



Impacto do teor de ferro do agregado miúdo na cor e na resistência mecânica de argamassas

Impact of the iron content of the fine aggregate on the color and mechanical strength of mortars

Filipe Soares de Faria (1), Mariana Figueira Lacerda de Menezes (2)

(1) *Doutorando em Engenharia Civil, Centro Tecnológico de Soluções Sustentáveis – Vale*

(2) *Mestra em Engenharia Civil, Centro Tecnológico de Soluções Sustentáveis – Vale
Rua Vinte e Um, 209, Quadra 15-B, Lote 1 e 2, Mantiqueira, Duque de Caxias, RJ, CEP: 25250-6111*

Resumo

As areias provenientes da mineração do ferro já começaram a ser utilizadas pela construção civil. Além desse tipo de areia possuir características granulométricas e morfológicas benéficas ao concreto e argamassas, a utilização desse tipo de agregado contribui para a redução da exploração de recursos naturais. Entretanto, um receio do setor é que a presença de ferro nesse tipo de areia traga algum comprometimento das características mecânicas e estéticas dos concretos e argamassas. O estudo do impacto do teor de ferro nos materiais cimentícios não é usual, visto que as areias empregadas até então na construção civil continham teores irrelevantes de ferro. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é verificar a influência do teor de ferro na resistência à compressão e na cor de argamassas que utilizam a mescla de 50% de areia artificial ou natural e 50% de areia de mineração. Para isso, foram produzidas argamassas de proporção 1:6. Foi possível observar que o impacto do teor de ferro na cor das argamassas é maior no estado fresco que no estado endurecido e que as características mecânicas podem ter leve alteração dependendo do teor de ferro.

Palavra-Chave: Areia da Mineração, Argamassa, Teor de Ferro

Abstract

The sands from iron mining have already started to be used in the civil construction industry, as in addition to having granulometric and morphological characteristics that are beneficial to concrete and mortar, the use of this type of aggregate contributes to reducing the exploitation of natural resources. However, one of the industries' fears is that the presence of iron in this type of sand may compromise the mechanical and aesthetic characteristics of concretes and mortars. The study of the impact of iron content on cementitious materials is not usual since the sands used so far in civil construction contained irrelevant iron contents. Thus, the objective of this work is to verify the influence of iron content on the compressive strength and aesthetic appearance of mortars using a mixture of 50% natural or artificial sand and 50% mining sand. For this, mortars for settlement were produced (1:6). It was possible to observe that the aesthetic impact is greater in the fresh state than in the hardened state and that the compressive strength was not highly affected.

Keyword: Mining Sand, Mortar, Iron Content



1 Introdução

O uso da areia da mineração em materiais da construção civil, como concretos e argamassas, tem se mostrado, não apenas viável, mas também complementar aos agregados atualmente empregados na região sudeste do Brasil. Os estudos que analisam as propriedades mecânicas em concretos (KURANCHIE et al., 2015; MENDES PROTASIO et al., 2021; MENEZES et al., 2020; SHETTIMA et al., 2016), argamassas (LIU et al., 2015) e elementos pré-moldados (MOURA et al., 2020), mostraram que a substituição da areia natural pela areia proveniente da mineração acarretou em impactos positivos ou neutros. Devido às suas características, a areia proveniente da mineração tem sido rapidamente adotada pelo mercado. Entretanto, uma variável que intriga os técnicos envolvidos no desenvolvimento dos concretos e argamassas a partir desta areia é o teor de ferro no material, pois as areias da mineração são constituídas fundamentalmente por óxidos de ferro (principalmente na forma de hematita) e sílica na forma de quartzo (MENEZES et al., 2020).

Isso se dá, pois, até o momento, o interesse científico no teor de ferro de uma areia para a construção civil foi muito baixo, quase inexistente. O baixo interesse não surpreende, pois, as areias empregadas até então, com base quartzosa, gnáissica e calcáreas, por exemplo, continham teores irrelevantes de ferro. Entretanto essa realidade mudou com a inserção das areias provenientes da exploração do minério de ferro.

As usinas de beneficiamento de minério de ferro objetivam a recuperação máxima do ferro no produto concentrado, implicando nos menores teores possíveis de ferro na areia, dado o arranjo industrial. Ainda assim, alguma proporção de ferro resta na areia, devido a ineficiências do processo e a própria natureza do mineral explorado.

