

ESTUDO DO RESÍDUO DE CAULIM PEGMATÍTICO USADO COMO INGREDIENTE NA FORMULAÇÃO DE CIMENTO PORTLANDA. P. LEANDRO¹, E. V. VIERA², L. G. LIMA³, T. N. ATAÍDE⁴^{1,4}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, ²Universidade federal de Campina Grande-PB, ³Gestão de Qualidade / Goiana-PE
adrianopeixoto@ifpb.edu.br¹

Submetido 10/11/2017 - Aceito 30/11/2017

DOI: 10.15628/holos.2017.6601

RESUMO

O cimento Portland é usado, principalmente, na indústria da construção civil que é a grande responsável pelo consumo dos recursos naturais não renováveis. A utilização de resíduos, provenientes do processamento mineral, na fabricação de cimento, além de diminuir passivos ambientais contribui com a sustentabilidade, produzindo cimentos ecoeficientes. O resíduo de caulim, proveniente das empresas situadas na Província Pegmatítica da Borborema, é uma argila constituída de caulinita (alumino silicato) e outros componentes minerais, que assemelha-se ao aditivo pozolânico utilizado na fabricação do cimento. A adição de pozolana propicia ao cimento, dentre outras propriedades, maior

resistência a meios agressivos como esgotos, água do mar, solos sulfurosos e agregados reativos. Os estudos com o resíduo de caulim foram realizados em escala de laboratório, através de ensaios de moagem, fluorescência de raios-X, resistência a compressão, dentre outros. Para os estudos utilizamos 30% do resíduo de caulim e 70% de uma amostra de cimento base (CP V-ARI) e posteriormente, foram comparados os resultados químicos e a resistência mecânica com períodos de cura de 1, 3, 7 e 28 dias. Os resultados mostraram que o resíduo de caulim pode, a princípio, substituir parcialmente o material pozolânico, utilizado como argila pozolânica na formulação do cimento.

PALAVRAS-CHAVE: aditivo pozolânico, cimento, resíduo de caulim.**STUDY OF THE PEGMATÍTICO KAOLIN RESIDUE USED AS AN INGREDIENT IN PORTLAND CEMENT FORMULATION****ABSTRACT**

Portland cement is used mainly in the construction industry which is largely responsible for the consumption of non-renewable natural resources. The use of residues from mineral processing in the manufacture of cement, besides reducing environmental liabilities contributes to sustainability, producing eco-efficient cements. The residue of kaolin, coming from the companies located in the Pegmatitic Province of Borborema, is a clay composed of kaolinite (aluminosilicate) and other mineral components, which resembles the pozzolanic additive used in the manufacture of cement. The addition of pozzolan gives

cement, among other properties, greater resistance to aggressive media such as sewage, sea water, sulfur soils and reactive aggregates. Studies with the kaolin residue were carried out on a laboratory scale, using grinding tests, X-ray fluorescence, compressive strength, among others. For the studies, 30% of the kaolin residue and 70% of a sample of base cement (CP V-ARI) were used, and the chemical results and mechanical resistance were compared with cures of 1, 3, 7 and 28 days. The results showed that the kaolin residue can at first partially replace the pozzolanic material used as pozzolan clay in the cement formulation.

KEYWORDS: pozzolanic additive, cement, residue of kaolin.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos provenientes do processamento mineral na fabricação do cimento, além de diminuir passivos ambientais contribui com a sustentabilidade e produtos cada vez mais ecoeficientes. A medida que as matérias primas locais para a fabricação do cimento diminui ou os custos de produção aumentam pelo valor da energia ou pelas tecnologias utilizadas para controle ambiental, pensa-se na possibilidade da sua substituição, ainda que parcial, sem comprometer e, se possível, melhorar a qualidade final do cimento (Vieira, 2013).

Dentre vários tipos de cimentos, vamos destacar o cimento Portland Pozolânico ou cimento CP IV ou ainda CP II-Z, que de acordo com a Norma Regulamentadora Brasileira (NBR) 5736, é um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer (base do cimento) e materiais pozolânicos moídos em conjunto ou em separado. Os materiais pozolânicos, de acordo com Santos (1992), são silicosos ou silico-aluminosos que por si só não possui apreciável poder aglomerante hidráulico, mas que na forma finamente dividida e na presença de água reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio em temperaturas próximas a temperatura ambiente, para formar compostos com propriedade aglomerantes.

