

ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PELO RESÍDUO DE CAULIM GROSSO EM CONCRETOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Brenno Tércio Da Silva Miranda (*), Gilanildo Freires De Almeida, Larissa Santana Batista, Lorena Dantas Pinto, Náthaly Bernardo Sousa. *Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, email: brenno.miranda@hotmail.com

RESUMO

A extração de minério traz consigo o grande prejuízo da quantidade exacerbada de resíduos gerados através de partículas no qual não são reaproveitadas ou submetidas a alternativas viáveis a fim de minimizar impactos ambientais. Como é o caso da exploração do caulim grosso nas mineradoras brasileiras. Nesse diapasão, um destino viável para o reaproveitamento do resíduo de caulim grosso é a sua utilização na substituição parcial do agregado graúdo em concretos para pavimento rígido. Essa é uma solução prática proposta por esse trabalho e que visa bons resultados, visto que, ainda hoje há poucos trabalhos desenvolvidos quando relacionados a resíduos grossos. Assim, o objetivo desse trabalho é avaliar, através de ensaios de compressão simples e resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão, o comportamento mecânico do concreto para pavimento rígido a partir da utilização do resíduo do caulim grosso, verificando assim, se este atende as propriedades requeridas, afim de obter um desempenho eficiente, bem como compará-lo ao concreto produzido com agregado convencional. Os traços produzidos tiveram substituições parciais do agregado graúdo em proporções de 15%, 30% e 50% de caulim grosso e foram submetidos a períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. A partir dos resultados que a pesquisa obteve, foi possível analisar que o concreto produzido com caulim grosso obteve valores similares e alguns até superiores quando comparado ao concreto convencional. Como exemplos, o concreto produzido com 30% de resíduo de caulim grosso na sua composição que aos 14 dias de cura o mesmo apresentou resistência de 22,57 Mpa, quando submetido ao esforço de resistência a compressão simples, enquanto concreto convencional foi de 23,26 Mpa. Nos ensaios de compressão diametral, o concreto produzido com 15% de resíduo de caulim grosso obteve aos 28 dias de cura 3,43 Mpa, e o concreto convencional, obteve um valor de 3,2 Mpa. É possível salientar que o uso do resíduo de caulim grosso torna-se viável, visto que a sua utilização evitaria o descarte desse resíduo em locais inapropriados, onde contribuiria de forma eficiente com a não degradação do meio ambiente e promovendo sustentabilidade de forma justa.

PALAVRAS-CHAVE: Caulim grosso, pavimento rígido, construção civil, sustentabilidade, concreto.

INTRODUÇÃO

O território brasileiro, por dispor de uma imensa área de formação rochosa antiga, detém um grande número jazidas minerais, o que o torna um dos maiores produtores e exportadores do mundo. As atividades mineradoras têm influência bastante significativa na economia do país, consolidando-se como um setor de considerável geração de renda. Araújo, Olivieri e Fernandes (2014) referem que o Brasil produz mais de setenta substâncias minerais sendo, esta produção, liderada pelo minério de ferro e de ouro. Mas com toda essa riqueza de minerais e, embora a mineração esteja diretamente ligada ao desenvolvimento do país, tendo grande importância na economia, muitas são as críticas e discussões acerca dos grandes impactos ambientais gerados por essa indústria.

Entre os principais impactos, destaca-se a enorme geração de resíduos sólidos, isto é, de partículas sólidas que, aparentemente, não possuem utilidade para as mineradoras e, portanto, são depositadas em grandes volumes no meio ambiente, na maioria das vezes em espaços abertos e sem nenhum tipo de isolamento. A dispersão dessas partículas (poeira) possibilita tanto o surgimento de problemas de saúde na população que reside nas proximidades desses depósitos, como uma enorme poluição visual, gerada pelo acúmulo do material, entre outras problemáticas.

Nessa categoria de minerais cujo a extração e o beneficiamento causam sérios danos ao meio ambiente, encontra-se o Caulim. Segundo Mártires (2009), Caulim é uma rocha constituída de um grupo de Silicatos hidratados de alumínio (principalmente Caulinita e Haloisita), que contém outras substâncias como Areia, Quartzo, grãos de Mica e Feldspato, entre outros. Segundo o IBRAM (2012), o Brasil é o quinto maior produtor de Caulim, com aproximadamente 2,05 milhões de toneladas em 2011, cerca de 6,2% da produção mundial; são reservas de altíssima qualidade (alvura e pureza) para uso na indústria de papéis especiais.

