

**ESTUDO DO COMPARTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO PARA PAVIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUO DA SCHEELITA.**

Cícero Jefferson Rodrigues dos Santos (\*), Larissa Santana Batista, Dandara Pereira Moura de Assis, Suélen Silva Figueiredo Andrade, Jéniffer Paloma da Cruz Leal.

\*Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, email: jeffersonrodrigues.rs@gmail.com.

**RESUMO**

O setor mineral é responsável por uma expressiva geração de empregos, com grande importância social e econômica para o país. Entretanto, a quantidade de resíduo gerada pelo setor afeta de forma negativa o meio ambiente, tendo em vista que, por ano, são geradas milhares de toneladas de resíduos, sendo esses geralmente depositados em pilhas a céu aberto. Diante disso, uma forma de minimizar os impactos causados pela mineração é buscar uma alternativa para a utilização desses rejeitos. Um setor que exige muito dos recursos naturais e que poderia ser beneficiado com a utilização dos resíduos minerais é a construção civil. Essa interação traria benefícios não só ambientais, mas também econômicos, já que a construção civil é um dos setores mais importantes na movimentação da economia nacional. Uma das formas de aplicação do resíduo dentro do setor, é como substituto do agregado do concreto, um dos produtos mais utilizados na construção civil. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo propor um destino adequado para os resíduos da mineração da scheelita, reutilizando-os em concretos para pavimento como substituição parcial e total do agregado miúdo para fins de pavimentos rígidos. As proporções escolhidas para incorporação do resíduo foram de 0%, 50%, 75% e 100%, com um período de cura de 3, 14 e 28 dias. Foram realizadas as caracterizações físicas de todos os materiais constituintes do concreto, inclusive do resíduo da scheelita. Em seguida, foram moldados os corpos de prova e analisadas a trabalhabilidade, a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral e à tração na flexão do concreto. A incorporação do rejeito causou um decréscimo na resistência do concreto, no entanto todas as dosagens mantiveram-se dentro do padrão aceitável para serem aplicados como pavimento rígido. O concreto com substituição do agregado natural que apresentou um melhor comportamento mecânico foi o de 50% de resíduo de scheelita, e o que apresentou pior comportamento foi o que possuía 75% do agregado substituído pelo rejeito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos de mineração, impactos ambientais, scheelita, concreto, pavimento rígido.

**ABSTRACT**

The mineral sector is responsible for an expressive creation of jobs having great social and economic importance for the country, but, on the other hand, the amount of residue generated by the sector affects the environment in a negative way, considering that, per year, thousands of tons of waste are generated, these being usually deposited in open sky piles. In the face of that, one way to minimize the impacts caused by mining is to seek an alternative to the use of these tailings. A sector that demands a lot of natural resources and could benefit from the use of mineral residues is civil construction, this interaction would bring benefits not only in an environmental but also and economic ways, since construction is one of the most important sectors in the movement of economy. One of the ways of applying the waste within the sector, is as a substitute for the aggregate of concrete, one of the products most used in construction. In this sense, this study aims to propose a suitable destination for the wastes of the scheelite's mining, reusing them in concrete as partial and total replacement of the tiny aggregate for the purpose of rigid pavements. The proportions chosen for incorporation of the residue were 0%, 50%, 75% and 100%, with a maturing period of 3, 14 and 28 days. It was carried out the physical characterization of all concrete constituent materials, including the scheelite's residue. Then, it was molded the specimens and analyzed the workability, axial compressive's strength, diametral compression tensile's strength and tensile flexural's strength of the alternatives concrete. The Incorporation of the tailing caused a decrease in the strength of the concrete, however all the dosages remained within the acceptable standard to be applied as rigid pavement. The concrete with substitution of the natural aggregate that presented a better mechanical behavior was the one with the 50% of scheelite's residue, and the one that displayed the worse behavior was what had 75% of the aggregate replaced by the tailings.

**KEY WORDS:** Mining waste, environmental impacts, scheelita, concrete, rigid pavement.

**INTRODUÇÃO**

A infraestrutura de transportes apresenta-se como vetor essencial para o desenvolvimento econômico, social, ambiental e cultural das sociedades contemporâneas. Segundo a Confederação Nacional de Transportes – CNT (2017), o transporte rodoviário é responsável pelo tráfego de aproximadamente 90% dos passageiros e de mais de 60% das cargas que circulam no país. Apesar



da intensificação dos investimentos no setor, o Brasil se apresenta defasado comparativamente ao crescimento dos países mais desenvolvidos.

Dentro desse contexto de evolução da malha viária brasileira, tornam-se constantes as exigências de estudos mais completos e detalhados sobre as condições de execução e projeto. No entanto, segundo estudo realizado pela CNT (2017) a extensão da malha rodoviária brasileira é de 1.720.700,30 km, dos quais apenas 213.452,8 km são pavimentadas, representando 12,4% da malha rodoviária total existente no país. A pesquisa também mostrou as condições desses pavimentos no Brasil: ótimo – 40,3%; bom – 9,7%, regular – 34%, ruim – 13,2% e péssimo – 2,8%. Ou seja, metade dos pavimentos do país não apresentam boas condições de tráfego e necessitam de intervenções para assegurar aos usuários conforto e segurança.

