

## ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA EM CONCRETO ALTERNATIVO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

Larissa S. Batista (\*), Raquel F. do Nascimento, Maelle |G. Passos, Dandara P. M. de Assis, André L. A. da Silva

\* Universidade Federal de Campina Grande. Email: larisantanabatista@gmail.com

### RESUMO

O setor da mineração é de fundamental importância para os países, pois pode conduzir o crescimento econômico e reduzir a pobreza nos âmbitos nacional e municipal. Por outro lado, é um setor que produz grandes quantidades de entulhos que causam graves impactos ambientais. As pilhas de resíduos provenientes do beneficiamento dos minérios que são descartados de forma errônea causam a poluição dos mananciais de água, do solo, poluição visual e problemas de saúde na população que tem contato com os mesmos. Neste cenário, diversas pesquisas estão sendo feitas para tentar minimizar esses impactos e a construção civil é a indústria com enorme potencial para a incorporação desses rejeitos, a exemplo em obras de pavimentação. Assim, esse artigo tem como objetivo propor um destino adequado para os resíduos da scheelita, reutilizando-os em concretos como substituição parcial do agregado miúdo utilizados em pavimentos rígidos. As proporções escolhidas para incorporação do resíduo foram de 10%, 20% e 30 %, com um período de cura de 7, 14 e 28 dias. Para tanto, primeiramente foram realizados ensaios de caracterização, massa específica e unitária, absorção de água e módulo de finura. Posteriormente analisado a trabalhabilidade do concreto e realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e à tração na flexão do concreto. A proporção com o melhor resultado de resistência à compressão foi a de 30% e à tração na flexão foi a de 10%. Nenhuma das composições de concreto estudadas alcançaram as resistências mínimas exigidas para seu uso em pavimentos de tráfego intenso. Porém, podem ser utilizadas para pavimentos de tráfego leve.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos de Mineração, Impactos Ambientais, Scheelita, Pavimento Rígido.

### INTRODUÇÃO

A construção civil é o setor responsável por um elevado consumo de recursos naturais, por este motivo, o desenvolvimento de matéria-prima alternativa que atendam o setor torna-se relevante como uma forma de redução de custos, impactos ambientais e absorver os resíduos sólidos. Neste cenário destaca-se a utilização dos resquícios que advém do setor da mineração, em virtude do alto volume de produção e quantia elevada de resíduos gerados durante todo o processo produtivo das atividades (Silveira, 2015). “Tendo em mente a grandiosidade da cadeia produtiva da indústria da construção civil, fica claro que não é possível alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a indústria da construção também se torne sustentável” (Brasileiro, 2013).

A mineração é uma das atividades mais antigas da humanidade. Nela, há um grande inconveniente ambiental que é a geração de resíduos, os quais, quando não reintroduzidos num outro processo produtivo, são estocados em bacias de contenção com o risco de rompimento, ocasionando desastres ambientais, além de proporcionar um altíssimo custo de construção e manutenção (Kato, 2017).

Dentre os mais variados resíduos produzidos a partir do beneficiamento de minérios, encontra-se a scheelita. A maior produção do resíduo no Brasil concentra-se no estado do Rio Grande do Norte. Estima-se que apenas 0,8% de todo o material extraído é constituído pelo minério almejado, e 99,2% retorna ao meio ambiente como resíduo (GERAB, 2014). O minério é extraído por métodos primitivos ou mecanizados de modo que nas minas subterrâneas a produção é obtida através de câmaras e pilares, frentes com armazenamento e frentes abertas (FERNANDES, 2011). Durante o processo de extração ocorre poluição visual, poluição sonora, poluição do ar, solo, águas superficiais e subterrâneas, assoreamento e erosão, afugentamento da fauna e perda da flora.

Diante disso, a busca por medidas que reduzam a presença do resíduo no meio ambiente se constitui imprescindível. Nesse contexto surgem os materiais construtivos alternativos que buscam incorporar em sua composição tais rejeitos. Entre os materiais mais utilizados na construção civil encontra-se o concreto que possui, entre outros fins, a produção de placas rígidas para pavimentação. Segundo Silva (2005), a inserção de resíduos na produção de materiais pode proporcionar economia de energia e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Segundo Almeida (2015), o uso do concreto na pavimentação tem se tornado cada vez mais comum devido a suas vantagens, em relação ao flexível, quanto ao tráfego pesado e intenso. Os pavimentos rígidos, por possuir uma elevada rigidez, absorve praticamente todo o carregamento imposto a estrutura, que não se deforma. “Embora o custo seja maior, o pavimento em concreto resistirá por um tempo muito maior, praticamente sem precisar de manutenção.