As indústrias de processamento e beneficiamento do caulim se destacam pela magnitude dos impactos causados ao meio ambiente, visto que, devido a utilização de técnicas rudimentares e exploração sem estudos geológicos prévios, como ocorre na maior parte dessas indústrias no Nordeste, grande parte do mineral é perdido (SILVA, 2010). Portanto, tais indústrias detêm grande parte da responsabilidade de preservação do meio ambiente, já que o correto descarte dos resíduos é obrigação destas empresas, como determina a Lei N° 12305/2010 que exige elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos por parte das mesmas.

Na literatura existem muitos trabalhos que desenvolvem propostas de reaproveitamento dos resíduos finos de alguns minerais para produção de diversos materiais de uso frequente, e que apresentam resultados satisfatórios nos quesitos estabelecidos. Um exemplo é o estudo da utilização de resíduos finos na confecção de concreto, realizado por Almeida, *et al* (2017). Porém, em relação ao resíduo grosso, pouco há sobre a aplicação deste, fazendo-se necessários estudos que o envolvam. Uma opção de grande viabilidade é a área da construção civil, destacando-se neste trabalho, o uso desses resíduos no setor rodoviário, para confecção de concreto de pavimentos rígidos.

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo propor uma nova aplicação ao resíduo grosso oriundo do beneficiamento do caulim, advindo da indústria mineradora, em substituição parcial do agregado graúdo em placas de concreto para pavimento rígido, dando um novo uso ao material, minimizando o seu descarte no meio ambiente e reduzindo, assim, os impactos ambientais

METODOLOGIA

O estudo tratou-se de uma análise do comportamento mecânico do concreto utilizando o resíduo de caulim grosso (proveniente da indústria mineradora), para tanto foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10x20cm para diferentes proporções de substituição do agregado graúdo pelo resíduo de caulim: 15, 30 e 50%. Também foram confeccionados corpos de prova com o concreto convencional (sem resíduo) com intuito comparativo. Os ensaios foram feitos de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 1. Ensaios utilizados para caracterização dos materiais. Fonte: Autor do Trabalho.

Materiais	Ensaio
Areia lavada do tipo média	Granulometria, massa unitária e massa específica.
Cimento Portland CP II Z 32	Finura.
Brita 1, brita 0 e o resíduo grosso de caulim	Granulometria, massa unitária e absorção.
Concreto endurecido	Compressão simples e resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão

- **Procedimento**

Os procedimentos experimentais esquematizados na Figura 1 descrevem os materiais e seus respectivos ensaios avaliados. Após a coleta de materiais, realizou-se a caracterização física de cada componente do concreto. Foram feitos os ensaios de granulometria e de massa unitária para o resíduo de caulim, areia, brita 0 e brita 1. Para a areia foi obtida também a massa específica e para agregados graúdos, a absorção. O aglomerante (cimento), por sua vez, foi caracterizado a partir do ensaio de finura.

