

## Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal

C. M. dos Anjos<sup>1\*</sup>, G. A. Neves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande

Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande

Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB

(Recebido em 16/02/2011; revisado em 28/07/2011; aceito em 28/08/2011)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

Há um crescimento evidente na geração de resíduos nas últimas décadas, principalmente nos países em desenvolvimento. O setor mineral os produz em grande quantidade e em diversos tipos e níveis de periculosidade, como por exemplo, a indústria de beneficiamento do caulim, a qual produz resíduos à base de sílica, mica e caulinita. O descarte desse material em local inadequado ocasiona um forte impacto ambiental, que poderia ser minimizado com a utilização desse resíduo como matéria-prima para uso em construção civil. Este trabalho tem como objetivo principal estudar a incorporação de resíduos do beneficiamento de caulim em blocos de solo-cal. Os resíduos de caulim foram calcinados a uma temperatura de 800°C para verificação da atividade pozzolânica. As matérias-primas convencionais e alternativas foram caracterizadas por meio de ensaios de análise granulométrica por difração de laser, análise química, difração de raios X. Em seguida, blocos solo-cal convencional e solo-cal com a introdução de resíduo de caulim nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40% foram moldados e curados em câmara úmida por períodos de 28, 60 e 90 dias. Os ensaios tecnológicos de resistência à compressão simples obtiveram resultados dentro das especificações da ABNT. Os melhores resultados foram para 90 dias de cura e 20% de resíduo.

**Palavras-chave:** Solo-cal; caulim, blocos.

### Abstract:

There is an evident growth in waste generation over the last decades, especially in developing countries. The mining industry produces large quantities and different kinds and levels of dangerousness, such as the kaolin processing industry, which produces waste based on silica, mica and kaolinite. Disposal of this material in an inappropriate location causes significant environmental impacts, which could be minimized with the use of waste as raw material for use in construction. This paper has as main objective to study the incorporation of the kaolin processing waste into soil-lime. The residues of kaolin were calcined at a temperature of 800 ° C for evaluation of pozzolanic activity. Raw materials and conventional alternatives were characterized by means of test particle size analysis by laser diffraction, chemical analysis, X-ray diffraction. Then, blocks conventional soil-lime and soil-lime with the introduction of residual kaolin in proportions of 10%, 20%, 30% and 40% were cast and cured in a moist chamber for periods of 28, 60 and 90 days. The technological tests of compressive strength results obtained within the specifications of the ABNT. The best results were for 90 days of healing and 20% residue.

**Keywords:** Soil-lime; kaolin; blocks.

### 1. Introdução

A exploração dos recursos naturais desencadeia um processo de contínua degradação, visto que são produzidos resíduos não aproveitados lançados indiscriminadamente ao meio ambiente.

O setor mineral gera grandes quantidades de resíduos de diversos tipos e níveis de periculosidade, como por exemplo, a indústria de beneficiamento do caulim, a qual produz resíduos à base de sílica, mica e caulinita em grandes

quantidades. A extração desse minério produz um percentual de resíduos correspondente a 80 a 90% do volume total explorado, representando, assim, um grande impacto ambiental [1].

Durante o processamento do caulim primário, dois tipos de resíduos são gerados: o primeiro é o resíduo grosso, proveniente da separação do quartzo do minério, gerado logo após a extração e que representa cerca de 70% do total de resíduo produzido; o segundo é o resíduo fino, que provém da segunda etapa do beneficiamento, quando o caulim é

\*Email: [cassia.anjos@gmail.com](mailto:cassia.anjos@gmail.com) (C. M. dos Anjos)

purificado. O depósito desse material é feito a céu aberto, afetando a saúde da população adjacente.

Na construção civil, o resíduo de caulim vem sendo utilizado na produção de materiais alternativos de custo reduzido em relação aos convencionais. Diversas pesquisas nesse campo foram desenvolvidas, dentre as quais a introdução de resíduo de caulim como substituição da areia em blocos de areia e cimento, nas proporções de 40%, 70% e 100%, obtendo valores de resistência à compressão simples dentro das especificações estabelecidas pelas normas [2]. Outro estudo realizado foi a pontencialidade do resíduo de caulim para uso em blocos de concreto sem função estrutural, cujos resultados evidenciaram que valores das propriedades físico-mecânicas dos blocos incorporados com resíduo de caulim estão de acordo com especificações das normas da ABNT [3].

