



BIBLIOTECA NACIONAL DIGITAL

REVISTA MUNICIPAL DE ENGENHARIA



N.º 4

JULHO, 1939

VOL. VI

1939

Prefeito do Distrito Federal:
Dr. Henrique de Toledo Dödsworth

Secretário Geral de Viação, Trabalho e Obras Públicas:
Engenheiro Edison Junqueira Passos

Diretor Gerente
JOSE' HENRIQUE DA SILVA QUEIROZ

Redator chefe
FELICIANO PENNA CHAVES

Redatores :

Arquitetura	Herminio Andrade e Silva
Estruturas	Luiz O. Pinheiro Guedes
Materiais	A. Raposo de Almeida
Organização e Administração	H. Castro Faria
Saneamento	J. Oliveira Reis
Urbanismo	J. Oliveira Sampaio
Viação	Luiz Ribeiro Soares
Vários	A. Monteiro Junior

Os artigos assinados não possuem necessariamente caráter oficial.

SUMÁRIO

RIO MODERNO (fotografia)	362
HOMENAGEM DA "REVISTA MUNICIPAL DE ENGENHARIA"	363
ATIVIDADES E REALIZAÇÕES DA SECRETARIA GERAL DE VIAÇÃO, TRABALHO E OBRAS PUBLICAS — JULHO DE 1937 A JULHO DE 1939	364
DEPARTAMENTO GERAL DE TRANSPORTES E OFFICINAS — Affonso Eduardo Reidy	389
SERVIÇO DO CENSO DO TRAFEGO — Paulo de Andrade Botelho	393
SINALISAÇÃO DO TRAFEGO COMANDADA PELOS PROPRIOS VEÍCULOS — Tobias d'Angelo Visconti	407
SIFÃO DE 2m,40 DE DIAMETRO — ADUTORA RIBEIRÃO DAS LAGES — Adhemar da Cunha Fonseca (conclusão)	417
IDÉAS GERAIS SOBRE UM PLANO DE DESCONGESTIONAMENTO DO TRAFEGO NO RIO — Jeronymo Cavalcanti	444
MEIOS FIOS DE CONCRETO PRE-MOLDADOS — Luiz R. Soares	453
CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS POZOLANAS — Fernando Luiz Lobo Carneiro	457

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS POZOLANAS (1)

APRESENTADA À 2ª REUNIÃO DOS LABORATÓRIOS
NACIONAIS DE ENSAIOS / São Paulo / Abril de 1939

FERNANDO LUIZ LOBO CARNEIRO
Engenheiro Civil

INDICE

INTRODUÇÃO

I PARTE — Influência das pozolanas sobre as propriedades das argamassas e concretos.

1 — Influência das pozolanas sobre a resistência á compressão das argamassas e concretos.

a) Influência da substituição de 20 % de cimento portland por igual peso de pozolana artificial, sobre a resistência à compressão da argamassa normal.

b) Influência da substituição de 20 % de cimento portland por igual peso de pozolana artificial sobre a resistencia à compressão de concretos — curvas ligando a resistência ao fator água/aglomerante.

INTRODUÇÃO

Apresentamos, nesta pequena contribuição para o estudo das pozolanas, os primeiros resultados das pesquisas iniciadas no Instituto Nacional de Tecnologia sobre esses materiais.

Essas pesquisas foram começadas logo após o aparecimento na industria nacional da fabricação de pozolana artificial, o qual coincidiu com o início da exploração das jazidas naturais de Kieselgur, material esse cujas propriedades pozolanicas despertaram então grande interesse. Ver Anexo 01 ao final

(1) Publicado com algumas alterações introduzidas pelo autor no texto original.

Como dissemos, as pesquisas do I. N. T. sobre as pozolanas estão ainda em início e o numero de dados obtidos ainda é pequeno; não pretendemos apresentar conclusões definitivas, mas julgamos util a publicação desses primeiros resultados. Acreditamos que êles já poderão contribuir para dar uma certa orientação ao estudo das pozolanas; fazemos um apelo a todos os laboratórios do país para que iniciem esse estudo, com o fim de adotar, si fôr possível, na 3ª Reunião dos Laboratórios Nacionais de Ensaio, métodos de ensaio e especificações para pozolanas e cimentos portland-pozolânicos.