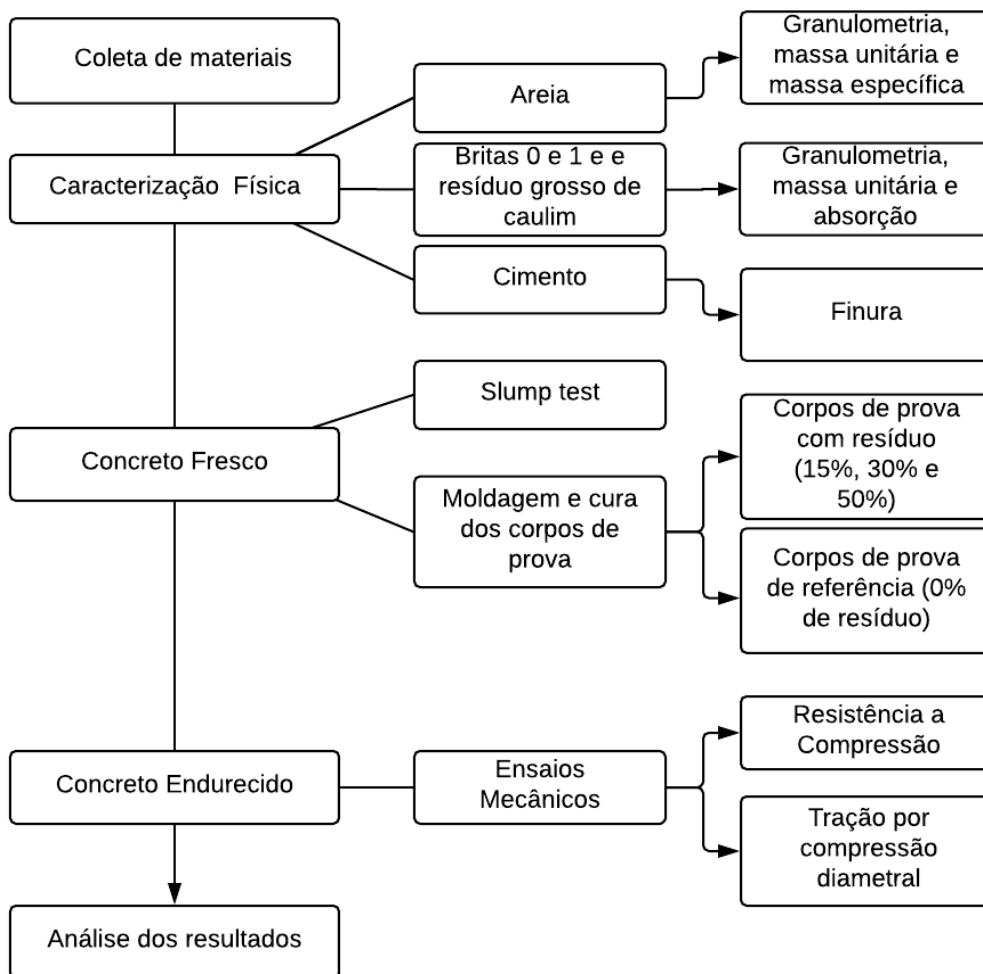


Figura 1: Fluxograma das atividades realizada

Para a formulação do traço do concreto a ser utilizado, elaborou-se a composições a partir do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), visando obter as resistências mínimas a compressão e tração na flexão, que são respectivamente 26 Mpa e 3,8 Mpa. A partir do traço foram calculadas as composições com substituição parcial da brita 0, em três proporções: 15%, 30% e 50%, posteriormente deu-se a moldagem dos corpos de prova. Além das 3 composições, para análise comparativa, foram moldados corpos de prova de concreto convencional de mesmo traço.

De acordo com a NBR NM 67 / 1998 realizou-se o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test) no concreto fresco, a fim de verificar a trabalhabilidade requerida para a qual o concreto foi dimensionado. A cura úmida foi feita com testes aos 7, 14 e 28 dias de idade. Após a cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, normatizadas na NBR 5739:2007 e NBR 7222:2011, respectivamente.

RESULTADOS

- Caracterização física
- Agregado miúdo

Para análise da areia como agregado miúdo constatou-se através da curva granulométrica representada na figura 2, que o material possui maior porcentagem de massa retida nas peneiras de abertura 1,2 – 0,3 mm, e que a dimensão máxima característica é de 4,75 mm, encontrando-se, de acordo com a NBR 7211/2009, dentro da zona ótima, podendo ser, então, utilizada na fabricação do concreto.

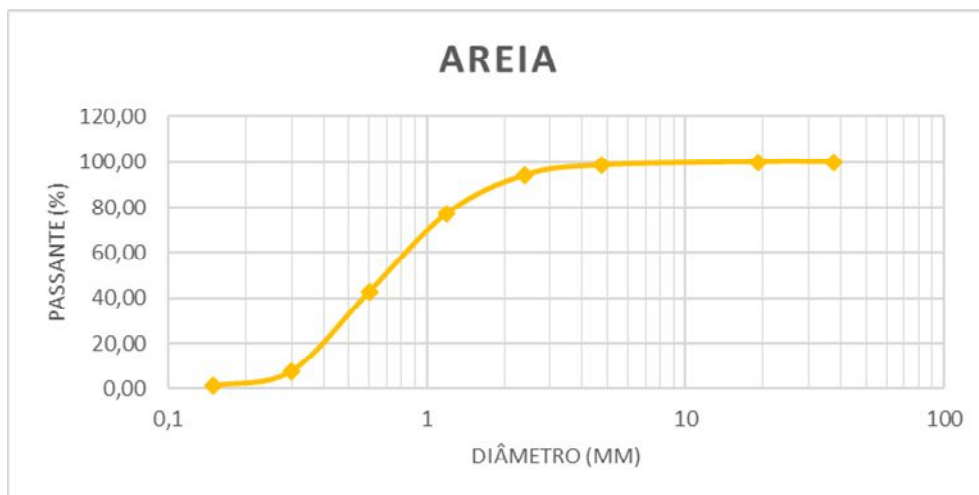


Figura 2: Curva Granulométrica da areia. Fonte: Autor do Trabalho.