Muitas vezes as patologias apresentadas nos pavimentos são provenientes de algumas deficiências dos materiais constituintes das camadas responsáveis por absorver as tensões impostas pelo tráfego. Dessa forma, os materiais devem apresentar características que confirmam estabilidade e resistência mecânica durante a vida útil do pavimento.

De acordo com a CNT (2017), os pavimentos rígidos correspondem a menos de 1% da malha rodoviária nacional, possuindo como principais vantagens a durabilidade e resistência. Enquanto pavimentos flexíveis são projetados para ter uma vida útil de aproximadamente dez anos, os pavimentos de concreto são concebidos para operar por até 30 anos com intervenções de manutenção mínimas (KOSTULSKI, 2015). Nestes, as tensões resultantes dos carregamentos impostos às placas de concreto se apresentam de forma bem distribuída, atuando de forma semelhante a uma ponte sobre o subleito. Dessa maneira, o solo recebe menos concentrações de carga, posto que são distribuídas por uma área maior.

O concreto, principal constituinte do pavimento rígido, tem como principal característica, sua exigência de resistência à tração na flexão. E, apesar das suas inúmeras vantagens, esse tipo de revestimento exige um alto custo inicial, sendo considerado, a curto prazo, uma escolha economicamente desfavorável. O encarecimento da utilização do pavimento rígido dá-se em grande parte pela quantidade excessiva de matérias primas utilizadas, evidenciando, portando, a necessidade de estudos destinados a reduzir a utilização desses materiais.

Em paralelo ao problema dos pavimentos rodoviários, uma das grandes preocupações ambientais do milênio é o volume de resíduos que vem sendo gerado pela humanidade e tem atraído olhares científicos do mundo inteiro. Por trás da crescente industrialização e satisfação das necessidades humanas, esse problema soa com um tom ameaçador da qualidade de vida no planeta. No Brasil, essa geração tem assumido um valor quase cinco vezes maior que o crescimento populacional em dez anos (ABRELPE, 2015).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) – 2005, dentre os geradores de resíduos sólidos encontra-se o setor mineral, que atualmente responde por 1,4% do PIB, evidenciando grande importância social e econômica para o país. Entretanto, a quantidade de resíduos gerada pelo setor é exorbitante, ainda de acordo com os últimos registros do IPEA (2005), houve uma produção de 290 milhões de toneladas de resíduos da mineração durante o ano, já em 2018 de acordo com projeção realizada pelo mesmo instituto serão produzidos cerca 529 milhões de toneladas.

Os resíduos do beneficiamento das rochas, em sua maioria, são depositados em montes a céu aberto, essa política de depósitos acarreta impactos ambientais na região de descarte, através do visual negativo promovido pelos montes estocados.

Baseado no excesso de resíduos minerais e na escassez de matérias primas para concreto, estudos têm sido executados com o objetivo de desenvolver métodos e técnicas que garantam a substituição das matérias primas dos materiais de construção, por resíduos da mineração.

Partindo desse pressuposto, neste trabalho são abordados estudos de substituição parcial do agregado miúdo por resíduo da mineração em concreto para fins de pavimentação. Objetiva-se com essa técnica, a possibilidade de manter, ou melhorar as propriedades mecânicas do concreto no que se refere a sua resistência mecânica, aos esforços de compressão e tração na flexão.

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo central a realização de um estudo do comportamento mecânico do concreto para pavimentos rígidos, com substituições percentuais no agregado miúdo por resíduo de scheelita, em que, a priori, fez-se necessário realizar a caracterização física dos materiais constituintes do concreto, inclusive do resíduo, para verificação das suas propriedades como material de incorporação. Posteriormente houve a verificação do comportamento físico e mecânico do concreto com e sem a adição de scheelita, avaliando as propriedades do produto final frente às exigências normativas. Em seguida, foi feita a comparação dos resultados encontrados com o concreto padrão de 100% de agregado miúdo natural para por



fim, ser realizado o estudo e definição das dosagens do concreto. Com o incremento do resíduo na composição do concreto, espera-se diminuir parcialmente a quantidade de resíduo da scheelita que tem destinação final inadequada, fornecendo assim uma alternativa de reutilização para o mesmo.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, fez-se necessária a utilização de certos materiais, bem como, de uma metodologia específica para realização dos ensaios requeridos. A princípio, partiu-se da etapa de coleta do resíduo da scheelita coletado em pilhas de rejeitos de minas, processo esse realizado de acordo com as exigências da NBR NM 26:2009 para agregados miúdo dispostos em pilhas. Em seguida, se deu a realização dos ensaios de caracterização física dos materiais constituintes do concreto, tais como, ensaio de composição granulométrica, massa unitária, massa específica, finura e tempo de pega do cimento, todos estes baseados nas exigências da norma DNIT 054:2004.