É importante compreender que o teor de ferro do material influencia a cor da própria areia e, conseqüentemente, a cor da argamassa e do concreto. Esse fator se mostra fundamental para o uso arquitetônico da areia, especialmente em aplicações aparentes.

Magalhães (2020) estuda o impacto do teor de rejeito ultrafino, com alto teor de ferro, na coloração da argamassa. Ele nota que quanto maior o uso de material ultrafino mais pronunciada é a cor da argamassa. No ultrafino com maior teor de goethita, a cor tende para o avermelhado, enquanto com o maior teor de hematita tende para o amarelado. A cor da areia também é influenciada pela distribuição granulométrica e pela umidade do material. Kappel (2017) nota que, ao moer o material contendo 11% de Fe, a cor da sua argamassa se torna mais acentuada.

Desta maneira, este trabalho visa avaliar o impacto do teor de ferro na areia na resistência à compressão de argamassas, assim como a influência na cor tanto da areia quanto da argamassa dosada com esta areia.

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Para verificar a influência do teor de ferro na resistência à compressão das argamassas, produziu-se argamassas compostas por cimento CP II E 40, Areia Natural, Areia Artificial e Areia de Mineração.

As Areias de Mineração foram produzidas amostras com teores de ferro entre 5% e 15%. Para o teor de ferro de 15%, foram obtidas duas amostras, uma com uma maior presença de goethita e outra com maior presença de hematita.

2.2 Métodos

2.2.1 Determinação de cor

A determinação da cor deu-se através da utilização do espectrofotômetro DeltaVista 3.1 e *software* I7, ambos fornecidos pela empresa DeltaColor. Sendo assim, foi possível determinar para cada amostra o código de cor no espaço CIE $L^*a^*b^*$ para que fossem feitas as comparações.

De acordo com o espaço de cor $L^*a^*b^*$, o parâmetro L^* indica a luminosidade (mais claro ao mais escuro), o parâmetro a^* representa a tonalidade vermelho-verde e o parâmetro b^* a tonalidade amarelo-azul (SENAI, 2021). A Figura 1 exemplifica graficamente como essa distribuição de cores funciona.

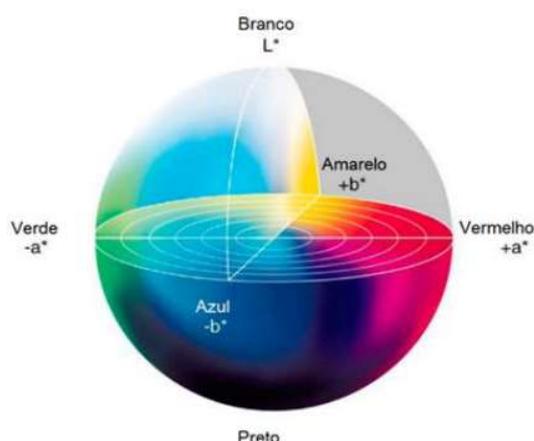


Figura 1 – Representação gráfica do espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$ (SILVA et al., 2016)

As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e uma referência. Ela indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão e são conhecidas como Deltas (SENAI, 2021), sendo expressas como:

- ΔL^* é a diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro);
- Δa^* é a diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde);
- Δb^* é a diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul);
- ΔE^* é a diferença total de cor ($\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$)

2.1.2 Areias

Além da determinação da cor, a comparação entre as areias se dará através da comparação da distribuição granulométrica, de acordo com a ABNT NBR 248 (2003), e da análise química, realizada através de espectrometria de emissão óptica por plasma (ICP – OES).

2.1.3 Argamassas

Para avaliar a influência do teor de ferro na resistência à compressão, optou-se por realizar essa avaliação em uma argamassa com proporção 1:6 (cimento: agregado miúdo) e relação água/cimento de 1,30, visto que essa proporção é de comum utilização na construção civil. Como o intuito desse trabalho é verificar a influência do teor de ferro na resistência à compressão, optou-se por utilizar como referência a argamassa composta por cimento e Areia Natural, visto que esse tipo de areia é o mais comum de ser utilizado na construção civil.