Com os resultados da massa unitária e específica, conforme tabela 2, e com base na literatura consultada, para areia média, é considerado dentro do intervalo de 2,2 a 2,9, garantindo a trabalhabilidade do concreto, de acordo com a mesma tabela ele apresenta para areia o módulo de finura de 2,78. O valor da massa unitária da areia obtido foi de 1,41, implica dizer que os grãos da areia se arranjam bem, deixando um menor espaço de vazios. Logo, a partir da caracterização física da areia, percebe-se que a mesma apresenta bons parâmetros para a utilização em concreto.

Tabela 2. Análise Granulométrica – Agregado Miúdo. Fonte: Autor do Trabalho.

Areia	
Massa unitária (g/cm ³)	1,41
Módulo de finura	2,78

• Agregados graúdos

Os agregados graúdos utilizados foram as britas 0 e 1 e resíduo de caulim grosso, como substituição parcial da brita 0. O ensaio de granulometria da brita 1, mostra que a mesma possui a maior porcentagem de material retido na peneira de abertura 4,75 mm, estando de acordo com os limites estabelecidos na NBR 7211/2009.

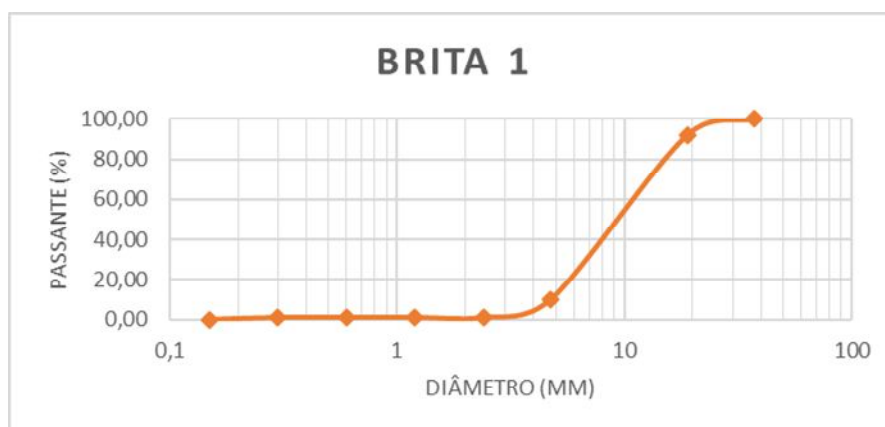


Figura 3: Análise Granulométrica – Agregado Graúdo – Brita 1. Fonte: Autor do Trabalho.

De acordo com a tabela 3, a brita 1 apresentou massa unitária de 1,45 g/cm³ e absorção de 0,6%, na qual afetou diretamente na porcentagem de água a ser acrescentada no traço, para que a brita esteja em condições ideais de superfície de saturada seca.

Tabela 3. Dados – Agregado Miúdo - Brita 1. Fonte: Autor do Trabalho.

Brita 1	
Massa unitária (g/cm ³)	1,45
Absorção (%)	0,6

Na figura 4 abaixo, apresenta-se a curva granulométrica da brita 0 e do resíduo de caulim grosso. Realizando uma comparação, pode-se observar que as curvas se assemelham e encontram-se dentro dos limites expostos pela NBR 7211/2009. Observando as curvas do resíduo quando comparada com a da brita 0, pode-se perceber uma maior faixa de diâmetros com uma porcentagem maior para o intervalo de 2 a 8 mm, resultando em um melhor preenchimento de vazios deixados pela brita 1, tornando o concreto mais denso