Não nos extenderemos sobre as vantagens do emprego das pozolanas misturadas aos cimentos portland ou dos cimentos portland-pozolânicos; o aumento da resistência à ação das aguas agressivas é fato hoje geralmente aceito, já estando todos os técnicos que se dedicam ao estudo dos cimentos familiarizados com isso, através da bibliografia mundial. O mesmo podemos dizer quanto à redução do calôr de hidratação.

2 — Influência das pozolanas sobre a estabilidade de volume dos cimentos portland — ensaios de expansão em autoclave.

3 — Influência das pozolanas sobre a resistência das argamassas de cimento à ação das aguas sulfatadas.

II PARTE — Pesquisas para o estabelecimento de especificações para pozolanas.

1 — Estudo das argamassas de cal e pozolana.

2 — Capacidade de combinação das pozolanas com o hidróxido de cálcio.

3 — Velocidade de combinação das pozolanas com o hidróxido de cálcio.

CONCLUSÃO

O início da fabricação de pozolanas artificiais pela indústria nacional, e o aparecimento de grandes jazidas naturais de materiais pozolânicos, justificam, ou antes, exigem o estudo das pozolanas pelos laboratórios do país.

I PARTE

INFLUÊNCIA DAS POZOLANAS SOBRE AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS E CONCRETOS

Pozolanas são materiais que, embora não cimentícios por si mesmos, contêm constituintes que se combinam nas temperaturas ordinárias, em presença da água, com o hidróxido de cálcio, para formar compostos insolúveis e estáveis com propriedades cimentícias.

As pozolanas, inertes quando puras, transformam-se em aglomerantes hidráulicos quando em mistura com o hidróxido de cálcio.

E' sabido que durante a hidratação do cimento portland ha uma formação contínua de hidróxido de cálcio.

E' sabido que durante a hidratação do cimento portland ha uma formação contínua de hidróxido de cálcio.

Si o cimento é empregado em mistura em proporção adequada com uma pozolana (mistura essa que é feita na fábrica, por ocasião da moagem, no caso dos cimentos portland-pozolânicos), esse hidróxido de cálcio é absorvido pela pozolana, transformando-se num produto estavel e insolúvel. Explica-se assim, geralmente, a maior resistênciã dos cimentos portland-pozolânicos à ação das águas agressivas. A combinação do hidróxido de cálcio com a pozolana contribue tambem para a resistênciã à compressão das argamassas e concretos, mas essa contribuição só se desenvolve lentamente — o endurecimento dos cimentos portland-pozolânicos é mais lento que o dos cimentos portland.

A influênciã das pozolanas sobre as propriedades das argamassas e concretos só se faz sentir no fim de algum tempo; a princípio a pozolana age como um material quasi inerte.

1 — Influênciã das pozolanas sobre a resistênciã à compressão das argamassas e concretos.

Apresentamos a seguir os resultados dos ensaios realizados no I. N. T. nesse sentido. A pozolana empregada foi uma pozolana artificial de fabricação nacional (argila calcinada).

a) — **Influência da substituição de 20% de cimento portland por igual peso de pozolana artificial sobre a resistência à compressão da argamassa normal.**

Foram realizados ensaios normais, comparativos de um cimento portland nacional e de uma mistura contendo 80% em peso desse cimento e 20% em peso de pozolana artificial. O método adotado foi o método M1 para ensaio de cimento portland, aprovado pela 1ª Reunião dos Laboratórios Nacionais de Ensaios, e oficializado pelo decreto-lei n. 278.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA

Influência da substituição de 20% de cimento Portland por igual peso de pozolana artificial, sobre a resistência á compressão da argamassa normal

