



OBTENÇÃO DE GEOPOLÍMERO COM INCORPORAÇÃO DE REJEITO ARENOSO

PEREIRA, Y.S.¹, NASCIMENTO, S.M.O.¹, DUARTE, G. M. C. ¹,LIMA, L.A.¹, LAMEIRAS, F.S.¹

¹Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

e-mail: ysp@cdtn.br

RESUMO

As atividades de mineração no Brasil geram, por dia, milhares de toneladas de rejeitos, que normalmente são dispostos em barragens ou diques de contenção, o que gera riscos ambientais e sociais. Como alternativa à prática de disposição em barragens, o uso desses rejeitos na construção civil vem sendo considerado, como, por exemplo, incorporação em matrizes geopoliméricas. Os geopolímeros são materiais produzidos através da ativação alcalina de aluminossilicatos e são ligantes semelhantes ao cimento Portland, com a vantagem de causar menos impactos ambientais durante sua produção. Neste estudo, o rejeito arenoso fornecido pela Samarco foi incorporado numa matriz geopolimérica de metacaulinita nas proporções de 40 - 70 % em massa. Os corpos de prova resultantes atingiram resistência à compressão na ordem de 43 MPa. Os teores de absorção de água variaram entre 9-16 % e 11-14 % para as amostras de 7 e 28 dias, respectivamente. Através desses resultados, nota-se a potencial aplicabilidade na construção civil do geopolímero contendo rejeito de mineração, com redução de impactos e riscos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Geopolímero; Rejeito de mineração; Metacaulinita; Construção civil.

ABSTRACT

Brazilian mining activities generate thousands of tons of tailings daily, which are usually disposed in dams or containment dykes, representing environmental and social hazards. As an alternative of disposing these materials, the civil construction sector considers incorporating them in geopolymer matrices. Geopolymers are materials produced through the alkaline activation of aluminosilicates and are similar binders to Portland cement, causing smaller environmental impacts during their production. In this paper, tailings from Samarco Mineração were incorporated into a geopolymer metakaolin matrix, having between 40 to 70 %wt residue in its composition. The compressive strength of the samples reached around 43 MPa. The water absorption was between 9-16 % and 11-14 % after 7 and 28 days of curing, respectively. These results show that this material has potential applicability in several sectors of civil construction, besides having smaller environmental risks and impacts.

KEYWORDS: Geopolymer; Iron ore tailings; Metakaolinite; Civil construction.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de mineração, nos últimos anos, potencializaram a geração de rejeitos provenientes dessas atividades devido ao aumento da demanda por insumos minerais. As etapas de lavra e de beneficiamento do minério de ferro geram, respectivamente, estéril e rejeito. O método mais comumente usado na destinação final de rejeitos da mineração é a disposição em diques de contenção ou barragens, o que gera insegurança quantos aos riscos sociais e ambientais, como aconteceu em 2015 na barragem de Fundão, em Mariana/MG (IBRAM, 2016). Os resíduos sólidos, principalmente arenosos, são obtidos em ordem de milhares de toneladas por dia, em apenas uma mineradora de grande porte. Neste sentido, aumenta-se a pressão para que estratégias de reciclagem sejam desenvolvidas para o rejeito da mineração. Essa nova tecnologia, entretanto, deve ser segura, eficaz e economicamente viável. A incorporação desses rejeitos em matrizes geopoliméricas é uma solução alternativa e ambientalmente amigável quando comparada à prática de deposição em barragens (RESO, 2015).

A obtenção dos geopolímeros acontece a partir das reações entre aluminossilicatos em meio aquoso alcalino. A reação química forma uma rede tridimensional, resultante da ligação e compartilhamento dos átomos de O entre os tetraedros alternados de SiO_4^{4-} e AlO_4^{5-} – denominados sialatos. A estabilização dessa rede se dá pela presença de cátions monovalentes (como Na^+ e K^+), o que dá origem a um polímero inorgânico. Uma das principais fontes de aluminossilicatos é a metacaulinita, obtida a partir da calcinação do caulim (BITTENCOURT et al., 2012).