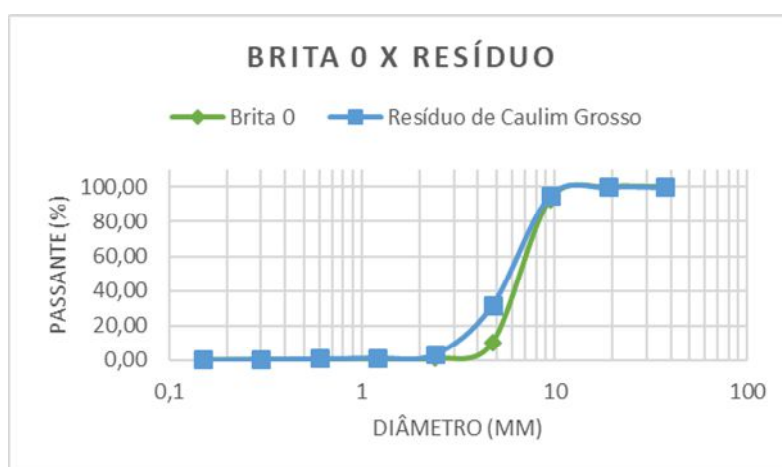


Figura 4: Análise Granulométrica – Agregado Graúdo – Brita 0 e resíduo de caulim grosso. Fonte: Autor do Trabalho.

A tabela 4 apresenta os valores de massa unitária e absorção da brita 0 e do resíduo grosso de caulim. Percebe-se uma proximidade de valores de massa unitária entre os dois materiais, o que é satisfatório para a substituição no concreto. Por outro lado, o resíduo possui uma absorção de água consideravelmente alta, sendo necessário aumentar a relação a/c para o concreto alternativo, o que pode causar redução na resistência mecânica do concreto. Pode-se relacionar a elevada absorção do resíduo a maior porosidade que este possui, de acordo com a literatura.

Tabela 4. Dados – Agregado Graúdo – Brita 0 e resíduo de caulim grosso. Fonte: Autor do Trabalho.

Amostra	Massa unitária (g/cm ³)	Absorção (%)
Resíduo de Caulim Grosso	1,34	8,25
Brita 0	1,38	1,83

- Aglomerante**

Para o cimento obteve-se módulo de finura igual a 2,7%. Um menor módulo de finura garante maior trabalhabilidade, impermeabilidade e aderência aos dos concretos.

- Concreto no estado endurecido**

O traço do concreto foi calculado de acordo com o método da ABCP com os dados coletados através dos ensaios de massa específica e unitária e módulo de finura realizados nos materiais constituintes do concreto.

Em conformidade com os dados obtidos, teve como relação de água cimento de 0,51, resultando em um traço de 1: 1,8: 2,85, sendo na proporção de 30% de brita 0 e 70% de brita 1. Através do traço estipulado, foi previsto um abatimento de cone de 6 cm, no entanto, no primeiro momento não foi possível atender esse valor, em busca de não comprometer a resistência, devido o acréscimo que a água causaria, foi adotado um abatimento de 4 cm, mantendo as propriedades do concreto e ainda se enquadrando na norma 054/2004, que determina que o abatimento do cone deve ser igual ou superior a 2 cm.

• **Ensaio da consistência**

Na análise do concreto fresco, com o ensaio de abatimento do cone realizado em cada composição trabalhada até atingir o abatimento de 4 cm, e conseqüentemente a trabalhabilidade necessária. Para ocorrência do mesmo foi necessário acrescentar água, resultando uma alteração da relação a/c. A relações a/c de cada traço está presente na figura 5.

