

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUO DE ROCHAS BASÁLTICAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE CIMENTOS ALTERNATIVOS: PROCESSO DE ÁLCALI- ATIVAÇÃO

Angélica Koppe (1) Eduardo Nobre Guindani (2) Mauricio Mancio (3)

(1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UNISINOS, Brasil.

E-mail: <angelicakoppe@gmail.com>.

(2) Engenheiro Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, Brasil.

E-mail: <eduardo.guindani@gmail.com>.

(3) Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UNISINOS, Brasil.

E-mail: <mancio@gmail.com>.

RESUMO

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pela construção civil tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias e processos que possam oferecer ao mercado alternativas mais ecoeficientes. A álcali-ativação tem se apresentado como uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de cimentos alternativos, evitando elevadas emissões de CO₂ tipicamente associadas ao processo de fabricação de cimento Portland. Com o objetivo de buscar alternativas de cimentos com reduções de CO₂ no seu processo produtivo, buscando valorizar rejeitos industriais, neste trabalho é apresentada a possibilidade de emprego de rochas basálticas como matéria-prima para a produção de cimentos alternativos. Os basaltos são encontrados em grande quantidade na crosta terrestre, dominam a maior parte do estado do Rio Grande do Sul e apresentam características químicas e mineralógicas favoráveis ao processo de álcali-ativação, uma vez que apresentam quantidades significativas de sílica (SiO₂) e material vítreo em sua matriz. Além disso, em função de sua extração, geram grandes quantidades de resíduos, muitas vezes na forma pulverulenta, que ficam depositados em pátios de empresas mineradoras. A partir do contexto, foram avaliados os potenciais para a produção de cimentos alternativos de resíduos de duas jazidas de basalto, uma pertencente à Formação Caxias (FAB) e outra da Formação Gramado (CB), por meio de análise química e mineralógica. Foram moldados corpos de prova para análise de resistência à compressão, chegando a amostra FAB alcançar 10,18 MPa e a amostra CB 5,24 MPa. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os basaltos pertencentes às Formações com maior teor de SiO₂ e vidro na sua composição apresentam melhor desempenho ao desenvolvimento de cimentos alternativos com baixíssimo índice de emissões de CO₂ no processo de produção.

Palavras-chave: Cimento Alternativo. Álcali-ativação. Basalto.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pela construção civil tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias e processos que buscam a sustentabilidade das construções. Atualmente, o cimento Portland

é o aglomerante mais comum utilizado para produção de concretos e argamassas, mas apresenta uma desvantagem devido ao impacto ambiental gerado pela grande liberação de dióxido de carbono (CO₂) e pelo elevado consumo energético durante o processo de produção. A fabricação de cimento Portland gera aproximadamente 844 kg

de CO₂ para cada tonelada de clínquer produzido, tornando a indústria cimenteira responsável por 7% das emissões globais de CO₂ (MANCIO; MASUERO, 2012). Conforme estudo recente da ONU, cortes anuais de 5 a 7 bilhões de toneladas de CO₂ devem ser atingidos para que seja possível estabilizar o clima no planeta, sendo que aproximadamente 1 bilhão de toneladas/ano podem deixar de ser emitidos se 50% do consumo atual de cimento Portland for substituído por cimentos especiais com baixa emissão de CO₂. Cabe ressaltar que o crescimento exponencial das emissões de CO₂ verificadas desde a revolução industrial e o consequente aumento da concentração atmosférica deste gás – que acaba de alcançar 400 ppm, superando consideravelmente os níveis históricos registrados nos últimos 800.000 anos – têm levado a uma crescente preocupação com o impacto ambiental das atividades humanas sobre o planeta, em particular quanto a emissão de gases do efeito estufa (IPCC, 2007; Galli et al., 2012; Rohde et al., 2012).