Evitam-se patologias comuns em pavimentos asfálticos com alto tráfego, como as trilhas de rodas e escorregamentos laterais” (Freitas e Carvalho, 2018).

Considerando que o modal rodoviário é o mais utilizado para o transporte de cargas no país, as obras de pavimentação deste contingente geram expressivas e intoleráveis cifras para os cofres públicos. Tal fato estimula as pesquisas e investimento em materiais de baixo custo que otimizem a vida útil da malha rodoviária e propiciem menor custos para o Estado (Silva, 2017).

## OBJETIVOS

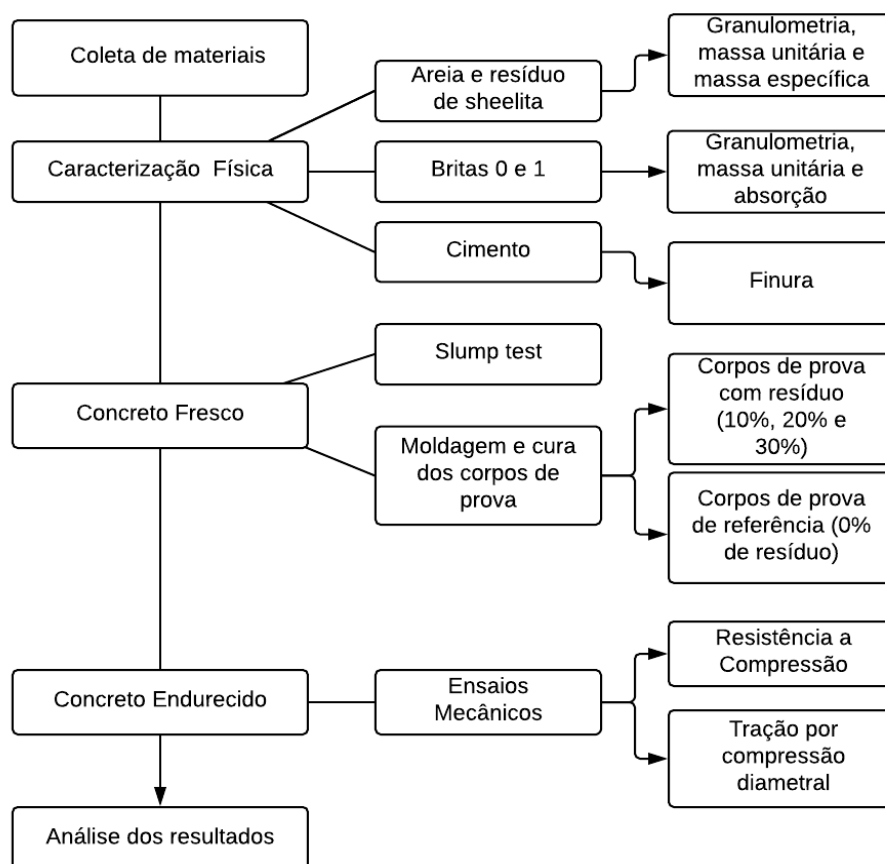
Este trabalho tem por objetivo analisar o desempenho do resíduo incorporado ao concreto para fins de pavimentação em substituição parcial ao agregado miúdo da mistura, a fim de propor nova destinação do rejeito e reduzir a sua presença no meio ambiente.

## METODOLOGIA

Para o referido estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- Areia lavada do tipo média/grossa;
- Cimento Portland CP II Z 32;
- Brita 0 e brita 1
- Resíduo de scheelita proveniente do município de Currais Novos - RN.

Realizou-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica a fim de se conhecer os impactos gerados a partir do beneficiamento e disposição inadequada do resíduo bem como as técnicas de incorporação em materiais alternativos.



**Figura 1: Fluxograma das atividades desenvolvidas. Fonte: Autor do Trabalho**

A figura 1 exibe os procedimentos experimentais que foram desenvolvidos ao longo da pesquisa. Depois da coleta de materiais, foi efetuada a caracterização física dos materiais que constituem o concreto. Executou-se os ensaios de granulometria e massa unitária para os agregados utilizados e para o resíduo de scheelita. Foram obtidas a massa

específica da areia e a absorção dos agregados graúdos pelos seus respectivos ensaios. O aglomerante, por outro lado, foi caracterizado com base no ensaio de finura.