Após realizada a caracterização dos materiais, realizou-se a etapa de escolha do traço a partir do método de cálculo método da ACI/ABCP - American Concrete Institute/Associação Brasileira de Cimento Portland presentes no concreto, foram produzidos dois traços piloto, um com 0% e outro com 100% de resíduo scheelita a fim de obter um conhecimento prévio sobre o comportamento do rejeito, e, posteriormente, seguiu-se com a produção, caracterização e análise mecânica do concreto, realizando ensaios os de compressão simples e compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto, onde depois do rompimento dos traços pilotos, deu-se início à produção do concreto para a qual foram produzidos os 4 traços, de 0%, 50%, 75% e 100%. A seguir, pode-se constatar a etapa de coleta dos resíduos e dos rompimentos dos corpos de prova dispostos nas Figuras 1 e Figura 2, respectivamente, abaixo.

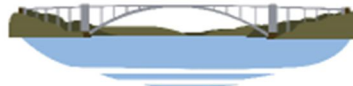


Figura 1. Coleta do resíduo. Fonte: Autoria Própria, (2018).



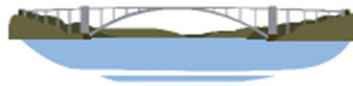
Figura 2. Ensaio de compressão simples e tração por compressão diametral. Fonte: Autoria Própria, (2018).

O Quadro 1 abaixo consta todas as normas utilizadas no procedimento experimental.



Quadro 1 – Resumo das normas. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Norma	Nome	Objetivos
Coleta dos Materiais	NBR NM 26:20002009 Agregados Amostragem	Estabelecer os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas a ensaios de laboratório.
Caracterização Física dos Materiais	NBR NM 248:2003 Agregados Determinação da composição granulométrica	Prescrever o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.
	NBR 7218:2010 Agregados Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	Especificar um método para a determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis em agregados destinados ao preparo do concreto.
	NBR NM 46:20002003 Agregados Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.	Estabelecer o método para a determinação por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75 um.
	NBR NM 45:2006 Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios	Estabelecer o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto.
	NBR NM 52/20032009 Agregado miúdo Determinação da massa específica e massa específica aparente	Estabelecer o método de determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados miúdos destinados a serem usados em concreto.
	NBR NM 53:2009 Agregado graúdo Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água	Estabelecer o método de determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados graúdos, na condição saturados superfície seca, destinados ao uso em concreto.
	DNER-ME 086/94 Agregado – determinação do Índice de forma	Fixar o modo pelo qual se determina a variação dos eixos multidirecionais das partículas que compõem o agregado, definindo-a pelo índice de forma.
	NBR NM 51:2001 Agregado graúdo Ensaio de abrasão "Los Angeles"	Estabelecer o método de ensaio de abrasão de agregados graúdos usando a máquina "Los Angeles".
	NBR 11579:2012 Cimento Portland Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)	Prescrever os métodos de ensaio de peneiramento a seco para a determinação do índice de finura de cimento Portland com o emprego da peneira 75 µm (nº 200), pelos procedimentos manual e mecânico.
NBR 16607:2017 Cimento Portland Determinação dos tempos de pega	Estabelecer o método para determinação dos tempos de pega da pasta de cimento Portland, utilizando o aparelho de Vicat.	
Escolha do Traço	DNIT 054/2004 Pavimento rígido Estudos de traços de	Estabelecer a rotina a ser adotada para o estudo de traços de concreto de



		concreto e ensaios de caracterização de materiais - Procedimento	cimento Portland, destinados à execução de pavimentos rígidos.
Produção do concreto	NBR NM 67:1998.	Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	Especificar um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra.
	NBR 5738 :2015	Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova	Prescrever o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto.
Caracterização do concreto endurecido	NBR 5739:2018	Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos	Especificar o método de ensaio para a determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.
	NBR 7222:2011	Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos	Prescrever o método para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova e testemunhos cilíndricos de concreto e argamassa.

## RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados referentes ao desempenho dos traços estudados, mostrando como se deu a análise do comportamento mecânico aos esforços de compressão axial e de tração por compressão diametral.

As curvas granulométricas das diferentes composições de agregado miúdo resultantes do ensaio de granulometria estão apresentadas no Figura 3. Percebe-se uma diferença entre o diâmetro máximo característico da areia e da scheelita, que são respectivamente 4,75 mm e 1,18 mm, entretanto, de acordo com a NBR 7211:2009, norma que especifica os requisitos exigidos para que os agregados possam ser utilizados na produção de concreto, ambas estão dentro dos limites de granulometria indicados para a zona utilizável.