Esse trabalho, portanto, tem como objetivo estudar a utilização de resíduo de caulim para produção de blocos solo-cal para uso para construção civil.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Materiais

Para esse estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- solo argiloso proveniente do município de Lagoa Seca – PB, classificado como A-6 (solo argiloso) segundo a AASHO (American Association of State Highway Officials) e como SM de acordo com a Classificação Unificada dos Solos (The Unified Soil Classification System – USCS);
- cal hidratada conhecida comercialmente como Carbomil e fabricada no município de Limoeiro do Norte – CE;
- resíduo proveniente do beneficiamento de caulim, extraído das minerações da Planície Pegmatítica da Borborema, e cedido pela empresa CAULISA Indústria S/A, do município de Juazeirinho – PB.

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Preparação do resíduo de caulim

Depois da coleta das amostras, o resíduo foi peneirado na peneira ABNT nº 8 (2,4 mm) para a retirada dos fragmentos maiores e com o intuito de não danificar o moinho. O resíduo de caulim passou por um processo de moagem em um moinho de bolas durante 6 horas. A fração grossa é proveniente da primeira etapa do beneficiamento do caulim, enquanto que a fina foi peneirada e retida na peneira ABNT nº 200 (0,074 mm). Após atingir a granulometria requerida, misturaram-se as duas frações com a composição de 50% de cada. O material foi calcinado (queimado) à temperatura de 800°C, por um período de 2 horas, a fim de produzir a metacaulinita, com alta capacidade pozolânica.

Esse resíduo, que se trata de uma matéria-prima alternativa, foi incorporado à mistura solo-cal sob diversos

percentuais de adição, que variam de 10% a 40% da proporção da cal nos traços estudados.

#### 2.2.2. Análise granulométrica por difração de laser

O ensaio consiste na dispersão do material em 250 mL de água destilada em agitador Hamilton Beach modelo 936 na velocidade de 17000 rpm por 20 min, utilizando o desfloculante hexametáfosfato de sódio. Depois dessa etapa, 15 mL são colocados em dispersor ultrassônico por 10 minutos e, finalmente, em um equipamento CILAS modelo 1064 para o alcance da concentração ideal de 150 unidades de difração por área de incidência.

#### 2.2.3. Análise mineralógica

Para a realização da análise mineralógica do resíduo de caulim, o resíduo foi submetido a uma difração de raios-X no equipamento XRD 6000 da Shimadzu. As amostras foram submetidas à radiação  $K\alpha$  do Cu (40,0 KV/ 30 mA), à velocidade do goniômetro de 0,02° para 2 $\theta$  por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo.

#### 2.2.4. Análise química

As determinações usuais são: perda ao fogo, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. A caracterização quanto à composição química ocorreu com a utilização do equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, pelo método quantitativo de Espectrofotometria Fluorescente de Raio X.

#### 2.2.5. Preparação dos corpos de prova

Após a determinação do traço solo-cal e da umidade ótima obtidos por meio do ensaio de compactação, foram moldados os corpos de prova em diferentes de composições de resíduos incorporados. O fator água/aglomerante foi estabelecido por tentativas, sendo o primeiro teste com o percentual referente à umidade ótima da compactação. Os corpos de prova foram acondicionados em pequenos sacos plásticos para manutenção da umidade e colocados em câmara úmida com 100% de umidade relativa (Figuras 1 e 2).

Para cada composição foram moldados 15 corpos de prova no traço 1:10 para ensaio de resistência à compressão simples, sendo 5 para cada período de cura (28, 60 e 90 dias). As composições referem-se ao percentual de caulim em relação à quantidade de cal, de 10%, 20%, 30% e 40%. Além disso, foram moldados corpos de prova sem incorporação de resíduo, para referência. A Tabela 1 apresenta o quantitativo dos corpos-de-prova.



Figura 1. Corpos de prova acondicionados em sacos plásticos



Figura 2. Corpos de prova armazenados em câmara úmida

Tabela 1. Quantitativo dos corpos de prova em diferentes composições

Resíduo	0%	10%	20%	30%	40%
28 d	5	5	5	5	5
60 d	5	5	5	5	5
90 d	5	5	5	5	5
Por composição	15	15	15	15	15
Total	75				

### 2.6. Ensaio de resistência à compressão simples

Após os períodos de cura, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de resistência à compressão simples, segundo a norma da ABNT NBR 8492/84.

