

CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO INDUSTRIAL HIDRÓXIDO DE CÁLCIO COM VISTAS A SUA UTILIZAÇÃO EM OBRAS GEOTÉCNICAS

Sara Hillary Soares Dias (Centro Universitário São Lucas). E-mail: Sarahill.98diass@gmail.com

Darbens Silvio Correia Junior (Universidade Federal de São Carlos). E-mail: darbens@hotmail.com

Benício de Moraes Lacerda. (UNESC). E-mail: beniciolacerda@unesnet.br

Rafael Luis da Silva (Centro Universitário São Lucas) E-mail: rafaeluismat@gmail.com

João Henrique Lacerda Melo Lima (Centro Universitário São Lucas) E-mail: joao.lima@saolucas.edu.br

Alex Gomes Pereira (Centro Universitário São Lucas) E-mail: alexgp885@gmail.com

Resumo: A produção de resíduos sólidos (RS) no Brasil tem aumentado gradativamente em função de diferentes fatores, em consequência tem-se tornado um dos principais problemas ambientais da sociedade do século XXI. Nesta temática, tornou-se necessário dar um destino correto a estes resíduos. Diante disto, este estudo buscou avaliar a potencialidade de aplicação do subproduto hidróxido de cálcio em obras geotécnicas. Para tanto, o resíduo em questão foi caracterizado segundo os ensaios de granulometria, espectrometria de fluorescência de raios-x e análise gravimétrica. Os resultados de granulometria apontaram que o resíduo em questão pode ser utilizado como fíler em misturas asfálticas. A caracterização química e mineralógica indicou alto teor de óxido de cálcio. Referente a análise térmica do material, verificou-se baixa perda de massa nas temperaturas de trabalho de misturas asfálticas. Por conseguinte, considerando aspectos técnicos e ambientais, os resultados desta pesquisa mostram o elevado potencial de utilização do hidróxido de cálcio como material aplicável em obras rodoviárias.

Palavras-chave: Hidróxido de cálcio, Resíduo sólido, Obras rodoviárias, FRX.

CHARACTERIZATION OF CALCIUM HYDROXIDE INDUSTRIAL WASTE FOR USE IN GEOTECHNICAL WORKS

Abstract: The production of solid waste (RS) in Brazil has gradually increased due to different factors, as a result it has become one of the main environmental problems of society in the 21st century. In this theme, it became necessary to give a correct destination to these residues. In view of this, this study sought to evaluate the potential for application of the calcium hydroxide by-product in geotechnical works. Therefore, the residue in question was characterized according to granulometry, x-ray fluorescence spectrometry and gravimetric analysis. The granulometry results showed that the residue in question can be used as a filler in asphalt mixtures. The chemical and mineralogical characterization indicated a high content of calcium oxide. Regarding the thermal analysis of the material, there was low mass loss at the working temperatures of asphalt mixtures. Therefore, considering technical and environmental aspects, the results of this research show the high potential for the use of calcium hydroxide as a material applicable in road works.

Keywords: Calcium hydroxide, Solid waste, Road works, FRX.

1. Introdução

Com o crescimento da geração de RS industriais e, conseqüentemente, a disposição em locais inadequados, torna-se necessário o estudo de destinação sustentável desses materiais, buscando minimizar os impactos ambientais, especialmente à saúde humana.

Para Gonçalves (2000) o emprego de resíduos e subprodutos industriais na indústria da construção Civil apresenta-se como grande oportunidade de contribuir sustentavelmente para o desenvolvimento da Engenharia Civil, visto que a construção civil é o ramo da

atividade tecnológica que consome grandes quantidades de recursos naturais, tornando assim um dos setores mais indicado para absorver os RS.

Neste contexto, considerando-se a necessidade de reaproveitamento de materiais, bem como a redução do uso de recursos não renováveis e a crescente necessidade da disposição do hidróxido de cálcio, torna-se relevante o estudo desse material, com o propósito de proporcionar projetos de pavimentos rodoviários mais econômicos.

Com base nestas premissas, este estudo tem por objetivo estudar as características físicas, química e mineralógica do hidróxido de cálcio, e sua viabilidade como material aplicável na construção civil, especialmente em obras geotécnicas.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Hidróxido de cálcio

Thomé (1999) explica que a partir desta reação química é formado o gás acetileno (C_2H_2) que apresenta em sua composição química básica o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). O resíduo hidróxido de cálcio é obtido no estado líquido. Em seguida a reação, o material é transportado para tanques de decantação. Para acelerar o processo de secagem, o resíduo é submetido a um equipamento (à base de vácuo) onde é obtido na forma sólida, com teor de umidade de aproximadamente 50%.