Para as argamassas compostas por duas areias, optou-se por utilizar mesclas com 50% de Areia de Mineração e 50% de Areia Natural ou Artificial. De acordo com Menezes, Moura, *et al.* (2020), nas mesclas que utilizam até 50% de Areia de Mineração e 50% de Areia de Mineração ou 50% de Areia Natural, há um benefício nas características mecânicas. A Tabela 1 apresenta os traços unitários utilizados.

Tabela 1 – Traço Unitário das Argamassas Estudadas

Materiais		REF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Cimento		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Areia Natural		6	3	3	3	3	-	-	-	-
Areia Artificial		-	-	-	-	-	3	3	3	3
Areia de Mineração	Areia 5% Fe	-	3	-	-	-	3	-	-	-
	Areia 10% Fe	-	-	3	-	-	-	3	-	-
	Areia 15% Fe (Hematita)	-	-	-	3	-	-	-	3	-
	Areia 15% Fe (Goethita)	-	-	-	-	3	-	-	-	3

Além da resistência à compressão, realizou-se também a comparação da cor das argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. A determinação da cor de cada amostra foi realizada seguindo o procedimento descrito na seção 2.1.1.

3 Resultados e Discussões

3.1 Areias

Os resultados da caracterização das areias são apresentados na Figura 2 e na Tabela 2. Percebe-se que a Areia de Mineração é mais fina que a Areia Natural e Areia Artificial. Sendo assim, optou-se por comparar apenas as argamassas produzidas com as mesclas e não com a argamassa apenas de Areia de Mineração.

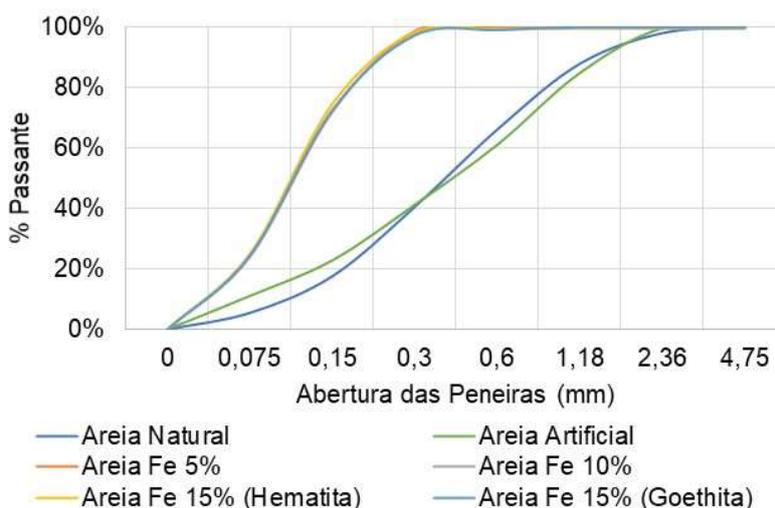


Figura 2 – Composição Granulométrica

Tabela 2 – Análise Química

Material	% Fe	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃
Areia 5% Fe	5,09	92,59	0,23
Areia 10% Fe	10,37	84,00	0,37
Areia 15% Fe (Hematita)	15,00	77,31	0,36
Areia 15% Fe (Goethita)	15,00	74,76	1,62

Através da Figura 3 é possível perceber a mudança na coloração da areia de acordo com a origem, o teor de ferro e de acordo com a umidade do material. Como já esperado, o aumento do teor de ferro acarreta no escurecimento das areias. Observa-se também enquanto há uma maior presença de hematita, a areia possui um tom amarelo acinzentado, enquanto a presença de goethita confere a areia um tom marrom avermelhado.

