USO DO RESÍDUO DA NEFELINA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081129

ROSA; LAURA PEREIRA[1]; HALTIERY; DIEGO SANTOS[2]; PEREIRA; FABIANO RAUPP[3]; ANDRADE; LUCIMARA APARECIDA SCHAMBECK [1]
[1]UNISUL-TUBARÃO; [2]IFSC-CRICIÚMA; [3]UNESC/PPGCEM.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ROSALP.LAURA@GMAIL.COM

RESUMO: É de senso comum que as atividades mineradoras, bem como a construção civil, necessitam de ações mais sustentáveis. Isso inclui novas estratégias para uso de seus resíduos sólidos. Desta forma, este trabalho utilizou o resíduo da nefelina como agregado em substituição ao natural (35%, 70% e 100%) em argamassas de assentamento. Os agregados foram analisados em relação aos principais parâmetros físicos normativos brasileiros e quimicamente por ensaio de FRX. As argamassas foram analisadas quanto à consistência, densidades, resistência à tração na flexão e à compressão. Os resultados indicaram uma viabilidade técnica para o uso do resíduo da nefelina, em substituição a areia natural.

PALAVRAS-CHAVES: Nefelina, resíduos, argamassas, sustentabilidade.

ABSTRACT: It is common sense that mining activities, as well as civil construction, need more sustainable actions. This includes new strategies for using your solid wastes. Thus, this work used nepheline waste as an aggregate to replace the natural (35%, 70% and 100%) in settlement mortars. The aggregates were analyzed in relation to the main Brazilian normative physical parameters and chemically by FRX test. The mortars were analyzed for consistency, densities, tensile strength in bending and compression. The results indicated a technical feasibility for using nepheline waste to replace natural sand.

KEYWORDS: Nepheline, wastes, mortars, sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social de um país, uma vez que proporciona milhares de empregos diretos e indiretos, movimenta o comércio com a compra e venda de materiais de construção e contribui para a elevação do PIB[(1)]. Entretanto, sabe-se que suas atividades são responsáveis por sérios impactos ao meio ambiente, devido a elevada extração de matérias-primas não renováveis, necessárias à produção de concretos e argamassas[(2)].

Em 2014, a produção de agregados para a construção, em todo o mundo foi de, aproximadamente, 45 bilhões de toneladas[(3)]. Já no Brasil, cerca de 530 milhões de toneladas de areia e brita foram produzidos em 2019, sendo atribuído ao agregado miúdo cerca de 220 milhões de toneladas[(4)]. A elevada produção de agregados naturais

para a construção preocupa, principalmente, pelos inúmeros impactos ambientais ocasionados pelas suas extrações e, também, pela escassez de reservas destes recursos não renováveis.

Atrelado a isto, os processos extrativistas das indústrias mineradoras geram uma expressiva quantidade de resíduos, provenientes da extração de maciços rochosos[5] utilizados como matérias-primas para a fabricação de diversos produtos. Estes produtos, muitas vezes, também são destinados à construção civil, como a exploração da nefelina sienito, utilizada como fundente na produção de vidros e cerâmicas[6]. Apesar das fundamentais aplicações destas matérias-primas, os resíduos da nefelina, após o beneficiamento, são dispostos em pilhas ou em barragens de contenção, podendo acarretar em graves desastres sociais e ambientais[7].

No processamento de rochas ornamentais, aproximadamente, 40% do volume do bloco processado é considerado resíduo, sendo em torno de 1,5 milhões de toneladas correspondente a resíduos finos e 1,0 milhão de toneladas a resíduos grossos, quantidades estas, geradas anualmente no país[5]. O contexto é semelhante para a nefelina sienito, visto que, durante sua extração e beneficiamento, são dispostas numerosas quantidades de resíduos arenosos representando cerca de 25% da rocha beneficiada, sendo retirados do processo[8].

Com intuito de minimizar estes impactos ambientais, deve-se incentivar o uso de materiais alternativos que possam substituir os naturais, para que se atenda a necessidade de insumos para a construção civil, ao mesmo tempo que contribua para a redução dos resíduos oriundos da extração destas rochas[9,10].

