



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 22 – Ano XI – 10/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Concretos produzidos com adição de 4% e 5% de silicato de alumínio para utilização em blocos intertravados

Thayná Karen Barbosa
Graduada em Engenharia Civil – UNIPAC/MG - Brasil
Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.
<http://lattes.cnpq.br/8616101814334631>
E-mail: thaynakbarbosa@gmail.com

Prof. Dr. Stênio Cavalier Cabral
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais – UENF/RJ – Brasil
Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>
E-mail: stenio.cavalier@ufvjm.edu.br

Resumo: Este artigo apresenta os resultados de um estudo de viabilidade técnica da utilização de silicato de alumínio, resíduo da extração e exploração de lítio na confecção de concreto para utilização em blocos intertravados, com resistência mínima de 35 MPa aos 28 dias. As amostras foram moldadas adicionando silicato de alumínio no cimento nas proporções de 4% e 5% para determinar a resistência à compressão após 7, 14, 21 e 28 dias. Em comparação com os resultados das amostras de referência, foram obtidos resultados melhores nas proporções de 4% de adição. Os resultados obtidos nos experimentos mostram que o resíduo se mostra satisfatório na produção de concreto para utilização em blocos intertravados.

Palavras-chave: Concreto. Silicato de alumínio. Resíduo. Reutilização.

Introdução

A mineração encontra-se como umas das principais atividades econômicas do Brasil. Sua importância se dá na produção de riqueza mineral, bem como na geração de empregos e na participação ativa no desenvolvimento das regiões mineradoras. Embora a indústria de mineração seja muito importante para a economia, ela também tem um grande impacto no meio ambiente (ARAÚJO e FERNANDES, 2016).

Assim como a mineração a construção civil é um importante setor da economia global. No entanto, esse setor também é um grande produtor de impacto ambiental, devido ao alto uso de recursos naturais em seus insumos, à conversão da vegetação e a geração de resíduos em seus negócios, entre outros fatores (ROQUE e PIERRI, 2019).

A partir disso, se torna cada vez mais adequado encontrar alternativas de métodos e materiais sustentáveis que possam ser incorporados na construção da sociedade. Uma das alternativas apresentadas é a inclusão de resíduos sólidos em materiais de construção, pois apesar de serem descartados, muitos desses resíduos possuem grande potencial de reciclagem (OLIVEIRA, CALLEJAS e DURANTE, 2020).

De acordo com a ABNT NBR 10004 (2004): Classificação de Resíduos; os resíduos podem ser industriais, domésticos, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Considera-se como resíduo sólido qualquer material que é descartado na forma sólida ou semissólida, como resultado das atividades humanas na sociedade.

O concreto é o principal material utilizado pela construção civil e possui grande capacidade de absorção de outros resíduos industriais e de construção, podendo ser utilizados principalmente como agregados, aglomerantes ou materiais de adição (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do concreto produzido com adição de silicato de alumínio, a fim de observar os seus efeitos a partir dos resultados de resistência à compressão axial do concreto em diferentes concentrações para a utilização em blocos intertravados.

Silicato de alumínio

A atividade de extração e exploração de lítio a partir do mineral espodumênio gera o resíduo silicato de alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O resíduo (silicato de alumínio) é derivado do processo em que o espodumênio é submetido à temperatura de 1.200 °C e ácido sulfúrico (H_2SO_4) (CASTRO *et al.*, 2016).

O resíduo (silicato de alumínio) utilizado na pesquisa foi fornecido por uma empresa mineradora de lítio da região de Araçuaí-MG, Companhia Brasileira de Lítio (CBL). Para melhor entendimento do material, foram realizados alguns testes quanto as suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas.

O conhecimento a respeito das propriedades dos materiais esclarece o comportamento do produto após a aplicação (NEVILLE, 2016). Para tal, o material foi submetido ao ensaio de granulometria a laser, fluorescência de raios-X, difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Pode-se observar através da granulometria a laser que o resíduo (silicato de alumínio) em sua maioria é composto por partículas pequenas, 90% das quais passam pela peneira 47,39 μm e apenas 10% passam pela peneira 2,31 μm , como expressa a Tabela 1.

