

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

VIABILIDADE DO RESÍDUO DE SCHEELITA COMO AGREGADO EM CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO E ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA MINERAÇÃO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.VII-009>

Larissa Santana Batista (*), Cícero Feliipe Diniz De Santana, Edilene Lopes Da Silva, Isadora Possidônio Angelo, Ranyelly Wellen Florentino de Oliveira.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus Pombal-PB

larissa.santana@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

No Brasil a mineração é um setor de grande importância tanto economicamente quanto socialmente, mas em contrapartida é um dos setores que mais polui o meio ambiente. A gestão adequada desses resíduos aplicando-os na construção civil, mais especificamente na área de materiais alternativos, é uma maneira de diminuir esses impactos ambientais. No presente trabalho, objetiva-se avaliar os comportamentos físicos e mecânicos de *pavers* com adição de resíduos da mineração da scheelita em substituição do agregado miúdo no concreto para fins de pavimentos intertravados. Primeiramente, foi realizada a caracterização física, química e mineralógica do resíduo, dos agregados miúdos (areia e pó de pedra) e grãos, bem como do aglomerante, de acordo com as normativas da ABNT. Em seguida, foi calculado o traço convencional, que serviu de parâmetro para comparação da substituição parcial do resíduo a partir dos resultados dos ensaios de RCS e a absorção. Verificou-se que o uso do resíduo da scheelita teve comportamento similar aos agregados miúdos convencionais quanto a sua caracterização física, podendo ser substituído em sua totalidade pelos agregados miúdos convencionais com os resultados de RCS média de 54,48MPa e com absorção média 5,46%. Conclui-se que este estudo apresenta resultado eficaz com todos os parâmetros necessários dentro das normativas, assim sendo este resíduo está apto para o uso na fabricação de concreto de forma sustentável na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: *Pavers*. Resíduos. Concreto. Resistência.

ABSTRACT

In Brazil, mining is a sector of great importance both economically and socially, on the other side, it is one of the sectors that most pollutes the environment. The proper management of this waste applied in the use in civil construction, more specifically in the area of alternative materials, it is a way to reduce these environmental impacts. In the present work, the objective is to evaluate the physical and mechanical behaviors of *pavers* with the addition of scheelite mining residues in replacement of fine aggregate in concrete for interlocking pavement purposes. First, the physical, chemical and mineralogical characterization of the residue, fine aggregates (sand and stone dust) and coarse aggregates, as well as the binder, was carried out, in accordance with ABNT standards. Secondly, the study of the conventional trace was performed, which served as a parameter for comparison of the partial replacement of the residue based on the results of the RCS tests. It was found that the use of scheelite residue had a similar behavior to conventional fine aggregates in terms of its physical characterization and could be replaced in its entirety by conventional fine aggregates with sufficient results of strength, technical and economic feasibility of the studied concrete for interlocking paving purposes.

KEY WORDS: *Pavers*. Waste. Concrete. Resistance.

INTRODUÇÃO

A extração de recursos naturais, segundo a ONU, triplicou de 1970 a 2017, com um aumento contínuo, especialmente em minerais não metálicos e metais. Projeções indicam um aumento de 110% na extração até 2060, ressaltando a necessidade de medidas para o desenvolvimento sustentável (OBERLE, 2019).

A utilização dos resíduos provenientes da mineração torna-se a cada dia uma prática bastante incentivada pelo setor da mineração. Do ponto de vista de gestão desses resíduos, do seu armazenamento, feitos em barragens de material ou em grandes pilhas, retrata um grande desafio ambiental para as mineradoras. (GONDIM, et al., 2022). Desta forma, é



crucial explorar a viabilidade do uso de resíduos de mineração como agregado no concreto, para reduzir o descarte ambiental e a exploração de agregados naturais na fabricação de blocos e pavimentação (COSTA FILHO, 2017).

A procura por um desenvolvimento sustentável nos mais variados setores possibilita avanços nas pesquisas, além do desenvolvimento de produtos que procura integrar rejeitos nos seus sistemas produtivos. Inúmeros estudos têm sido elaborados com o intuito de analisar a utilização dos rejeitos de mineração na construção civil, sobretudo na fabricação de materiais como blocos intertravados (GUIMARÃES, et al. 2018).

