

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Professor: **Heber Carlos Ferreira**
(Supervisor)

Aluna: **Ruth Silveira do Nascimento**

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1 9 9 3



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

CAIS POZOLÂNICOS. CARACTERIZAÇÃO E DESEMPENHO MECÂNICO

Ruth Silveira do Nascimento

Aluna do Curso de Engenharia Civil DEC/CCT/PRAI/UFPB.

RESUMO:

Atualmente predomina na construção civil o uso dos cimentos do tipo Portland que apresentam elevados custos. As cais aglomerantes tradicionais, com custo relativamente baixos possuem baixo desempenho mecânico, já as cais pozolânicos vêm assumindo destacada importância em consequência de seu custo similar ao da cal e com desempenho mecânico muito superior.

Neste trabalho caracterizamos e verificamos o comportamento mecânico dos cais pozolânicos.

Conclui-se, baseado nos resultados, que as cais pozolânicas são aglomerantes intermediário de grande utilidade na construção civil principalmente em média e pequenas obras.

INTRODUÇÃO

Atualmente vários estudos estão sendo desenvolvidos na possibilidade do uso de materiais alternativos de baixo custo (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8).

Pesquisas são feitas com cais pozolânicas, que são obtidas pela calcinação, em temperatura na faixa de 900^o a 1000^oC, de calcários com certo teor de impurezas (argilas) podendo ainda considerar também como sendo uma mistura composta por uma pozolana com cal hidratada.

As informações sobre as cais pozolânicas, no Brasil, ainda são insuficientes. Apesar de já terem sido utilizadas pelos gregos e romanos desde os primórdios da nossa civilização, logo fez-se necessário desenvolver estudos com mais detalhes sobre estes aglomerantes que poderão fornecer à indústria de construção civil grandes vantagens, pois a fabricação destas cais são mais econômicas do que o processo de fabricação de cimento.

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento mecânico de misturas adequadas de uma pozolana industrial com cais hidratadas.

MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes materiais:

1. Cimento Portland (CP₁) - Marca Zebu;
2. Cais:
 - 2.1 - Carbomil - cal industrializada em Fortaleza;
 - 2.2 - Cimencal - cal industrializada em João Pessoa;
 - 2.3 - Calcimento - cal industrializada em Campina Grande;
 - 2.4 - Megao - cal industrializada em Recife.
3. Areia - será utilizada uma areia normal obtida a partir de areia correntemente utilizada em construção civil.
4. Água - água potável fornecida pela CAGEPA para o sistema de abastecimento de Campina Grande.
5. Pozolana - será utilizada uma pozolana industrial obtida aproximadamente a 800°C a partir de uma argila caulínica.

MÉTODOS

Serão realizados dois tipos de ensaios:

1. Ensaio de Caracterização:

- Composição Química

Foram determinados segundo métodos de análise química do Laboratório de Análises Minerais do CCT/PRAI/UFPB, LAM-CG (9).

- Análise Térmica Diferencial

Foram realizados os ensaios, segundo método de Souza Santos (10), as amostras foram passadas em peneiras, ABNT nº 200 e acondicionadas em vidros hermêticamente fechados a fim de evitar a carbonatação e umidificação.

2. Ensaio Tecnológico:

Confecção das Argamassas

Foi utilizado um traço 1:3 com fator água/cimento de 0,48, ABNT (11), os aglomerantes usados serão compostos por misturas de quatro amostras de diferentes cais com pozolana industrial obtida a 800°C e por mistura destas mes

mas cais e pozolana com cimento Portland em vários teores (5, 10, 15 e 20%).

Foram utilizadas as proporções abaixo:

<u>Cal (%)</u>	<u>Pozolana (%)</u>
60	40
50	50
40	60
30	70
20	80
100	-

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm e curados por período de 7, 28 e 60 dias, sendo nos cinco primeiros dias os corpos de prova são apenas umedecidos em seguida estes são imersos em água em temperatura ambiente ABNT (12), (13).