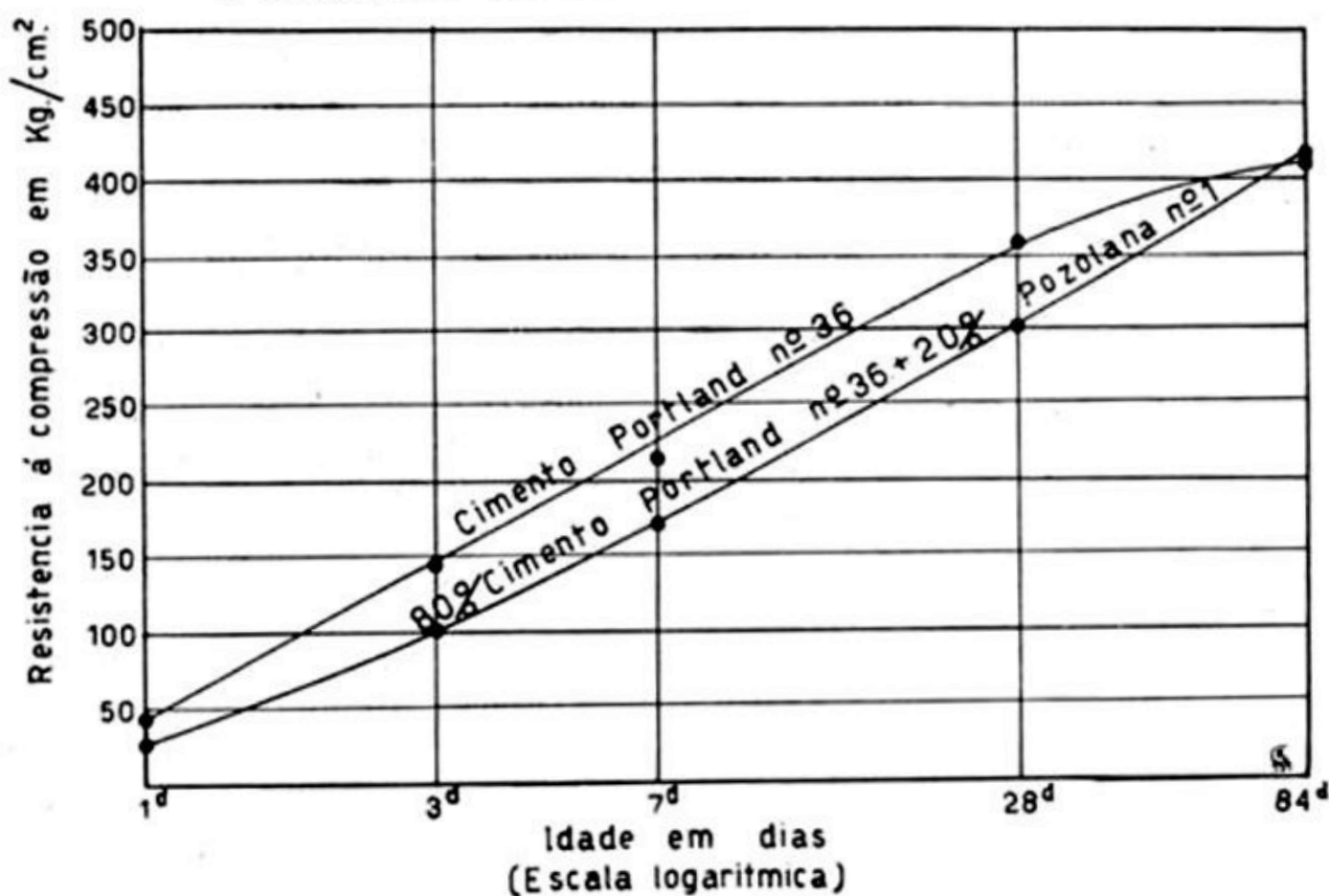


Fig. 1

E N S A I O S N O R M A I S

AGLOMERANTE	PASTA NORMAL		A/C	ARGAMASSA NORMAL PLASTICA				
	Agua %	Início de péga		Resistências à compressão Kg/cm ²				
				1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	84 dias
Cimento portland n.º 36.....	27,5	3h. 10m.	0,513	43	144	215	359	411
Mistura: 80% cimento portland n.º 36 + 20% pozolana n.º 1.....	31,8	2h. 50m.	0,560	28	102	170	302	420

OBSERVAÇÕES: — No caso da mistura cimento-pozolana A/C exprime o factor agua/aglomerante, isto é, agua/cimento + po zolana.