Para a determinação da resistência à compressão simples utilizou-se o equipamento Autograph AG-IS da marca Shimadzu, com célula de carga de 100 kN (Figura 3).



Figura 3. Máquina Universal da marca Autograph da Shimadzu AG-IS 100 kN

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Análise granulométrica por difração de laser

A distribuição granulométrica da fração grossa e fina do resíduo de caulim é apresentada nas Figuras 4 e 5.

Nas Figuras 4 e 5 observa-se que após a cominuição, ou seja, a redução do tamanho do mineral para formação de partículas com dimensão e formato pré requerido, os resíduos apresentam semelhantes distribuições granulométricas, destacando uma concentração de partículas em torno dos 50-60  $\mu\text{m}$ . O tamanho médio de partícula do resíduo grosso é de 35,36  $\mu\text{m}$  e os valores de  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$  são de 3,54, 32,26 e 71,29  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Em relação ao resíduo fino, o tamanho médio de partícula é de 31,71  $\mu\text{m}$  e os valores de  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$  são de 2,43, 28,21 e 67,47  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Embora verificado um alto teor de partículas com dimensão inferior a 45  $\mu\text{m}$  nos dois resíduos (68 a 70% em volume), observa-se em trabalhos anteriores [4]; [5]; [6] que em relação ao cimento Portland, os resíduos apresentam uma distribuição mais grosseira. Enquanto que no cimento o teor é de aproximadamente 95% das partículas com dimensões inferiores a 45  $\mu\text{m}$ , comparando com outro aglomerante, o teor da cal hidratada é de aproximadamente 85% (ABNT NBR 7175 (2003)). Portanto, seguiria a mesma distribuição mais grosseira do resíduo quando comparado ao aglomerante. Além disso, de acordo com a ABNT NBR 12653 (1992) e a ASTM 618C (1991), um material para ser considerado pozolânico deve apresentar no máximo 34% retido na peneira de abertura 45  $\mu\text{m}$  (peneira ABNT n°325). Dessa forma, mesmo mais grosso que o cimento e a cal, o resíduo ainda apresenta granulometria compatível com a normalização para uso como pozolana.

### 3.2. Análise mineralógica

As Figuras 6 e 7 apresentam os difratogramas do resíduo de caulim no estado natural e calcinado, respectivamente.

Analisando os gráficos das Figuras 6 e 7, observa-se a constituição de mica, caulinita e quartzo.

### 3.3. Análise química

A composição química desse material é apresentada na Tabela 2.

Analisando os resultados na Tabela 2, verifica-se que o caulim estudado apresenta teor de sílica (SiO<sub>2</sub>) de 66,25% (proveniente dos minerais argilosos e da sílica livre), teor de (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 26,19% (oriunda dos argilominerais e de feldspato), teor de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 0,85% e teor de potássio (K<sub>2</sub>O) de 6,38%.

Tabela 2. Composição química do resíduo de caulim

Componentes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Composição Química (%)	66,25	26,29	0,85	6,38	traços