- Ensaio de RCS

Após os respectivos períodos de cura, os corpos de prova foram rompidos em prensa Losenheim com velocidade controlada ABNT (11).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO

- Análise Química

Os resultados das análises químicas estão na Tabela 1. Para a amostra de cal carbomil, observou-se os seguintes teores: Cao - 68,19%, MgO 2,19%, PR-23,91% e RI - 0,06%, os resultados evidenciam uma cal calcítica, os óxidos totais na base de não voláteis são 92,5% de acordo com a ABNT (14). Na amostra de cal megaõ, os teores são os seguintes: Cao - 46,85%, MgO 29,14%, PR - 19,52% e RI - 1,16%, de acordo com a ABNT (14). Os óxidos totais, na base de não voláteis resultam em 94,42%, os resultados evidenciam ser uma cal dolomítica enquanto que na amostra de cal cimencal temos: Cao - 57,37%; MgO - 5,95%, PR - 28,4% e RI - 1,10, estes teores mostram ser uma cal dolomítica, como a anterior, da mesma forma que a cal calcimento, que apresentou os seguintes teores: Cao - 40,82%, MgO - 21,8%, PR- 29,55% e RI - 8,58%. A pozolana também foi analisada cujos valores estão na Tabela seguinte.

Tabela I - Composição Química das Cais e Pozolana. (%)

Amostra	PR	RI	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Carbomil	23,91	0,06	0,70	0,11	4,69	68,19	2,19	Nihil	Nihil
Megaõ	19,52	1,16	2,80	0,31	0,18	46,85	29,14	Nihil	Nihil
Cimencal	28,45	1,10	4,40	0,30	2,09	57,37	5,95	0,13	0,33
Calcimento	29,55	8,58	15,32	0,46	3,04	40,82	2,18	0,14	0,15
Pozolana	1,55	16,94	66,26	2,32	12,67	-	-	0,08	-

ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL - ATD

As curvas das análises térmicas diferenciais estão representadas na Figura 1, o comportamento de cada curva será explicado a seguir:

Na curva da ATD da carbomil. Observando-se um grande pico endotérmico a 530°C , característico da perda de hidróxilos do $\text{Ca}(\text{OH})_2$; pequeno pico endotérmico a 780°C , característico da decomposição de CaCO_3 . Para o Megaõ observa-se pequena banda endotérmica a 380°C , característico da perda de hidroxila do $\text{Mg}(\text{OH})_2$, (deve-se salientar que há presença de $\text{Mg}(\text{OH})_2$, na megaõ, é que nesta, o calcário original foi tratado térmicamente de maneira imprópria, quando da obtenção do Cao no processo produtivo); grande pico endotérmico a 530°C , característico da perda de Hidroxila do $\text{Ca}(\text{OH})_2$, grande pico endotérmico a 830°C , característico da decomposição do CaCO_3 . Na amostra de cimencal observa-se na curva a presença de uma grande banda endotérmica a 380°C , característica da perda de Hidroxila do $\text{Mg}(\text{OH})_2$; grande pico endotérmico a 530°C , característica da perda de hidroxila do $\text{Ca}(\text{OH})_2$, grande pico endotérmico a 870°C , característico da decomposição do CaCO_3 . Na curva da ATD da calcimento, observa-se a presença de um pequeno pico endotérmico a 90°C , característico da perda de água livre, grande pico endotérmico a 530°C , ca

racterístico da perda de hidróxila do Ca(OH)_2 ; grande pico endotérmico a 900°C , característico da decomposição CaCO_3 .

A curva da pozolana apresenta pequeno pico endotérmico a 100°C , característico da perda de água livre, pequeno pico endotérmico a 570°C , característico da transformação de quartzo α em quartzo β e pequeno pico endotérmico a 930°C , característico da nucleação de muela.