(1) — Resíduo insolúvel em ácido clorídrico diluído e em carbonato de sódio. A composição química desse resíduo insolúvel é a seguinte:

SiO ₂	46,10
Fe ₂ O ₃	2,78
Al ₂ O ₃	34,90

**Análises químicas segundo o método da A. S. T. M.
para análise de cimento portland (realizadas
pelo químico Kropf Soares)**

Cimento Portland n.º 36

Pozolana n. 1 (artificial)

Resíduo insolúvel	0.16	Resíduo insol. (1)	83.78
Perda ao fogo	1.19	Perda ao fogo	1.70
SO ₃	1.71	SO ₃	—
SiO ₂	23.24	SiO ₂	6.90
Fe ₂ O ₃	2.57	Fe ₂ O ₃	3.33
Al ₂ O ₃	5.83	Al ₂ O ₃	2.71
CaO	64.80	CaO	—
MgO	0.93	MgO	0.51

Resistência à compressão da argamassa normal da mistura 80% cimento portland n. 36 + 20% pozolana n. 1, expressas como porcentagens das resistências correspondentes da argamassa normal de cimento portland n. 36:

1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	84 DIAS
65%	71%	79%	84%	102%

A substituição de 20% de cimento portland n. 36 por igual peso de pozolana n. 1 aumenta a quantidade de água de amassamento (referida ao peso total da mistura) tanto da pasta como da argamassa de consistência normal. A resistência à compressão é reduzida, principalmente nos primeiros dias de idade, mas essa redução torna-se cada vez menor — a 84 dias de idade já a resistência da argamassa de cimento portland + pozolana é ligeiramente superior à da argamassa de cimento portland puro, apesar da primeira ter sido executada com um fator água/aglomerante maior.

O endurecimento da argamassa de cimento portland + pozolana é pois mais lento que o de argamassa de cimento portland puro.

A marcha das curvas ligando a resistência à idade parece indicar que a resistência final da primeira, será maior.

Quanto ao tempo de início da péga, praticamente não é alterado.

O endurecimento dos cimentos resistentes às águas sulfatadas e dos cimentos de baixo calor de hidratação é em geral mais lento que o dos cimentos comuns. As especificações federais norte-americanas exigem para o cimento resistente aos sulfatos resistências a 7 e 28 dias iguais respectivamente a 56% e 73% das resistências correspondentes do cimento comum. A proposta para tentativa de especificações para cimentos mixtos (blended) publicada nos "Proceedings" 1937 da A. S. T. M. exige para o cimento de baixo calor de hidratação resistências a 7 e 28 dias iguais a 75% das resistências correspondentes de cimento comum

As especificações brasileiras exigem para o cimento comum as seguintes resistências à compressão:

3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
80 kg/cm ²	150 kg/cm ²	250 kg/cm ²

Para os cimentos portland-pozolanicos e as misturas de cimento portland e pozolana, resistentes às águas sulfatadas, sugerimos os seguintes valores, que se alinham numa reta quando é adotada para o tempo uma escala logarítmica:

3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	84 DIAS
60 kg/cm ²	120 kg/cm ²	220 kg/cm ²	300 kg/cm ²

Essa redução em relação às exigências da especificação para cimento comum justifica-se:

Nas obras em que ha necessidade de empregar cimentos resistentes aos sulfatos a rapidez do aumento de resistência é secundária — além disso as dosagens dos concretos nelas empregados são sempre ricas em cimento, para garantir uma maior impermeabilidade.

b) — Influência da substituição de 20% de cimento portland por igual peso de pozolana artificial sobre a resistência à compressão de concretos — curvas ligando a resistência ao fator água/cimento.

O I. N. T. não tem a esse respeito um estudo completo. Para determinar a dosagem do concreto empregado em uma ponte construída pela Prefeitura do Distrito Federal, na qual já foi empregada pozolana artificial da partida correspondente à amostra de pozolana n. 1 foram executados no laboratório dois traços de consistência plástica com os materiais usuais no Distrito Federal (areia da Ilha e pedras britadas ns. 1 e 2).

A) traço

cimento portland:	0.80
pozolana artificial:	0.20
areia:	1.85
pedra 1:	1.45
pedra 2:	1.45

fator água/cimento + polozana:	0.52
consumo de cimento:	300 kg/m ³
consumo de pozolana:	75 "
consumo da mistura cimento pozolana	375 "

B) traço

cimento portland:	0.80
pozolana artificial:	0.20
areia:	2.30
pedra 1:	1.90
pedra 2:	1.90

fator água/cimento + pozolana:	0.67
consumo de cimento:	240 kg/m ³
consumo de pozolana:	60 "
consumo da mistura cimento pozolana	300 "

A tabela abaixo resume as resistências obtidas, comparadas com as resistências de concretos da mesma consistência fabricados com o mesmo consumo de aglomerante, mas onde o cimento foi empregado puro (de acordo com as curvas ligando a resistência ao fator a/c., determinadas pelo I. N. T. para o cimento portland empregado).