Assim sendo, os materiais pozolânicos naturais, como assevera Carvalho (2012), contêm em sua composição quartzo, feldspato e micas, além de vidro de aluminossilicato. Considera-se ainda, que a atividade pozolânica seja maior tanto quanto maior for o teor de sílica não cristalina e é nesse caso, que podemos destacar os argilominerais, particularmente, a caulinita como um dos cinco materiais pozolânicos naturais, que possuem ou podem possuir atividade pozolânica para ser adicionada ao processo de fabricação do cimento.

O caulim, proveniente da Província Pegmatítica da Borborema, pertencente aos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, possui uma excelente qualidade para uso em cerâmicas, porém as empresas produtoras por deficiência em sua planta de beneficiamento desperdiçam, segundo Souza et al. (2007), mais de 50% da caulinita, principal componente do caulim. O objetivo do estudo é utilizar o rejeito de caulim, principalmente o rejeito passante no trommel (peneira giratória) e retido na peneira de 20 malhas (0,850 mm), como material pozolânico natural em uma fábrica de cimentos, situada na região do Estado da Paraíba-PB.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar de haver alguns trabalhos que utilizam resíduos, inclusive de caulim, na produção de cimentos ou derivados do cimento, a nossa pesquisa diferencia das demais, primeiro, pelo fato de utilizar o resíduo de caulim como material pozolânico natural, ou seja, não sendo necessário calcinar esse resíduo que iria encarecer o processo de fabricação do cimento pozolânico e, segundo, por ser uma pesquisa inovadora quando relacionada a utilização do resíduo de caulim da Província Pegmatítica da Borborema na produção direta do cimento pozolânico.

Lima (2004) utilizou o resíduo de caulim, proveniente do beneficiamento de empresa produtora de papel no estado do Pará – PA, junto com calcário para produzir o clínquer e a metacaulinita, como é chamado o caulim calcinado na produção do cimento pozolânico, obtendo

após os testes físicos, análises químicas e mineralógica, dentre outros resultados, que o tempo de hidratação e o tipo de pozolana influenciam diretamente nos resultados dos testes de resistência a compressão do cimento.

Martins (1990) fez um estudo comparativo entre a fabricação do concreto utilizando agregados graúdos convencionais (brita granítica) e outros concretos fabricados com graúdos não convencionais tais como seixo rolado, concreções lateríticas e brita calcária, obtendo como resultado depois dos testes realizados e comparados com o resultado do concreto fabricado com brita granítica, em consonância com as normas regulamentadoras de fabricação de concreto, que o concreto produzido com o seixo rolado (quartzo) pode substituir plenamente a brita granítica enquanto que o concreto produzido com calcário e as concreções lateríticas podem ser utilizado em obras de menor responsabilidade.

Silva et al (2009) apresentou um estudo de caso com o objetivo de caracterizar o caulim da região Borborema-Seridó, levando em consideração a sua utilização na indústria de tinta, cerâmica e principalmente na indústria de papel. Para tanto, foram realizados vários testes físicos e físico químicos, dentre eles a separação magnética por via úmida de alta intensidade para a retirada dos minerais de ferro (hematita, goethita e magnetita), o branqueamento químico junto com o controle de Ph e Eh em meio oxidante e redutores na fração não magnética do caulim para a retirada do ferro e outros contaminantes como micas, quartzos e materiais orgânicos.

A análise da distribuição granulométrica foi realizada através do *Micrométrico Sedígrafo* para determinar o grau de finura do caulim, já a medição dos resultados foram realizadas através das análises químicas utilizando a fluorescência de raios-x; análises mineralógicas através da difração de raios-x, espectroscopia no infravermelho, ressonância paramagnética eletrônica; análise de espectroscopia de Mössbauer (utilizado para a identificação dos íons de ferro na caulinita) e análise das propriedades ópticas.

Em consonância com os resultados das análises, os autores concluíram que a importância do controle de Ph e Eh durante o branqueamento químico garantiram a eficácia da remoção de ferro e precipitação do enxofre que poderiam interferir dentre outros resultados, no brilho do caulim. Em relação a análise granulométrica da fração não magnética, o resultado foi de 48% das partículas de caulim menores que 2 μ m, assim foi sugerido uma subsequente centrifugação, visto que para atingir a especificação para utilização do caulim como revestimento na indústria de papel, as partículas devem estar entre 70 a 90% < 2 μ m.

Leite, Araújo e Tavares (2014) desenvolveram uma pesquisa, na qual estudaram o processo da produção do minério de caulim em pequena escala nos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba associando aos indicadores do índice de desenvolvimento humano (IDH) da região. Para isso, foram realizadas visitas nas empresas que processam o caulim, com intuito de coletar amostras e dados sobre a produção, fluxo do processo e quantidade de funcionários.