O grande impacto ambiental da indústria cimenteira e o monopólio mundial vêm incentivando diversas pesquisas à busca de novos materiais cimentantes. Pesquisas têm se mostrado bastante promissoras quanto à álcali-ativação de aluminossilicatos. Esta tecnologia busca desenvolver cimentos com reduzido impacto ambiental, partindo de um processo de produção de cimento diferente do tradicional, porém com propriedades iguais ao cimento Portland. Os produtos resultantes desta reação de álcali-ativação são conhecidos como geocimentos ou geopolímeros (DUXON et al. 2007). Diversos materiais têm se mostrado promissores a este processo, dentre eles, os mais estudados, a cinza volante e as escórias de alto-forno, por serem resíduos de grande potencial pozolânico, porém a geração total destes resíduos a nível mundial é estimada em 0,8 bilhões de toneladas/ano, ficando muito aquém das necessidades do setor da construção civil, quando comparado ao consumo anual de cimento Portland – 3,7 bilhões de toneladas (MANCIO; MASUERO, 2012).

Desta forma, percebe-se que a comunidade técnica não pode depender apenas destes materiais para o desenvolvimento de alternativas promissoras, sendo fundamental a investigação e o estudo de novas fontes de matérias-primas para a produção de cimentos. Em teoria, qualquer material que seja composto quase que totalmente por fase vítrea e apresente composição química contendo sílica e alumina em proporções adequadas pode ser utilizando como matéria-prima para um geopolímero

(HARDJITO; RANGAN, 2005). Neste contexto surgem pozolanas naturais, tais como vidros vulcânicos, e também alguns resíduos de britagem de rochas basálticas, que apresentam características favoráveis à utilização como matéria-prima para o processo de álcali-ativação.

Os basaltos, já utilizados em grande escala na construção civil como agregados têm sua formação por meio de manifestações vulcânicas. Na América do Sul situa-se uma das maiores províncias continentais do mundo – Província Magmática do Paraná – de formação de basaltos, abrangendo países como Paraguai, Uruguai, Argentina e grande parte do território nacional, com uma extensão de 1.700.000 km² (MACHADO et al., 2005). Com elementos essenciais ao processo de álcali-ativação, presença de sílica e alumina em teores elevados, e em alguns casos, com quantidade considerável de material vítreo, além de uma reatividade incrementada a partir de um processo de moagem, o basalto tem se mostrado um material bastante promissor a produção e cimentos especiais por meio do processo de álcali-ativação.

Com uma tecnologia com redutivo impacto ambiental, devido à baixa emissão de CO₂ no seu processo de produção, e a seleção de rochas basálticas com percentuais adequados de aluminossilicatos, que normalmente apresentam baixo potencial de uso na construção civil em função de serem as mais propícias a desenvolverem reações de álcali-agregados, o objetivo do estudo é avaliar o potencial de uso de basaltos como fontes alternativas para a produção de cimentos alternativos buscando a redução de emissões de CO₂ no seu processo produtivo.

1.1 ÁLCALI-ATIVAÇÃO

A álcali-ativação baseia-se na química da ativação alcalina de materiais pozolânicos, cuja alcalinidade elevada se faz necessária para dissolver o silício e o alumínio, por hidrólise da superfície das partículas. Uma vez que os aluminossilicatos estejam dissociados na solução, ocorre a formação de uma fase gel, com arranjos tridimensionais que se reorganizam ao longo de alguns minutos. Durante o processo de reorganização há um aumento da conectividade entre a rede tridimensional formada, até um estágio crítico no qual se formam núcleos que darão origem a formações pouco ordenadas, porém com elevada resistência mecânica (DUXSON et al., 2007).

Ou seja, a ativação alcalina é um procedimento na qual um material pozzolânico pulverulento é misturado a uma solução alcalina (ativador) e então curado a uma temperatura moderada (60°C a 85°C) para a produção de um material sólido (FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ; PALOMO; LOPEZ-HOMBRADOS, 2006). Este processo dá-se inicialmente pela dissolução dos alumino-silicatos em uma solução aquosa com concentração elevada de hidróxidos e silicatos alcalinos, como NaOH (MANCIO, 2011).

Palomo, Grutzeck e Blanco (1999) caracterizam o processo químico a um processo onde é possível se transformar estruturas vítreas (amorfas ou parcialmente amorfas) em compósitos compactos e cimentantes. Contudo alguns parâmetros devem ser observados, como a relação Si/Al, fator determinante no grau de desempenho do processo, que deve ser entre 2 e 4, para que se obtenha um aglomerante de alto desempenho (SILVA et al., 1999).