Tabela 1 - Composição granulométrica

Silicato de alumínio	Composição Granulométrica			
	2,31 μm	15,62 μm	47,39 μm	112,00 μm
	10%	50%	90%	100%

Fonte: Autoria própria (2023).

A Tabela 2 mostra os resultados da fluorescência de raios-X, na qual em sua composição química os principais óxidos que podem ser observados são o SiO_2 (57,82%), Al_2O_3 (23,65%) e CaO (7,44%). Outros óxidos também foram encontrados, mas em menor quantidade, como Fe_2O_3 (0,57%), Na_2O (0,72%) e K_2O (0,31%), o resíduo teve uma perda ao fogo de 7,57%.

Tabela 2 - Composição química das matérias-primas (% em peso)

Componente	Silicato de alumínio	Componente	Silicato de alumínio
Al_2O_3	23,653	TiO_2	0,055
CaO	7,436	Cr_2O_3	<0,05
Fe_2O_3	0,569	BaO	<0,05
K_2O	0,314	Co_2O_3	<0,05

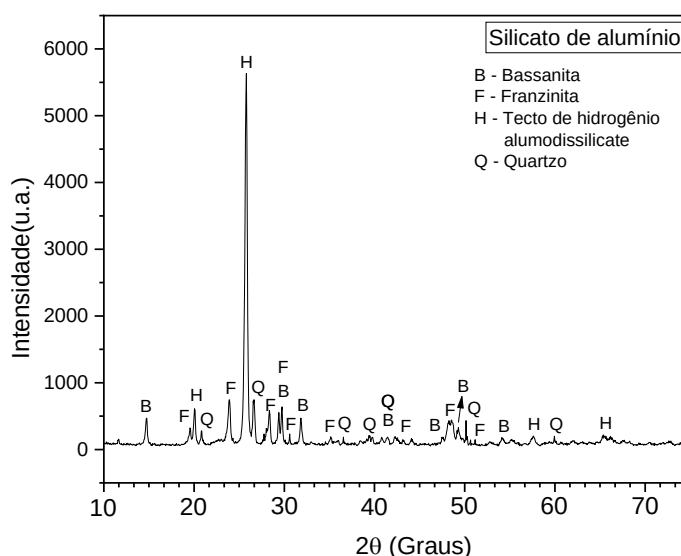
Tabela 2 - Composição química das matérias-primas (% em peso)

(continua)

Componente	Silicato de alumínio	Componente	Silicato de alumínio
MgO	0,077	SrO	0,074
MnO	0,068	ZrO ₂	<0,05
Na ₂ O	0,720	PbO	<0,05
SiO ₂	57,821	ZnO	<0,05
P ₂ O ₅	0,220	Perda ao Fogo	7,573

Fonte: Autoria própria (2023).

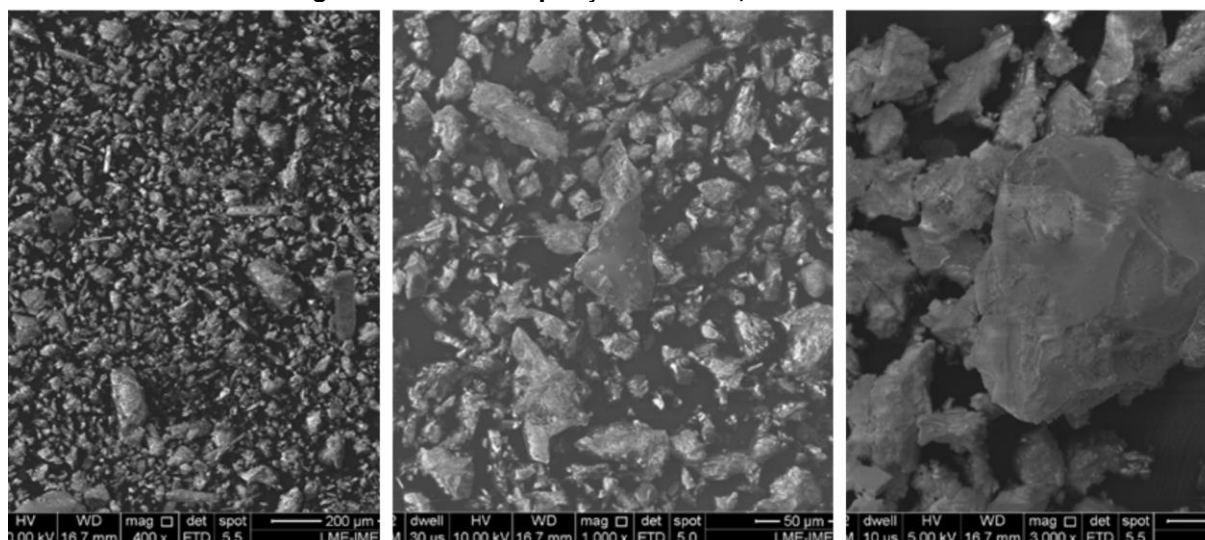
Através da difração de raios-X, como demonstrado no Gráfico 1, é possível observar as seguintes fases presentes no silicato de alumínio como bassanita, franzinita, quartzo hidrogênio aluminossilicato.