Neste contexto, este trabalho objetivou a utilização do resíduo proveniente do beneficiamento da nefelina sienito, como substituição ao agregado miúdo para a produção de argamassas de assentamento. Espera-se, que o resíduo seja uma alternativa oportuna e promissora para a redução do consumo de matérias-primas não renováveis e, principalmente, para o aproveitamento do resíduo do beneficiamento da rocha, promovendo, assim, um desenvolvimento mais sustentável da construção civil e da mineração de nefelina.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais utilizados

Para a realização do programa experimental, utilizou-se como agregados o resíduo proveniente do beneficiamento da nefelina sienito, denominado Anef e areia natural lavada de leito de rio, designada Anat. O resíduo foi coletado em uma mineradora no sul de Santa Catarina e a areia natural foi proveniente de depósito de materiais de construção na cidade de Içara, Santa Catarina. Como aglomerantes para a produção das argamassas, utilizou-se um cimento Portland CP II F-32 e uma cal hidratada (CH-I), obtidos em materiais de construção.

2.2 Metodologia

A coleta do resíduo foi realizada em pontos distintos das pilhas de disposição, transportado ao laboratório, seco em estufa por 24h, em temperatura de

aproximadamente 100ºC, armazenado em bombonas plásticas devidamente fechadas e identificadas, e acondicionadas em condições laboratoriais. Da mesma forma, o agregado natural, após a coleta, também foi seco em estufa por 24h, armazenado em bombonas plásticas e acondicionado no laboratório. Na Tabela 1 estão apresentados, resumidamente, os ensaios realizados para a caracterização dos agregados, com suas respectivas normas regulamentadoras, bem como o objetivo do emprego de cada ensaio. Realizaram-se três determinações para cada ensaio citado a seguir, com exceção da fluorescência de raios X, onde realizou-se apenas uma determinação.

Propriedade	Referência	Objetivo
Distribuição granulométrica	(11)	Determinar a curva granulométrica e o módulo de finura
Teor de material pulverulento	(12)	Determinar a quantidade de partículas menores que 75 µm
Massa específica	(13)	Determinar a densidade real dos agregados
Massa unitária	(14)	Determinar a densidade aparente dos agregados
Absorção de água	(15)	Determinar a penetração de água nos poros permeáveis
Interação entre as partículas	(16)	Associar as propriedades da massa específica e unitária
Fluorescência de raios X	-	Identificar os elementos químicos dos agregados

Tabela 1 – Ensaios de caracterização do agregado natural e do resíduo da nefelina

Para a produção das argamassas de assentamento, utilizou-se o traço em volume de 1:2:9 (cimento:cal:areia), onde os materiais foram dosados em massa, e determinou-se quatro diferentes teores de substituição do agregado natural (Anat) pelo resíduo (Anef). A Tabela 2, a seguir, expõe as nomenclaturas adotadas para cada argamassa realizada, assim como, os teores de Anat e Anef em cada dosagem. Com a finalidade de comparar igualmente a demanda de água entre os traços, fixou-se a quantidade de água de amassamento, necessária para uma consistência de, aproximadamente, 260mm para a argamassa de referência (T0), e adotou-se a mesma relação água/aglomerante (a/a), de 1,20, para as demais.

Nomenclatura	Descrição	Composição
T0	Traço com 0% de resíduo	cimento: cal: 100% Anat: 0% Anef: água
T35	Traço com 35% de resíduo	cimento: cal: 65% Anat: 35% Anef: água
T70	Traço com 70% de resíduo	cimento: cal: 30% Anat: 70% Anef: água
T100	Traço com 100% de resíduo	cimento: cal: 0% Anat: 100% Anef: água

Tabela 2 – Dosagens realizadas e nomenclaturas adotadas

As argamassas foram produzidas com o auxílio de uma argamassadeira, onde seguiu a sequência de mistura: água, aglomerantes e metade dos agregados, sendo misturados por 30s em velocidade baixa. Na sequência, adicionou-se o restante dos agregados, misturando por mais 30s em velocidade baixa. Após, as paredes e a pá do recipiente foram rasadas por 15s, e por fim, misturou-se novamente os materiais por

mais 60s em velocidade alta.