1.2 ROCHAS BASÁLTICAS

As rochas basálticas são encontradas em abundância na crosta terrestre, dominam grande parte do mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, e apresentam teores elevados de sílica (50 a 70%), alumina (10 a 20%) e ferro (SCHIAVON; REDONDO; YOSHIDA, 2007), sendo a sílica e a alumina compostos essenciais para o processo da álcali-ativação. Além disso, outra característica que tornam estes materiais favoráveis a este fim é a presença de material vítreo na matriz de algumas rochas, o que aumenta a reatividade dos compostos.

Neste contexto, encontrados de forma natural, os derrames basálticos mais jovens da bacia do Paraná, pertencentes à Formação Caxias, Formação Várzea do Cedro e Formação Gramado, resultantes de um processo de resfriamento rápido do magma extravasado na superfície, são os mais propícios ao processo de álcali-ativação. Ainda assim, diversas outras Formações também podem apresentar potencial, na forma natural, ou beneficiada, uma vez que os basaltos quando fundidos e resfriados rapidamente, formam sólidos praticamente amorfos, também promissores ao desenvolvimento de novos cimentos por meio deste processo.

Além disso, muito material residual de basalto (já sob forma pulverulenta) é encontrado em pátios de empresas mineradoras por ser classifi-

cado como um rejeito do processo de britagem ou rejeito de peneiramento na produção de areias artificiais, uma vez que a NBR 7211 (ABNT, 2009) restringe o teor máximo de material pulverulento em concretos de 12% nos agregados miúdos. Sendo assim, além de seu uso apresentar-se potencialmente viável para o desenvolvimento de cimento alternativo, seu processo de extração também se torna reduzido e ambientalmente ecológico, em função da possibilidade reuso de rejeitos de empresas mineradoras.

2 OBJETIVO

O presente estudo visa avaliar o potencial de utilização de resíduos de rochas basálticas, encontrados em pátios de empresas mineradoras, como fontes de matéria-prima para a produção de cimentos alternativos, a partir do processo de álcali-ativação, buscando redução de emissões de CO₂ no seu processo produtivo.

3 JUSTIFICATIVA

Muitas são as opções de materiais promissores à produção de cimentos alternativos por meio do processo da álcali-ativação, sendo os mais estudados a cinza volante e as escórias de alto-forno. Entretanto, devido à limitada disponibilidade destes materiais, seja por regiões em que se encontram, ou pela limitada quantidade de produção, em comparação ao volume de cimento consumido mundialmente, torna-se necessária a investigação de novas fontes de matéria-prima. Resíduos industriais já são frequentemente utilizados para esta prática, e muitos estudos continuam sendo realizados buscando melhorias do processo e resultados mais satisfatórios.

Os basaltos, por serem encontrados em grandes áreas da crosta terrestre, com algumas jazidas com características químicas e mineralógicas favoráveis, são alternativas a auxiliarem a produção destes cimentos. No contexto, os resíduos provenientes de rochas basálticas são facilmente encontrados em pátios de empresas mineradoras, responsáveis pela produção de agregados para a construção civil. São resíduos industriais passivos, gerados em grande quantidade e que não agridem diretamente o ambiente, porém se dispostos de maneira inadequada, podem provocar assorea-

mento de corpos d'água, problemas respiratórios e irritações na pele.

As características físico-químicas de alguns resíduos de basalto atendem aos requisitos necessários para álcali-ativação, uma vez que possuem SiO_2 , Al_2O_3 , e, além de, vidro amorfo em sua estrutura. Utilizando-se estes rejeitos industriais, com esta finalidade, tem-se a minimização da extração de matéria-prima, reaproveitamento de rejeitos, eliminando-os do meio ambiente, além de auxiliar na minimização das emissões de CO_2 ao meio ambiente em função processo de produção deste tipo de cimento. Ou seja, unindo-se o potencial de desenvolvimento dos cimentos alternativos, com a possibilidade de utilização de resíduos de britagem de rochas basálticas cria-se uma oportunidade muito favorável ao desenvolvimento de um material cimentante de baixo impacto ambiental, capaz de substituir o cimento Portland, mesmo que em aplicações menos nobres e não estruturais, principalmente por caracteres econômicos e ambientais, e com fontes de matéria-prima abundantes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar o potencial de basaltos para a produção de cimentos alternativos, buscando alternativas com reduutivo impacto ambiental quanto à emissão de CO_2 , optou-se por trabalhar com o basalto residual de regiões da For-

mação Caxias (FAB), da cidade de Farroupilha e Formação Gramado (CB), cidade de Campo Bom. Foi utilizada uma amostra de cada região destacada, avaliadas no seu estado natural, sem processo de beneficiamento.