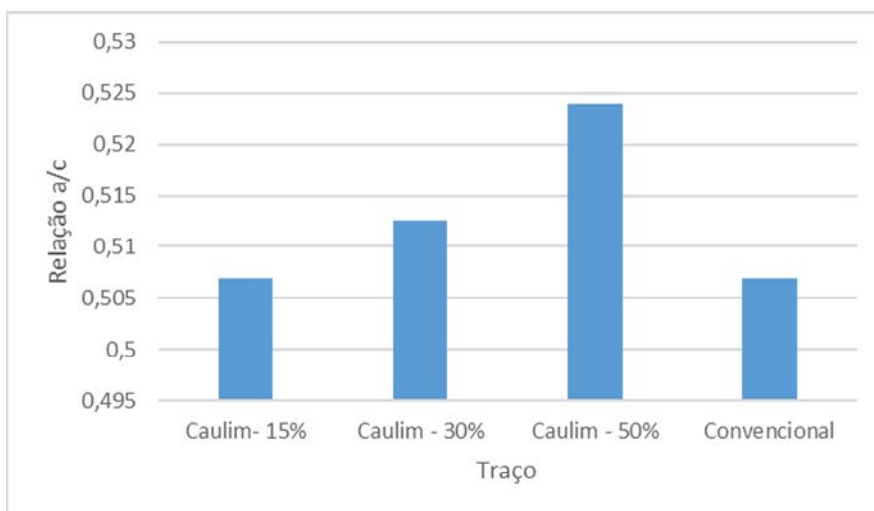


Figura 5: Relação água cimento para abatimento igual a 4 cm. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Ensaio da resistência à compressão simples**

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. Entretanto, o concreto com substituição parcial de 15% obteve uma resistência aproximada do concreto de referência, podendo ser observado na tabela 5. E se manteve acima do limite mínimo de resistência de aproximadamente 26 Mpa, considerando o limite mínimo de 3,8 Mpa para tração na flexão (figura 6). Já os traços de 30% e 50% apresentaram resistência inferior a resistência mínima admissível para concretos de pavimento.

Tabela 5. Resultados do ensaio de compressão simples. Fonte: Autor do Trabalho.

Traço	Resistência		
	7 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	19,46	23,26	29,35
Caulim – 15%	9,29	21,02	27,28
Caulim – 30%	17,56	22,57	25,08
Caulim – 50%	13,28	20,32	22,57

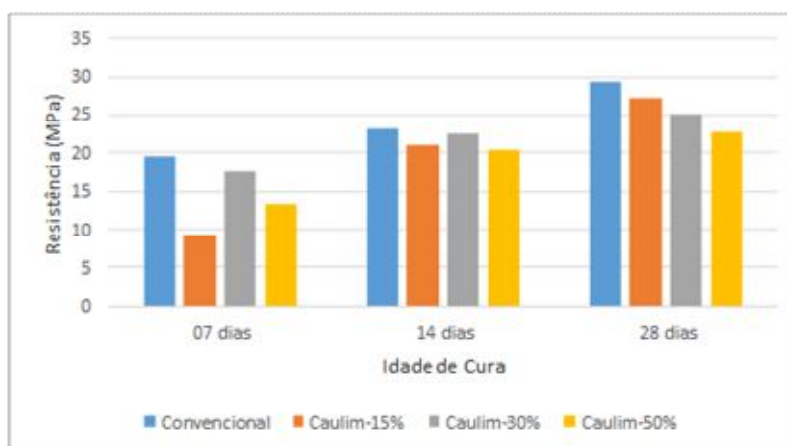


Figura 6: Resultados do ensaio de compressão simples (Mpa). Fonte: Autor do Trabalho.

• Ensaio de resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão

Para o ensaio de tração por compressão diametral, de acordo com a figura 7 e tabela 6, verifica-se que aos 7 dias as composições de 30% e 50% apresentam resistências próximas entre si, e do concreto de referência e o concreto com 15% de caulim possui resistência igual ao convencional. Aos 14 dias o que se nota é o maior acréscimo de resistência do concreto com 30% de resíduo, tendo o valor semelhante ao do concreto convencional. Entretanto aos 28 dias o concreto com 15% volta novamente a apresentar a melhor resistência, com 3,43 Mpa, ultrapassando a resistência do concreto base (3,2 Mpa).

Tabela 6. Resultados do ensaio de tração por compressão diametral (Mpa). Fonte: Autor do Trabalho.

Traço	Resistencia		
	7 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	1,74	2,75	3,2
Caulim – 15%	1,76	2,39	3,43
Caulim – 30%	1,59	2,72	2,88
Caulim – 50%	1,59	2,39	2,6

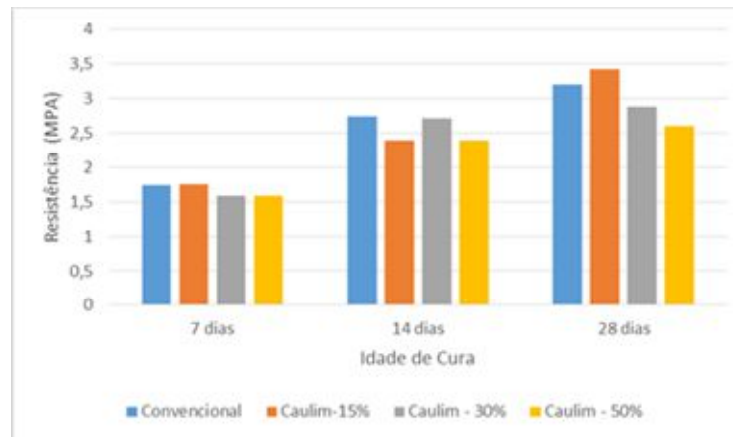


Figura 7: Resultados do ensaio de tração por compressão diametral (Mpa). Fonte: Autor do Trabalho.