Gráfico 1 – Difração de raios-X

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da microscopia eletrônica de varredura (MEV) é possível observar o tamanho e formato das partículas do silicato de alumínio. A Figura 1 mostra micrografias do silicato de alumínio com ampliação de 400X, 1000X e 3000X. Pode-se observar que eles possuem em sua maioria partículas pequenas com formas irregulares.

Figura 1 – MEV: Ampliação de 400X, 1000X e 3000X



Fonte: Autoria própria (2023).

Blocos intertravados

Os blocos de concreto são os mais utilizados no mundo devido à sua fácil disponibilidade. Eles foram introduzidos no Brasil na década de 1970 e são feitos de areia, pedra, cimento, água e aditivos, materiais com disponibilidade limitada em todo o país (MOHAMAD *et al.*, 2015).

Os blocos são padronizados para atender propriedades básicas como resistência mecânica, peso, absorção de umidade, dentre outros, o que garante excelente estabilização do material. Assim, é crescente a utilização deste sistema construtivo tanto em alvenaria de vedação como estrutural, quanto na formação de novos profissionais que atuam neste mercado, que devem estar sempre em busca de inovações (SANTOS, 2011).

Os blocos de concreto intertravados (*pavers*) são considerados pedras sintéticas pré-fabricadas utilizadas na construção de diversos tipos de pavimentos (PEREIRA *et al.*, 2021).

A pavimentação intertravada é uma pavimentação em blocos de concreto que pode ser usada em estradas, ruas e estacionamentos. As cargas suportadas pelos blocos são distribuídas conjuntamente neles, por isso precisam de uma junta adequada, e essa junta é feita com uma camada de areia (PEREIRA, 2018).

Segundo Wiebelling (2015), os blocos intertravados podem ser de diferentes formas, cores, texturas e formatos desde que o modelo permita a colocação com base na combinação bidirecional.

Conforme Tabela 3 da ABNT NBR 9781 (2013): Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio; a resistência à compressão dos blocos deve ser $\geq$ fpk 35 MPa e $\geq$ fpk 50 MPa, dependendo do uso a que se destinam.

Tabela 3 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica a compressão aos 28 dias (Mpa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais.	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781 (2013). Adaptado.

Materiais e métodos

Este trabalho envolve um estudo analisando a resistência à compressão do concreto com adição de silicato de alumínio. A pesquisa foi realizada de forma experimental, ou seja, ensaios com corpos de prova submetidos ao teste de compressão. Os resultados gerados pelos testes de compressão foram analisados em comparação ao concreto de referência.

Para o concreto de referência foi determinado pelo método ABCP o traço unitário 1:2,13:2,5:0,45, correspondente a resistência de 35 MPa aos 28 dias, uma vez que a ABNT NBR 9781 (2013) estabelece que para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais, os blocos devem apresentar característica de $\geq$ 35 MPa aos 28 dias. A partir do traço de referência (CR), foram confeccionados os traços com 4% (CA 4) e 5% (CA 5) de adição de silicato de alumínio em relação ao cimento.

O cimento utilizado foi o cimento CPIII 40 RS (cimento Portland de alto – forno) que de acordo com a ABNT NBR 5735 (1991): Cimento Portland de alto-forno; se constitui de um material aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de altoforno, moídos ou em separado.