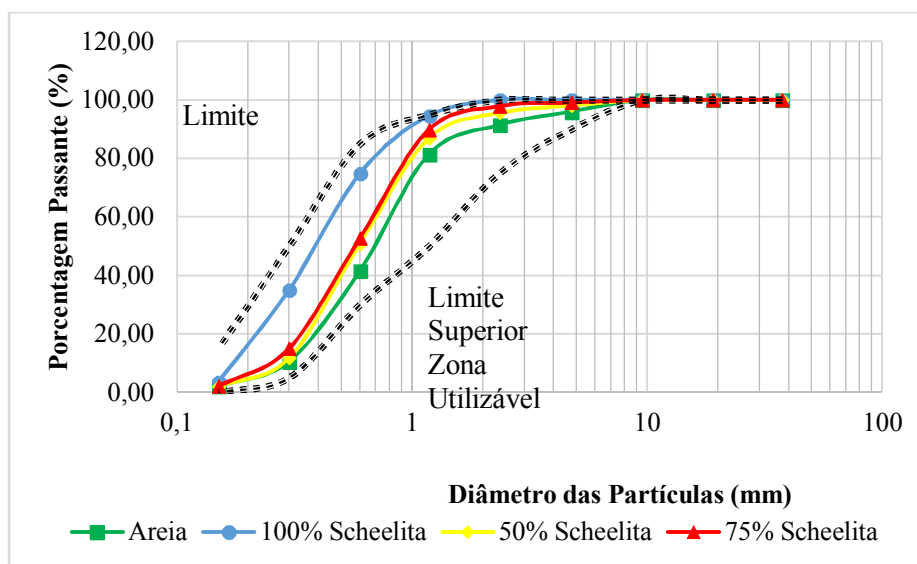
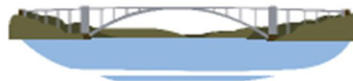


Figura 3 – Gráfico das curvas granulométricas dos agregados miúdos. Fonte: Autoria Própria, (2018).

O agregado miúdo com 50% e 75% de substituição de areia por resíduo de scheelita permaneceu dentro da zona utilizável de granulometria. E, apesar de ser constituída com proporções diferentes de areia e resíduo, as duas dosagens adquiriram a mesma característica, visto que o diâmetro máximo característico das duas foi de 2,36 mm.



O módulo de finura do resíduo da scheelita e da areia como mostrado na Tabela 1 são de 1,91% e 2,77%, respectivamente, e o mesmo é inversamente proporcional à porcentagem de substituição do agregado, ou seja, conforme se aumenta a porcentagem de resíduo, menor é o seu módulo de finura.

Bauer (2015) cita que, quanto menor o módulo de finura do agregado, maior será a superfície específica do material, o que consequentemente exigirá uma maior necessidade de água. Caso não seja acrescentada a água, haverá uma provável piora na trabalhabilidade do concreto. Logo espera-se que os traços apresentem diminuição do abatimento, conforme aumentada a porcentagem de resíduo incorporada.

**Tabela 1 - Módulo de finura e teor de materiais pulverulentos do agregado miúdo. Fonte: Autoria Própria, (2018).**

Agregado	Módulo de Finura (%)	Materiais Pulverulentos (%)
100% areia	2,77	3,0
50% scheelita	2,55	2,2
75% scheelita	2,44	2,0
100% scheelita	1,91	2,0

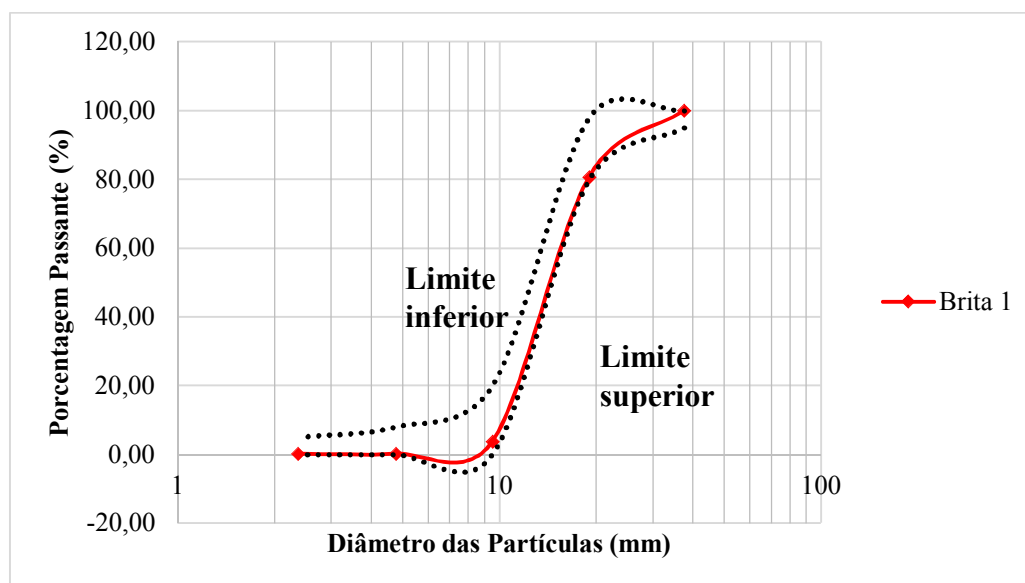
A massa específica do agregado miúdo cresce com o aumento da porcentagem de rejeito, chegando a uma diferença de 9,6% da areia para o resíduo de scheelita, conforme representando na Tabela 2. Essa característica da scheelita eleva o peso próprio da estrutura que utiliza concreto com esse tipo de substituição, fato que influencia diretamente na massa específica do concreto.