Os geopolímeros são muito utilizados na construção civil em substituição ao cimento. Isto acontece porque suas propriedades se igualam ou podem até mesmo superar as dos materiais cerâmicos aplicados nesse campo, além de ser um material sustentável, principalmente se comparado com cimentos convencionais (TORRALBA et al., 2005; BITTENCOURT, et al., 2012). Segundo Davidovits (2013), a produção de 1 tonelada de cimento gera 0,95 toneladas de CO_2 e chega a emitir anualmente quase 3 bilhões de toneladas/ano no mundo. Por causa disso, o uso dos geopolímeros como aglomerantes é muito visado e estudado na literatura.

Este trabalho apresenta o desempenho de um material geopolimérico rico em rejeito da mineração de ferro em relação a sua resistência à compressão. Simultaneamente, oferece uma solução alternativa à disposição desses rejeitos em barragens. Portanto, o objetivo final é fornecer uma solução ambientalmente amigável e de elevado potencial econômico para as indústrias mineradoras e de engenharia civil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção das matérias primas e caracterização

A metacaulinita utilizada na obtenção dos corpos de prova foi obtida via calcinação do caulim técnico (Sulfal Química). Os parâmetros de calcinação foram: $800^\circ\text{C}/4\text{h}/10^\circ\text{C}/\text{min}$. A Metacaulinita foi caracterizada quanto a fases cristalinas via difração de raios X (difratômetro da marca Rigaku, modelo Ultima⁺, com radiação $\text{Cu K}\alpha$ e $\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$); composição química via fluorescência de raios X (espectrômetro da marca Rigaku, modelo ZSX Primus II); e distribuição granulométrica via granulometria a laser (curva de distribuição

granulométrica obtida do analisador de partículas CILAS 1190 líquido, com faixa de tamanho de 0,04 a 2500 μm). A solução alcalina foi preparada a partir da mistura do silicato de sódio (Getex) e hidróxido de sódio 10,0 M.

As amostras do rejeito arenoso, fornecidas pela Samarco, foram homogeneizadas e quarteadas para garantir maior representatividade. A distribuição granulométrica e as fases cristalinas foram obtidas nos mesmos parâmetros da metacaulinita.

2.2. Obtenção das amostras

As amostras foram obtidas com diferentes teores de rejeito arenoso variando na faixa de 40 a 70 % em massa. As composições podem ser consultadas na Tabela 1.

Tabela 1. Formulação dos corpos de prova.

| % Rejeito arenoso | Fórmula | | |
|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------|
| | Metacaulinita (%) | Silicato de sódio (%) | NaOH 10M (%) |
| 40 | 23 | 22 | 15 |
| 50 | 19 | 18 | 12 |
| 60 | 16 | 15 | 10 |
| 65 | 14 | 12 | 9 |
| 70 | 12 | 11 | 8 |

As etapas do procedimento de obtenção encontram-se na Figura 1. Inicialmente, adicionou-se a solução de NaOH 10 M na solução de silicato de sódio. Essa solução alcalina resultante foi depositada e misturada na metacaulinita, de modo a obter uma pasta geopolimérica. Nessa pasta, adicionou-se o rejeito arenoso e misturou-se até que uma pasta homogênea foi obtida. Os moldes de teflon foram preenchidos com essa pasta e então levados ao vibrador por 1,5 minutos, com o objetivo de alcançar melhor adensamento e retirada das bolhas.

Após 24 horas as amostras foram retiradas dos moldes e armazenadas sob temperatura ambiente. As amostras foram testadas nas idades de 7 e 28 dias, tanto para resistência a compressão quanto para absorção de água.