Para este estudo foi utilizada a areia média como agregado miúdo, que segundo a ABNT NBR 7211 (2019): Agregado para concreto – especificação; é um agregado que deve possuir grãos que passem pela peneira 4,75 mm e fiquem retidos em 150 µm.

Como agregado graúdo foi utilizado brita nº 01 que de acordo com a ABNT NBR 7211 (2019) são grãos que passam por uma peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira por abertura de malha de 4,75 mm.

As amostras de silicato de alumínio foram adicionadas nas quantidades de 4% e 5% em relação ao cimento em sua forma bruta, sem tratamentos específicos, conforme Figura 2. A água utilizada nesse experimento é proveniente do abastecimento local da cidade de Teófilo Otoni/MG.

Figura 2 – Silicato de alumínio



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a preparação das massas de concreto, foi necessário o auxílio de uma betoneira de 120 litros, os materiais foram inseridos na sequência de agregado graúdo, cimento e agregado miúdo, sendo a água adicionada aos poucos durante todo o processo de mistura.

Após a produção das massas de concreto, foram realizados os ensaios de slump test conforme as especificações da ABNT NBR 16889 (2020): Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. A Figura 3 exemplifica o procedimento do abatimento do cone e a Tabela 4 estabelece os valores encontrados, ao final do procedimento.

Figura 3 - Ensaio do slump test



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 4 – Resultado do ensaio slump test

Traço	CR	CA 4	CA 5
Resultado (cm)	6	3	9

Fonte: Autoria própria (2023).

Foram moldados 12 corpos de prova com o concreto de referência (CR), 12 corpos de prova com adição de 4% de silicato de alumínio (CA 4) e 12 corpos de prova com a adição de 5% de silicato de alumínio (CA 5), ao total 36 corpos de prova, seguindo as orientações da ABNT NBR 5739 (2018): Concreto - ensaios de compressão de corpos de prova.

Os moldes metálicos dos corpos de prova utilizados possuíam 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, conforme Figura 4. As moldagens dos corpos de prova ocorreram de forma manual, os preenchimentos dos moldes foram em duas camadas e aplicados 12 golpes em cada camada com haste metálica.

Figura 4 – Moldes metálicos



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos permaneceram protegidos de intempéries e sequentemente foram desenformados e armazenados em tanques com solução saturada de hidróxido de cálcio.

Anteriormente a realização do ensaio quanto à resistência à compressão, os corpos de prova passaram pelo processo de retificação e secagem, de acordo a Figura 5, conforme estabelece a ABNT NBR 5739 (2018): Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Para cada idade dos corpos de prova 7, 14, 21 e 28 dias foram rompidos três corpos de prova quanto à resistência à compressão.

Figura 5 – Processo de retificação e secagem



Fonte: Autoria própria (2023).

O ensaio de compressão axial avalia a resistência característica do concreto, o quanto o corpo de prova consegue resistir até o momento de sua ruptura. Todos os procedimentos do ensaio de compressão foram realizados conforme a ABNT NBR 5739 (2018): Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

A Figura 6 mostra os corpos de prova do concreto de referência rompidos pelo ensaio de compressão aos 7, 14, 21 e 28 dias, enquanto que a Figura 7 e a Figura 8 demonstram os corpos de prova com adição de 4% e 5% respectivamente.

Figura 6 – Corpos de prova após ensaio de compressão - CR



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 7 – Corpos de prova após ensaio de compressão – CA 4



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 8 – Corpos de prova após ensaio de compressão – CA 5



Fonte: Autoria própria (2023).

Resultados e discussão

As Tabelas 5 e 6 e 7 estabelecem os valores em KN, MPa e a média das resistências encontradas no ensaio de resistência à compressão. Para a utilização dos valores em MPa utilizou-se a equação (1) da ABNT NBR 5739 (2018) para a transformação de valores de KN para MPa.

$$f_c = \frac{4 F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c representa a resistência a compressão (MPa);

F a força máxima alcançada (N);

D o diâmetro do corpo de prova (mm).