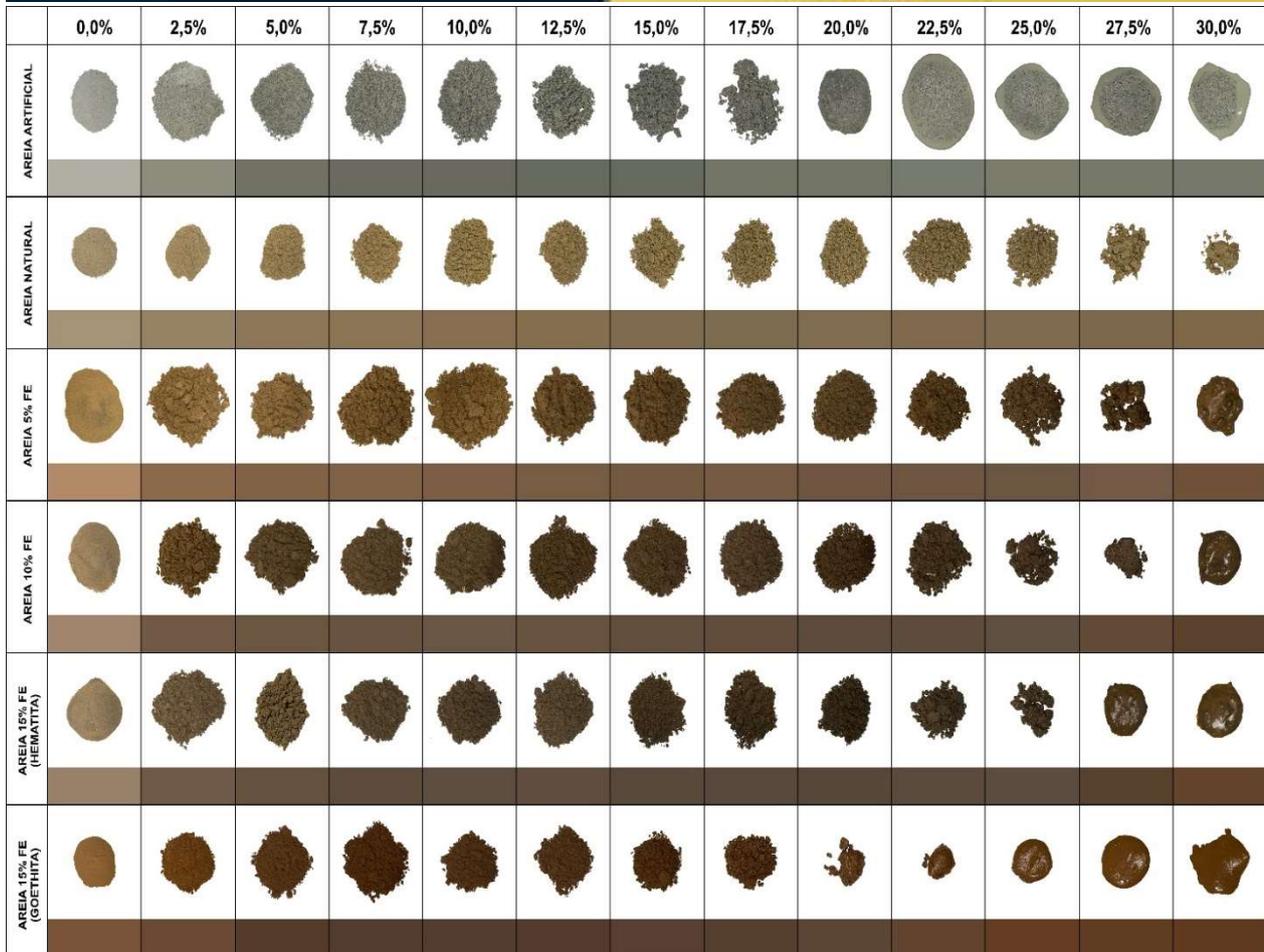


Figura 3 – Mudança da coloração de acordo com a origem, teor de ferro e umidade

Através da Tabela 3, observa-se que a coloração das Areias da Mineração é mais próxima da Areia Natural do que da Artificial. Sendo assim, a escolha de utilizar mesclas de Areia da Mineração e Areia Artificial, potencializa a percepção de variação de cor devido a presença de ferro na areia.

Tabela 3 – Coloração das areias no sistema L*a*b

		Areia 4% Fe	Areia 10% Fe	Areia 15% Fe (Hematita)	Areia 15% Fe (Goethita)	Areia Natural	Areia Artificial	
L*		60,78	57,5	55,2	39,38	47,13	71,15	
a*		11,28	7,39	6,19	12,02	5,66	-0,7	
b*		24,2	16,51	15,68	22,1	18,64	4,77	
Referência	Areia Natural	ΔL^*	-13,65	-10,37	-8,07	7,75	-	-24,02
		Δa^*	-5,62	-1,73	-0,53	-6,36	-	6,36
		Δb^*	-5,56	2,13	2,96	-3,46	-	13,87
		ΔE	15,77	10,73	8,61	10,61	-	28,46
	Areia Artificial	ΔL^*	10,37	13,65	15,95	31,77	24,02	-
		Δa^*	-11,98	-8,09	-6,89	-12,72	-6,36	-
		Δb^*	-19,43	-11,74	-10,91	-17,33	-13,87	-
		ΔE	25,07	19,74	20,52	38,36	28,46	-