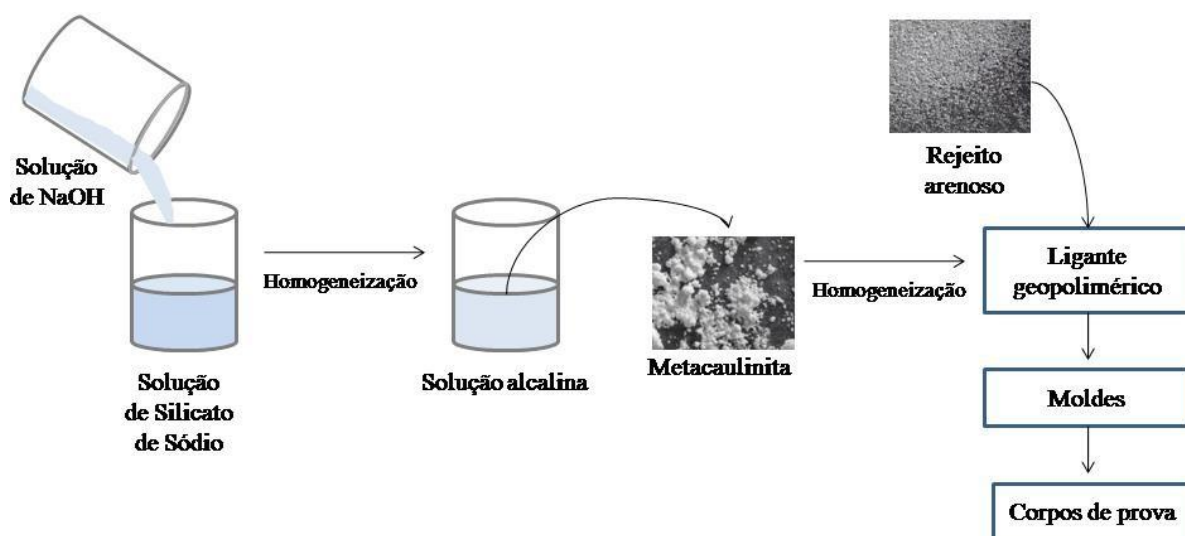


Figura 1. Metodologia de obtenção dos corpos de prova.

2.3. Teste de compressão

Para o teste de compressão foram obtidas amostras de 3,5 cm de diâmetro e 7,0 cm de altura, de acordo com o método de ensaio “**Pastas e argamassas RC**”, (NBR 7215:1996), com célula de 30 t. O modelo de prensa utilizado é o EMIC, modelo PCI 150, número de série 031. Foram obtidos 5 corpos de prova correspondentes a cada percentual, com destino ao teste de compressão. O teste foi realizado em amostras de 7 e de 28 dias de idade.

2.4. Absorção de água

A metodologia do teste de absorção de água seguiu a norma “**Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**”, (NBR 15310:2005). Nesta etapa, foram obtidos corpos de prova em triplicata com idades de 7 e 28 dias. Para o cálculo da absorção de água de cada corpo de prova a Equação 1 foi aplicada.

$$AA (\%) = \frac{m_u m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

em que m_u e m_s representam, respectivamente, a massa úmida e a massa seca, em gramas, de cada corpo de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das matérias primas

O padrão de difração do rejeito arenoso é composto de quartzo (91%) e hematita (9%) (Figura 2a). O diâmetro médio das partículas obtido via granulometria a laser (Figura 2b) é de 86 μm . Segundo a ABNT NBR 7211:1983, esse valor de diâmetro caracteriza a areia e agregados como finos. Para melhor trabalhabilidade, os agregados finos necessitam de mais água para reagir com o concreto; este por sua vez consome a água em suas reações de cura. Já na cura geopolimérica, a água não é consumida, o que facilita a mobilidade dos íons no meio reacional e melhora a trabalhabilidade com agregados finos.