Tabela 5 – Resistência à compressão – Concreto de referência (CR)

Idade	KN			MPa			
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média
07 Dias	212,9	209,7	203,4	27,11	26,70	25,90	26,57
14 Dias	274,2	254,2	260,8	34,91	32,37	33,21	33,49
21 Dias	261,5	273,1	249,4	33,30	34,77	31,75	33,27
28 Dias	311,5	262,7	281,9	39,66	33,45	35,89	36,33

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 6 – Resistência à compressão – 4% de adição (CA 4)

Idade	KN			MPa			
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média
07 Dias	200,9	188,5	192,8	25,58	24,00	24,55	24,71
14 Dias	257,5	256,6	239,8	32,79	32,67	30,53	32,00
21 Dias	278,5	286,8	290,3	35,46	36,52	36,96	36,31
28 Dias	290,9	284,3	288,1	37,04	36,20	36,68	36,64

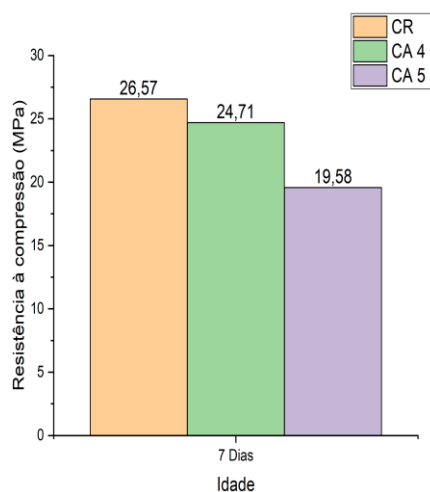
Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 7 – Resistência à compressão – 5% de adição (CA 5)

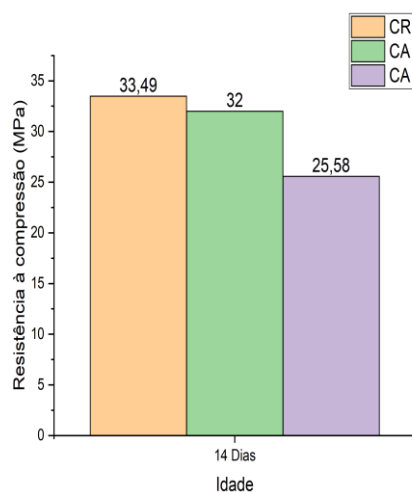
Idade	KN			MPa			
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média
07 Dias	155,5	160,9	144,9	19,80	20,49	18,45	19,58
14 Dias	204,6	192,6	205,6	26,05	24,52	26,18	25,58
21 Dias	228,1	206,2	223,8	29,04	26,25	28,50	27,93
28 Dias	230,6	188,3	209,4	29,36	23,98	26,66	26,67

Fonte: Autoria própria (2023).

Para melhor observação dos resultados, os Gráficos 2, 3, 4 e 5 expressam os valores de média das resistências nos resultados dos testes de compressão axial realizado aos 7, 14, 21 e 28 dias.

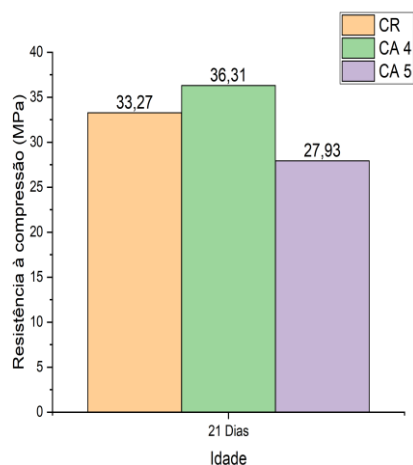
Gráfico 2 – Médias das resistências - 7 dias

Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 3 – Médias das resistências - 14 dias

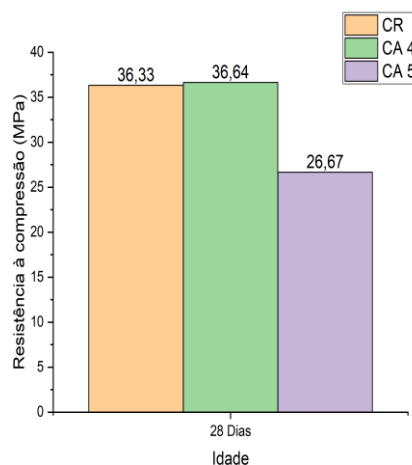
Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 4 – Médias das resistências - 21 dias



Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 5 – Médias das resistências - 28 dias



Fonte: Autoria própria (2023).