3.2 Argamassas

Através dos dados de resistência à compressão apresentados na Figura 4, podemos perceber que as argamassas que possuem Areia de Mineração e Areia Natural (A1 a A4) atingiram resistência à compressão superior a argamassa com apenas Areia Natural (REF). Isso ocorre devido a uma melhora no empacotamento, onde a Areia de Mineração, por ser mais fina, preenche os vazios da Areia Natural. As argamassas com Areia de Mineração e Areia Artificial (A5 a A8) atingiram resistência maior que as demais.

Percebe-se também que independente da outra areia que compõem a mescla (Areia Natural ou Areia Artificial), quando a Areia de Mineração tem até 15% de ferro hematítico (A1 a A3 e A5 a A7) o teor de ferro tem pouca influência na resistência à compressão. Quando o teor de ferro é 15% de ferro goethítico (A4 e A8) temos uma leve redução na resistência comparada às demais areias da mineração.

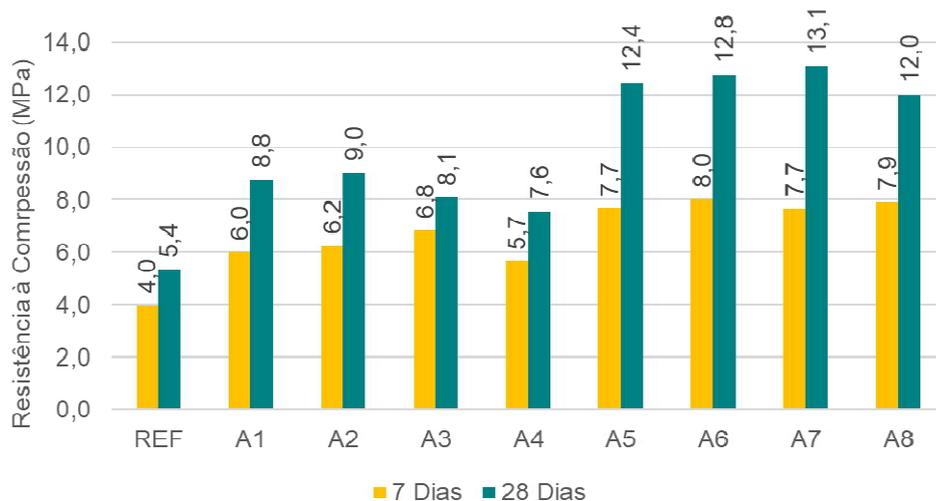
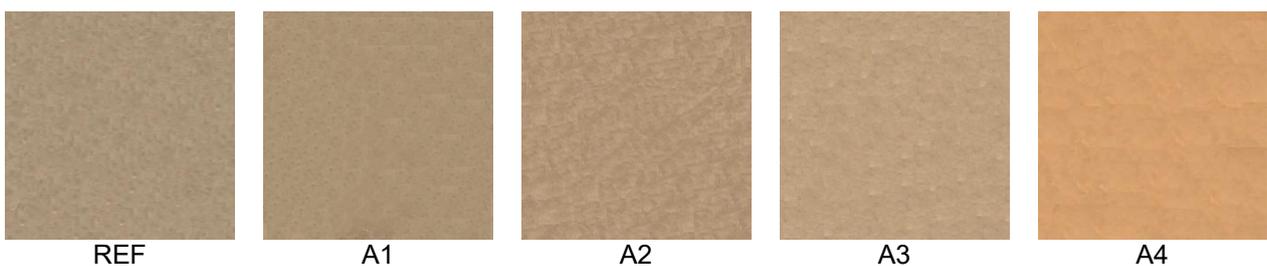


Figura 4 – Resistência à compressão das argamassas

Através da Figura 5, observa-se que no estado fresco, a mudança de coloração devido ao aumento do teor de ferro é mais acentuada para as argamassas com Areia de Mineração com 15% de ferro goethítico (A4 e A8), para outras argamassas a mudança é pouco perceptível ao compararmos as argamassas com mesclas de areia de mesma origem.