Finalizado o procedimento de obtenção, o hidróxido de cálcio é colocado à disposição para comercialização ou colocado em aterros para RS (THOMÉ, 1999). Na Figura 1 é apresentado o processo de obtenção do hidróxido de cálcio.

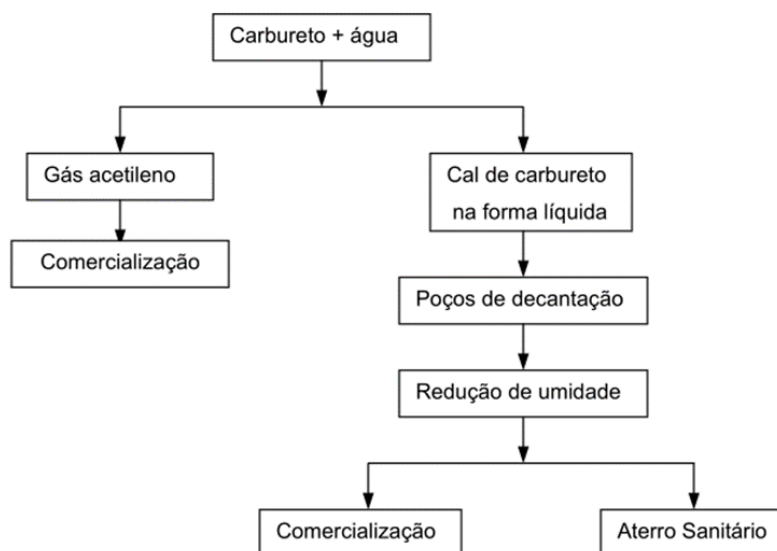


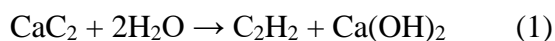
Figura 1 - Estrutura organizacional de obtenção do resíduo cal de carbureto

Fonte: Thomé (1999).

Possui cor cinza com tom azulado, em consequência da presença de carbono em sua composição (BORGES, 1979; MELO, 2019).

2.1.1 Hidróxido de cálcio na construção civil

Segundo Thomé (1999), Rohde (2002), Consoli (2003), Makaratat, Jaturapitakkul e Laosamathikul (2010), Makaratata et al. (2011) e Kampala e Horpibulsuk (2013), o hidróxido de cálcio, também conhecido como cal de carbureto (Ca(OH)_2) é um subproduto industrial gerado a partir da reação química entre o carbureto de cálcio (CaC_2) e a água (H_2O) na produção do gás acetileno (C_2H_2), conforme a seguinte Equação 1:



Segundo Consoli (2003) o hidróxido de cálcio apresenta características semelhantes às cales comercializadas, uma vez que é formada por óxido de cálcio hidratado, além de possuir alto potencial para ser utilizado como aditivo de solos.

Para Ribeiro, Marques e Castro (2019) este resíduo pode ser empregado nos mais diversos tipos de obras geotécnicas, por exemplo, como bases de sustentação de obras de fundações, e como material de construção para pavimentos rodoviários, barragens, aterros, tijolos e blocos. Carraro (1997), por exemplo, estudou a viabilidade técnica de um solo residual de arenito botucatu estabilizado com cinza volante de candiota e hidróxido de cálcio para fundações superficiais. Para isto, Carraro (1997) estudou o desempenho mecânico deste material em função do teor de cal de carbureto, umidade de compactação, tensão efetiva inicial e condição de drenagem.

Como resultado, o autor verificou que a resistência ao cisalhamento foi influenciada, em maior ou menor grau, por todas as variáveis investigadas. Quanto à deformabilidade, o autor observou que o material não é afetado pela condição de drenagem, todavia é fortemente influenciada pela umidade de compactação.

Thomé (1999) analisou a viabilidade técnica do emprego de resíduos industriais cinza pesada e cal de carbureto como estabilizantes de um solo residual de arenito botucatu. A metodologia do trabalho consistiu no estudo da reatividade da cinza pesada com a cal de carbureto, a influência da temperatura e do tempo de cura no desenvolvimento das reações pozolânicas, a influência de diferentes teores de resíduos quanto ao comportamento mecânico (resistência à compressão simples, compressão diametral e durabilidade) e o impacto ambiental da utilização da mistura ótima, por meio dos experimentos de lixiviação e solubilização. Como resultado, Thomé (1999) observou que é possível utilizar cinza pesada e cal de carbureto como estabilizante do solo residual de botucatu.