**Tabela 2 - Massa específica e unitária do agregado miúdo. Fonte: Autoria Própria (2018).**

Agregado	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)
100% Areia	2,54	1,48
50% scheelita	2,69	
75% scheelita	2,75	
100% scheelita	2,81	1,56

Ainda analisando os dados da Tabela 2, é nítida a diferença entre as massas unitárias do agregado natural para o agregado artificial. O valor inferior da areia revela que seus grãos se arranjam de uma melhor forma, e consequentemente deixa um menor número de vazios. De acordo com Bauer (2015), os vazios do concreto têm influência direta na resistência à compressão e durabilidade do concreto, portanto, o maior número de vazios deixado pelo agregado composto por 100% de resíduo de scheelita pode causar redução na resistência à compressão e na durabilidade do concreto.

As curvas granulométricas resultantes do ensaio de granulometria da brita 1 e da brita 0 estão apresentadas na Figura 4 e na Figura 5, respectivamente. Pode-se observar que as brita 1 e brita 0 possuem diâmetros máximo característicos de 19 mm e 9,5 mm respectivamente.



**Figura 4 – Gráfico de curva granulométrica da Brita 1. Fonte: Autoria Própria, (2018).**

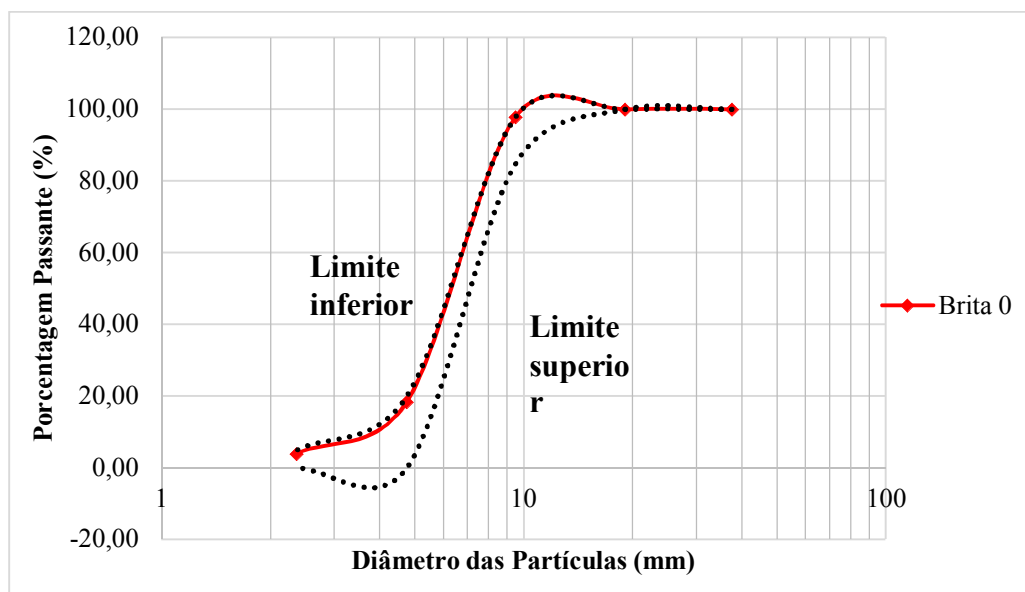


Figura 5 – Gráfico de curva Granulométrica da Brita 0. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Analisando os gráficos constata-se que o agregado graúdo utilizado na pesquisa atende os limites de distribuição granulométrica impostos pela NBR 7211:2009.

A Tabela 3 mostra a significativa absorção das britas 1 e 0, necessária para correção da água constituinte do concreto, a fim de que a água de amassamento definida no cálculo da dosagem não seja absorvida e haja uma diminuição na relação água/cimento, e consequentemente, uma piora na trabalhabilidade do concreto. A tabela 3 expõe também a massa específica e massa unitária dos agregados graúdos, mostrando que as brita 1 e a brita 0 possuem a mesma influência no peso da estrutura de concreto, e que a brita de maior diâmetro possui um melhor arranjo dos seus grãos quando comparados ao de diâmetro inferior.

Tabela 3 - Características do agregado graúdo. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Agregado	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção
B1	2,67	1,37	0,3
B0	2,67	1,39	0,8

A brita 1 apresentou um desgaste dos seus grãos inferior aos da brita 0. De acordo com o ensaio de abrasão Los Angeles, a brita 1 possui um desgaste a abrasão de 11,25% e a brita 0 de 20,25%. Dado que a NBR 7211:2009 restringe esse desgaste a 50%, as britas também se enquadram nesse aspecto como agregado graúdo.

Os índices de forma da brita 1 e brita 0 são respectivamente 1 e 1,3. Tendo em vista que a NBR 7211:2009 apresenta 3, como limite superior para o índice de forma do agregado graúdo, ambas as graduações de brita granítica enquadram-se como agregado para concreto.

Por apresentarem índices próximo a 1, os grãos apresentam uma forma cúbica, considerada melhor para um agregado, pois conforme Bauer (2015) o aumento da porcentagem de grãos alongados e lamelares causa uma diminuição na trabalhabilidade do concreto.

Os traços resultantes de acordo com método ACI/ABCP presente no manual de pavimentação de Senço (2001) e o consumo dos materiais estão apresentados na Tabela 4.