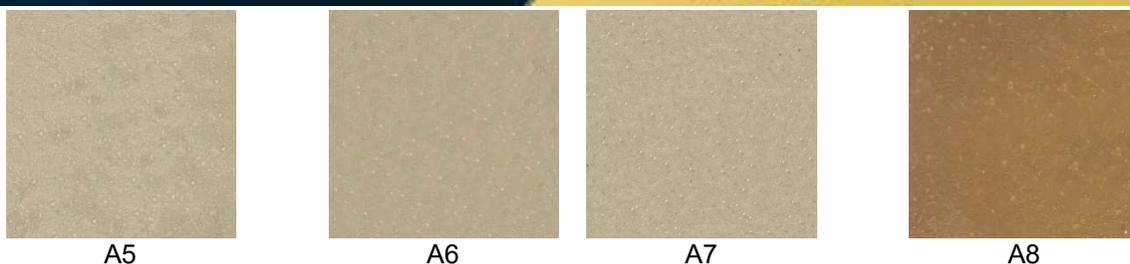


Figura 5 – Coloração das argamassas no Estado Fresco

Ao analisarmos na Tabela 4 a diferença total de cor (ΔE) para a referência, percebe-se que para um mesmo percentual de ferro, tanto a argamassa com Areia de Mineração com Areia Natural quanto a argamassa com Areia de Mineração com Areia Artificial, apresentam valores na mesma ordem de grandeza.

Tabela 4 – Coloração das argamassas no Estado Fresco no sistema L*a*b

ESTADO FRESCO	REF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
L*	43,26	45,35	39,77	36,98	29,18	39,50	35,30	36,09	28,80
a*	3,60	4,41	4,18	2,81	9,98	2,40	2,44	2,14	9,66
b*	12,81	17,69	18,36	16,96	24,05	16,57	16,47	15,64	22,39
ΔL^*	-	-2,09	3,49	6,28	14,08	3,76	7,96	7,17	14,46
Δa^*	-	-0,81	-0,58	0,79	-6,38	1,20	1,16	1,46	-6,06
Δb^*	-	-4,88	-5,55	-4,15	-11,24	-3,76	-3,66	-2,83	-9,58
ΔE	-	5,37	6,58	7,57	19,11	5,45	8,84	7,85	18,37

No Estado Endurecido, após os 28 dias de cura, percebe-se que as diferenças de cor são mais sutis do que no Estado Fresco (Figura 6 e Tabela 5), as argamassas com Areia de Mineração com 15% de ferro goethítico (A4 e A8) permanecem mais destoantes da referência.