CARACTERÍSTICOS DOS CONCRETOS

		CIMENTO PORTLAND N.º 36	80% CIMENTO PORTLAND N.º 36 — 20% POZOLANA N.º 1
375 kg. aglomerante /m ³ .	A/aglomerante	0.51 lt/kg	0.52 lt/kg
	Res. 7 dias	260 kg/cm ²	210 kg/cm ²
	Res. 28 dias	380 kg/cm ²	370 kg/cm ²
	Res. 84 dias	500 kg/cm ²	490 kg/cm ²

CARACTERÍSTICOS DOS CONCRETOS

		CIMENTO PORTLAND N.º 36	80% CIMENTO PORTLAND N.º 36 — 20% POZOLANA N.º 1
300 kg. aglomerante / m ³ .	A/aglomerante	0.66 lt/kg	0.67 lt/kg
	Res. 7 dias	160 kg/cm ²	95 kg/cm ²
	Res. 28 dias	260 kg/cm ²	210 kg/cm ²
	Res. 84 dias	330 kg/cm ²	290 kg/cm ²

Verificamos que a substituição de 20% de cimento portland por pozolana torna mais lento o endurecimento dos concretos, e que essa influência é maior nos traços mais pobres.

As retas ligando a resistência (escala logarítmica) ao fator água/aglomerante são mais inclinadas para a mistura cimento portland-pozolana que para o cimento portland puro.

São portanto ociosas as discussões sobre se a pozolana deve ser considerada como "adição" ou como "substituição" do cimento portland. Devemos em vez disso considerar, **a mistura cimento portland-pozolana como um novo cimento** com outras propriedades e para ela determinar as curvas de resistência, baseando nestas as dosagens.

2 — Influência das pozolanas sobre a estabilidade de volume dos cimentos portland — ensaios de expansão em autoclave.

No ensaio de expansibilidade com o aparelho de Le Chatelier a diferença entre as expansibilidades do cimento portland e da mistura cimento portland-pozolana é inferior à precisão do ensaio.

CIMENTO	Expansibilidade a quente (5 horas)	Expansibilidade a frio (7 dias)
Cimento Portland n.º 36.....	0,5 mm	0,5 mm
Mistura: 80% cimento portland n.º 36 + 20% pozolana n.º 1.....	1,0 mm	0,5 mm

Observação — As especificações brasileiras toleram uma expansibilidade de 10 mm.

Ensaio de expansão em autoclave

Adotamos o método de ensaio norte-americano (tentativa), com uma única modificação: a consistência da pasta normal é a definida no método brasileiro para ensaio de cimento (v. proposta do I. N. T. para método de ensaio de expansão de cimento portland em autoclave, feita à 2ª Reunião dos Laboratórios Nacionais de Ensaios).

MARCA DO CIMENTO PORTLAND	EXPANSÕES EM AUTOCLAVE %			
	CIMENTO PORTLAND		80% CIMENTO PORTLAND 20% POZOLANA N.º 1	
	Indiv.	Médias	Indiv.	Médias
A (am. 2)	— 0.040 (26.5) — 0.021	— 0.031	— 0.054 (33.3) — 0.055	— 0.055
C (am. 1)	0.034 (27.5) 0.034	0.034	— 0.001 (31.8) 0.003	0.001
D (am. 1)	0.322 (27.2) 0.327	0.325	4.000 ? (31.5) desintegrou	—
E (am. 1)	0.436 (27.3) 0.436	0.436	0.216 0.217	0.217
F (am. 1)	0.444 (28.8) 0.437	0.441	0.181 (34.2) 0.192	0.186
H (am. 1)	0.917 (28.0) 0.957	0.937	0.352 (33.7) 0.333	0.343
D (am. 3)	0.632 (27.5) 0.625	0.629	0.203 (33.2) 0.223	0.213
C (am. 2)	0.041 (26.0) 0.039	0.040	0.010 (34.0) 0.019	0.015

Determinámos as expansões em autoclave de 8 amostras diferentes de cimentos portland, e de misturas contendo 80% de cada uma dessas amostras e 20% de pozolana n. 1 (artificial).