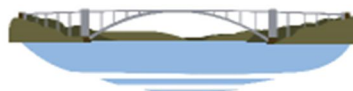


Tabela 4 – Traços. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Substituição	Traço (kg)	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )				
		Cimento	Areia	Brita 1	Brita 0	Scheelita
0% (Convencional)	1:1,55:2,02:0,43	465	720	654	284	0
50%	1:1,55:2,10:0,43	465	361	680	296	361
75%	1:1,55:2,13:0,43	465	180	692	301	541
100%	1:1,64:2,09:0,43	465	0	676	294	762

Como as alterações no cálculo entre as diferentes substituições foram apenas nos parâmetros do agregado miúdo, os quais só interferem na quantidade dos agregados, o consumo de cimento e a relação água/cimento permanecem as mesmas em todas as dosagens, sendo respectivamente 465 kg/m<sup>3</sup> e 0,43. Ambos os parâmetros respeitam os limites da norma DNIT 054/2004, dado que a relação água/cimento deve permanecer entre 0,4 e 0,56 e o consumo de cimento mínimo é de 320 kg/m<sup>3</sup>.

Observa-se um elevado consumo de cimento, isso ocorre devido as características do cimento utilizado, já que a resistência mecânica à compressão aos 28 dias do cimento é de 32 MPa, e a resistência do concreto para qual o traço foi calculado foi de 35 MPa.

A pequena alteração entre os traços é justificada pela também reduzida diferença entre as massas específicas. Para cálculo do traço, foi adotado um abatimento de 6 cm, assim como duas granulometrias de agregado graúdo, a brita granítica de 19 mm e a de 9,5 mm, nas proporções de 70% e 30% respectivamente.

Quanto ao ensaio de abatimento de tronco de cone no concreto fresco, foi realizado o ensaio de cada composição trabalhada a fim de verificar se a consistência do concreto fresco seria adequada com os valores teóricos. De acordo com a norma DNIT 054/2004, o ensaio deve ser realizado para abatimento que seja superior ou igual a dois. Os resultados do ensaio podem ser observados na Figura 6.

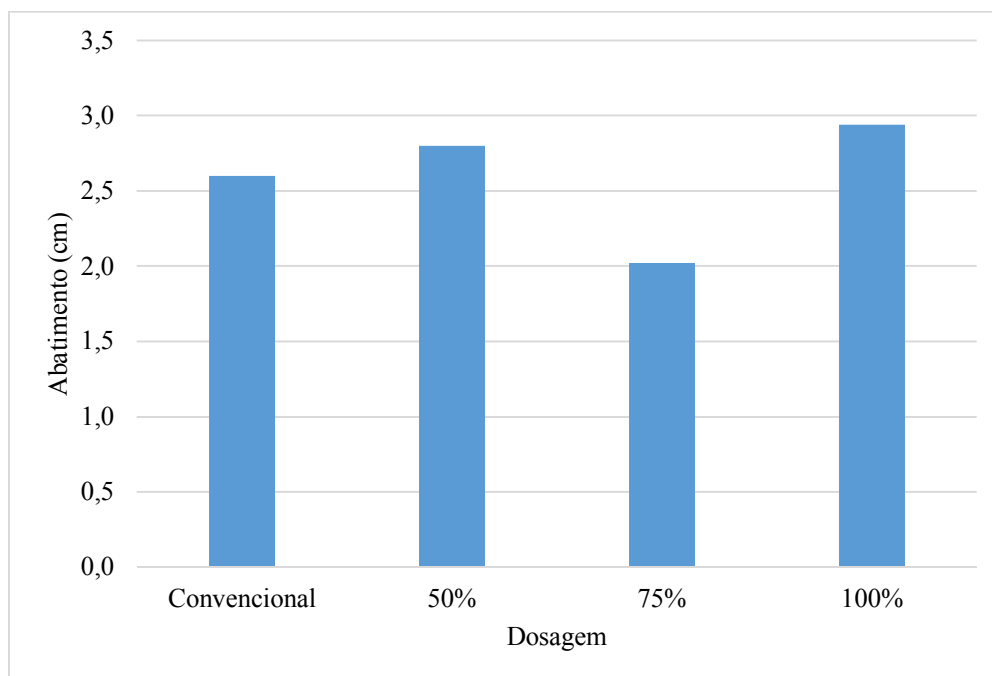


Figura 6 – Gráfico de resultado do ensaio de abatimento de tronco de cone. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Devido à produção de concreto ter sido feita em cinco betonadas, o abatimento de tronco de cone resultante foi dado pela média entre os abatimentos registrados. Apesar do traço ter sido calculado prevendo um abatimento de 6 cm, decidiu-se manter constante a relação água/cimento, desde que o abatimento estivesse de acordo com os limites de concreto para pavimento impostos em Senço (2001), o qual varia de dois a oito centímetros.