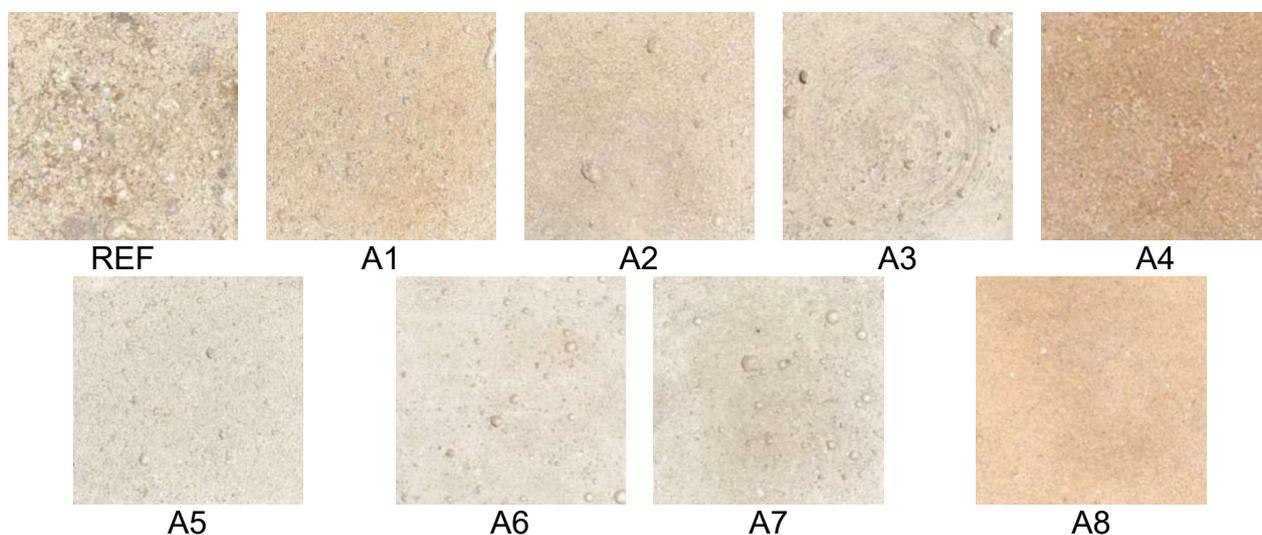


Figura 6 – Coloração das argamassas no Estado Endurecido

Tabela 5 – Coloração das argamassas no Estado Endurecido no sistema L*a*b

ESTADO ENDURECIDO	REF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
L*	65,26	61,86	60,33	61,46	51,09	65,79	67,96	67,16	50,19
a*	2,64	4,59	3,15	2,89	9,46	2,65	3,76	3,05	8,89
b*	15,23	17,10	14,35	12,97	19,22	13,99	14,24	12,88	20,58
ΔL^*	-	3,40	4,93	3,80	14,17	-0,53	-2,70	-1,90	15,07
Δa^*	-	-1,95	-0,51	-0,25	-6,82	-0,01	-1,12	-0,41	-6,25
Δb^*	-	-1,87	0,88	2,26	-3,99	1,24	0,99	2,35	-5,35
ΔE	-	4,34	5,03	4,43	16,22	1,35	3,09	3,05	17,17

4 Conclusão

Os diferentes teores de ferro presentes na Areia de Mineração apresentaram pouca influência na resistência à compressão, tanto para as mesclas com Areia Natural quanto com Areia Artificial. Quanto ao aspecto visual das argamassas, percebe-se que o teor de ferro tem um impacto maior na coloração no estado fresco do que no estado endurecido. Tanto para a mescla com Areia Artificial quanto para a mescla com Areia Natural, apenas a argamassa com 50% de Areia de Mineração com 15% de ferro goethítico apresentou coloração destoante da referência.

5 Referências

- ABNT NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ANEPAC. **Tendências para o mercado de agregados no Brasil**. São Paulo: [s.n.].
- FEAM. **Inventário de resíduos sólidos da mineração, ano base 2017**. Belo Horizonte: [s.n.].
- KAPPEL, A.; OTTOSEN, L. M.; KIRKELUND, G. M. Colour, compressive strength and workability of mortars with an iron rich sewage sludge ash. **Construction and Building Materials**, v. 157, p. 1199–1205, 2017.
- KURANCHIE, F. A. et al. Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete. **Cogent Engineering**, v. 2, n. 1, 2015.
- LIU, K. et al. An experimental study on thermal conductivity of iron ore sand cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 932–941, 2015.
- MAGALHÃES, L. F. DE et al. Iron ore tailings as a supplementary cementitious material in the production of pigmented cements. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, 2020.
- MENDES PROTASIO, F. N. et al. The use of iron ore tailings obtained from the Germano dam in the production of a sustainable concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, 2021.



- MENEZES, M. et al. **Avaliação de formulações de concreto convencional empregando distintas areias provenientes da exploração de minério de ferro.** (IBRACON, Ed.) Florianópolis: Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020
- MOURA, H. et al. **Avaliação do desempenho de pavers fabricados com areia proveniente da exploração de minério de ferro Performance evaluation of pavers made with sand from iron ore mining** *Resumo Introdução No Brasil , a produção de agregados sofreu uma forte retração nos ú.* (IBRACON, Ed.) Florianópolis: Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020
- SENAI. **ENTENDENDO O ESPAÇO DE COR L*A*B***. Disponível em: <<https://textil.sp.senai.br/5287/entendendo-o-espaco-de-cor-l-a-b>>.
- SHETTIMA, A. U. et al. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 72–79, 2016.
- SILVA, M. G. et al. Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho-da-seda. **Química Têxtil**, v. 124, n. December, p. 38–44, 2016.