Terminado a caracterização de todos os materiais, foi determinado o traço do concreto em estudo segundo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), visando adquirir as mínimas resistências à compressão (26 MPa, com Sd de 4,0 MPa) e à tração na flexão (3,8 MPa, com Sd de 0,6 MPa), determinadas pelas NBR 6118/2014 e IP-07/2004 (SIURB), respectivamente. Após estabelecido o traço, foram determinadas as composições em que o agregado miúdo, seria substituído parcialmente pelo resíduo de scheelita em três proporções: 10%, 20% e 30%, logo, iniciou-se a fase de moldagem dos corpos de prova cilíndricos, com 200 mm de altura e 100 mm de diâmetro. Ainda com o mesmo traço, foram moldadas além das três composições, corpos de prova de concreto convencional para efeito de comparação dos resultados.

Em conformidade com a NBR NM 67 / 1998, procedeu-se o ensaio de consistência do concreto fresco pelo abatimento do tronco de cone, com o propósito de averiguar a trabalhabilidade pretendida para a qual foi dimensionado o concreto. O processo de cura a qual os corpos de prova foram submetidos foi a cura úmida, durante as idades de 7, 14 e 28 dias. Terminado o período estipulado de cura dos corpos de prova, foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, regidos pelas NBR 5739 / 2007 e NBR 7222 / 2011, respectivamente.

Após a realização e obtenção dos dados do ensaio de compressão diametral foi calculada a resistência a tração na flexão de cada composição de acordo com a relação obtida por meio de considerações da ABNT NBR 6118/14, a relação resultou na equação a seguir:

$$f_{ct,f} = 1,3 \times f_{ct,sp} \quad \text{equação (1)}$$

em que  $f_{ct,f}$ : resistência característica do concreto à tração na flexão (MPa);  
 $f_{ct,sp}$ : resistência característica do concreto à tração por compressão diametral (MPa);

Como a tração na flexão possui um valor mínimo que corresponde a 3,8 MPa, a partir desse valor encontrou-se a resistência mínima à compressão, que define o limite mínimo de resistência que um concreto deve possuir para ser empregado em pavimentos rígidos. Converteu-se esse valor para resistência a tração diametral, e posteriormente aplicou-se na equação (2) mostrada a seguir, sendo regida pela ABNT NBR 6118/14, obtendo-se o valor de 25 MPa.

$$f_{ct,sp} = (1/3) \times (f_{ck})^{2/3} \quad \text{equação (2)}$$

em que:  $f_{ck}$  resistência à compressão (MPa);  
 $f_{ct,sp}$  : resistência à tração por compressão diametral (MPa).

Os ensaios mencionados acima foram realizados de acordo com as normas descritas na tabela 1 indicada a seguir:

**Tabela 1 – Normas. Fonte: Autor do trabalho**

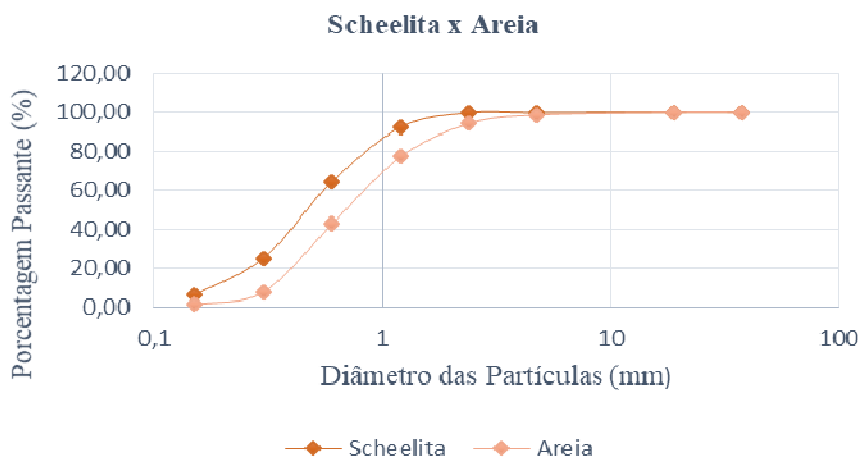
Finalidades	Normas utilizadas
Massa unitária	NBR NM 45/2006
Massa específica	NBR NM 52 / 2009
Absorção	NBR NM 53 / 2009
Granulometria	NBR NM 248 / 2001
Agregados para concreto	NBR 7211 / 2009
Resistência à compressão	NBR 5739 / 2007
Resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222 / 2011
Finura	NBR 11579 / 2013
Abatimento	NBR NM 67 / 1998
Moldagem e cura de corpos-de-prova	NBR 5738 / 2016
Valores mínimos de compressão	NBR 6118/2014
Valores mínimos de tração	IP - 07/2004 (SIURB)