Dentre as dosagens estudadas a que obteve uma melhor trabalhabilidade foi a constituída de 100% de scheelita, abatimento de 2,9 cm. Esse resultado mostra a importância do ensaio, já que se previsto a partir apenas da análise granulométrica do agregado miúdo, essa dosagem teria o comportamento oposto, sendo o concreto de pior trabalhabilidade. Esse fenômeno é justificado pelos outros fatores de influência, como por exemplo, a umidade do ar e de temperatura, visto que, apesar dos ensaios terem sido realizados nos mesmos horários, esses fatores variaram ao longo dos dias.

Como mostrado no gráfico 4, não houve uma linearidade no abatimento dos diferentes tipos de dosagens, dado que o concreto convencional e o de 75% de resíduo foram os que obtiveram os piores resultados, sendo o último o de menor trabalhabilidade. Isso mostra que a finura e consequentemente a maior superfície específica do grão não foi o principal fator de interferência na consistência do concreto.

No que se refere aos ensaios de resistência a compressão simples, o gráfico abaixo apresenta todas as resistências médias resultantes dos ensaios de compressão axial. Se desconsiderado fatores externos, pode-se observar que a substituição parcial do agregado causa alteração no comportamento mecânico do concreto. Tendo em vista que o traço de 100% areia e o de 100% scheelita obtiveram nos primeiros 14 dias 84% e 86% da sua resistência, e os de 50% e 75% obtiveram nesse mesmo período respectivamente 76% e 99%, a substituição ocasionou em um, perda na velocidade de ganho de resistência, e no outro, aumento, como mostra a Figura 7.

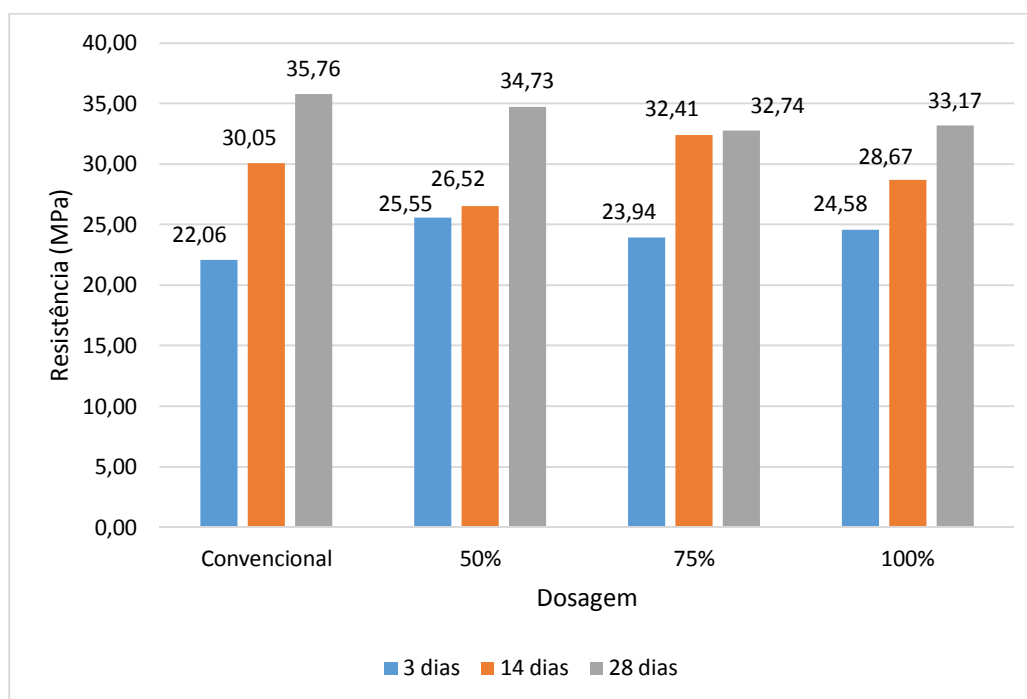


Figura 7 – Gráfico de resistência a compressão simples em todas as idades de cura. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Quanto aos ensaios de resistência a tração por compressão diametral, a Tabela 5 e a Figura 8 abaixo apresentam as resistências resultantes do ensaio tração por compressão diametral em todas as idades de cura. As resistências médias à tração resultante do ensaio de compressão diametral apresentaram o concreto com 100% de resíduo de scheelita como o com melhor comportamento mecânico e o traço de 50% como o menos resistente.

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral em todas as idades de cura. Fonte: Autoria Própria, (2018).

Dosagem	Resistência (Mpa)		
	3 dias	14 dias	28 dias
(Convencional)	2,62	2,61	2,94
50%	2,46	2,63	2,84
75%	2,26	2,82	2,94
100%	2,48	2,52	3,23