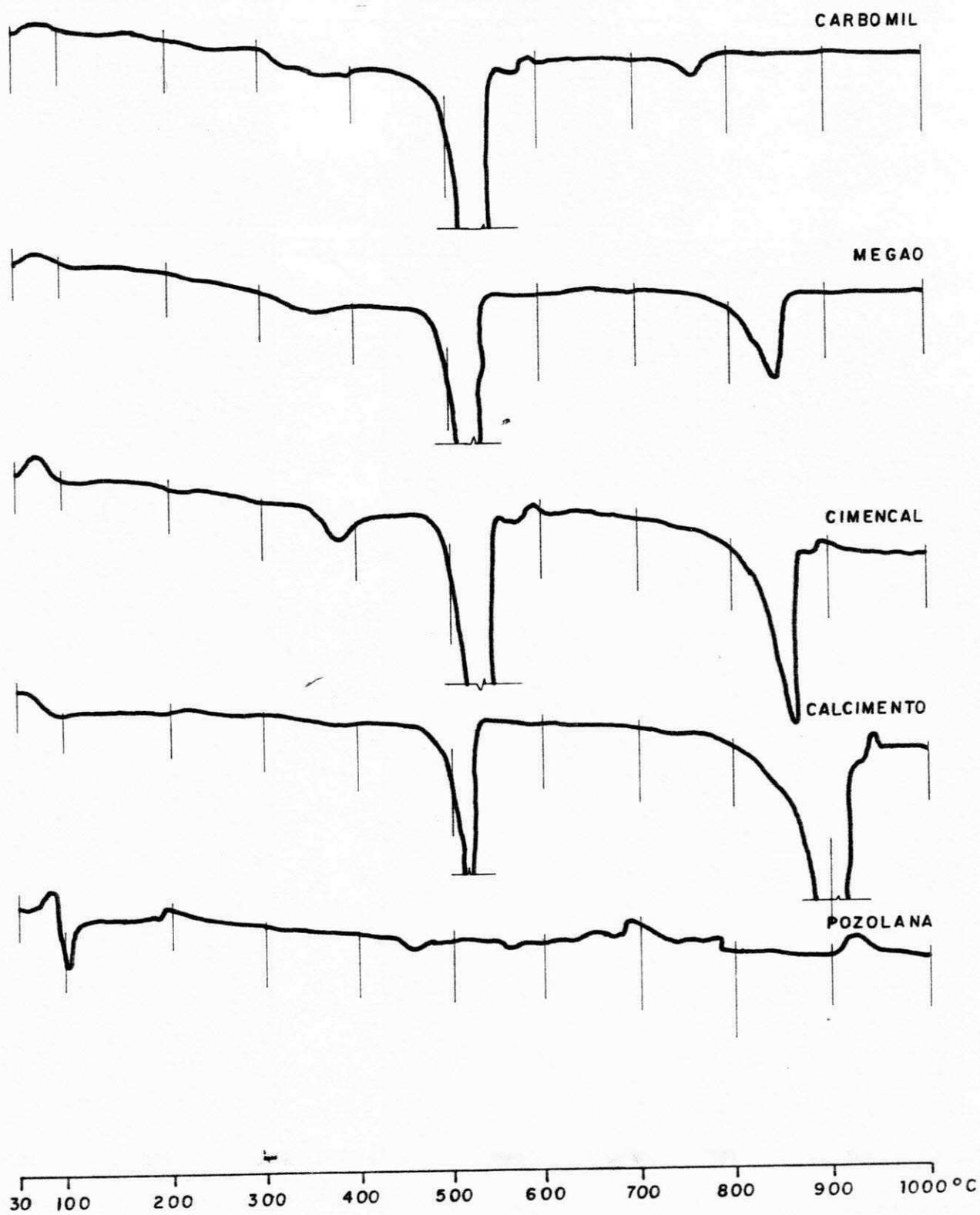


FIGURA 01—CURVAS DE ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL DAS AMOSTRAS DE CAIS E POZOLANA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

. Ensaio Tecnológicos

. Resistência à compressão simples (RCS).

