre 7 e 28 dias.

Tabela 10: Crescimento de resistência à compressão.

Curvas de Abrams	Média de demanda de água (litros)
60% Jigue + 40% A1BR	41,0%
60% Jigue + 40% Monjolos	43,0%
60% Gnaisse + 40% Vale das Cobras	43,0%
60% Gnaisse + 40% Liheng	26,0%
60% Gnaisse + 40% Natural de rio	23,0%
60% Gnaisse + 40% Cauê	32,0%
60% Gnaisse + 40% A1BR	32,0%

Fonte: Autores.

A partir das curvas executadas e da demanda de água para cada mistura, foi possível estimar o consumo de cimento para algumas classes de resistência comumente utilizadas na construção civil. Foi utilizado o desvio-padrão 4 e condição de preparo do concreto A, conforme ABNT 12655 (ABNT 2022). Conforme Figura 5, as curvas que apresentaram o menor consumo de cimento para um metro cúbico de concreto produzido, considerando as várias faixas de fck calculadas foram as curvas com a areia de jigüe e a curva com 60% gnaisse + 40% A1BR. A curva com o maior consumo de cimento foi a de 60% gnaisse + 40% natural.

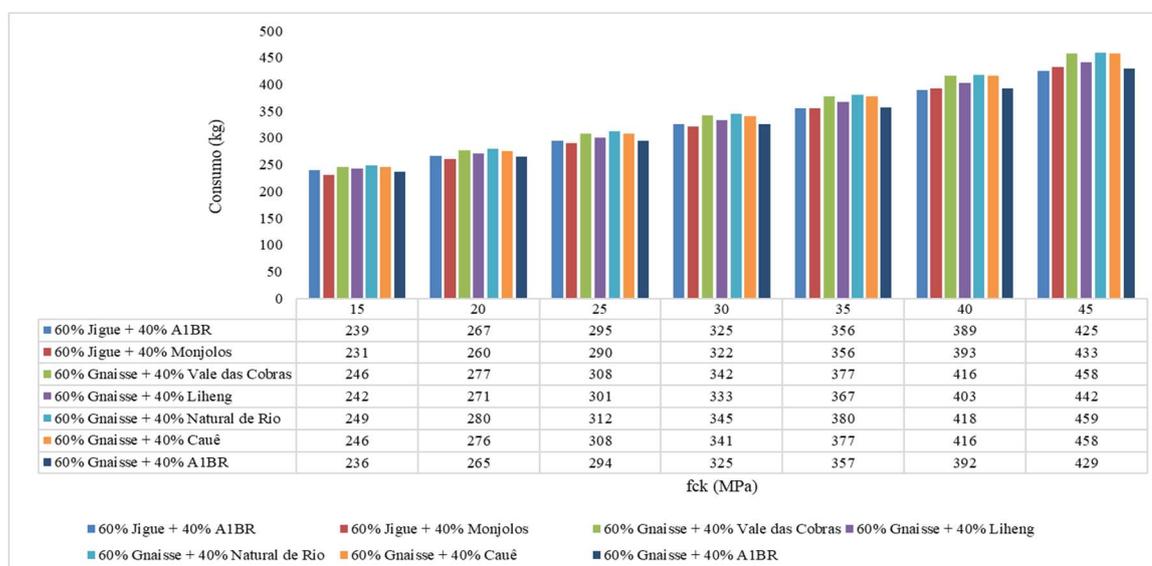


Figura 5: Consumo de cimento/m³ de concreto produzido. Fonte: elaborado pelos autores.

4. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo avaliar o uso de diversas areias de mineração na produção de concreto para verificar possíveis ganhos de desempenho, trabalhabilidade e redução de custos. Os resultados apresentados foram positivos e com as curvas de Abrams desenvolvidas foi possível verificar que todas as mesclas executadas com areia de mineração tiveram desempenho superior quando comparadas com a referência executada com areia natural e artificial gnaisse. Há um destaque para 3 curvas que tiveram desempenhos muito parecidos e superiores às demais curvas executadas: as duas curvas com jigüe e a curva com 60% gnaisse mais 40% A1BR. Essas curvas apresentaram uma redução de até 7% do consumo de cimento, o que representa em média, 24 quilos de cimento a menos na execução dessas dosagens.

As dosagens de concreto avaliadas no estudo alcançaram até 1.203kg/m³ de agregados provenientes do beneficiamento de minério de ferro em seu traço. A produção de concretos com esse teor expressivo de materiais que de outra maneira seriam descartados se mostra como um avanço relevante para a circularidade da construção. Vale destacar que, pelo estudo, não foi encontrado nenhum limitante para o uso amplo destes materiais, em diversos tipos de concreto, sendo uma solução escalável para o setor. Para além do alto teor de substituição de agregados no traço, os agregados permitiram redução no consumo de cimento dos traços, material que está diretamente associado ao impacto em mudanças climáticas do concreto.

Sabendo-se da importância da sustentabilidade na construção civil, da busca por materiais de origem controlada, com qualidade e que não degradem o meio ambiente, o uso da areia de mineração na produção de concreto se mostra eficiente, com ganhos de desempenho técnico e produtivos, impulsionando uma construção sustentável, com redução de CO₂ e promoção da economia circular na cadeia construtiva.

Referências

- [1] UNEP. Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources: synthesis for policy makers. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2019.
- [2] GOLEV, Artem et al. Ore-sand: A potential new solution to the mine tailings and global sand sustainability crises. The University of Queensland & University of Geneva, 2022.
- [3] Fundação estadual do meio ambiente – FEAM. Dados econômicos. Reporte Final, 2020.
- [4] FARIA, Filipe; MENEZES, Mariana. Redução no consumo de cimento do concreto através da utilização da areia de mineração. Congresso Brasileiro do Concreto, 2022, Anais do 63º Congresso Brasileiro do Concreto, Brasília, 2022.
- [5] BENTO, Luciano et al. Increasing circularity and material efficiency using ore sand in concrete -A Brazilian case study. The 16th International Congress on the Chemistry of Cement 2023, Bangkok, Thailand, 2023.
- [6] MOURA, Igor et al. Avaliação do desempenho de pavers fabricados com areia proveniente da exploração de minério de ferro. Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2020.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019, 5 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022, 3 p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16973: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021, 2 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021, 4 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 4 p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022. 5 p.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022, 9 p.