A partir dos dados obtidos no ensaio de compressão diametral, utilizou-se a relação, já descrita na metodologia, a fim de se conhecer a resistência a tração na flexão do concreto alternativo para fins de pavimento rígido e, de maneira análoga aos resultados de tração por compressão diametral, a proporção de 15% de caulim no concreto para o determinado traço estudado é o que apresenta melhor comportamento e resistência de tração na flexão (4,46 Mpa), maior que o concreto de referência (4,16 Mpa) e maior que a resistência mínima de tração para pavimentos rígidos (3,8 Mpa) (figura 8).

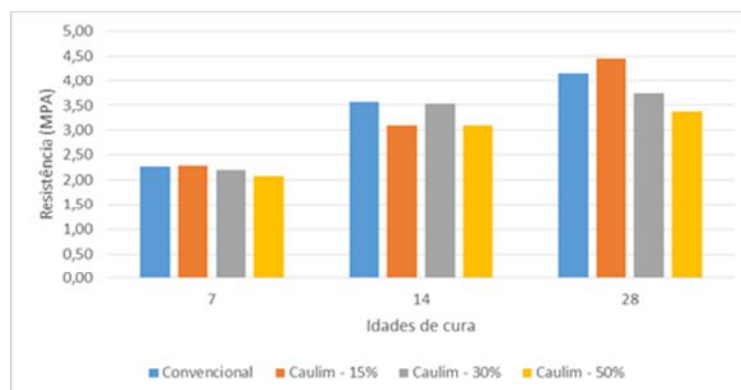


Figura 8: Resultados das resistências de tração na flexão (Mpa). Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios, pode-se afirmar que o concreto alternativo com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo grosso de caulim pode ser empregado para fins de pavimentação em certas proporções. A composição de 15% apresentou melhor desempenho em relação a compressão e a tração. As demais composições podem ser empregadas em pavimento, porém com aumento da espessura da placa de concreto e inserção de barras de transferências. Para que se tenha mais resistência pode-se também aumentar a quantidade de cimento do traço.

Por fim, afirmamos que o resíduo de caulim grosso pode ser empregado na fabricação de concreto para pavimento rígido, pois o mesmo apresenta desempenhos mecânicos semelhantes e até superiores ao concreto convencional, bem como a viabilização de sua utilização, pois uma vez que se esse material seria descartado, sua utilização seria mais econômica e contribuirá positivamente com o meio ambiente, em razão de não ser descartado indevidamente e também propiciara o surgimento de um novo mercado, evidenciando-se assim, que a sua utilização como agregado graúdo, contribui para o desenvolvimento de uma sociedade sustentável, que é a integração entre a preservação ambiental e a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. _____. DNIT 054:2004 - ME. **Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais - Procedimento**. Rio de Janeiro, pag. 1-8, 2004. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit054_2004_pro.pdf>. Acessado em: 10 de agosto de 2018.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7211:2009. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, pag. 1-8. Acesso em: 12 de agosto de 2018
3. ALMEIDA, K. M. de; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. **Utilização do resíduo de caulim na composição do concreto**. In: XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. *Anais...* Rio de Janeiro: CETEM, 2017. p. 113.
4. BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. p.22 – 23. 7ª Edição. Brasília: IBRAM, 2012.
6. SILVA, F. A. N. G.; MELLO, L. S.; SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; TEIXEIRA, F. S. **Caracterização e beneficiamento físico-químico do caulim da região Borborema-Seridó**. In: II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. Campina Grande, PB. 2010. *Anais...* p. 71-82. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.
7. ARAUJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C.. **Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente**. 2014. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1845/1/CCL0010-00-14%20Araujo%20et%20al%20%282014%29.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018. Acessado em: 12 de agosto de 2018.