Na Tabela II, são mostrados os valores obtidos para RCS das misturas de cal e pozolana, observa-se que a RCS da carbomil variou de 3,93 MPa aos sete dias de cura à 12,91 MPa aos 60 dias, da Megaó que variou de 5,33 MPa aos sete dias de cura à 16,50 MPa aos 60 dias enquanto que a cimental variou de 6,603 MPa aos sete dias de cura, à 10,6 MPa aos 60 dias e a calcimento variou de 1,65 MPa aos sete dias de cura à 1,98 MPa aos 60 dias. Tabela 2 a seguir.

Tabela II - Resistência à Compressão Simples (RCS) das Misturas Cal e Pozolana.

Amostras	Tempo de Cura	Resistência à Compressão Simples (MPa) - Cal - Pozolana				
		20 - 80 %	30 - 70 %	40 - 60 %	50 - 50 %	60 - 40 %
Carbomil	7 dias	3,93	5,93	6,50	3,99	4,36
	28 dias	8,85	10,66	9,55	6,09	4,98
	60 dias	8,95	12,91	9,78	6,36	5,02
Megaõ	7 dias	5,33	7,84	9,17	8,17	6,00
	28 dias	8,64	13,50	16,21	10,79	6,52
	60 dias	9,15	13,63	16,50	11,65	9,18
Cimencal	7 dias	2,119	5,968	6,60	6,144	5,732
	28 dias	2,366	6,179	10,546	9,828	6,544
	60 dias	2,731	6,521	10,605	10,476	6,615
Calcimento	7 dias	0,259	1,654	0,294	1,013	1,40
	28 dias	0,471	1,707	0,365	1,107	1,624
	60 dias	0,577	1,989	0,371	1,130	1,683

Verifica-se que a mistura carbomil mais pozolana apresenta os maiores valores a RCS na composição 30 - 70% de cal - pozolana, enquanto que as misturas de megão - pozolana e cimencal - pozolana, tem sua maior resistência na composição 40 - 60%.

Os valores obtidos para a mistura calcimento - pozolana não são levados em consideração, devido a grande discrepância aos valores obtidos nas outras misturas. Comparando com valores de estudos anteriores verificou-se que com teores maiores de pozolana é possível obter resistência superiores.

Na Tabela IV são mostrados os valores obtidos para RCS das misturas de 100% de cal observou-se que a RCS da carbomil variou de 9,42 MPa aos sete dias de cura à 10,13 MPa aos 60 dias, da megão variou de 13,06 MPa aos sete dias de cura à 23,31 MPa aos 60 dias, enquanto que a cimencal variou de 7,06 MPa aos sete dias de cura à 15,30 MPa aos 60 dias e a calcimento variou de 3,77 MPa aos sete dias de cura à 9,42 MPa aos 60 dias.

Para efeito comparativo foram feitos C, P com a composição 40 - 60% de cal - pozolana mais quatro diferentes teores (5%, 10%, 15%, 20%), de cimento e obteve-se os seguintes resultados. Tabela III a seguir.

Tabela III - Resistência a Compressão Simples das Misturas Cal - Pozolana - Cimento.

Amostra	Tempo de Cura	(kg/cm ²) Resistência a Compressão Simples - Teores de Cimento			
		5 %	10%	15%	20%
Carbomil	7 dias	49,09	55,79	57,32	67,80
	28 dias	93,22	99,93	113,23	130,06
	60 dias	105,93	107,82	113,94	144,07
Megaõ	7 dias	70,39	71,33	73,10	88,08
	28 dias	110,64	120,18	132,65	146,42
	60 dias	131,48	132,65	144,77	194,21
Cimencal	7 dias	58,62	65,68	71,33	93,10
	28 dias	93,22	99,23	112,17	173,85
	60 dias	109,35	111,58	122,65	174,08
Calcimento	7 dias	17,89	43,08	45,20	59,09
	28 dias	22,95	53,91	66,50	75,80
	60 dias	30,01	54,50	71,21	85,10

Tabela IV - Resistência a Compressão Simples e Resistência a Tração Indireta. (kgf/cm²)