Kampala e Horpibulsuk (2013) estudaram o comportamento mecânico de um solo siltoso aditivado com resíduo de hidróxido de cálcio para aplicação em camadas de pavimentos rodoviários.

De acordo com os resultados, os autores verificaram que a incorporação de hidróxido de cálcio aumenta a umidade ótima, reduz a massa específica seca máxima e o índice de plasticidade da argila. O teor de umidade obtido nos experimentos foi responsável por controlar a densidade e a reação química da mistura estabilizada com resíduo de hidróxido de cálcio. Além disso, o teor de água influenciou na resistência mecânica, inchamento, capacidade de suporte e relação água/aglutinante, já que um teor de água abaixo do ideal não foi capaz de proporcionar reações químicas na mistura realizadas

durante os seus ensaios.

3. Metodologia

3.1 Hidróxido de cálcio

O subproduto de hidróxido de cálcio (Figura 2) foi coletado da área de disposição de uma empresa produtora de gás acetileno localizada no Distrito Industrial II do município de Manaus, capital do estado do Amazonas (AM). Após o processo de retirada, o material foi secado ao ar livre por aproximadamente 6 a 7 dias, destorroadas, peneiradas e armazenadas em sacos plásticos para sua utilização nos respectivos ensaios, conforme as recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em sua norma ME 041 (DNER, 1994).



Figura 2 - Hidróxido de cálcio

3.2 Métodos

3.2.1 Granulometria

Para determinação granulométrica, utilizou-se como referências as metodologias de ensaio prescritas pelo órgão do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) ME 083 (DNER, 1998).

3.2.2 Caracterização química e mineralógica

3.2.2.1 Espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX)

Para avaliação da composição química e mineralógica do resíduo de cal de carbureto foi utilizado a técnica de espectrometria de FRX, por energia dispersiva. As análises foram realizadas no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos (LAMAC), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), empregando-se o equipamento espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL, com tensão máxima de 50kV, corrente máxima de 3mA, e a presença do gás hélio na pressão 10 atm./10 kgf/cm.

3.2.2.2 Termogravimetria

Os efeitos resultantes da variação de perda de massa do material em função do aumento da temperatura foram estudados pela análise termogravimétrica (TGA) e termogravimetria derivada (DTG). A análise foi realizada no Laboratório LaMAC/UFAM, sendo empregado o equipamento TA Instruments Systems SDT Q600, em uma faixa de temperatura de 25 a 1100°C, com taxa de aquecimento de 20°C/min, até temperatura final (700°C), em atmosfera de nitrogênio N 5,0, com vazão de 30ml/min.

Nesta análise foi usada uma massa de aproximadamente 10mg de amostra em cadinho de alumina. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa. Posteriormente ao ensaio, os parâmetros foram ajustados no software do equipamento.

4. Resultados e discussão

4.1 Análise granulométrica

A Tabela 1 mostra a distribuição granulométrica do hidróxido de cálcio. A caracterização granulométrica, indicou que o resíduo de hidróxido de cálcio, apresentou porcentagens de materiais passante na peneira nº 200 (0,075mm) maiores do que 65%, por conseguinte, o material foi classificado com fíler, conforme a especificação da norma brasileira EM 367 (DNER, 1997).

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do hidróxido de cálcio

Peneiras - ASTM	Peneiras (mm)	% que passa da amostra total
2"	50,00	100,00
1 1/2"	37,50	100,00
1"	25,00	100,00
3/4"	19,00	100,00
3/8"	9,50	100,00
4	4,75	99,62
10	2,00	95,62
16	1,18	94,04
30	0,60	92,10
40	0,42	91,30
60	0,25	90,76
100	0,15	87,64
200	0,075	84,50

4.2 FRX

Os resultados de FRX identificaram elevadas porcentagens, em peso, do elemento químico Ca (cálcio), 98,322%, totalizando mais de 95% da composição molar do material, isso indica que o resíduo do hidróxido de cálcio apresenta um elevado grau de pureza. Além disso, foi possível observar pequenas proporções de Si (silício), 0,609%,

Sr (estrôncio) 0,251%, Fe (ferro), 0,204%, P (fósforo), 0,182%, Ag (prata), 0,171%, Al (alumínio), 0,162% e Mg (magnésio), 0,069%.

Referente a análise mineralógica, os principais compostos encontrados foram: o (CaO) óxido de cálcio (97,683%), a alta presença de óxido de cálcio está relacionada com produção de gás acetileno, o qual utiliza como matéria prima o material carbeta de cálcio, popularmente chamado de carbureto de cálcio. Este material é classificado como uma cal cálcica, em virtude de ser formado basicamente por óxido de cálcio (THOMÉ, 1999).