A tabela abaixo, á esquerda, resume os resultados obtidos, Os números entre parêntesis exprimem as porcentagens de agua de amassamento da pasta normal, referidas ao peso total do aglomerante.

Vemos que a substituição de 20% de cimento portland por pozolana reduz consideravelmente a expansão em autoclave de todas as amostras, exceto uma, em que a expansão é aumentada até a desintegração.

Acreditamos ser esta a primeira vez em que é feita essa observação. Tendo encontrado dificuldade em explicar o fenômeno, repetimos os ensaios, obtendo confirmação.

Concluimos daí que por prudência **deve ser sempre exigido um ensaio de expansão em autoclave da mistura** de pozolana com o cimento portland a ser empregado na obra. Poder-se-ia impôr a condição de que a expansão da mistura seja inferior à da cimento puro. Quanto a um limite para o valor absoluto da expansão, a única referência que temos é a "proposta de tentativa de especificações para cimentos mixtos (blended)" A. S. T. M. 1937. Essas especificações toleram uma expansão maxima 0,200% — com o método de ensaio adotado (consistência nacional) esse limite deveria ser elevado para 0,250%.

A) ARGAMASSA NORMAL PLÁSTICA 1:3 (COM AREIA NORMAL GRADUADA)

CIMENTO	A/C	EXPANSÃO EM AGUA SULFATADA %										OBS.
		7 dias	28 dias	42 dias	56 dias	84 dias	112 dias	140 dias	168 dias	196 dias	252 dias	
Cimento n.º 36.	0,513	0,006	0,013	0,015	0,019	0,024	0,026	0,027	0,031	0,033	0,041	média de 4 c.p.
80% cimento n.º 36. 20% pozolana n.º 1.	0,560	0,008	0,014	0,018	0,021	0,025	0,027	0,028	0,032	0,033	0,035	média de 4 c.p.
Cimento n.º 38.	0,506	0,006	0,014	0,016	0,029	0,034	0,041	0,051	0,062	0,073	0,116	média de 2 c.p.
80% cimento n.º 38. 20% pozolana n.º 1.	0,554	0,008	0,018	0,018	0,030	0,032	0,033	0,035	0,037	0,041	0,048	média de 2 c.p.
Cimento n.º 29.	0,528	0,004	0,012	0,013	0,022	0,024	0,026	0,027	0,030	0,033	0,039	média de 2 c.p.

B) ARGAMASSA ÚMIDA 1:5 (COM AREIA GRADUADA, SEGUNDO A AREIA DE OTTAWA)

CIMENTO	A/C	EXPANSÃO EM AGUA SULFATADA %										OBS.
		7 dias	28 dias	42 dias	56 dias	84 dias	112 dias	140 dias	168 dias	196 dias	252 dias	
Cimento n.º 36.	0,540	0,011	0,034	0,039	0,049	0,063	0,090	0,111	0,138	0,195	0,240 (1)	média de 4 c.p
80% Cimento n.º 36..... 20% Pozolana n.º 1.....	0,580	0,019	0,043	0,056	0,064	0,082	0,093	0,109	0,128	0,155	0,185	média de 4 c.p.

OBS: — Os cimentos n.º 36 (marca C amostra 1) e n.º 38 (marca D amostra 1) são do tipo portland; o cimento n.º 29 (marca B amostra 1) é um cimento portland-metalúrgico (hochofen).

Empregámos dois tipos de argamassas: a) argamassa normal plástica 1:3, definida no método brasileiro para ensaio de cimento; b) argamassa úmida 1:5, definida na "proposta de tentativa de especificação para cimentos mixtos" A. S. T. M. 1937, com uma modificação, a areia de Ottawa foi substituída por areia do rio Tieté com a mesma graduação (a quantidade de água de amassamento é função da água de amassamento da pasta normal, consistência segundo os métodos norte-americanos) .