## RESULTADOS

A primeira etapa do trabalho baseou-se na caracterização do resíduo de scheelita e dos demais materiais que foram utilizados no concreto.

- **Ensaio granulométrico dos agregados miúdos e graúdos**

Tendo em vista a substituição parcial do agregado miúdo, realizou-se uma comparação entre os grãos do resíduo e da areia por meio do ensaio granulométrico, obtendo-se o gráfico apresentado abaixo.



**Figura 2. Curvas granulométricas dos agregados miúdo. Fonte: Autor do trabalho**

De acordo com a NBR 7211/2009, que especifica os requisitos exigidos para que os agregados possam ser utilizados na produção de concreto, a areia encontra-se na zona ótima e o resíduo da scheelita na zona utilizável, o que significa dizer, então, que são adequados para a fabricação do concreto. Analisando as duas curvas granulométricas, a maior porcentagem de massa retida da areia se encontra nas peneiras 1,2 mm – 0,3 mm e do resíduo da scheelita nas peneiras 0,6 mm – 0,15 mm, ou seja, o rejeito possui mais quantidade de finos quando comparado a areia, fator que contribui para o aumento da trabalhabilidade do material.

Apesar de apresentar maior quantidade de finos que a areia, o resíduo da scheelita é mais pesado, pois sua massa específica é 12,7% maior que a areia, como apresenta a tabela 2. Este resultado influi diretamente no peso próprio da estrutura já que a massa específica do agregado tem influência direta com a massa específica do concreto.

O valor da massa unitária da areia obtida (tabela 2) é 11,87% menor em relação a massa unitária do resíduo da scheelita. Isso implica dizer que os grãos da areia juntamente se arranjam melhor, deixando um menor espaço de vazios. O módulo de finura obtido tanto da areia quanto do resíduo foi baixo. Isso pode implicar na necessidade da correção da relação água cimento (a/c) do concreto.

**Tabela 2. Análise Granulométrica da Areia**

Amostra	Massa Unitária	Massa Específica Real	Módulo de Finura
Areia	1,41 g/cm <sup>3</sup>	2,75 g/cm <sup>3</sup>	2,78%

**Tabela 3. Análise Granulométrica do Resíduo**

Amostra	Massa Unitária	Massa Específica Real	Módulo de Finura
Scheelita	1,6 g/cm <sup>3</sup>	3,15 g/cm <sup>3</sup>	2,12%

Os resultados da caracterização do agregado graúdo encontram-se na figura 3 abaixo. De acordo com as mesmas, os valores das maiores porcentagens de massas retidas das britas 0 e 1 se encontraram na peneira 4,75 mm. Conforme a NBR 7211/2009, indicando que ambas ficaram dentro os limites indicados para agregados graúdos.