Amostra	Tempo de Cura	RCS	RTI
Carbomil	07 dias	9,42	1,22
	28 dias	10,00	1,47
	60 dias	10,13	1,50
Megaõ	07 dias	13,06	3,28
	28 dias	19,18	4,90
	60 dias	23,31	6,31
Cimencal	07 dias	7,06	1,04
	28 dias	11,86	1,47
	60 dias	15,30	2,08
Calcimento	07 dias	3,77	0,49
	28 dias	7,06	0,98
	60 dias	9,42	1,38

De modo geral, as resistências mecânicas das RCS apresentaram desempenho satisfatório. Salienta-se que a amostra de cal megaõ destacou-se entre os demais, devido a sua alta resistência a compressão simples nos cais pozolânicos com proporção de 40 - 60% de cal - pozolana e 100% de cal. Esta cal apresentou comportamento mecânico superior quando adicionados com teores de 20% de cimento Portland composto CII. - F - 32.

CONCLUSÕES

Concluiu-se de acordo com os estudos realizados nas misturas de cal - pozolana.

1. Ensaio de Caracterização:

- . Amostra de cal carbomil - trata-se de uma cal calcítica;
- . Amostras de cais megaõ, cimencal e calcimento - tratam-se de cais dolomítica;
- . Amostra de pozolana - trata-se de uma pozolana típica oriunda de uma argila caulinítica com impurezas de sílica na forma de quartzo.

2. Ensaio Tecnológico:

- . Amostra de cal carbomil - apresenta RCS máxima na composição 30 - 70% das misturas de cal - pozolana aos 60 dias de cura, com valor de 12,91 MPa;
- . Amostra de cal megaõ - apresenta RCS máxima na composição 40 - 60% das misturas de cal-pozolana, aos 60 dias de cura, com valor de 16,5 MPa;
- . Amostra de cal calcimento - apresenta RCS má

xima na composição 40 - 60%, com valor de 10,605, aos 60 dias de cura.

Comparando as quatro amostras de cais estudados verifica-se que a megaõ tem comportamento mecânico superior, baseado nesses estudos constatou-se que, se tratava de um aglomerante intermediário para as cais hidráulicas e ao cimento portland, logo poderão ser um material alternativo de grande utilidade na indústria da construção civil, principalmente em média e pequenas obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOPYAN, V. Estudo dos Materiais de Construção Civil. Materiais Alternativos Tecnologia de Edificações. Editora Pini, São Paulo, 1988.
- (2) CINCOTTO, M. A., MARQUES, J. C., HELENE, P. R. L. Propriedade das Argamassas Cimento; Cal; Areia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. (IPT). 1985.
- (3) CINCOTTO, M. A. Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil, Tecnologia das Edificações. Editora Pini, São Paulo, 1988.
- (4) CALLEJA, J. Los Pozolanos. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1958.
- (5) KIHARA, Y. Contribuição ao Estudo das Cinzas Volantes Brasileiras. Cerâmica 32 (193), 31 (1936).
- (6) RUAS, A. P. L. Produção de Pozolanos Artificiais. 25^a Reunião de Técnicos de Indústria do Cimento, ABCP, São Paulo, 1977.

- (7) SILVA, C. R., FERREIRA, H. C. Estudo Comparativo entre Cais Pozolânicos. Simpósio Franco-Brasileiro de Ciências dos Materiais, Ouro Preto, 1992.
- (8) SOBRINHO, J. F. C., Pozolana como Material de Construção - Sua Fabricação Artificial em Urubupungã, ABCP, São Paulo, 1970.
- (9) Laboratório de Análises Minerais - Método de Análise Química, CCT/PRAI/UFPB, Campina Grande, Paraíba, 1992.
- (10) SOUZA SANTOS, P. Tecnologia de Argilas. Vol. II, Edgard Blucher, São Paulo, 1975.
- (11) A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaios de Resistência à Compressão Simples, NBR-1, 1982.
- (12) A.B.N.T. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaios de Cimento Portland. MB - 1, 1979.
- (13) A.B.N.T. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaios de Cimento Portland - NBR - 7215, 1982.
- (14) A.B.N.T. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cal Hidratada para Argamassa, NBR-7175, 1986.