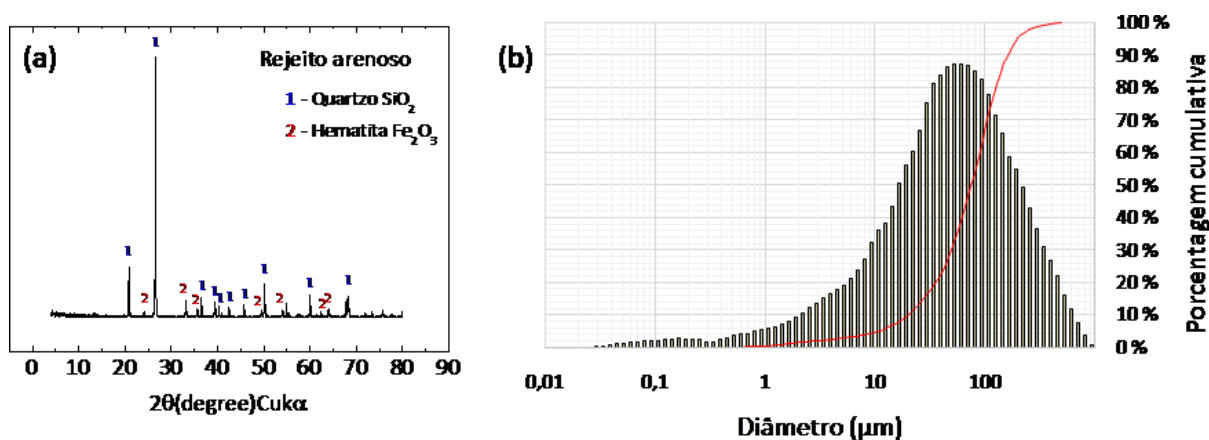


Figura 2. Difração de raios X (a) e distribuição granulométrica(b) do rejeito arenoso.

O padrão de difração de raios X do caulim é cristalino, conforme se observa na Figura 3a. Quando o caulim é convertido em metacaulinita, via calcinação, esse padrão se torna amorfo (Figura 3b), característica ideal para melhor empacotamento de grãos finos (86 μm) como os do rejeito arenoso. De acordo com a distribuição granulométrica da metacaulinita (Figura 3c), seu diâmetro médio é de 11 μm .