O consumo desses resíduos gerados pela mineração gera benefícios sociais, ambientais e econômicos, ou seja, reduzindo o custo, impacto ambiental e tratando a construção não como atividade isolada, mas sim como parte de um contexto socioambiental (BARRETO et al. 2017).

Nestes casos, a utilização dos resíduos minerais da scheelita como componente integrante do concreto com a função de suceder total ou parcialmente os agregados miúdos, pode ser vista como um modo ambientalmente aceitável, com habilidade de restringir o impacto ao meio ambiente que a mineração concebe. (FERRARI & da SILVA MANCA, 2020).

Perante o exposto, este estudo investiga a incorporação do resíduo oriundo da extração da scheelita para utilização na fabricação de concreto substituindo os agregados miúdos convencionais na produção em blocos intertravados. Está decisão promoverá de forma sustentável a aplicação desse resíduo na construção civil.

OBJETIVOS

Desenvolver uma técnica para utilizar resíduos de mineração de scheelita como agregado no concreto, mantendo ou melhorando suas propriedades físicas e mecânicas, representando uma alternativa sustentável na pavimentação.

METODOLOGIA

A seguir, estão descritos os materiais utilizados para a fabricação do concreto (cimento, água, agregado, agregado graúdo e agregado miúdo), assim como uma breve descrição do resíduo da scheelita inserido para a produção dos *pavers*.

Cimento: o cimento utilizado foi o CP V ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, que faz a função de aglomerante na mistura do concreto. Sua composição é composta por cerca de 90% de clínquer, 5% de material carbonático e 5% de gesso e compõe propriedades satisfatórias para a confecção dos blocos intertravados.

Agregado Graúdo: a brita 0 granítica de dimensões de 9,5mm, foi a utilizada como agregado graúdo, com granulometria dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019). O material foi adquirido em Campina Grande/PB no comércio local.

Agregado Miúdo: os agregados miúdos utilizados foram os convencionais a areia e o pó de pedra. O resíduo da mineração da scheelita (em substituição dos convencionais) foi provenientes do beneficiamento do tungstênio, que origina-se no resíduo de scheelita, extraído na cidade de Currais Novos-RN.

Na metodologia desenvolvida na pesquisa, inicialmente, os materiais utilizados passaram por caracterização física, química e mineralógica conforme as normas da ABNT. Os ensaios do aglomerante abrangeram massa específica, módulo de finura e tempo de pega da argamassa fresca. Quanto à caracterização dos agregados, foram analisados os miúdos (areia, pó de pedra e resíduo de scheelita) e o agregado graúdo (brita 0). Posteriormente, foram moldados blocos de concreto convencionais (sem a inserção do resíduo) e blocos com a substituição da areia e do pó de pedra pelo resíduo para verificar qual a melhor proporção de materiais que melhor se enquadra conforme algumas propriedades requeridas na produção de concreto e na norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Após a cura submersa dos blocos, foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção para determinar sua aceitação. As etapas estão melhor descritas abaixo:

Na caracterização do aglomerante (cimento) foram realizados os ensaios descritos no **Quadro 1**, acompanhados de suas respectivas normas.

Quadro 1. Ensaios do aglomerante e suas respectivas normas para cada análise. Fonte: Autor do Trabalho.

Aglomerante	ENSAIOS		NORMA	
	Massa específica		NBR 11513/2017	
	Módulo de finura		NBR 11579/2012	
	Tempo de pega da argamassa fresca		NBR NM 65/2003	

Para realizar a caracterização dos agregados foi dividida em agregado miúdos, a areia, pó de pedra e resíduo da scheelita; e agregado graúdo, a brita 0. Na caracterização física dos agregados miúdos foram utilizados os ensaios descritos no **Quadro 02**, acompanhados das respectivas normas consultadas:

Quadro 2. Ensaios dos agregados miúdos e suas respectivas normas. Fonte: Autor do Trabalho.

Caracterização Física dos agregados miúdos	ENSAIOS		NORMA	
	Granulometria: finura e dimensão máxima		NBR NM 248/2003	
	Massa unitária: estado solto e compactado		NBR NM 45/2006	
	Absorção de água		NBR NM 30/2001	
	Material pulverulento		NBR NM 46/2003	

Além da caracterização mostrada no **Quadro 2** dos agregados miúdos, também foram feitas a caracterização química sendo utilizado o método de análise química (EDX), nos agregados convencionais e no resíduo feitos no laboratório de Engenharia de Materiais (UFCEG-Campus CG).