As amostras coletadas foram analisadas por difração e fluorescência de raios-x, já a distribuição granulométrica foi feita através de peneiramento a úmido, com peneiras variando de 8 a 325 malhas. A coleta de dados realizada nessas empresas identificou a existência de 21 plantas de pequeno porte de beneficiamento de caulim em operação na região. A alta concentração de caulim encontrada nas pilhas de rejeitos reforçou a necessidade de melhoramento do

desempenho dessas plantas, entretanto as empresas possuem um nível tecnológico modesto, o que dificulta o processo de recuperação desse caulim.

Por outro lado, as empresas não apresentam estruturas adequadas de gerenciamento, contratando trabalhadores locais que não são qualificados. Esses trabalhadores, por sua vez, não conseguem se qualificar pois as cidades não oferecem boas oportunidades de qualificação, já que a região apresenta um baixo índice de desenvolvimento humano para a educação (IDH = 0,471-0,576). Os baixos salários oferecidos por essas empresas dificultam a contratação de trabalhadores qualificados.

Somente um investimento em pesquisas poderia, além de recuperar as pilhas de rejeitos de caulim, maximizar o processo de beneficiamento e mitigar os impactos ambientais, melhorando dessa forma os indicadores sociais, o que contribuiria diretamente para a melhoria da qualidade de vida da população local.

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

A matéria prima para o estudo foi o resíduo de caulim, passante no *Trommel* e retido na peneira de 20 malhas, de uma empresa situada no município de Equador-RN, precisamente na região da Província Pegmatítica da Borborema (Rio Grande do Norte – Paraíba). Em consonância com a figura 1.



Figura 1: Mapa de localização modificado do *Google Maps* (Fonte: arquivo pessoal)

Esse material foi seco ao ar livre e em estufa a 120° C por 1h30min, homogeneizado em pilha longitudinal e quarteado em quarteador tipo Jones em conformidade com Sampaio et al. (2007), depois peneirado e moído em moinho de bolas. Na figura 2 é possível observar os equipamentos utilizados.



Figura 2: Equipamentos A - Quarteador tipo Jones; B - Vibrador de peneiras; C - Moinho de bolas, pertencentes ao laboratório do IFPB (Fonte: arquivo pessoal)

As amostras passantes em 200 malhas (0,075 mm) foram pesadas (2 kg) e enviadas ao laboratório de uma fábrica de cimentos, situada no estado da Paraíba - PB, que deu continuidade aos testes. As amostras foram caracterizadas por composição química através da Fluorescência de raios-X (EDX-modelo Rayny720 Shimadzu) e outros ensaios como perda ao fogo (PF), que constam na NBR 12653 “Materiais Pozolânicos”.

Já no cimento produzido, os testes realizados foram: teste de perda ao fogo (PF), composição química (Fluorescência de raios-X), resistência à compressão (Mpa), tempos de pega, cor, ensaio de finura NBR 11579 e outros ensaios, que constam na NBR 11578 “Cimento Portland composto” e NBR 5736 “Cimento Portland pozolânico”. Vamos destacar, dentre outros ensaios, o ensaio de finura que determinará o grau da porcentagem de grãos menores que 200 malhas.

Um cimento de granulometria mais fina possui maior quantidade de grãos por unidade de massa, ou seja, possui maior área específica. Posto isso, como assevera Carvalho (2012), a água encontrará muito maior área de contato e a reação se dará com maior intensidade, resultando dessa forma, em uma maior resistência mecânica e maior liberação de calor. O ensaio de finura é realizado utilizando peneiras de 200 malhas providas de fundo e tampa, por um tempo entre 12 e 15 min. Pode ser considerado completo quando após 1 min de peneiramento manual contínuo estiver passando pela peneira em estudo pelo menos 0,05g ou menos de 0,1% de massa inicial da amostra ($50g \pm 0,05g$), de acordo com a fórmula:

$$IF = \frac{R}{P} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

IF = índice de finura em % ($\leq 12\%$);

R = Resíduo na peneira depois de encerrado o peneiramento;

P = Massa inicial da amostra.

Para a confecção do cimento, em geral, o primeiro passo é avaliar a reatividade que o material (resíduo de caulim) proporciona ao produto quando comparado a um padrão (cimento base).