Após a mistura dos insumos, realizou-se os ensaios de índice de consistência[17] e densidade de massa[18], no estado fresco das argamassas. Para os ensaios no estado endurecido, moldou-se corpos de prova prismáticos (4cmx4cmx16cm) logo após a mistura dos constituintes, sendo essa moldagem realizada em duas camadas iguais e cada camada adensada com 30 quedas na mesa de adensamento[19]. Os corpos de prova foram mantidos em condições laboratoriais por 48h, e após esse tempo foram desmoldados e submersos em água até os 28 dias, quando foram submetidos aos ensaios de densidade endurecida[20], resistência à tração na flexão e à compressão[19]. Realizaram-se três determinações para cada ensaio citado anteriormente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos agregados

A partir das massas retidas acumuladas nas peneiras do ensaio de composição granulométrica, traçou-se as curvas da distribuição granulométrica para o resíduo (Anef) e para o agregado natural (Anat), apresentadas na Figura 1.

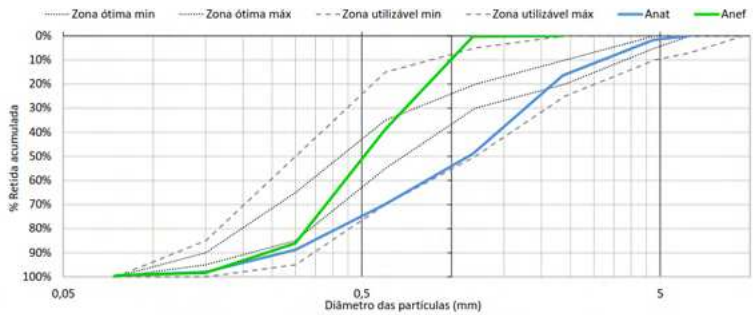

Figura 1 – Curva de distribuição granulométrica dos agregados

Fonte: Autores

Nas curvas granulométricas, percebe-se que os agregados se enquadraram completamente nas zonas utilizáveis, exceto uma fração do Anef, de aproximadamente 5% em massa, na peneira com abertura de malha de 1,18 mm, devido à carência dessa fração no resíduo. Observa-se, ainda, que as curvas do Anat e do Anef se apresentam de forma contínua e bem graduada, estando o Anef à esquerda do Anat, portanto, granulometricamente mais fino.

Na Tabela 3 estão expostos os resultados das determinações realizadas com os agregados Anat e Anef, sendo elas, a dimensão máxima característica (DMC), o módulo de finura (MF), o teor de material pulverulento (TMP), a massa específica (ME), a massa unitária (MU), a absorção de água (ABS), o índice de vazios (e), a porosidade (η) e o empacotamento (ξ).

Agregado	DMC (mm)	MF	TMP (%)	ME (g/cm³)	MU (g/cm³)	ABS (%)	e	η	ξ
Anat	2,36	3,24	3,39	2,52	1,52	0,62	0,66	39,68	60,32
Anef	1,18	2,23	2,75	2,49	1,34	0,70	0,86	46,18	53,82

Tabela 3 – Propriedades determinadas para os agregados

Os valores da DMC e do MF do Anef, 1,18mm e 2,23 respectivamente, indicam que o resíduo pode ser classificado como uma areia fina, enquanto os valores para o Anat, 2,36mm e 3,24 respectivamente, o classificam como uma areia grossa. Para o TMP, verifica-se uma menor quantidade de partículas menores que 75 µm para o Anef, de 2,75%, em relação ao Anat, com um teor de 3,39%. Geralmente, agregados provenientes de britagem, como o Anef, apresentam um elevado teor de partículas pulverulentas, em comparação aos agregados naturais[21]. Entretanto, está menor concentração de finos pode ser explicada devido a presença de aero classificadores no processo de beneficiamento da nefelina sienito, capazes de reterem com grande eficiência as partículas sólidas maiores que 1 µm. Desta forma, durante o processo de desferretização da nefelina sienito, essa fração é parcialmente recolhida pelos filtros, reduzindo, assim, a concentração no Anef.