Para a caracterização dos agregados graúdos foram utilizados os ensaios especificados no **Quadro 3**.

Quadro 3. Ensaios do agregado graúdo e suas respectivas normas. Fonte: Autor do Trabalho.

Caracterização física dos agregados graúdos	ENSAIOS		NORMA	
	Granulometria: módulo de finura e dimensão máxima		NBR NM 248/2003	
	Massa unitária: estado solto e compactado		NBR NM 45/2006	
	Absorção de água		NBR NM 30/2001	
	Massa específica do agregado seco; Massa específica SSS; Massa Específica.		NBR NM 53/2009	
	Abrasão Los Angeles		NBR NM 51/2001	

Com base nos resultados da caracterização dos materiais, foram calculados os traços de concreto convencional (CONV), sem a inclusão de resíduos, e os traços de concreto modificados, nos quais os agregados miúdos convencionais foram substituídos em toda a sua totalidade pelo resíduo da scheelita.

Após a definição do traço, para a fabricação dos blocos, os materiais foram misturados em betoneira e despejados nos moldes limpos, utilizando desmoldante, e posteriormente foram adensados em uma mesa vibratória. Após 24 horas, foi realizado o capeamento com pasta de cimento para regularizar as faces dos blocos, reduzindo assim as falhas durante o processo de prensagem, como mostrado na **Figura 1**.



Figura 01: Peças com acabamento da face superior. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

Logo após completar 24 horas do capeamento das peças, elas foram submetidas a cura por imersão em água em tanque durante 28 dias para posteriormente serem submetidas ao ensaio de RCS e absorção, como ilustra a **Figura 2**.



Figura 2: Peças em cura submersa. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

Após a cura as peças foram submetidas aos ensaios de Resistência À Compressão Simples (RCS) e absorção. De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), a resistência à compressão da peça, expressa em Megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em Newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator p , em função da altura da peça. A **Figura 3** demonstra o ensaio RCS.



Figura 03: Ensaio de resistência à compressão. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

Ainda conforme a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), a absorção de água, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso em consequência da penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa seca. Como recomenda a norma, inicialmente, os blocos intertravados foram imersos em água à temperatura de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas. Logo após, retirou-se a água superficial do corpo de prova com o uso de um pano úmido e fez sua pesagem. Esse processo foi repetido pôr em 2 em 2 horas até que a diferença de massa não fosse maior que 0,5% ao valor anterior. Em seguida as peças foram colocadas na estufa durante 24 horas. Após isso as peças foram pesadas e repetiu-se o processo a cada 2 horas até que a diferença de massa não fosse maior do que 0,5% .

Na **Figura 04** se mostra os processos utilizados citados anteriormente.



Figura 04: Determinação da absorção de água dos pavers. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na caracterização do aglomerante, os valores encontrados nos ensaios de módulo de finura, massa específica e tempo de pega da argamassa estão apresentados na **Tabela 1**. Verificou-se que a massa específica do cimento alcançou $3,04\text{g/cm}^3$, atendendo aos requisitos da NBR 11513 (ABNT, 1990). A finura está de acordo com as diretrizes da NBR 11579 (ABNT, 2016). O tempo de início e fim de pega do cimento também foi considerado adequado.

Tabela 1. Índice de finura e massa específica do cimento CP V ARI. Fonte: Autor do Trabalho.

Ensaio	Valor Obtido
Módulo de Finura	0,86%
Massa Específica	$3,04\text{ g/cm}^3$
Tempo início de pega da argamassa fresca	1h 45min
Tempo fim de pega da argamassa fresca	4h 07min

Para os agregados miúdos, essenciais na pesquisa, foram realizadas as caracterizações física e química, necessárias para o estudo da substituição dos materiais convencionais por alternativos, como os resíduos da mineração. No ensaio de granulometria, através da curva granulométrica, analisaram-se os comportamentos dos agregados naturais e dos resíduos, abordando o módulo de finura e a dimensão máxima. Esses fatores impactaram diretamente o comportamento do concreto, conforme mostrado na **Figura 5**.