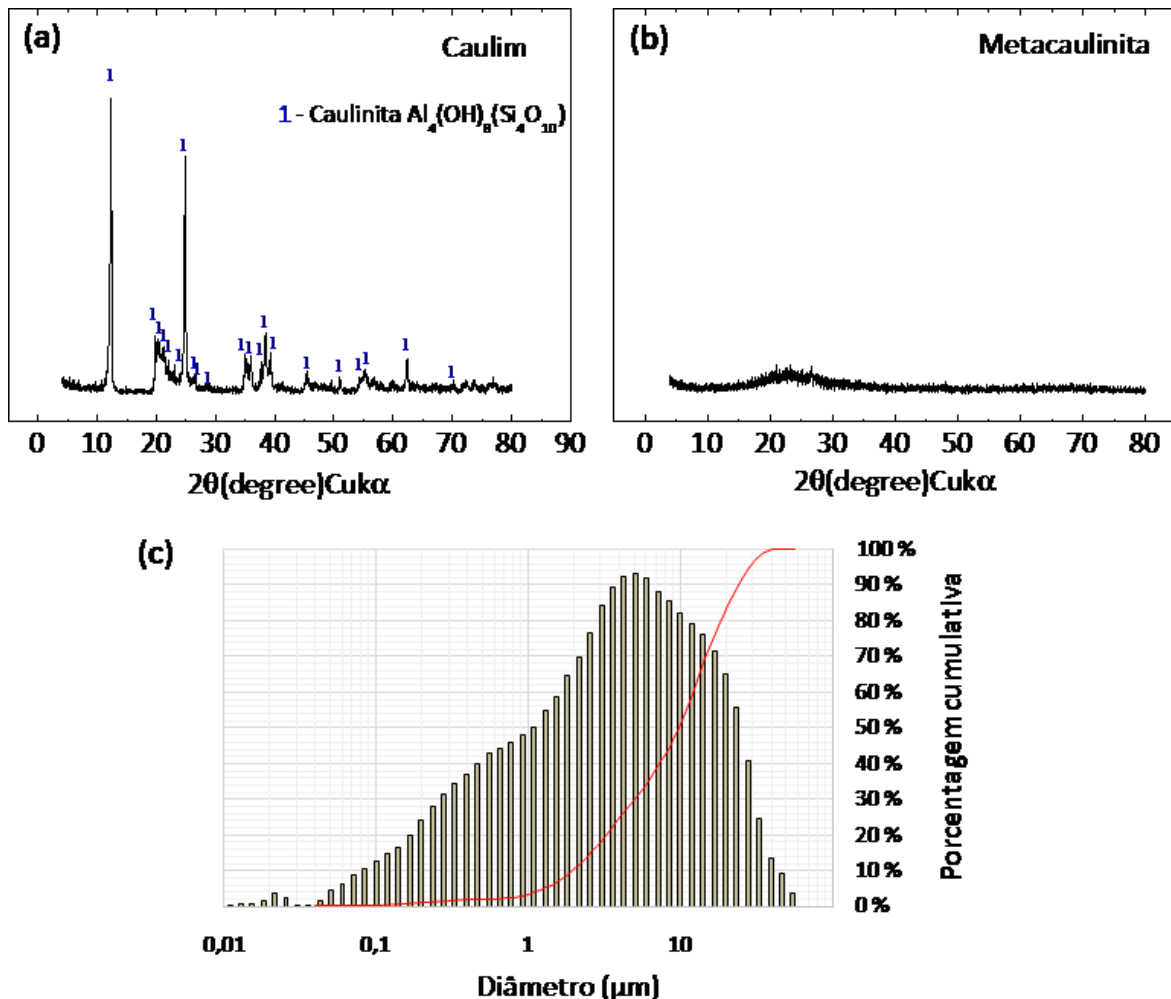


Figura 3. Padrão de difração de raios X do caulim (a), da metacaulinita (b) e distribuição granulométrica da metacaulinita (c).

Obteve-se a composição química da metacaulinita e do silicato de sódio através da fluorescência de raios X. A metacaulinita apresentou elevados teores de Al_2O_3 (45,1 %) e de SiO_2 (54,3 %). O silicato de sódio apresentou elevados teores de Na_2O (30,7 %) e de SiO_2 (68,3 %).

3.2. Resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura

De acordo com a Figura 4, para idade de 7 dias, as amostras alcançaram resistência à compressão de 39 MPa (teor de 50 % de rejeito). Este valor tende a cair nas amostras com

teor de rejeito >50 %. Para os requisitos físicos e mecânicos da ABNT NBR 16697:2018, esse resultado se enquadra em diversas classes dos diferentes tipos de Cimento Portland.

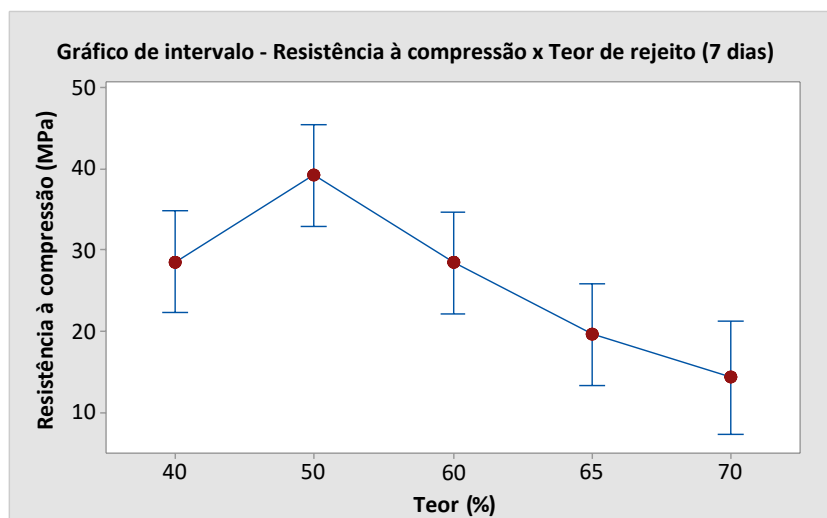


Figura 4. Intervalo de confiança para a resistência à compressão em relação ao teor de rejeito.