Ainda analisando os resultados é possível verificar que os teores de óxido de cálcio estão em consonância com os encontrados por Thomé (1999), o citado autor observou em seu estudo um teor de óxido de cálcio igual 95,1%. Além disso, quimicamente, o hidróxido de cálcio deste trabalho apresenta pureza maior do que as cales produzidas comercialmente, o qual apresenta um teor de óxido de cálcio igual a 30% (THOMÉ, 1999).

Por conseguinte, esse resíduo passa a ser uma alternativa para diversas aplicações da indústria da construção civil, visto que a cal apresenta diversas vantagens no ponto de vista econômico e na qualidade do desempenho quando adicionada às argamassas de cimento e areia ou como agente estabilizante de solos (LIMA, 1981; NGOWI, 1997; MENDES, SOUSA & BARBOSA, 2019).

Cristelo (2001), por exemplo, expõe que a utilização do cal como aditivo no tratamento de solos é um dos mais antigas técnicas de estabilização química conhecidas, tendo sido empregado nas mais variadas aplicações. A cal interage com as partículas amorfas de argila por meio de reações endotérmicas, propiciando uma série de transformações de natureza físico química, que resultam no aumento da capacidade de suporte e maior estabilidade da mistura face à ação da água.

Sublinha-se, também, que foram identificados óxidos em menor quantidade, como: o (SiO_2) dióxido de silício (1,116%), (P_2O_5) pentóxido de fósforo (0,354%), (Al_2O_3) óxido de alumínio (0,264%), (Fe_2O_3) óxido férrico (1,190%) e (MgO) óxido de magnésio (0,999%), sendo estes materiais contaminantes.

4.2.3 TGA e DTG

A TGA e termogravimetria derivada DTG foram utilizadas para avaliar o comportamento térmico da amostra de hidróxido de cálcio. Os resultados são apresentados na Figura 3.

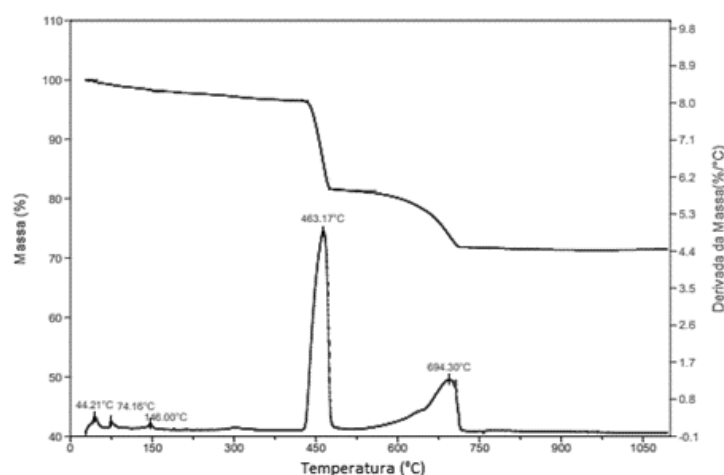


Figura 3 - Curvas de TG e DTG da amostra de hidróxido de cálcio

Observa-se na Figura 3 a decomposição do material em três intervalos, sendo o primeiro entre de 40 a 150 °C, onde observou-se três eventos térmicos, sendo o primeiro em 44,21°C, o segundo em 74,16°C e o terceiro em 146,00°C. Estes três eventos térmicos totalizam uma perda de massa igual a 1,80%. O segundo intervalo corresponde a faixa de 350 a 550°C, onde é possível verificar um único evento térmico de 463,17°C, tendo uma perda percentual de massa igual a 14,82%. O terceiro intervalo ocorre entre 550 a 750°C, nesta faixa de temperatura há apenas um evento térmico com valor máximo em 694,30°C, apresentando uma perda de massa de 9,42%.

De modo geral, essas perdas de massa estão relacionadas à perda de água, relativa à umidade do material, em consequência da decomposição do Ca(OH)_2 em CaO e na decomposição de CaCO_3 em CaO , onde a perda de massa de 14,82% está relacionada ao fato da alteração do composto químico do precursor de Ca(OH)_2 . Em resumo, o material apresenta estabilidade térmica até 400°C. Isso indica que o hidróxido de cálcio, na prática, não sofreria alterações nas temperaturas de produção das misturas asfálticas (160 a 177°C), ou seja, não ocasionam a decomposição do material, mantendo assim suas propriedades e aplicabilidades.