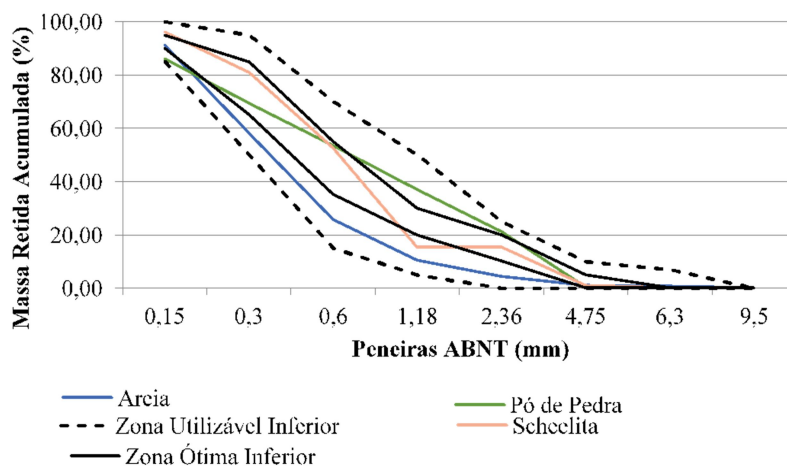


Figura 5: Curvas granulométricas dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

O resíduo de scheelita encontra-se dentro dos limites de zona utilizáveis inferiores e superiores, conforme norma utilizada no estudo, apresentando comportamento semelhante aos agregados convencionais, especialmente ao pó de pedra. O módulo de finura da scheelita e do pó de pedra situou-se entre 2,20 e 2,90, enquadrando-os na zona ótima, enquanto a areia ficou na zona utilizável, com módulo de finura entre 1,55 e 2,20. Os outros parâmetros físicos dos agregados miúdos estão na **Tabela 3**.

Tabela 3. Parâmetros físicos dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho.

Ensaio	Areia	Pó de Pedra	Scheelita
Massa específica real (g/cm^3)	2,42	2,58	2,61
Massa específica aparente (g/cm^3)	2,40	2,56	2,57
Massa unitária compactada (g/cm^3)	1,54	1,68	1,58
Índice de Vazios estado compactado	35,78	29,83	39,27
Absorção (%)	0,60	0,80	1,07
Teor de Material Pulverulento (%)	4,39	8,03	1,24

Na **Tabela 3** o resíduo de scheelita revelou maior massa específica e absorção superiores aos agregados miúdos convencionais, retendo 1,07% do peso do agregado seco e demandando mais água para a preservação da trabalhabilidade do concreto.

A **Figura 6** mostra a análise de EDX (*Energy Dispersive X-ray Analysis*) dos agregados miúdos, sendo possível observar que a sílica e alumina predominaram na areia e no pó de pedra, enquanto a scheelita revelou maior teor de CaO e sílica, sugerindo a presença de calcita e quartzo. Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014), para ser classificado como pozolânico Classe E, o resíduo precisava ter somatório acima de 50%, incluindo SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, e o SO₃ não ultrapassar 5%. A Scheelita, portanto, teve um somatório de 48,21%, abaixo do exigido para ser considerado material pozolânico, o que possibilita seu uso no concreto (DANA, 1974).

Elemento	Areia	Pó de Pedra	Scheelita
CaO	3,15%	6,16%	42,55%
SiO ₂	64,68%	58,81%	29,92%
Al ₂ O ₃	18,98%	16,20%	10,63%
Fe ₂ O ₃	4,39%	6,99%	7,66%
MgO	1,40%	1,31%	4,55%
SO ₃	0,24%	0,42%	1,82%
K ₂ O	4,87%	4,21%	1,15%
TiO ₂	1,24%	1,55%	0,60%
MnO	0,10%	0,11%	0,54%
WO ₃	0,00%	0,00%	0,20%
BaO	0,23%	0,00%	0,17%
SrO	0,04%	0,04%	0,15%
ZnO	0,00%	0,01%	0,03%
MoO ₃	0,00%	0,00%	0,02%
Rb ₂ O	0,02%	0,01%	0,01%
SeO ₂	0,00%	0,00%	0,01%
Y ₂ O ₃	0,02%	0,01%	0,01%
C	0,00%	0,00%	0,00%
ZrO ₂	0,32%	0,22%	0,00%
P ₂ O ₅	0,33%	1,32%	0,00%
Na ₂ O	0,00%	2,62%	0,00%
NbO	0,00%	0,01%	0,00%

Figura 6: EDX dos agregados miúdos. Fonte: Batista (2022).