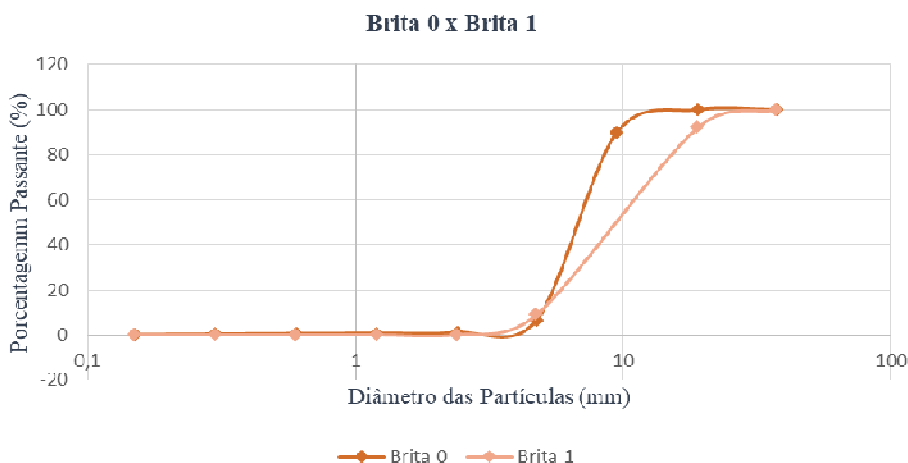


Figura 3. Curvas granulométricas da Brita 0 x Brita 1. Fonte: Autor do Trabalho

A partir da análise da tabela 4 percebe-se que quando comparada com a brita 1, a brita 0 possui uma alta taxa de absorção. Esse fator influencia diretamente a resistência do concreto e, para que a resistência do concreto trabalhado não diminua, faz-se necessário a correção da relação a/c.

Tabela 4. Análise Granulométrica das Britas

Amostra	Massa Unitária	Absorção
Brita 0	1,33 g/cm <sup>3</sup>	1,83%
Brita 1	1,45 g/cm <sup>3</sup>	0,60%

- **Aglomerante**

Para o cimento utilizado o módulo de finura obtido foi de 2,7%. De acordo com a literatura, o módulo de finura está diretamente ligado à porosidade do concreto, ou seja, quanto menor o módulo de finura menor a porosidade do concreto. Assim, é esperado que o concreto produzido tenha um aumento na trabalhabilidade, coesão e resistência.

- **Ensaio realizado no concreto no estado fresco e endurecido**

No concreto fresco de cada composição trabalhada foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone a fim de verificar se a consistência do concreto fresco era adequada com os valores teóricos. Os resultados do ensaio mostram um aumento proporcional a porcentagem de scheelita presente no concreto, como pode ser visto na figura 4.

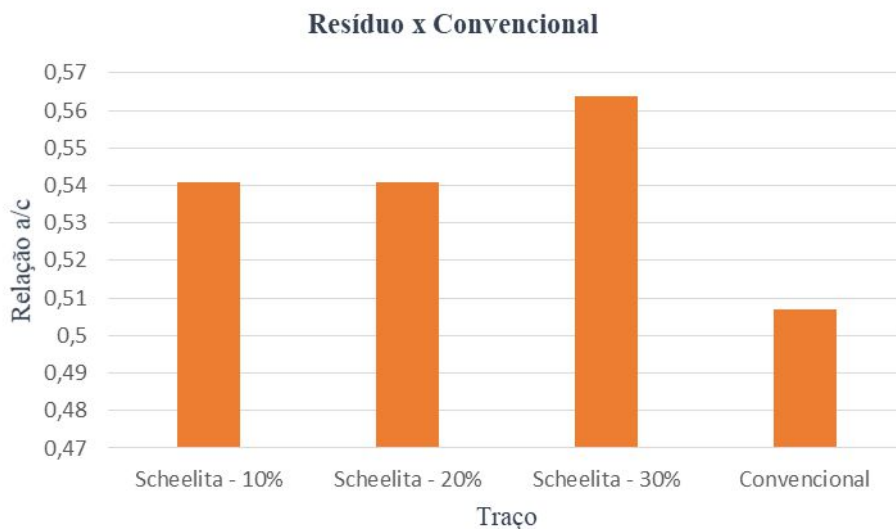


Figura 4. Comparação entre a relação a/c do concreto com resíduo e o convencional

Fez-se necessário o acréscimo de água para atender o abatimento do concreto convencional, alterando a relação a/c de 0,51 para 0,54, valor que permanece entre 0,4 e 0,56, limites da relação a/c impostos pela norma DNIT 054/2004. Essa necessidade mostra que com a adição do resíduo da scheelita foi absorvido mais água durante a mistura do concreto. Porém ao se analisar apenas os traços em que a areia foi substituída, pode-se observar um crescimento do abatimento, ou seja, a incorporação do resíduo de scheelita tornou o concreto mais plástico e fluido conforme era aumentada a sua porcentagem.