Foram realizadas análises químicas (fluorescência de Raios X quantitativa) e mineralógicas (análise de petrografia) para determinação das características mais relevantes ao processo de álcali-ativação. Para a análise química utilizou-se o material residual pulverulento, seco e peneirado, sendo 100% passante na peneira de 75 μm . Já para a análise mineralógica utilizou-se lâminas, feitas a partir de amostras de agregado graúdo, serradas em serra diamante, coladas em lâminas de vidro e desgastadas a uma espessura de 0,03 mm.

Além da caracterização química e mineralógica, foram produzidas pastas de cimento com os resíduos para avaliação efetiva do seu potencial para a álcali-ativação. As pastas foram produzidas a partir da mistura manual de resíduo de britagem de basalto, previamente seco e peneirado, com uma solução alcalina de hidróxido de sódio a uma concentração de 10 Mol, e relação solução/aglomerante de 0,45 (Figura 1- A). Os procedimentos de moldagem foram baseados em estudos de Mehta e Gjtorv (1974) e adaptados por Costa (2013), que utilizam corpos de prova cúbicos de 13 mm de lado, conforme pode ser observado na Figura 1 (B). Após a moldagem, foi realizada cura térmica em estufa, por 48h, a uma temperatura de $57,5^\circ \pm 2,5^\circ\text{C}$.

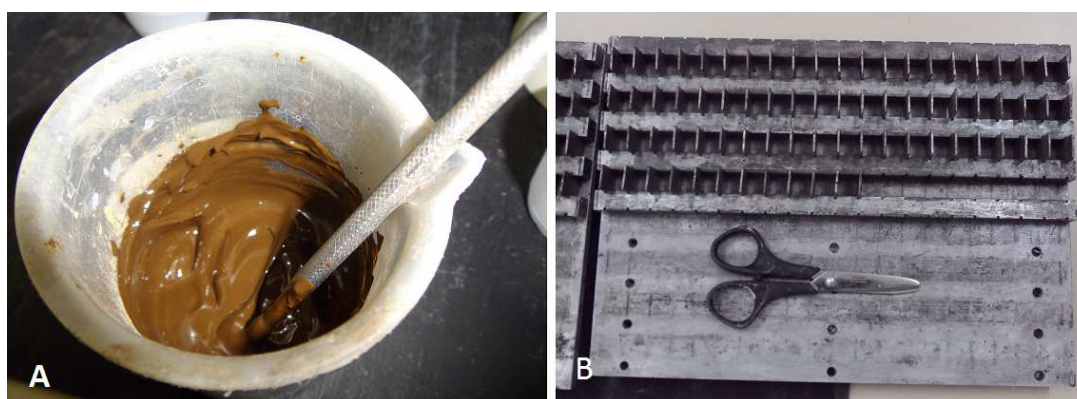


Figura 1 - (A) Pasta preparada com o filer basáltico e solução de hidróxido de Sódio; (B) Forma utilizada para a moldagem dos corpos de prova cúbicos, com 13 mm de lado.

Após a cura térmica todos os corpos de prova permaneceram em sala com ambiente climatizado, com temperatura de $21^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade $65 \pm 5\%$, até as idades de rompimento. Após desmoldados foram lixados para ajuste das arestas (Figura 2- A). Os ensaios de resistência à com-

pressão foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias, utilizando-se, para cada amostra, três corpos de prova por idade, em uma máquina de ensaios EMIC, com capacidade máxima de 17000N, utilizando uma velocidade de aplicação de carga de 0,08 mm/s (Figura 2 - B).



Figura 2 - (A) Corpos de prova de pasta de cimento da amostra CB. (B) Corpo de prova submetido ao ensaio de compressão simples.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE QUÍMICA

As duas amostras de resíduos foram submetidas à análise química, por meio de fluorescência de Raios-X quantitativa, para determinação dos seus compostos químicos de maior relevância. Os resultados estão expressos na Tabela 1.