Com relação ao agregado graúdo, os resultados das curvas granulométricas provenientes do ensaio de granulometria da brita 0 (diâmetro de 9,5 mm) utilizada, estão ilustradas na **Figura 7**.

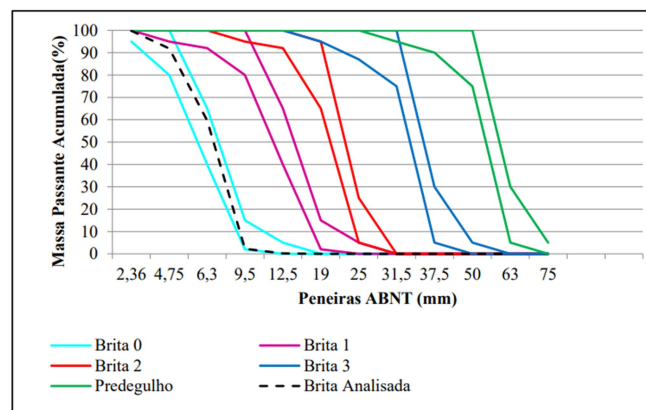


Figura 7: Curva granulométrica do agregado graúdo. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

Conforme a **Figura 7**, a brita analisada atendeu aos critérios da classificação de brita 0, satisfazendo os limites granulométricos da NBR 7211 (ABNT, 2009). Os detalhes da caracterização física estão na **Tabela 4**.

Tabela 04. Parâmetros físicos do agregado graúdo. Fonte: Autor do Trabalho.

Ensaio	Brita 0
Massa Esp. Agregado Seco	2,73
Massa Esp. Agregado Sat. Sup. Seca	2,69
Massa Esp. Aparente	2,67
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,72
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,83
Índice de Vazios estado compactado	99,93
Absorção (%)	0,76
Abrãção Los Angeles (%)	40,1

Os dados da **Tabela 4** revelaram que a absorção da brita analisada era de 0,76%, o que foi crucial para realizar a correção da água presente, garantindo que a água adicionada durante o processo de dosagem não fosse absorvida pela brita. Isso evitou alterações na relação água/cimento, preservando a trabalhabilidade do concreto. Além disso, o material utilizado demonstrou um índice de vazios elevado quando no estado compactado, indicando um arranjo satisfatório entre seus grãos.

Diante dos resultados das caracterizações, foi calculado o traço dos concretos com base na RCS a ser alcançada sendo uma propriedade importante e requeridas no concreto. Essa propriedade foi crucial no estudo do pavimento intertravado, pois determinou o uso ao qual o pavimento seria destinado, de acordo com a solicitação de tráfego prevista. Essa característica foi referenciada na maioria das normas nacionais e internacionais como um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho dos *pavers*. Desta forma, o traço foi calculado para o limite de RCS mínima de 35 MPa, conforme requerido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que determina para que os componentes possam ser empregados em demandas para trânsito de pedestres e veículos leves. Portanto, o traço utilizado nesta pesquisa foi (1:2:2:0,45) para moldagem dos blocos intertravados e análise da RCS e absorção.

A **Figura 8** apresenta o comparativo da resistência à compressão (RCS) dos *pavers* convencionais e dos blocos com resíduos.

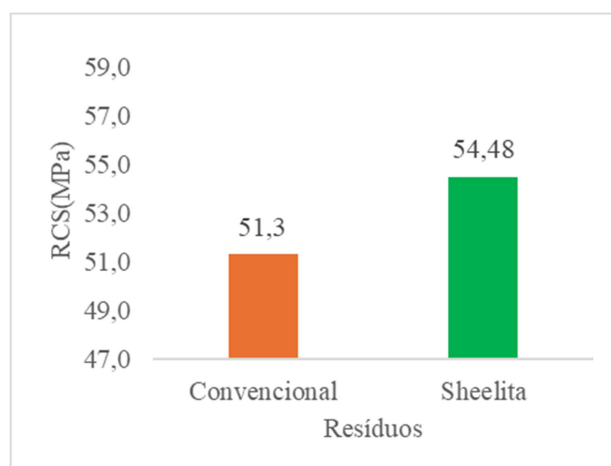


Figura 8: RCS dos *pavers* convencionais e dos blocos com resíduos. Fonte: Autor do Trabalho (2022).