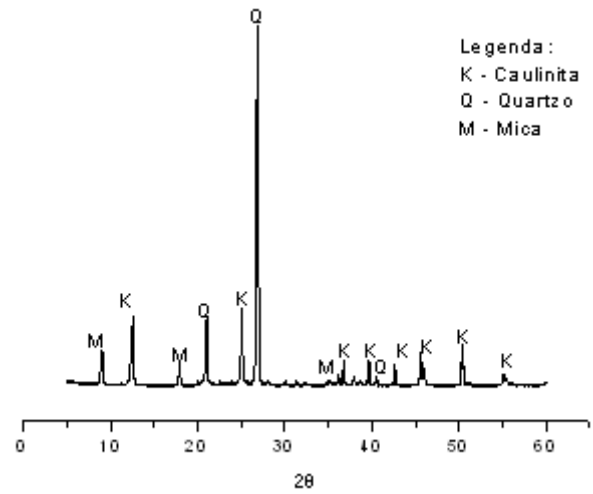


Figura 6. DRX do resíduo de caulim no estado natural

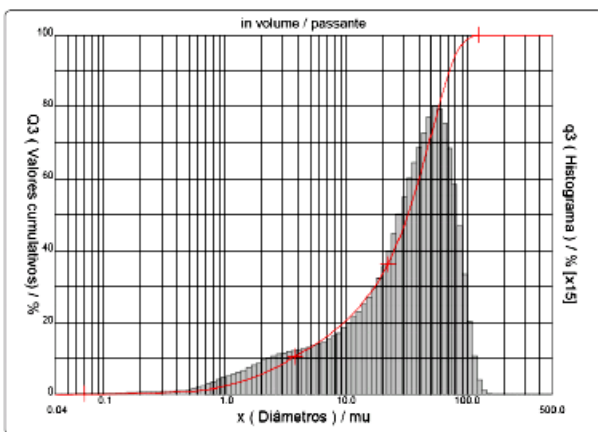


Figura 4. Distribuição granulométrica do resíduo grosso de caulim

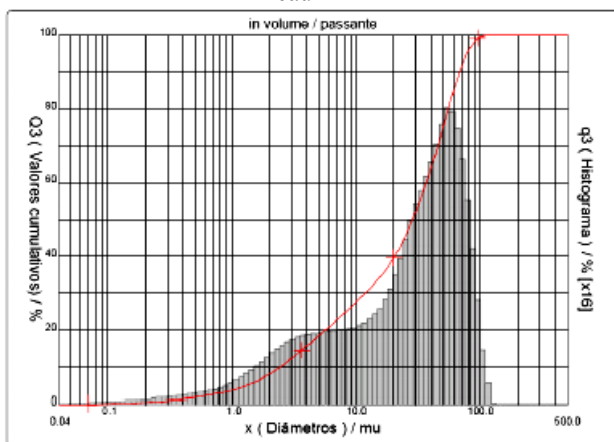


Figura 5. Distribuição granulométrica do resíduo fino de caulim

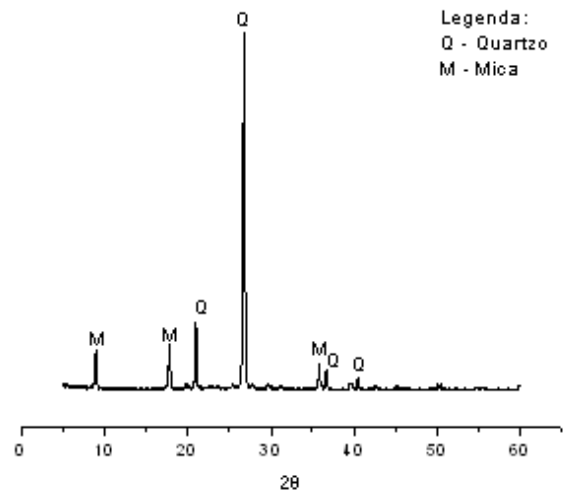


Figura 7. DRX do resíduo de caulim calcinado

O caulim no estado natural é constituído por caulinita (nas distâncias interplanares de 7,01Å, 3,54Å, 2,46Å, 2,28Å, 2,54Å, 2,10Å, 1,80Å e 1,66Å), quartzo (caracterizado por 3,55Å, 3,32Å e 2,50Å) e mica (9,85Å, 4,57Å e 2,48Å). Quando calcinado a 800°C, a caulinita é consumida e o caulim apresenta apenas quartzo e mica, nas distâncias interplanares já citadas.

### 3.3. Resistência à compressão simples

Os corpos de prova de solo-cal e incorporados com resíduo de caulim, traço 1:10, apresentaram os valores de resistência à compressão simples (RCS) apresentados na Figura 8 e dispostos na Tabela 3, para períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Em relação à Figura 8, observou-se o acréscimo de resistência com a cura em função da incorporação de resíduo.

Os valores aos 28 e 60 dias, com exceção do resultado a 30% em 60 dias, foram inferiores ao limite mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela norma ABNT NBR 8492/1984. Todavia, observou-se nesses períodos um aumento da resistência em função do aumento do resíduo de caulim incorporado.