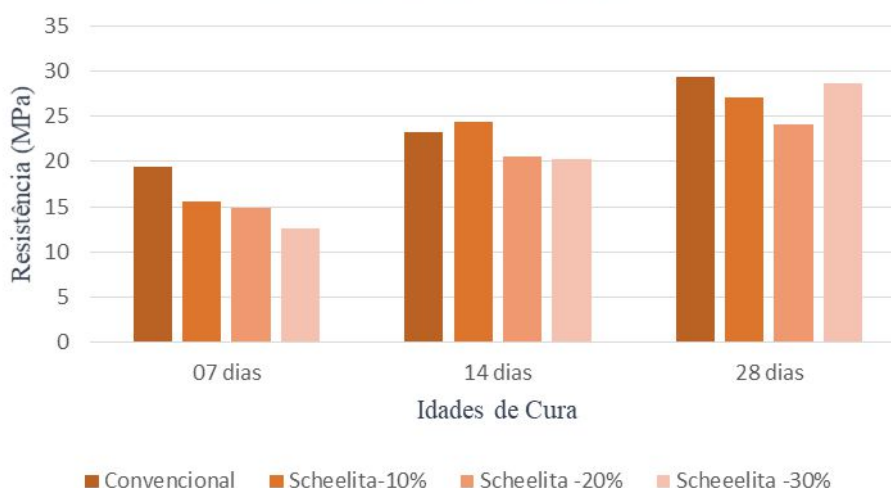
A tabela 5 e a figura 5 mostram os resultados dos ensaios de compressão simples nas idades de cura de 7, 14 e 28 dias.

**Tabela 5. Resultados do ensaio de compressão simples**

Traço	Resistência (Mpa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	19,46	23,26	29,35
Scheelita – 10%	15,6	24,45	27,17
Scheelita – 20%	14,86	20,61	24,1
Scheelita – 30%	12,53	20,32	28,61

Para o ensaio de resistência à compressão axial todos os traços tiveram resistência inferior à do traço padrão, ou seja, não houve aumento na resistência do concreto. Porém apenas o traço da scheelita a proporção de 20% obteve resultado inferior ao limite mínimo de resistência a compressão para pavimentos de aproximadamente 26 Mpa.

**Resistência à Compressão Simples**



**Figura 5. Resultados do ensaio de compressão simples**

Dentre as composições estudadas, a proporção de 10% de scheelita mostrou o melhor progresso nos primeiros 14 dias, entretanto aos 28 dias a composição de scheelita 30% tornou-se o traço de melhor resistência, pode-se observar que não há um padrão no aumento da resistência, entretanto é nítido que a quantidade de resíduo incorporada interferiu na velocidade em que o concreto atingiu a sua melhor performance, posto que, aos 14 dias os corpos de prova de 10% já tinham atingido 90% da sua resistência, já os de 30% atingiu apenas 71% de sua resistência final.

Essa característica adquirida com a adição de resíduo, se dá devido a diferença entre as massas unitárias dos agregados, e conseqüentemente ao número de vazios. Quanto maior a porcentagem de substituição maior o número de vazios, o que acaba por retardar a hidratação do cimento, um influenciador direto das propriedades mecânicas do concreto.

**Tabela 6. Resultados do ensaio de tração por compressão diametral**

Traço	Resistência (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	1,74	2,75	3,2
Scheelita – 10%	1,78	2,38	2,69
Scheelita – 20%	1,43	2,47	2,57
Scheelita – 30%	1,27	2,25	2,5

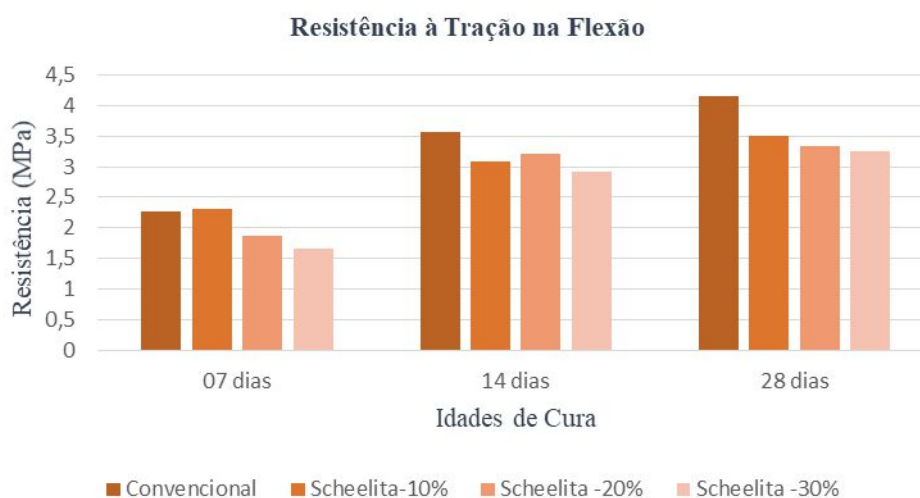


Por meio dos valores obtidos a partir do ensaio de tração por compressão diametral, foi possível estimar os resultados de resistência a tração na flexão (figura 6), valores característicos a partir dos quais se dimensiona a placa de concreto para pavimento, utilizando-se a equação 1.