A massa específica real dos agregados, Anat e Anef, apresentaram valores semelhantes de 2,52g/cm³ e 2,49g/cm³, respectivamente. Quanto aos resultados das massas unitárias, o Anef (1,34g/cm³) apresentou uma massa inferior ao Anat (1,52g/cm³). Em relação a absorção de água, o Anef apresentou um valor ligeiramente superior (0,70%) quando comparado com o Anat (0,62%). Os valores apresentados para massa específica, massa unitária e absorção conferem com os encontrados para as rochas comumente utilizadas na construção civil[22].

Analisando os índices físicos obtidos por relações entre as massas unitárias e específicas, observa-se que o Anef possui maior índice de vazios e porosidade e menor empacotamento, quando comparado ao Anat. Estes resultados podem refletir em uma pior mobilidade do sistema, interferindo em propriedades, como perda de fluidez e trabalhabilidade. Além disso, podem interferir em propriedades no estado endurecido das argamassas, como falta de coesão, maior porosidade, além de queda da resistência mecânica[21].

Os principais óxidos que compõem os agregados Anat e Anef, obtidos através do método de Fluorescência de Raios X (FRX), se encontram na Tabela 4, a seguir.

Agregado	Teor dos elementos (%)											
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	MnO	ZrO_2	ZnO	NbO	Rb_2O	CuO
Anat*	91,90	3,56	0,97	1,01	0,11	1,16	-	-	-	-	-	-
Anef	58,78	16,84	7,77	10,85	1,90	0,83	1,15	0,53	0,09	0,08	0,06	0,03

*Modificado de (23)

Tabela 4 – Fluorescência de raios X dos agregados

Observa-se que, o resíduo é composto majoritariamente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3) e óxido de potássio (K_2O), sendo estes quatros óxidos responsáveis por cerca de 95% da sua composição. Já o agregado natural, é composto quase que, exclusivamente, por sílica com cerca de 92% da composição. As principais diferenças entre os agregados estão no teor de sílica (≈33%), na alumina (≈13%), no óxido de ferro (≈10%) e no óxido de potássio (≈7%).

3.2 Caracterização das argamassas

Os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas, nos estados fresco e endurecido, estão apresentados na Tabela 5, sendo eles, o índice de consistência (consistência), a densidade no estado fresco (ρ_f), a resistência à tração na flexão (RT), a resistência à compressão (RC) e a densidade no estado endurecido (ρ_e). Cada ensaio foi realizado com três amostras, sendo o desvio padrão (σ) apresentado, entre parênteses, ao lado do valor médio das determinações.

Traço	Consistência (mm)	ρ_f (kg/m³)	RT (MPa)	RC (MPa)	ρ_e (kg/m³)
T0	264 (5)	2066 (0,20)	1,05 (0,11)	1,91 (0,02)	1925 (7,69)
T35	243 (6)	2030 (0,30)	1,26 (0,01)	2,16 (0,07)	1842 (2,28)
T70	196 (2)	1962 (0,10)	1,34 (0,07)	2,75 (0,04)	1802 (0,62)
T100	168 (2)	1867 (0,10)	1,04 (0,11)	1,98 (0,02)	1641 (7,81)

Tabela 5 – Resultados de caracterização das argamassas

O índice de consistência médio de 264mm, para a argamassa referência (T0), foi alcançado com a relação água/aglomerante (a/a) de 1,20. Com base neste resultado, fixou-se esta relação para os demais traços, com o intuito de permitir uma análise análoga das consistências. Observa-se, com base nos resultados, que a incorporação do Anef reduz a consistência das argamassas de forma expressiva. A distribuição granulométrica tem forte influência neste parâmetro, pois arranjos mais porosos e com pior empacotamento, bem como frações mais finas e com maior área superficial, implicam em um menor espalhamento refletindo na redução da consistência observada[24].

Os resultados das densidades de massa, no estado fresco e endurecido, também sofreram uma redução com o aumento da incorporação do Anef, que possui valores inferiores de massa específica e de massa unitária. Além disso, pode ter influência dos efeitos da distribuição granulométrica, onde observou-se para o Anef um pior arranjo de partículas, o que pode auxiliar na redução das densidades observadas, podendo também, ter proporcionado uma maior incorporação de ar[25].