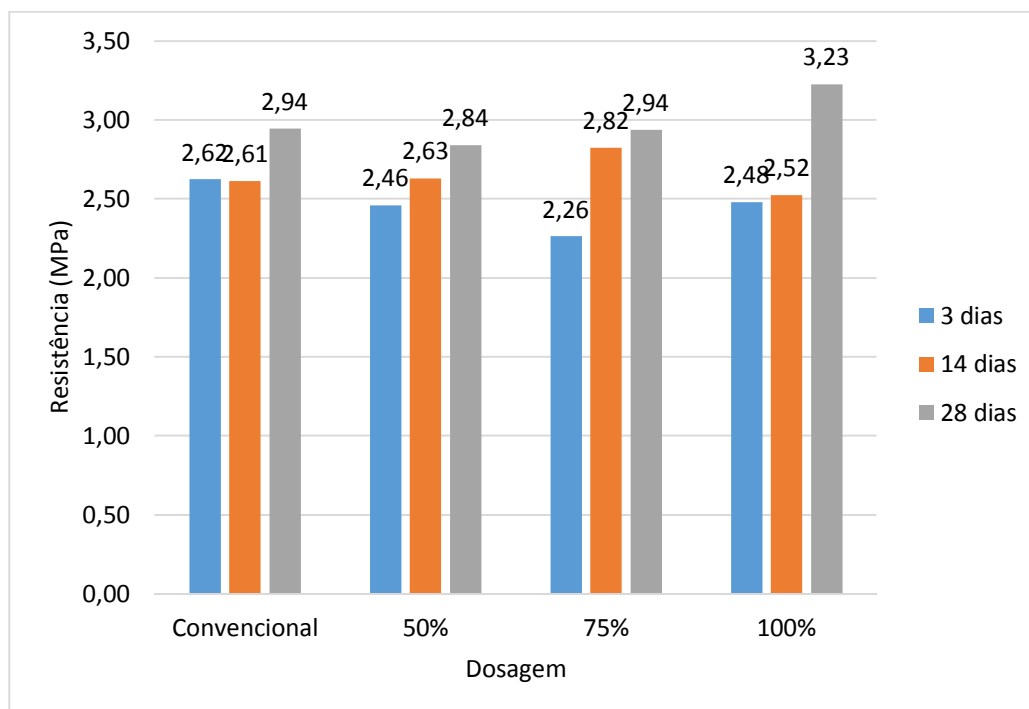


Figura 8 – Gráfico de resistência à tração por compressão diametral em todas as idades de cura. Fonte: Autoria Própria (2018).

## CONCLUSÕES

O resíduo de scheelita mostrou-se um substituto adequado ao agregado miúdo natural, quanto às suas características físicas, já que os resultados dos ensaios realizados se apresentaram dentro dos limites impostos para utilização em concreto, descritos em norma. No que se diz respeito ao comportamento mecânico, todos os traços com substituição da areia pelo rejeito apresentaram perda de resistência em alguma fase. O concreto mostrou-se adequar às exigências desde que seja utilizado estruturalmente armados. Tendo em vista o tipo de concreto, o revestimento é mais indicado para piso de estacionamentos e aeroportos.

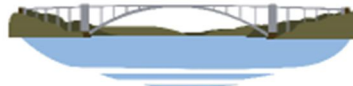
Diferentemente do esperado, a dosagem que obteve pior resultado mecânico foi a que possuía 75% de resíduo de scheelita, seguida pela constituída de 100% do rejeito. Quanto à consistência, o traço com 75% de rejeito, apresenta pior consistência, o que pode ser uma possível justificativa para o comportamento mecânico dessa dosagem, tendo em vista que uma pior trabalhabilidade pode afetar o adensamento do concreto, deixando um maior número de vazios, e consequentemente, reduzir a resistência do concreto.

Para os traços em estudo, a substituição mostrou-se uma opção viável, dado que apresentou baixa perda de resistência, não interferindo no atendimento dos esforços gerados pelo tráfego dos veículos. Além disso, promove a diminuição dos impactos ambientais causados pela extração de matéria prima e geração de resíduos, e ainda uma vantagem econômica com a redução da compra do agregado miúdo natural.

No entanto o estudo é válido apenas para os traços analisados, com substituição parcial de 50% e 75%, assim como com a substituição total do agregado. A depender do método de aplicação será necessária uma melhor trabalhabilidade do concreto, portanto, indica-se a utilização de aditivos que aumentem sua trabalhabilidade: plastificantes, incorporadores de ar e superplastificantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos**. 2015 Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2015.pdf>> Acesso em: abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 26: Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.



3. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
4. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 51:** Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
5. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
6. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
7. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
8. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
9. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
10. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
11. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
12. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
13. BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2015. 488 p. v. 1.
14. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Acidentes rodoviários e a infraestrutura**. Brasília: CNT, 2017. 132 p. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Acidentes%20Rodovi%C3%A1rios%20e%20Infraestrutura/acidentes\\_rodoviarios\\_infraestrutura\\_web.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Acidentes%20Rodovi%C3%A1rios%20e%20Infraestrutura/acidentes_rodoviarios_infraestrutura_web.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2018.
15. \_\_\_\_\_. **Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2017**. Brasília: CNT, 2017.
16. \_\_\_\_\_. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017. 160 p. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo\\_pavimentos\\_ao\\_duram.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimentos_ao_duram.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2018.
17. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2006.
18. \_\_\_\_\_. **DNIT 054/2004 – PRO Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaio de caracterização de materiais – Procedimento**. 2004.
19. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília: Ipea, 2005.
20. KOSTULSKI, Annie Marques. **Análise Comparativa de Custo entre Pavimentos de Concreto de Cimento Portland, Blocos Intertravados e Concreto Asfáltico**. 2015. 91 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.