De acordo com a **Figura 8**, os blocos com inserção dos resíduos se apresentaram satisfatórios quando da análise da resistência à compressão, conforme exigido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que estabelece o limite de resistência mínima de 35 MPa para que as peças possam ser utilizadas em solicitações para passagem de pedestres e veículos leves. Além disto, verifica-se que a sheelita dá algum indicativo de que se tenha alguma atividade pozolânica, dado que a média da RCS aumentou 6,19% em relação ao traço convencional, ou seja sua resistência é ainda maior do que os dos agregados convencionais.

Após a análise da RCS, foi realizado o ensaio de absorção de água dos *pavers*, sendo um importante parâmetro, especialmente para aplicação em áreas úmidas, em que as peças estarão sujeitas ao acelerado processo de eflorescência, por exemplo. Com relação aos percentuais máximos admitidos, o valor de controle utilizado pela NBR 9781 (ABNT, 2013) é de 6% de absorção na média, não sendo admitido nenhum valor individual superior a 7%. Foi verificado que a absorção média dos blocos CONV foi de 3,75%, sendo satisfatório conforme exigido pela norma. Usou-se esses valores para comparar os resultados obtidos do concreto com a scheelita, mostrado na **Tabela 5**.

Tabela 5. Absorção dos blocos com inserção do resíduo da Scheelita. Fonte: Autor do Trabalho.

ABSORÇÃO			
M1	M2	Aborção (%)	Abméd (%)
2456,10	2588,90	5,41	
2444,90	2576,40	5,38	5,46

Na **Tabela 5**, observa-se que as amostras de peças de concreto apresentam valores de absorção média de água menor que 6% não ultrapassando 7%, sendo aptos à utilização em *pavers*. Em comparação com os dados obtidos no CONV.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, o resíduo de scheelita apresenta comportamento similar aos agregados convencionais quanto a caracterização física de agregados para uso em concretos. Apesar de não possuir propriedades pozolânicas, pode ser utilizado como *filler* em misturas de concreto e proporciona um ganho de resistência à compressão quando comparado a agregados convencionais.

Conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), os *pavers* com resíduos de Scheelita são indicados para tráfego leve. Desta forma, a utilização do resíduo da scheelita como agregado miúdo de concreto para fins de pavimento intertravado se mostra bastante viável favorecendo o reuso deste resíduo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 7211: Agregados para concreto: Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- BARRETO, Regislaine Damasio et al. **Produção de pavimento intertravado com a utilização de resíduos da construção civil como agregado miúdo**. *Revista Univap*, v. 22, n. 40, p. 553, 2017.
- BATISTA, L. S. **Efeitos da incorporação de resíduos da mineração nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade em pavimentos intertravados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.
- COSTA FILHO, F. C. Estudo de viabilidade técnica do uso de resíduos oriundos do beneficiamento de Scheelita na composição de concretos asfálticos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2017.
- DANA, J. D. **Da reutilização de rejeito de Scheelita em substituição do agregado miúdo na Manual de Mineralogia**. Livros técnicos e científicos editora, vol. 2, Rio de Janeiro, p. 421-422. 1974
- FERRARI, Helen; DA SILVA MANCA, Ricardo. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS NO TRAÇO DE BLOCOS DE CONCRETO TIPO PAVER**. *Prospectus*, v. 2, n. 1, p. 234-252, 2020.
- GONDIM, T. F. *et al.* **Potencialidade de uso do resíduo da scheelita em sistemas de cobertura de aterro de resíduos**. *Eng Sanit Ambiental* | v.27 n.3 | maio/jun 2022 | 597-606. 2022.
- GUIMARÃES, A. C. P. D. et al. Obtenção de geopolímero com adição de rejeito de mineração depositado na barragem de Candonga (Rio Doce-MG, Brasil). In: **3º Congresso Luso-Brasileiro, Materiais de Construção Sustentáveis**. 2018. p. 14-16.
- OBERLE, B. et al. *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*. 2019. ISBN: 978-92-807-3741-7.