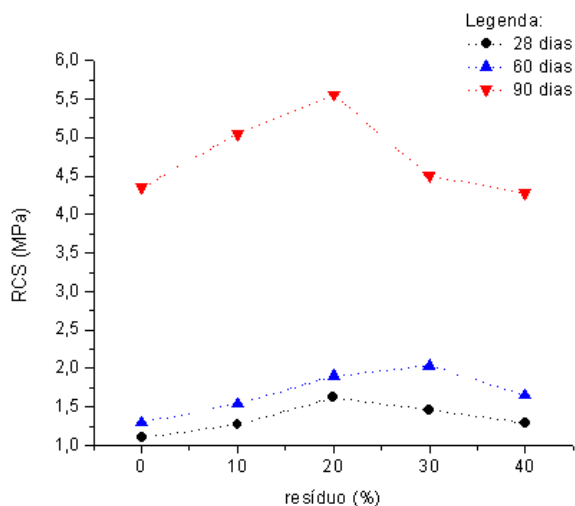


Figura 8. Resistência à compressão simples dos corpos de prova, aos 28, 60 e 90 dias de cura

Tabela 3. Resistência à compressão simples dos corpos de prova, aos 28, 60 e 90 dias de cura

Incorporação de resíduo (%)	Cura		
	28	60	90
0	(1,10 ± 0,03)	(1,30 ± 0,06)	(4,35 ± 0,30)
10	(1,27 ± 0,04)	(1,54 ± 0,24)	(5,05 ± 0,74)
20	(1,62 ± 0,03)	(1,90 ± 0,06)	(5,56 ± 0,58)
30	(1,46 ± 0,03)	(2,04 ± 0,13)	(4,50 ± 0,16)
40	(1,29 ± 0,06)	(1,65 ± 0,16)	(4,28 ± 0,20)

#### 4. Conclusões

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O resíduo de caulim atendeu aos requisitos da normalização em relação à composição química dos materiais pozolânicos.
- O resíduo foi composto de caulinita, quartzo e mica e com larga distribuição granulométrica;
- Houve um aumento da resistência à compressão simples dos corpos de prova em todas as composições em relação à cura de 28, 60 até 90 dias;
- A maior resistência observada para os corpos de prova foi aos 90 dias de cura com a incorporação de 10% de resíduo (5,05 MPa). Tal resultado apresentou um grande desvio padrão em relação à média, aproximando do segundo valor mais alto: resistência de 4,98 MPa, verificada aos 90 dias de cura e 20% de resíduo;
- Os valores aos 28 e 60 dias, com exceção do resultado a 30% em 60 dias, foram inferiores ao limite mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela norma;

Analisando os valores apresentados na Tabela 3, verifica-se que o comportamento mecânico dos corpos de prova foi melhorado com o aumento do período de cura, sendo os melhores resultados para 28 dias de cura de 1,62MPa, para 60 dias de 2,04MPa e para 90 dias de 5,05MPa. Esses resultados indicam a ocorrência da reação pozolânica, por garantir maior resistência, em uma reação mais lenta que favorece a durabilidade do material. Estudos observaram que o aumento das resistências de argamassas que continham resíduos de caulim calcinados devia-se a um arranjo eficiente na interface agregado-pasta como também à ação química dos resíduos, já que apresentavam elevada atividade pozolânica [7].

O maior valor observado foi aos 90 dias de cura com a incorporação de 20% de resíduo (5,56 MPa), com uma grande faixa de dispersão dos valores em torno da média (desvio padrão de 0,58 MPa.). Portanto, observando não apenas a média, mas também a diferença entre os limites superior e inferior das amostras, os resultados aos 10% (5,05 ± 0,74) MPa e 20% (5,56 ± 0,58) MPa em 90 dias apresentaram-se bastante próximos, gerando incerteza quanto ao resultado mais eficiente. Por essa razão, os tijolos vazados foram moldados nessas duas porcentagens, para verificação da resistência.

#### Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental/Universidade Federal de Campina Grande

#### Referências

- [1] Menezes, R.R. et al. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento de caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. *Cerâmica vol. 53*, n. 326, Abril/Junho, 2007.
- [2] Rezende, M.L.S. et al. Gerência de resíduos de caulim: estudo da viabilidade para produção de blocos de concreto. In: *Simpósio de Engenharia de Produção*, 2006, Bauru, SP. Anais. 2006, CD-ROM.
- [3] Lima, M.S. *Utilização do Resíduo de Caulim para Uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, 2005.

- [4] Farias Filho, J. *Estudo de durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, 2007.
- [5] Rocha, A.K.A. *Incorporação de resíduo de caulim em argamassa de alvenaria*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.
- [6] Lima M.S. et al. Utilização de resíduo de caulim para uso em blocos de concreto sem função estrutural. In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 2006, Blumenau, SC. Anais. 2006.
- [7] Castro, W.A.M. *Incorporação de resíduos de caulim em argamassa para uso na construção civil*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.