De acordo com a Figura 5, para idade de 28 dias, as amostras alcançaram resistência à compressão de aproximadamente 43 MPa (teor de 40 % de rejeito). Este valor cai nas amostras com teor de rejeito > 50 %, comportamento observado anteriormente nas amostras de 7 dias de idade. Entre os maiores valores de resistência à compressão não há diferença estatística, o que abre espaço para se trabalhar com diferentes teores e garantir elevados valores de resistência. Esse resultado, assim como o de 7 dias de cura, também cumpre o valor requerido pela ABNT NBR 16697:2018 em diversas classes dos diferentes tipos de Cimento Portland.

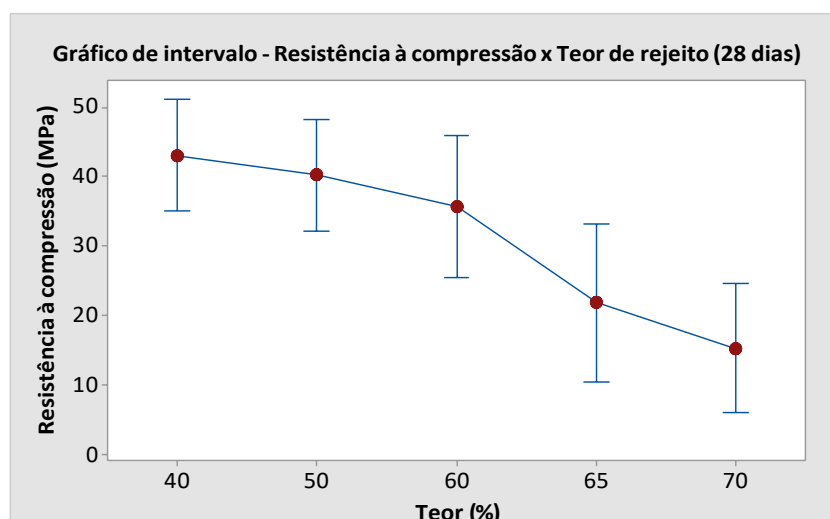


Figura 5. Intervalo de confiança para a resistência à compressão em relação ao teor de rejeito.

Observa-se, na Tabela 2, o aumento de resistência à compressão para todos os teores. A amostra com teor de 40 % de rejeito apresentou a maior variação (+ 33,9 %) enquanto que a amostra de 50 % apresentou a menor variação (+ 2,6 %).

Em termos de aplicabilidade, as amostras com teores entre 40 e 60 % se enquadram em algumas categorias da ASTM C90 (2001). Entre elas, pode-se citar a pavimentação em locais de tráfego de pedestres e blocos de alvenaria.

Tabela 2. Variação das resistências à compressão médias de acordo com a idade.

| Composição (%) | Resistência à compressão | | |
|----------------|--------------------------|---------|--------------|
| | 7 dias | 28 dias | Variação (%) |
| 40 | 28,5 | 43,2 | +33,9 |
| 50 | 39,2 | 40,3 | +2,6 |
| 60 | 28,4 | 35,7 | +20,5 |
| 65 | 19,6 | 21,8 | +10,3 |
| 70 | 14,3 | 15,3 | +6,9 |

3.3. Absorção de água após 7 e 28 dias de cura

As amostras com idade de 7 dias absorveram água na faixa de 9–16 %. Nas amostras de 28 dias essa faixa é de 11 a 14 % (Tabela 3). Não há, entretanto, diferença estatística entre as médias das amostras de 28 dias (Figura 6). De acordo com as especificações da ASTM C90 (2001), existem diferentes aplicações dos blocos de concreto em relação a sua absorção máxima de água. Para a confecção de blocos de alvenaria, por exemplo, o teor máximo de absorção de água é 17 % (ASTM C90, 2001). Assim, todas as composições estudadas neste trabalho, em termos de absorção de água, são adequadas para esse fim.