Dessa forma, é selecionada uma amostra de resultado conhecido, normalmente cimento CP V - ARI, que segundo Carvalho (2012) e a NBR 5737, é um cimento de alta resistência inicial, quando em reação com a água adquire elevadas resistências com maior velocidade. Nessa amostra conhecida foi adicionada 30% da amostra teste (resíduo de caulim).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados da análise da Fluorescência de Raios-x do resíduo de caulim, cimento base (CP V - ARI) e cimento produzido com 30% de resíduo de caulim (30 % de resíduo de caulim e 70 % do cimento base). Observa-se assim, que o percentual de óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de silício (SiO_2) no resíduo de caulim apresenta um percentual considerável, provavelmente, por conter ainda, caulinita nesse resíduo, cuja fórmula química é $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ (Souza, Harima & Leite, 2007).

Tabela 1: Fluorescência de raios-x, do resíduo de caulim, cimento CP V – ARI e cimento Com 30% do resíduo de caulim.

PARÂMETROS	UNIDADE	RESÍDUO DE CAULIM	CIMENTO BASE (CP V-ARI)	CIMENTO 30% (resíduo de caulim)
PF	%	12,30	1,8	4,9
SiO_2	%	50,38	19,7	28,7
Al_2O_3	%	34,76	4,9	13,3
Fe_2O_3	%	0,35	2,2	2,1
CaO	%	0,01	62,2	45,0
MgO	%	0,83	2,2	1,5
SO_3	%	0,04	3,3	2,2
Na_2O	%	0,09	0,2	0,1
K_2O	%	1,18	1,2	1,0
P_2O_5	%	0,07	0,7	0,6
TiO_2	%	0,03	0,2	0,2
CaO livre	%	-	1,3	-
Finura # 200	%	-	0,2	0,2
Finura # 325	%	-	1,0	4,3
Blaine	cm ² /g	-	4490,0	-
R 1D	Mpa	-	27,3	13,7
R 3D	Mpa	-	39,9	22,2
R 7D	Mpa	-	44,6	25,3
R 28D	Mpa	-	53,0	29,7
	%		-	56,0

É evidenciado também que o óxido de cálcio - CaO (Cal) de 45% na mistura do cimento com 30 % de resíduo de caulim é devido ao produto base ser composto por carbonato de cálcio (calcário), que produz através do processo conhecido por calcinação, geralmente, em fornos industriais, a Cal e o gás carbônico.

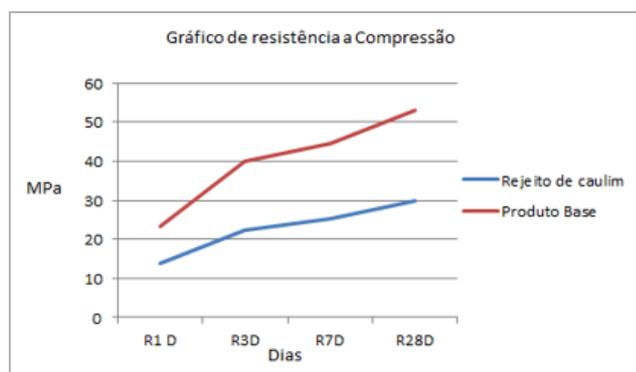
Na tabela 2, comparamos alguns resultados dos ensaios químicos e físicos, realizados no laboratório da empresa, com a composição do cimento 30% do resíduo de caulim, com as especificações das respectivas Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR-s) para cimentos pozolânicos - CP-IV.

Tabela 2: Comparação dos resultados com as especificações da NBR's

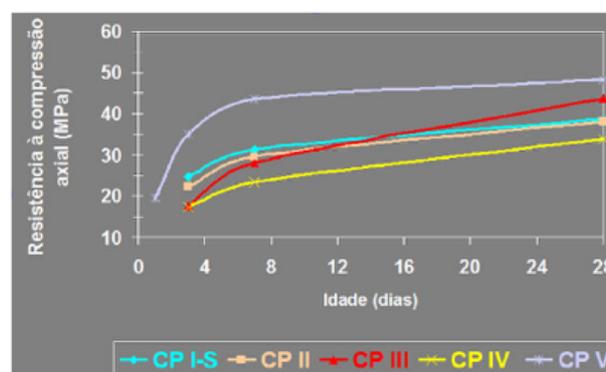
Ensaio	Cimento 30% (Resíduo de caulim)	Especificações	NBR
PF (%)	4,9	≤ 4,5	5743
# 200 (%)	0,2	≤ 8,0	11779
SO ₃ (%)	2,2	≤ 4,0	5745
MgO (%)	1,5	≤ 6,5	9203

Nessa tabela é perceptível que os resultados da fluorescência de raios-x do cimento que contém 30% de resíduo de caulim está em conformidade com as especificações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), exceto no ensaio de perda ao fogo, que apresenta resultado acima do recomendado em norma, provavelmente, devido a presença de material orgânico.