Nota-se elevação da resistência à compressão axial no traço CA 4 para todas as idades ensaiadas. O traços CR e o CA 4 apresentaram desempenhos semelhantes, diferindo-se a partir da idade de 21 dias, onde o CA 4 apresenta resultados superiores.

O CA 5 apresentou o pior desempenho, apesar da elevação da resistência média, esta não foi suficiente para trazer a resistência acima do parâmetro mínimo normativo proposto pela ABNT NBR 9781 (2013).

O CA 4 alcançou resistência superior a mínima estabelecida pela ABNT 9781 (2013) em menor período ao que diz a norma (35 MPa – 28 dias) sendo 36,31 MPa aos 21 dias e 36,64 aos 28 dias, dessa forma atendendo ao critério normativo, com viabilidade para o uso do concreto em blocos intertravados.

Conclusão

O objetivo da pesquisa foi atingido ao avaliar o comportamento do concreto produzido com o silicato de alumínio, resíduos de mineração da Companhia Brasileira de Lítio, com a finalidade de apresentar uma alternativa de utilização desses resíduos em adição ao cimento, para que o concreto fosse utilizado na produção de blocos intertravados.

Se tratando das propriedades do concreto em relação à resistência, este estudo demonstra que a incorporação da adição de 4% de resíduo de mineração ao concreto não diminuiu a resistência à compressão em comparação ao traço inicial de 35 MPa, a redução dessa resistência é encontrada no teor de adição de 5% do resíduo.

O traço com adição de 4% de resíduo conseguiu atingir a resistência estabelecida para a utilização desse concreto em blocos intertravados, os valores foram atingidos em menor período ao estabelecido pela norma aos 21 dias e com aumento de resistência aos 28 dias, atingindo assim resultados positivos ao que foi proposto.

Assim, por meio dos ensaios conduzidos, conclui-se que incorporação de silicato de alumínio a ser empregada no concreto para blocos intertravados é a de 4%. Contudo, o trabalho mostrou-se satisfatório na obtenção de informações e resultados e aumento do conhecimento sobre resíduos reciclados e/ou reaproveitados, diretamente da mineração.

Referências

ARAUJO, Eliane Rocha e FERNANDES, Francisco Rego Chaves. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. *In: Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica*. Rio de Janeiro: CETEM/CICP, 2016, p.65-88.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 - Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

CASTRO, Edicarlo Batista *et al.* *Silicato de Alumínio em Substrato para Produção de Mudanças de Corymbia citriodora*. Floresta e Ambiente, v. 23, n. Floresta Ambient., 2016 23(2), p. 229–236, abr. 2016.

MEHTA, Povindar Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, PINI, São Paulo, SP, v. 573, 1994.

MOHAMAD, Gihad *et al.* *Construções em alvenaria estrutural*. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades of concrete*. Wiley, New York, 1973. Traduzido por Cremonini. R. A. Tecnologia do concreto. 2. Ed. Porto alegre: Bookman editora Ltda., 2016.

OLIVEIRA, Isabela Pinheiro; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio e DURANTE, Luciane Cleonice. *Blocos de concretos fabricados com incorporação de resíduos sólidos: Uma revisão sistemática*. E&S – Engineering and Science, 2020.

PEREIRA, Caio. *Piso Intertravado: O que é, principais tipos, vantagens e desvantagens*. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>. Acesso em: 19 de março de 2023.

PEREIRA, Daniela Philippi *et al.* *Desenvolvimento de uma metodologia para o processo de produção de bloco de concreto*. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.13, n 2, 2021.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi e PIERRI, Alexandre Coan. *Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction*. Research, Society and Development, [S. l.], v. 8, n. 2, p. e3482703, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i2. 703. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SANTOS, Altair. *Bloco de concreto começa a virar o jogo*. Cimento Itambé, 2011. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinza/bloco-de-concreto-comeca-a-virar-o-jogo/>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. *Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na UNIVATES*. 2015. 73 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado – RS, 2015.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424