Tabela 3. Absorção de água dos corpos de prova relacionada aos teores de rejeito e a idade.

| | | Resultado AA (%) | | | | |
|---------|-----------------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| 7 dias | Teor de rejeito | 40% | 50% | 60% | 65% | 70% |
| | Médias | 12 | 9 | 13 | 12 | 16 |
| 28 dias | Teor de rejeito | 40% | 50% | 60% | 65% | 70% |
| | Médias | 14 | 11 | 12 | 13 | 13 |

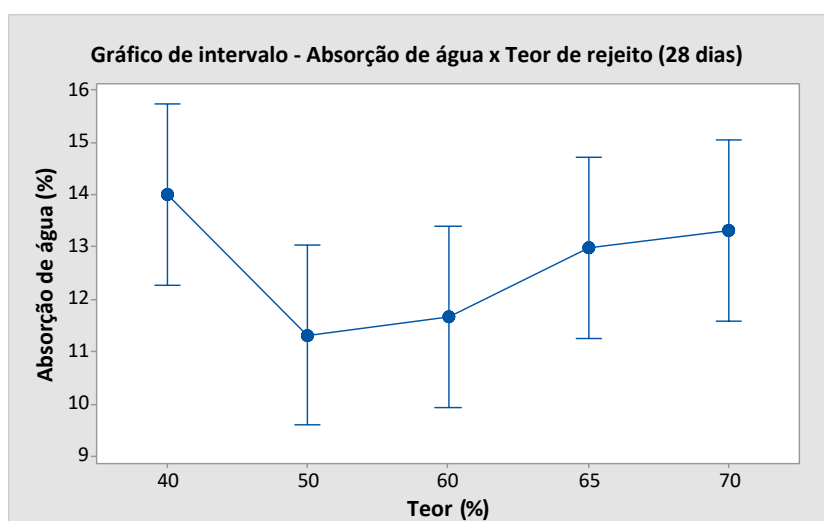


Figura 6. Intervalo de confiança para a absorção de água em relação ao teor de rejeito.

4. CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que:

- A metacaulinita obtida após calcinação adquire estrutura amorfa, o que a torna reativa e, portanto, ideal para o empacotamento de grãos muito finos como os do rejeito arenoso.
- Observa-se uma tendência de aumento nos valores de resistência à compressão ao se comparar as idades de cura entre 7 e 28 dias. As amostras com teor de rejeito de 40 a 60 % apresentaram os maiores valores de resistência à compressão, alcançando até 43 MPa. Este resultado torna o material resultante aplicável na construção civil dentro das especificações de resistência à compressão da ASTM C90 (2001). Em termos de resistência à compressão, compete também com os requisitos da ABNT NBR 16697:2018.
- Todas as composições se enquadram nos parâmetros de absorção de água da ASTM C90 (2001) para a confecção de blocos de alvenaria.
- A incorporação do rejeito arenoso na matriz geopolimérica resulta em um material aplicável em diversos setores da construção civil. Além disso, é uma proposta ambientalmente interessante tanto para a substituição do uso do cimento quanto para evitar a disposição dos rejeitos em barragens.

5. AGRADECIMENTOS

Apoio técnico e financeiro: FAPEMIG, CAPES, CNPq, CDTN, e INCTMIDAS.

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7211:2009 - Agregados para concreto – Especificações, 2009.

ABNT NBR 7215:1996 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, 1996.

ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos, 2018.

ABNT NBR 15310:2005 - Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, 2005.

ASTM C90, Standard specification for loadbearing concrete masonry units, the American Society for Testing and Materials, 2001.

Bittencourt, C.S., Teider, B.H., Gallo, J.B., Pandolfelli, V.C. A geopolimerização como técnica para a aplicação do resíduo de bauxita. *Cerâmica* 58, 2012; 20-28.

Davidovits, J. Geopolymer Cement, a review. Institut Géopolymère, Saint-Quentin, France, 2013.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração – Relatório Anual, 2016.

Reso Soluções Ambientais. Mineração e seus diversos tipos de resíduos. Disponível em <http://resoambiental.com/2015/02/mineracao-e-seus-diversos-tipos-de-residuos/>. Acesso em 06/06/2019.

Torgal, F.P., Castro-Gomes, J.P., Jalali, S. Cimento Portland Normal Versus Ligantes Geopoliméricos: Considerações Econômicas Sobre as Implicações do Mercado do Carbono no Custo dos Betões. Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, 2005.