Comparando, através de gráficos nas figuras 3 (a e b), os resultados dos ensaios físicos de resistência à compressão da amostra estudada com a resistência a compressão dos principais



a



b

cimentos produzidos no Brasil, temos:

Figura 3 - a: Resistência a compressão nos testes da amostra do cimento 30% de resíduo de caulim (linha azul)

(Fonte: arquivo pessoal)

b: Resistência a compressão mínima x idade para os principais tipos de cimentos fabricados no Brasil,

(Fonte: Carvalho, 2012, p. 713)

Destarte, é observada uma semelhança na curva do gráfico da amostra estudada (resíduo de caulim – Figura 3-a) com a curva da resistência à compressão no cimento CP IV (Cimento pozolânico) de cor amarela no gráfico da Figura 3-b, mostrado por Carvalho (2012). Nesse sentido, consideramos compatibilidade no que se refere a resistência à compressão do cimento produzido

com o resíduo de caulim e com os cimentos produzidos no Brasil, em conformidade com o especificado pelas exigências físicas e mecânicas da norma NBR 5736.

5 CONCLUSÕES

Os ensaios químicos por fluorescência de raios-x (FRX) evidenciaram que o resíduo de caulim é promissor para substituição total ou parcial do material pozolânico no cimento. Com relação a resistência à compressão, os resultados dos primeiros dias apresentam-se compatíveis com as especificações das normas (NBR) para o cimento pozolânico. Apenas na resistência à compressão nos 28 dias está um pouco abaixo da norma exigida, que é de 32 MPa enquanto o resultado do teste foi próximo de 30 MPa.

Em linhas gerais, podemos concluir que os testes físicos e químicos realizados com o resíduo de caulim tiveram bons resultados para uma provável substituição parcial ou total do material pozolânico, utilizado na formulação do cimento CP- IV. Contudo, o que realmente pode definir a utilização desse material são os custos de aquisição e transporte desse resíduo até a fábrica, como também a cor final do cimento uma vez que a cor do resíduo de caulim é branca e a cor do cimento comercializado nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco é predominantemente cinza.

6 AGRADECIMENTOS

A empresa produtora de cimentos que contribuiu para a realização dos testes. A Luciano Lima, gestor da qualidade em Goiana-PE, pela dedicação na realização dos ensaios e ao IFPB e UFCG por terem disponibilizados os equipamentos.

7 REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas técnicas (2017). Normas cimento Portland Pozolânico, Recuperado em 26 de abril, 2017 de <http://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/04/nbr-05736-1991-cimento-portland-pozolc3a2nico.pdf>, acesso: 26 de abril de 2017.
- Carvalho, E.F.T. (2012). O concreto sem mistério. Ouro Preto: UFOP.
- Leite, J. Y. P., Araújo, F. da S. D. de, Tavares, T. (2014). Small scale mining cluster of kaolin in Brazil. XXVII International Mineral Processing Congress, Santiago - Chile. 88-97.
- Lima, J. M. (2004). Aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria prima na produção de pozolanas para cimentos compostos e pozolânicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.
- Luz, A. B., e Chaves, A. P. (2000). Tecnologia do caulim: Ênfase na indústria de papel. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- Martins, E. A. C. (1990). Estudo comparativo entre concretos de cimento portland pozolânico fabricados com agregados graúdos convencionais e não convencionais. Dissertação de

mestrado, Universidade Federal da Paraíba - Campus II Campina Grande. Campina Grande, PB, Brasil.

Sampaio, J.A, França, S.C.A, e Braga, P.F.A. (2007). Tratamento de minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

Santos, P.S. (1992). Ciência e tecnologia de argilas. 2. Ed. Revisada e ampliada, v. 2, São Paulo: Edgard Blucher LTDA.

Silva, F. A. N. G., Luz, A. B., Sampaio, J. A., Bertolino, L. C., Scorzelli, R., Duttine, M., e Silva, F. T. da. (2009). Technological characterization of kaolin: Study of the case of the Borborema–Seridó region (Brazil). *Applied Clay Science*, 44, 189-193.

Soares, D.R. (2004). Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaítas gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil.

Sousa, L., Harima, E., & Leite, J. Y. P. (2007). Rejeito de caulim De APL de pegmatito do RN/PB – Uma fonte promissora para cerâmica branca. *HOLOS*, 3, 212-222. doi:<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2007.140>

Vieira, A. R. (2013). Estudo sobre as reações pozolânicas de argilas calcinadas: Contributo para o desenvolvimento de geomateriais. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal.