

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL 1

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Título : INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOAGEM DA CAL CALCÍTICA NA
REAÇÃO POZOLÂNICA.

Aluna : ROSALÚCIA FIREMAN GUEDES

Supervisor: HEBER CARLOS FERREIRA

Período : JANEIRO A JUNHO DE 1985

Local : LABORATÓRIOS DE SOLOS I, II e III - CCT/PRAI/UFPB

Campina Grande-PB



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento de Engenharia Civil do CCT da Universidade Federal da Paraíba, na pessoa do Prof. Ricardo Correia Lima responsável pela parte de estágios supervisionados do referido departamento.

Ao prof. Heber Carlos Ferreira pela dedicação e incentivo na orientação deste trabalho.

Ao laboratorista João Dantas da Mata pelo auxílio na realização dos ensaios.

ÍNDICE

1) APRESENTAÇÃO.....	01
2) INTRODUÇÃO.....	01
3) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	02
3.1 - Pozolana.....	02
3.2 - Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos.....	03
4) OBJETIVOS.....	04
5) MATERIAIS.....	04
5.1 - Cal.....	04
5.2 - Caulin.....	04
6) MÉTODOS DE ENSAIOS.....	04
7) APARELHAGEM.....	05
8) APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	06
9) CONCLUSÕES.....	08
10) REFERÊNCIAS.....	08
11) APÊNDICE.....	10

1) APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas por Rosalúcia Ribeiro Fireman Guedes, aluna do curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II no período de Janeiro a Junho de 1985 sob a orientação do Professor Heber Carlos Ferreira da Área de Geotecnia.

2) INTRODUÇÃO

O termo área específica, refere-se à área externa total das partículas de um sólido pulverulento referida à unidade de massa; é normalmente expressa em m^2/g ou cm^2/g . Um sólido pulverulento ativo é aquele que possui um valor elevado da área específica. Assim, ativação é o aumento da área específica de um sólido pela subdivisão em partículas de dimensões coloidais ou ultrafinas, Souza Santos (1975).

A importância do estudo da área específica deriva da influência desse parâmetro em relação às estabilizações dos solos com cimentos, cal, cinzas volantes, emulsões asfálticas, entre outros, onde reações químicas nas superfícies das partículas do aditivo e do solo, dependem fundamentalmente da área específica.

Ferreira (1980) descreve três processos de estabilizar - se um solo: a estabilização física, a estabilização química e a estabilização físico-química. As reações que ocorrem entre o aditivo e o solo, principalmente nos dois últimos processos citados dependem, dentre outros fatores, da área específica do solo.

No Brasil, o método de estabilização física ou mecânica é ainda o mais empregado. Quando não é possível a utilização deste método, muitas vezes são sub-utilizados e mesmo abandonados, muitos depósitos de solos que poderiam ser estabilizados por outros métodos. Tem havido algum progresso no estudo da estabilização química, especialmente com o uso do cimento portland. Contudo, mesmo sendo a utilização da cal no tratamento de solos uma das mais velhas técnicas usadas na construção de estradas, no Brasil seu emprego para a estabilização de solos é muito reduzido, e pouco se conhece especialmente sobre seus efeitos nos solos tropicais, Ferro (1977).

Este trabalho, pois, tem como objetivo o estudo do comportamento da pozolana quando estabilizada com cal.

3) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Pozolana

Uma substância é dita pozolânica quando, embora não necessariamente cimentosa por si mesma, possui constituintes que combinam com a cal hidratada às temperaturas normais, na presença de umidade, para formar compostos insolúveis de valor cimentoso.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) através da EB-758/1974, define a pozolana como um material silicoso, ou sílico-aluminoso que, por si só, possui pouco ou nenhum valor aglomerante, porém quando finamente dividido e em presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio à temperatura normal, formando compostos com propriedades aglomerantes.

As pozolanas classificam-se em naturais e artificiais . São naturais aquelas constituídas por rochas que por si só apresentam atividade pozolânica, não tendo necessidade de qualquer tratamento especial, a não ser eventualmente uma moagem. As pozolanas artificiais compreendem as rochas silicosas, as sílico-aluminosas (argilas cauliníticas, montmoriloníticas e ilitas) e as aluminosas, possíveis de serem ativadas por calcinação em temperaturas de 600 a 900°C e alguns sub-produtos industriais. O Caulin pertence ao grupo das argilas cauliníticas.

3.2 - Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos.

A adição da cal aos solos, em especial aos solos argilosos, provoca variações em muitas de suas propriedades de engenharia.

Destas propriedades as que mais interessam ao engenheiro rodoviário, e que por isso tem sido mais intensivamente estudadas, são: plasticidade, granulometria, variações volumétricas por absorção de água, características de compactação, resistência e durabilidade.

Nesta breve revisão, contudo só será abordado a resistência da mistura pozolana-cal.

Onsby e Kinter (1973) mostraram que há diferenças no comportamento de argilas cauliníticas e montmoriloníticas estabilizadas com cal, com relação a resistência. Tem sido mostrado que com solos cauliníticos a cal calcítica é mais efetiva no ganho de resistência do que a cal dolomítica.

4) OBJETIVOS

- 1) Determinar a área específica da cal pelo método do Permeâmetro de Blaine;
- 2) Estudar a reação pozolânica com cal calcítica, em quatro diferentes tempos de moagem (1, 3, 5 e 15 horas) e um mesmo teor de cal, sendo curadas em câmara climatizada para posterior determinação da resistência mecânica aos 3, 7 e 28 dias.

5) MATERIAIS

Foram utilizados:

- 5.1 - Cal calcítica - adquirida na Dolomil, indústria de cal situada em Campina Grande-PB. Na análise química a cal apresentou um teor de $\text{CaO} = 60,73\%$ e de $\text{MgO} = 1,00\%$;
- 5.2 - Caulin - adquirido na Caulisa, indústria de cal situada em Campina Grande-PB.

6) MÉTODOS DE ENSAIO

Inicialmente a cal é colocada em um moinho de bola por períodos de 1, 3, 5 e 15 horas. Determina-se a umidade ótima do aglomerante. Realiza-se a determinação da área específica, através do permeâmetro de Blaine (MB-348/1966), nas cais moídas durante os períodos citados. A seguir são moldados corpos de prova ci

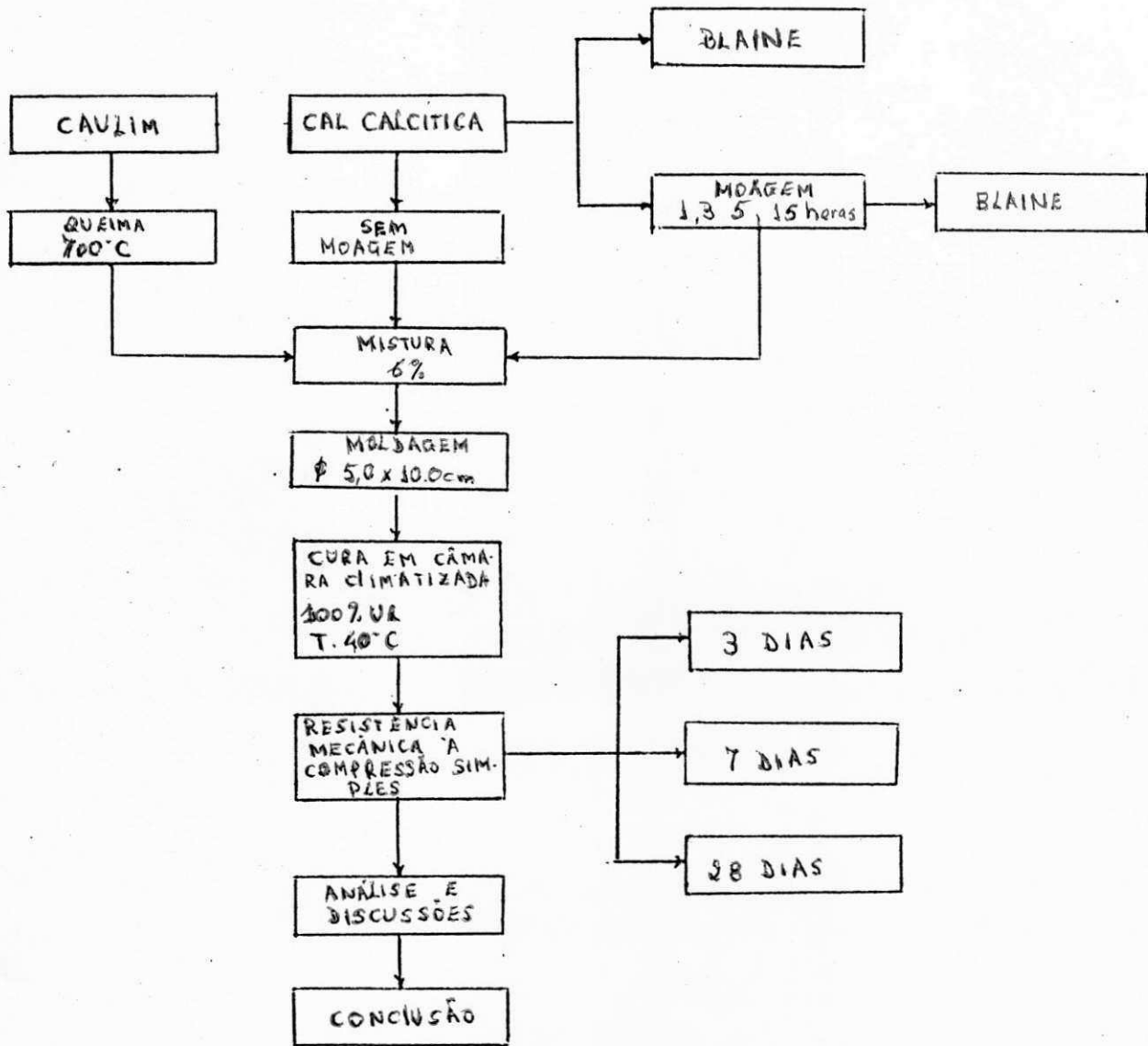
lândricos, com diâmetro de 5,0 cm e altura de 10,0 cm, preparados com pozolâna (caulin queimado à 700°C) e 6% de cal calcítica, com os diferentes tempos de moagem. Depois de moldados, os corpos de prova são curados em câmara climatizada com 100% U.R. (umidade relativa) e temperatura de 40°C. Realiza-se os ensaios de resistência à compressão simples nos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias de cura.

Para a determinação da área específica da cal através do método do permeâmetro de Blaine, usou-se como padrão, amostra de cimento fornecida pela ABNT, de área específica igual a 0,349 m²/g e densidade 3,15 g/cm³, nas cais moídas durante os períodos citados.

7) APARELHAGEM

- a) Aparelho de Blaine de Permeabilidade ao ar.
- b) Balança com precisão de 0,0001 g.
- c) Forno - Genga - Forno Nº 072
Mod.: GTLCC.
- d) Prensa.
- e) Moinho de Bolas - Búfalo
Mod.: GALS.
- f) Câmara climatizada - Blue - M (Electric Company)
Mod.: AC/7502 HA-1.
- g) Misturador de amostras.
- h) Cilindros de 5,0 x 10,0 cm.

FLUXOGRAMA



8) APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela I apresenta os resultados das áreas específicas da cal obtidas pelo método do Permeâmetro de Blaine, para diversos tempos de moagem.

Tempo de Moagem (horas)	Intervalo de Tempo \sqrt{T} (seg)	Porosidade e	K	Área Específica S (m/g)
Sem moagem	31,67	0,5	226,04	0,7159
1,0	32,96	0,5	226,04	0,7450
3,0	34,78	0,5	226,04	0,7862
5,0	38,73	0,5	226,04	0,8754
15,0	39,92	0,5	226,04	0,9023

Tabela I - Áreas específicas da cal calcítica obtidas pelo método do Permeâmetro de Blaine, para diversos tempos de moagem.

Observa-se nesta Tabela que a área específica da cal varia de $0,7159 \text{ m}^2/\text{g}$ (sem moagem) a $0,9023 \text{ m}^2/\text{g}$ (15 horas de moagem), para um padrão de cimento utilizado de área específica igual a $0,349 \text{ m}^2/\text{g}$. Valores menores foram encontrados por Brito (1984), onde as áreas específicas dos solos lateríticos variaram de $0,0929 \text{ m}^2/\text{g}$ a $0,3140 \text{ m}^2/\text{g}$ para um padrão de cimento utilizado de área específica igual a $0,342 \text{ m}^2/\text{g}$. Ferreira e Colaboradores (1972 e 1978) encontraram maiores valores para caulins nordestinos, variando de $1,27$ a $3,66 \text{ m}^2/\text{g}$. Observa-se ainda nesta Tabela, que a proporção que aumenta o tempo de moagem da cal, valores maiores são encontrados para a área específica da mesma.

A Tabela II apresenta o resultado da resistência à compressão simples da pozolana com uma mistura de 6% de cal, nos tempos de 1, 3, 5 e 15 horas de moagem e curadas em câmara climatizada aos 3, 7 e 28 dias.

Moagem Cura	1 hora	3 horas	5 horas	15 horas
3 dias	0,77	1,35	1,25	0,56
7 dias	0,99	1,01	0,89	0,50
28 dias	1,11	0,89	0,73	0,15

Tabela II - Resistência à compressão simples da pozolana com cal (kg/cm^2).

Observa-se nesta Tabela que a menor resistência encontrada foi igual a $0,15 \text{ kg/cm}^2$, enquanto que a maior obteve valor igual a $1,35 \text{ kg/cm}^2$, correspondendo a um tempo de moagem de 15 horas com 28 dias de cura e 3 horas de moagem com 3 dias de cura respectivamente. Aflitos (1981) encontrou uma resistência de $5,75 \text{ kg/cm}^2$ para o solo TEPB com uma mistura de 7% de cal e tempo de cura igual a 28 dias. Nota-se, pela Tabela II, que a resistência à compressão simples para 1 hora de moagem aumenta à medida em que aumentam os dias de cura, ocorrendo o inverso para os demais tempos de moagem, ou seja, a resistência decresce com o aumento dos dias de cura.

9) CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se

concluir que:

- a) A área específica da cal aumenta gradativamente com o aumento do tempo de moagem.
- b) A resistência à compressão simples da mistura, pozolana mais cal, decresce a medida em que aumenta o tempo de moagem e os dias de cura. Apenas a mistura que contém cal com 1 hora de moagem apresentou comportamento diferente, aumentando a resistência de acordo com o aumento dos dias de cura, porém, seus valores para os 3 e 7 dias de cura foram menores do que os valores obtidos para a cal com 3 horas de moagem nos mesmos tempos de cura. Nos três primeiros tempos de moagem (1, 3 e 5 horas) a diferença da resistência à compressão simples não foi muito relevante, ficando em torno de $1,0 \text{ kg/cm}^2$. Uma maior discrepância se dá na cal com 15 horas de moagem, a qual apresenta uma resistência bem inferior (em torno de $0,4 \text{ kg/cm}^2$) em relação aos demais tempos de moagem.

10) REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. MB-348 - Determinação da Finura de Cimento Portland Mediante Emprego do Aparelho de Permeabilidade ao Ar (1966). EB-758/1974.

AFLITOS, A.O., A Influência de Aditivos Químicos em Propriedades Seleccionadas e de Engenharia de Solos Vermelhos Tropicais do Norte do Brasil. Dissertação de Mestrado, UFPB, Abril de 1981, Campina Grande-PB.

~~BRITO, L.P., Caracterização de Pôs Através da Área Específica -
Aplicação a Solos Lateríticos da Região Nordeste do Bra-
sil. Dissertação de Mestrado, UFPB, Março de 1984, Campi-
na Grande-PB.~~

FERREIRA, A.M., Estudos de Três Solos Estabilizados com uma Emul-
são Asfáltica Catiônica. Dissertação de Mestrado, Departamen-
to de Engenharia Civil, CCT/UFPB, Campina Grande-PB ,
(1980).

FERREIRA, H.C. et alli, Correlações entre Áreas Específicas de
Caulins Determinados por Diversos Métodos - Aplicação a
Alguns do Nordeste Brasileiro (Estado da Paraíba e Rio
Grande do Norte), Cerâmica, 18 (71), 333 (1972).

FERREIRA, H.C. et alli, Ensaio de Caracterização e Tecnológicos
Visando Aplicação em Cobertura de Papel de Caulins do Nor-
deste Brasileiro. Editora Universitária, UFPB, João Pes-
soa-PB (1978).

FERRO, J.G., A Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia
de Solos Lateríticos - Federação das Escolas Superiores do
Maranhão (1977).

ONSBY, W.C. e KINTER, E.B., Effects of Dolimitic and Calcitic Li-
mes on Strength Development in Mistures Wich thw Clay
Minerals. Public Roads, nº 4 vol. 37, p. 149-160, 1973.

SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas Aplicadas às Argilas Bra-
sileiras. Aplicações, vol. 2, Editora Edgar Blucher Ltda.
Editora da USP, São Paulo-SP, 1975.

11) APÊNDICE

Área Específica - Amostra de Cal

1) Calibração:

$$\text{Volume} - V_c = 2,3956 \text{ cm}^3$$

2) Peso da Amostra Padrão:

$$S_p = 0,349 \text{ m}^2/\text{g} = 3490 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (superfície específica padrão).}$$

$$\delta p = 3,15 \text{ g/cm}^3 \text{ (massa específica)}$$

$$e_p = 0,5 \text{ (porosidade).}$$

Amostra nº 101 b

$$\rho = \delta p \cdot V_c (1 - e_p) = 3,15 \times 2,3956 (1 - 0,5)$$

$$\rho = 3,7730 \text{ g}$$

3) Tempo de Fluxo Padrão:

Determinações

$$T_{p1} = 240,09 \text{ seg}$$

$$T_{p2} = 237,00 \text{ seg}$$

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$T_m = 238,54 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 15,54 \text{ seg}$$

4) Ensaio de Permeabilidade com a Amostra (Cal)

Cal sem moagem:

$$T_1 = 1006 \text{ seg}$$

$$T_2 = 1000 \text{ seg}$$

$$T_m = 1003 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 31,67 \text{ seg}$$

1h de moagem:

$$T_1 = 1133 \text{ seg}$$

$$T_2 = 1040 \text{ seg}$$

$$T_m = 1086,5 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 32,96 \text{ seg}$$

3h de moagem:

$$T_1 = 1210 \text{ seg}$$

$$T_2 = 1209 \text{ seg}$$

$$T_m = 1209,5 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 34,78 \text{ seg}$$

5h de moagem:

$$T_1 = 1517 \text{ seg}$$

$$T_2 = 1483 \text{ seg}$$

$$T_m = 1500 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 38,73 \text{ seg}$$

15h de moagem

$$T_1 = 1598 \text{ seg}$$

$$T_2 = 1590 \text{ seg}$$

$$T_m = 1594 \text{ seg}$$

$$\sqrt{T_m} = 39,92 \text{ seg}$$

Na presente pesquisa utilizou-se a equação 3 pois,

$$e = e_p$$

$$Q = Q_p \pm 3^\circ\text{C}$$

E a cal pertence a outros pós.

Cal sem moagem:

$$K_1 = \frac{S_p}{\sqrt{T_p}} = \frac{3490}{15,44} \rightarrow K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} = 226,04 \times 31,67 \rightarrow S = 7158,69 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,7159 \text{ m}^2/\text{g}.$$

1h de moagem:

$$K_1 = 226,04$$

$$S = 226,04 \times 32,96 \rightarrow S = 7450,28 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,7450 \text{ m}^2/\text{g}$$

3h de moagem

$$K_1 = 226,04$$

$$S = 226,04 \times 34,78 \rightarrow S = 7861,67 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,7862 \text{ m}^2/\text{g}$$

5h de moagem

$$K_1 = 226,04$$

$$S = 226,04 \times 38,73 \rightarrow S = 8754,53 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,8754 \text{ m}^2/\text{g}$$

15h de moagem

$$K_1 = 226,04$$

$$S = 226,04 \times 39,92 \rightarrow S = 9023,52 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,9023 \text{ m}^2/\text{g}$$

Moldagem dos Corpos de Prova

$$V = \text{Volume do molde} = 196,35 \text{ cm}^3$$

$$h_i = \text{Umidade higroscópica} = 0$$

$$h = \text{Umidade em que se deseja moldar} = 24,1\%$$

$$\gamma_s = \text{Densidade seca do material, correspondente a umidade de moldagem (ambas tiradas da curva de compactação)} = 1,295 \text{ g/cm}^3$$

Ph = Peso do material necessário para moldar um corpo de prova.

Ps = Peso seco do material

$$Ps = V \times \gamma_s = 196,35 \times 1,295 \rightarrow Ps = 254,28 \text{ g}$$

$$Ph = Ps (1 + h) = 254,28 (1 + 0,241) \rightarrow Ph = 341,00 \text{ g}$$

$$Ps = \frac{Ph}{1 + \frac{h}{100}} = \frac{341}{1 + \frac{24,1}{100}} \rightarrow Ps = 254,28 \text{ g}$$

$$\text{Peso da Cal} = 341 \times 0,06 = 20,46 \text{ g}$$

$$\text{Peso da água} = 341 \left(\frac{34,1 - 0}{100} \right) = 116,28 \text{ ml}$$

$$\text{Peso da pozolana} = 341,0 \text{ g.}$$