5. Comentários finais

Neste trabalho, foi feita a caracterização do resíduo de hidróxido de cálcio gerado por uma empresa produtora de gás acetileno com o objetivo de avaliar o potencial de sua utilização engenharia geotecnia. Com base nos dados expostos, podemos apresentar as seguintes conclusões.

- a) Os dados obtidos da análise granulométrica mostraram que o resíduo de hidróxido de cálcio pode ser empregado como fíler;
- b) Com relação ao ensaio de FRX, pôde-se observar altos teores de óxido de cálcio, 97,683%, também conhecido como cal virgem ou cal viva, material bastante utilizado para estabilização de solos; e
- c) Com base nos resultados de TGA e DTG executados neste trabalho de pesquisa, foi possível concluir que o resíduo estudado não apresenta decomposição nas temperaturas convencionais (160 a 177°C) de trabalho das misturas asfálticas.

Deste modo, constatou-se que, sob as condições analisadas, o hidróxido de cálcio é uma alternativa promissora para aplicação em pavimentos rodoviários, atuando como material de enchimento em misturas asfálticas e como material estabilizante para melhoria das características físicas e mecânicas do solo in natura, constituindo-se, assim, uma aplicação sustentável do resíduo industrial em questão.

Referências

BORGES, H. F. *Estabilização de um solo argiloso com cal de carbureto*. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1979.

CARRARO, J. A. *Utilização de resíduos industriais na estabilização de um solo residual de arenito*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

CONSOLI, N. C. *Processamento e utilização geotécnica de resíduos*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL – REGEO, 2003, [S.I.]. Anais... [S.I.]: [s.n.], p. 497-510, 2003.

CRISTELO, N. M. C. *Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal*. Dissertação de mestrado - Universidade do Minho, Guimarães, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *DNER-ME 041/94*:

Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *DNER-ME 083/98: Agregados - análise granulométrica.* Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *DNER-EM 367/97: Material de enchimento para misturas betuminosas.* Rio de Janeiro, 1998.

FOSTER, M. D.; FRIEDRICH, O. D.; BELL, R. G.; ALMEIDA, F. A.; KLINOWSKI, J. *Chemical evaluation of hypothetical uninodal zeolites.* Journal of the American Chemical Society, v. 126, n. 31, p. 9769-9775, 2004.

GONÇALVES, J. P. *Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.* Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

KAMPALA, A.; HORPIBULSUK, S. *Engineering Properties of Silty Clay Stabilized with Calcium Carbide Residue.* Journal of Materials in Civil Engineering. v. 25, n. 5, p. 632-644, 2013.

LIMA, D. C. *Algumas considerações relativas à estabilização dos solos, em particular à estabilização solo-cal.* Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1981.

MAKARATAT, N.; JATURAPITAKKUL, C.; LAOSAMATHIKUL, T. *Effects of Calcium Carbide Residue-Fly Ash Binder on Mechanical Properties of Concrete.* Journal of Materials in Civil Engineering. v. 22, n. 11, p. 1164-1170, 2010.

MAKARATAT, N.; JATURAPITAKKUL, C.; NAMARAK, C.; SATA, V. *Effects of binder and CaCl₂ contents on the strength of calcium carbide residue-fly ash concrete.* Cement and Concrete Composites. v. 33, n. 3, p.436-443, 2011.

MELO, A. S. *Estudo de viabilidade da inserção do resíduo de cal de carbureto em pavimentação asfáltica.* Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MENDES, Y. G. B.; SOUSA, J. M.; BARBOSA, I. L. S. *Influência da Cal Hidratada na Massa de Concreto Convencional.* **Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability**, v.1, p. 17 – 27, 2019.

NGOWI, A. B. *Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana.* Construction and Building Materials, 11, p.1-7, 1997.

PETCH, H. E. *The hydrogen positions in portlandite, Ca(OH)₂, as indicated by the electron distribution.* Acta Crystallogr, v. 14, p. 950-957, 1961.

RIBEIRO, A. G. L.; MARQUES, D. S.; CASTRO, A. O. *Chemical, physical and mechanical properties of clayey soil with addition of carbide lime.* Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications. v. 05, 2019.

ROHDE, L. *Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos - Estudo Laboratorial.* Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SMOLENTSEV, A. I.; NAUMOV, D. Y. *Calcium chlorite, Ca(ClO₂)₂, from X-ray powder diffraction data.* Acta Crystallographica Section E Structure. Reports Online. v. 61, p. 246-248, 2005.

THOMÉ, A. *Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais.* Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

WYCKOFF, R. W. G. *The crystal structures of some carbonates of the calcite group.* American Journal of Science. v. 299, p. 317–360, 1920.