	CB	FAB
SiO ₂	50,670	65,530
TiO ₂	1,138	0,790
Al ₂ O ₃	12,97	14,040
Fe ₂ O ₃	11,42	6,070
MnO	0,175	0,104
MgO	7,650	1,490
CaO	9,360	4,060
Na ₂ O	2,160	3,170
K ₂ O	1,010	3,520
P ₂ O ₅	0,158	0,256
PF	3,4	1,2

Tabela 1 - Análise química quantitativa (valores expressos em %).

Observa-se que, independente da amostra, os percentuais de sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e ferro (Fe₂O₃) estão presentes em maiores quantidades nas amostras, o que, segundo Schiavon, Redondo, Yoshida (2007), caracteriza um basalto. A diferença de percentuais observadas em cada amostra é decorrente do tipo de formação da própria rocha, sendo que, a que apresenta maiores teores de SiO₂ constitui a Formação Caxias, com 65,53%, enquanto a amostra CB, da Formação Gramado, apresenta apenas 50,67% de SiO₂. Segundo Reis (2013), a quantidade mais elevada de sílica é uma característica dos basaltos da Forma-

ção Caxias e, de maneira geral, de todas as formações de basaltos mais jovens do Rio Grande do Sul, que apresentaram resfriamento do magma de forma mais rápida, gerando uma maior quantidade de material vítreo em sua estrutura.

Com percentuais elevados de SiO₂ e Al₂O₃ e relação SiO₂/Al₂O₃ de 3,90 para a amostra CB e 4,66 para a amostra FAB, tem-se relações adequadas para o processo de álcali-ativação, mesmo a amostra FAB ultrapassando os limites apresentados por Silva et al. (1999).

5.2 ANÁLISE MINERALÓGICA

Através da análise microscópica da amostra FAB (Figura 3) pôde-se identificar uma textura microporfírica constituída de microfenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio oxidado, de granulção fina (diâmetro inferior a 1,0 mm), isolados, mergulhados em uma matriz vítrea a microcristalina (tamanho do grão inferior a 0,15 mm). A matriz da amostra apresentou alto percentual de vidro, cerca de 80%, com baixa devitrificação, comprovado pela elevada quantidade de sílica identificada na análise química. O vidro, constituído por sílica amorfa, pode ser identificado na Figura 3 como o material de coloração cinza escura a preta, encontrado em abundância na matriz da rocha.

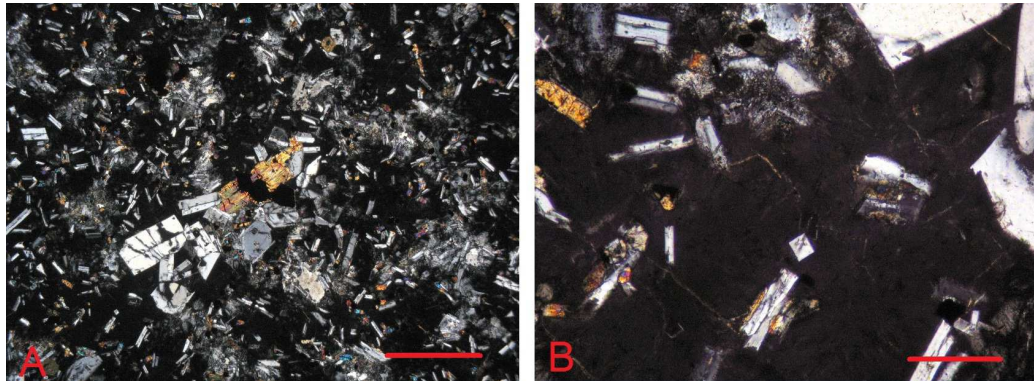


Figura 3 - Análise petrográfica da amostra FAB com técnica de luz polarizada. (A) Fotomicrografia com escala gráfica de 1mm. (B) Fotomicrografia com escala de 0,5mm com destaque para a matriz vítrea.

Já a análise microscópica da amostra CB (Figura 4) mostrou que a rocha apresenta aglomerados de microfenocristais, de coloração clara com raros cristais com tamanho inferior a 2 mm, mergulhados em uma matriz afanítica. Há também a presença de microfenocristais de plagioclásio, e de clinopiroxênio com grãos de tamanho inferior a 1 mm, com 20% dos microfenocristais imersos

em uma matriz intergranular fina, com espaços entre os cristais preenchidos por material microcristalino ou vidro. Conforme pode ser observado na Figura 4 (A), há a presença de sílica na forma de vidro na matriz da rocha, representado em coloração mais escura, assim como uma grande intensidade de cristalização dos minerais, demonstrada pelas regiões mais coloridas.

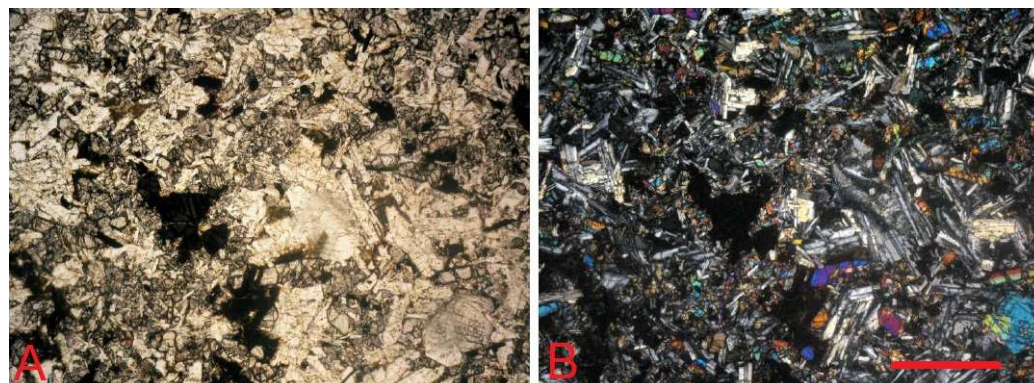


Figura 4 - Análise petrográfica da amostra CB com escala gráfica de 1mm. (A) Fotomicrografia em luz natural. (B) Fotomicrografia em luz polarizada com destaque para a presença de vidro em coloração mais escura.

Correlacionando os resultados das análises mineralógicas, observam-se diferenças significativas no nível de cristalização, facilmente observado nas Figuras 3 e 4, uma vez que a amostra CB apresenta uma densidade maior de cristais. Já a amostra FAB apresenta quantidades superiores de vidro (comparado a amostra CB), em função da quantidade de SiO_2 em sua composição e, também, pelo processo de resfriamento rápido do magma extravasado na superfície terrestre do qual originou-se a sua Formação. Observa-se que a amostra CB apresenta elementos com granulação inferior a 2 mm, enquanto a amostra FAB apresenta elementos inferiores a 1 mm, demonstrando-se esta amostra com granulação mais fina. A grande concentração de elementos cristalinos presentes

na amostra CB faz com que o material diminua consideravelmente a reatividade da sílica e da alumina, essenciais na álcali-ativação. Por apresentar 80% de sílica em estado vítreo (amorfo), com baixo percentual de devitrificação, a amostra FAB torna-se mineralógicamente mais promissora ao desenvolvimento de resistência mecânica para o processo de álcali-ativação.

5.3 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS PASTAS

Foram ensaiados, no total, 18 corpos de prova, sendo três para cada idade. Através de análise dos resultados, tem-se que os basaltos estudados apresentam potencial para serem utilizados no

processo de álcali-ativação em estado natural, sem a necessidade de beneficiamento, o que o torna potencialmente ecoeficiente, uma vez que a quantidade de CO_2 gerada no seu processo de produção cabe somente a transporte e extração da rocha (para fins de agregados da construção civil).

O ganho de resistência, para as duas amostras, ocorre de forma gradativa, não se estabilizando em idades iniciais. Em função dos baixos teores de vidro e SiO_2 da amostra CB, observa-se que o seu ganho de resistência ocorre de forma mais lenta, potencializando o crescimento somente após os 14 dias. Contudo, conforme pode

ser observado na Figura 5, a amostra FAB apresenta um ganho de resistência superior, em todas as idades, quando comparado à amostra CB. Para a idade de 28 dias, a amostra FAB alcançou 10,18 MPa, enquanto a amostra CB alcançou apenas 5,24 MPa, onde observa-se um desempenho de aproximadamente 100% superior da amostra FAB sobre a amostra CB. Tal fato deve-se às características químicas e mineralógicas da própria rocha, uma vez que a amostra FAB apresenta teores de vidro e SiO_2 mais elevados em sua composição comparado a amostra CB.