No ensaio de tração na flexão, as argamassas apresentaram comportamento semelhante, tanto na tração na flexão quanto na compressão, com o aumento do teor de Anef. Observa-se, uma tendência de aumento da resistência mecânica com o incremento de até 70% de Anef e uma queda com valores acima desse. Além disso, os resultados similares entre o traço de referência (T0) e o traço com 100% de resíduo

(T100), indicam a possibilidade e a viabilidade de uma substituição total do agregado natural pelo resíduo da nefelina, em relação às propriedades mecânicas analisadas.

4 | CONCLUSÕES

De acordo com as análises realizadas e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que resíduo oriundo da nefelina sienito, Anef, possui algumas propriedades físicas semelhantes ao agregado natural Anat. No entanto, houve diferenças significativas para a massa unitária e distribuição granulométrica quais podem ter forte influência nas propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Em relação a análise química, os agregados possuem predominância por sílica e alumina, mas com concentrações distintas. Em relação ao estado fresco, as argamassas demandam maior quantidade de água para manter sua consistência, à medida que se aumenta o teor de incorporação do Anef. Ambas as densidades, no estado fresco e endurecido, também reduzem com a maior incorporação de resíduo. E por fim, os resultados mecânicos indicam uma tendência de aumento da resistência, podendo, inclusive, substituir o agregado natural integralmente pelo resíduo da nefelina. A incorporação do Anef se mostrou, inicialmente, como uma alternativa promissora como agregado para a produção de argamassas de assentamento, contribuindo também para a redução de impactos ambientais dos setores da construção civil e da mineração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas parceiras: Grupo Rio Deserto Mineração, Cerro Branco e Supremo Cimentos, pela doação dos insumos, e aos laboratórios das instituições da UNESC e do IFSC.

REFERÊNCIAS

1. VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, 13, n. 3, 2018, p. 366-377.

2. LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa**, Guarulhos (SP), 3, n. 1, jan.-jun. 2014, p. 69-84.

3. ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **O Mercado de Agregados no Brasil**. São Paulo: ANEPAC, 2015.

4. IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2020. 80p.

5. VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Lavra de rochas ornamentais**. CETEM/MCTI – Tec. de Rochas Ornamentais: Pesquisa, lavra e beneficiamento, Rio de Janeiro, 2014, p. 153 – 257.

6. JENA, S. K.; DHAWAN, N.; RAO, D.S.; MISRA, P. K.; MISHRA, B.K.; DAS, B. Studies on extraction of potassium values from nepheline syenite. **International Journal of Mineral Processing**. 133, 2014, p.13–22.

7. AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D. C.; SILVA, D. D.; CALIJURIB, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, 70, 2018, p. 63–70.

8. GUREVICH, B.I.; KALINKINA, E.V.; KALINKIN, A. M. Geopolymer binder based on mechanically acatívated compositions of magnésia-ferrous slag and nepheline. **Minerals**, 10, 2020, p. 48-65.

9. SONG, Y.; ZHANG, H. Research on sustainability of building materials. **Materials Science and Engineering**, 452, 2018, p. 1-5.

10. SANTOS, D. H. **Substituição total do agregado natural por quartzito friável para produção de argamassas mistas de assentamento e revestimento**. 128p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, 2015.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**. Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**. Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

16. CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. v. 1. 4ª ed., LTC, Rio de Janeiro, 2011.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: 2016.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

21. CARASEK, H.; GIRARDI, A. C. C.; ARAÚJO, R. C.; ANGELIM, R.; CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, 64, 2018, p. 288-300.

22. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Hasparyk. 2 ed. São Paulo, IBRACON, 2014, 782p.

23. CASALI, J. M.; MIGUEL, T. F.; FELIZARDO, C. C.; MEIRA, N. DOS S.; DOMINGUINI, L.; BETIOLI, A. M. Caracterização e influência do teor do resíduo de areia de fundição fenólica em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, 2018, p. 261-279.

24. CARASEK, H.; ARAÚJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v.21, n.3, 2016, p. 714 –732.

25. NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim Técnico da USP, São Paulo: EPUSP, 2004.