A tabela 7 e a figura 6 mostram os resultados dessa relação, ou seja, as resistências à tração na flexão nas três idades de curas estudadas.

**Tabela 7. Resultados do ensaio de tração na flexão**

Traço	Resistência		
	7 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	2,262	3,575	4,16
Scheelita – 10%	2,314	3,094	3,497
Scheelita – 20%	1,859	3,211	3,341
Scheelita – 30%	1,651	2,925	3,25



**Figura 6. Resultados do ensaio de tração na flexão**

Para os resultados de resistência à tração na flexão todos os traços tiveram resistência inferior à do traço padrão, ou seja, não houve aumento na resistência do concreto. E apesar de nenhuma das composições ultrapassar o limite mínimo (3,8 Mpa) de resistência do concreto de pavimento, o concreto com substituição de 10% do agregado, pode ser destinado para pavimentos que possuam tráfego leve, posto que, essa a leve diminuição de resistência pode ser compensada com o aumento da espessura da placa de concreto e/ou inserção de barras de transferência, sendo essa, uma provável consequência do acréscimo de água, uma vez que a relação a/c interfere diretamente nas propriedades mecânicas do concreto

## CONCLUSÃO

O objetivo principal desta pesquisa científica foi avaliar a utilização do resíduo da indústria de mineração da scheelita, com o intuito de se criar um destino sustentável ao resíduo.

A utilização do resíduo influenciou a consistência da pasta de forma positiva, ou seja, tornando-a com maior fluidez. Isso ocorreu devido ao resíduo ter uma maior densidade e ser um material mais fino. Porém, a finura do material afetou negativamente na relação água cimento do concreto, dada a maior necessidade de água, e possivelmente razão da diminuição da resistência.

O fato da massa específica do resíduo ser superior à da areia ocasionou um número maior de vazios na estrutura do concreto, influenciando no processo de hidratação do cimento.

O comportamento mecânico do concreto com substituição de resíduo de scheelita mostrou-se satisfatório quando analisada sua resistência a compressão, a partir dos resultados, pode-se observar que quanto maior a porcentagem de resíduo maior a resistência adquirida. Entretanto, tendo em vista a relação compressão e tração na flexão, a composição que melhor atendeu as expectativas foi a Scheelita-10%.

Conclui-se que o concreto com substituição parcial de scheelita, apesar de não ser eficaz para fins de pavimentação, traz bons resultados de resistências, sendo uma excelente alternativa para estruturas não rodoviárias ou para vias de tráfego leve com utilização de barras de transferência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, Daniel Pedroso de. **SOLUÇÃO DO PROJETO DE PAVIMENTO RÍGIDO Estudo de caso: corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau – Joinville/SC Joinville – SC 2015**. 2015. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.
3. BRASILEIRO, Luzana Leite. **Utilização de Agregados reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural no Concreto Asfáltico**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.
4. DIAS, S. L.. **Incorporação de Resíduos de caulim em argamassa de assentamento revestimento para uso em construção civil - avaliação da atividade pozolânica**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Cap. 2.
5. FERNANDES, B. R. B.; MACHADO, Á. O. D. V.. **Aproveitamento dos finos de Scheelita utilizando concentração centrífuga e lixiviação ácida**. 2011.
6. FREITAS, Rodrigo Bezerra de; CARVALHO, Mailson Castelhão de. **Pavimento de Concreto e seus Benefícios em Rodovias: Uma Revisão Bibliográfica**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 01, Vol. 02, pp. 21-33, Janeiro de 2018. ISSN:2448-0959.
7. GERAB, A. T. F. S. C.. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
8. KATO, Ricardo Bentes. **APLICAÇÃO DO RESÍDUO DA MINERAÇÃO DO COBRE PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS**. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s.l.], v. 14, n. 1, p.17-23, 28 ago. 2017. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v14i1.46021>.
9. SILVA, G. J. B.. **Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com adição do resíduo de polimento do porcelanato**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005, 92p.
10. SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. **CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADO COM REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**. 2017. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotécnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
11. SILVEIRA, Marina Duque. **Utilização de resíduos da mineração na construção civil**. 2015. 29 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.