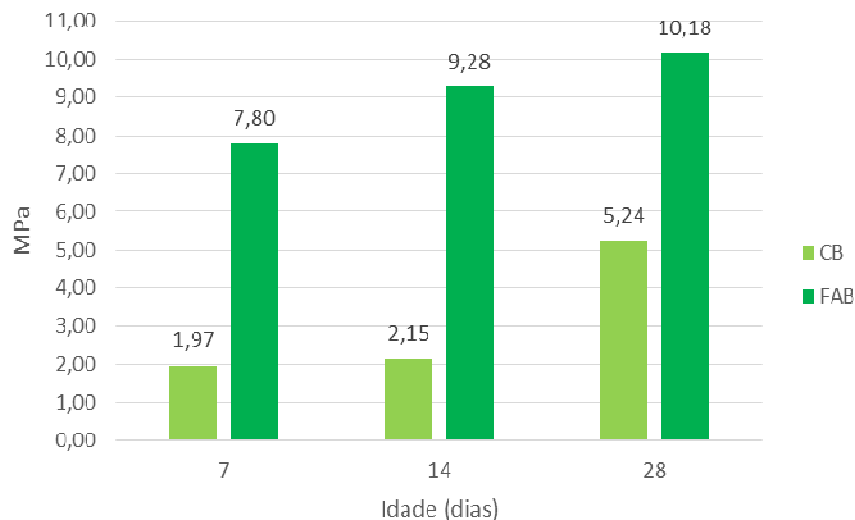


Figura 5 – Resistências potenciais à compressão das pastas de cimento produzidas com resíduos de rochas basálticas por meio do processo da álcali-ativação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos conclui-se que rochas basálticas apresentam potencial para o desenvolvimento de cimentos alternativos por meio do processo de álcali-ativação. As características químicas e mineralógicas obtidas na amostra FAB, como SiO_2 , vidro amorfo, e presença de Al_2O_3 na proporção adequada, demonstra que este material apresenta maior potencial para o processo, facilmente comprovado a partir dos resultados de resistência à compressão, chegando a uma resistência de 10,18 MPa. A grande quantidade de material cristalino presente na amostra CB fez com que este material não se tornasse tão promissor ao processo, chegando apenas a 5,24 MPa aos 28 dias. Contudo, mesmo com valores de resistência à compressão ficando muito aquém dos valores obtidos em estudos mais avançados de álcali-ativação, com materiais mais promissores

(cinza volante e escórias de alto-forno), a grande vantagem do desenvolvimento desta tecnologia com rochas basálticas é a retirada de resíduos do meio ambiente, além da facilidade de obtenção da matéria prima e simplicidade no processo de álcali-ativação destes materiais. Além disso, as características químicas e mineralógicas necessárias para a álcali-ativação são facilmente encontradas em rochas com potencial de desenvolver reação álcali-agregado, o que as tornam impróprias para o consumo como agregados, porém potencialmente viáveis a este processo.

Com isso, o estudo de jazidas promissoras se faz necessário, uma vez que os melhores resultados são alcançados com rochas que apresentem teores mais elevados de SiO_2 e vidro amorfo, além da presença de Al_2O_3 . A escolha por materiais provenientes de derrames basálticos mais recentes e superficiais podem apresentar resultados satisfatórios, inclusive com resistências superiores as obtidas neste trabalho, o que poderia viabilizar

sua utilização na confecção de materiais como argamassas, concretos de baixa resistência para fins não estruturais, blocos de vedação ou até mesmo para fins menos nobres da construção civil, como, por exemplo, solo-cimento. Além disso, utilizar resíduos de empresas mineradoras como cimentos alternativos favorece o meio ambiente, transformando o rejeito em matéria-prima, e diminuindo, assim, a quantidade de emissões de CO₂ lançadas na atmosfera.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a professora Andrea Sander pela forte colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: *Agregados para concreto*. Especificações. Rio de Janeiro, 2009.
- COSTA, E.B. *Aproveitamento do resíduo de anodização do alumínio na produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- DUXSON, P.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PROVIS, J. L.; LUKEY, G. C.; PALOMO, A.; VAN DEVENTES, J. S. J. Geopolymer technology: the current state of the art. *J. Mater. Sci* 42, p 2917-2933, 2007.
- FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A.; LÓPEZ-HOMBRADOS, C. Engineering Properties of Alkali- Activated Fly Ash Concrete. *ACI Materials Journal*, v. 103, n. 2, March-April 2006.
- GALLI, A.; KITZES, J.; NICCOLUCCI, V.; WACKERMAGEL, M.; WADA, Y.; MARCHETTINI. Assessing the global environmental consequences of economic growth through the Ecological Footprint: A focus on China and India. *Ecological Indicators*, 17, 99-107, 2012.
- HARDJITO, B.; RANGAN, B. V. Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Research Report GCI*. Faculty of Engineering, Curtin University of Technology. Perth, Australia, 2005.
- IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Working Group I contribution to the IPCC Fourth Assessment Report*. Paris: 2007.
- MACHADO, F. B.; NARDY, A. J. R.; MELO, R. P., OLIVEIRA, M. A. F.; SQUISATO, E. As rochas intrusivas da formação da Serra Geral na porção Leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo: Aspectos Petrográficos e Geoquímicos – Resultados Preliminares. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 24, n. 1, p. 5-17, 2005.
- MANCIO. M. Impactos Ambientais da Indústria Cimenteira e o Desenvolvimento de novos Eco-Cimentos. Seminário de Sustentabilidade da Cadeia Produtiva do Concreto. In: 53° IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.
- MANCIO. M.; MASUERO, A. B. *Desenvolvimento e caracterização de novos materiais cimentantes com reduzido impacto ambiental*. (Relatório técnico, Bolsa PDJ) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2012.
- MEHTA, P. K.; GJTORV, O. E. A New Test for Sulfate Resistance of Cements. *Journal of Testing and Evaluation*, JTEVA, v. 2, n. 6, p. 510-514. Nov., 1974.
- PALOMO, A.; GRUTZECK, M. W.; BLANCO, M. T. Alkali-activated Fly Ashes. *A Cement for Future. Cement and Concrete Research*, v. 29, p. 1323-1329, 1999.
- REIS, G. S. *A formação serra geral – como análogo para os reservatórios ígneos-basálticos da margem continental brasileira*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- ROHDE R.; MULLER R.A.; JACOBSEN R.; MULLER E.; PERLMUTTER S.; et al. A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011. *Geoinfor Geostat: An Overview* 1:1.. doi:10.4172/gigs.1000101, 2013.
- SILVA, F. J.; THOMAZ, E. C.; DIAS, D. P.; OLIVEIRA, M. C.; THAUMATURGO. C. Cimentos Poliméricos inorgânicos para aplicações civis. In: 50° Congresso Brasileiro de cimento. Rio de Janeiro, p. 9, 1999.

ABSTRACT

The growing concern over the environmental impacts caused by construction has driven the development of new technologies and processes that can offer the most eco-efficient alternatives to the market. The alkali-activation has emerged as a promising technology for the alternative cements development. This avoids high CO₂ emissions typically associated with Portland cement manufacturing process. In order to seek alternative cements with CO₂ reductions in its production process, seeking to improve industrial waste, this work presents the possibility of using basalt as a raw material for the production of alternative cements. The basalts are found in large quantities in the earth's crust, covering most of Rio Grande do Sul state, and have chemical and mineralogical characteristics favorable to the alkali-activation process, since they have significant amounts of SiO₂ and vitreous material on his matrix. In addition, due to its extraction, they generate large amounts of waste, often in powder form, which are deposited in the yards of mining companies. From this context, the alternative cement production potential of two deposits were evaluated, one belonging to the Caxias Formation (FAB) and other from Gramado Formation (CB), by means of chemical and mineralogical analysis. Concrete Specimens were molded to compression strength analysis, with FAB sample reaching 10,18 MPa, while CB sample reached 5,24 MPa. From the results it can be concluded that the basalts belonging to formations with higher SiO₂ content and glass in its composition shows higher performance to the development of alternative cements with very low CO₂ emissions rate in the production process.

Keywords: Alternative Cement. Alkali-Activation. Basalt.