Expansão em água sulfatada de barras prismáticas de argamassa de cimento

A) argamassa normal plástica 1:3 (com areia normal graduada)

B) argamassa úmida 1:5 (com areia graduada segundo a areia da Ottawa)

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA

Expansão de barras prismáticas de argamassa de cimento em água sulfatada

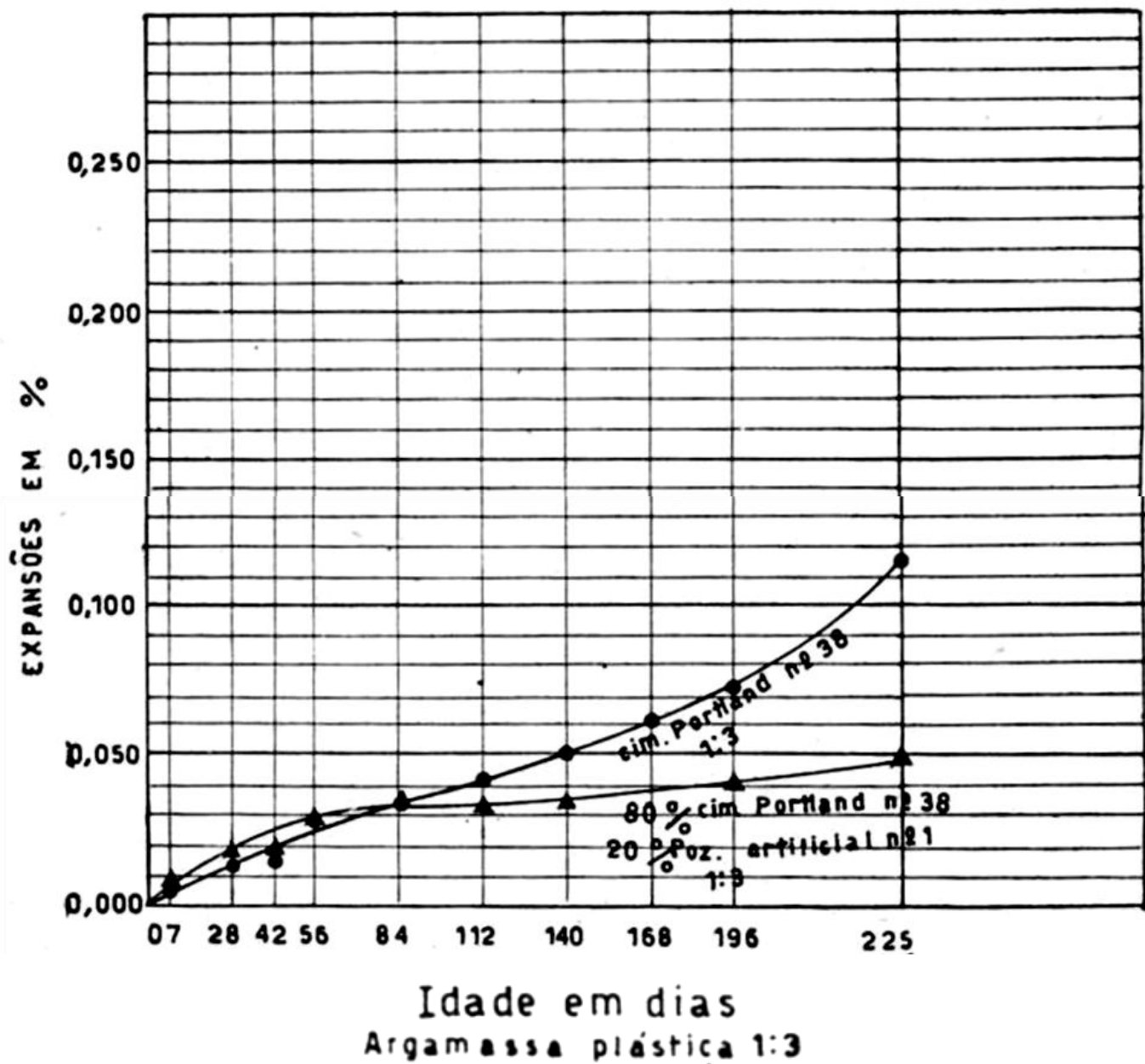


Fig. 3

- 100% cim. Portland nº 38
- ▲ — { 80% cim. Portland nº 38
20% Poz. artificial nº 1

ARGAMASSA NORMAL 1:3

CIMENTO	RETRAÇÃO AO AR LIVRE %							OBS.
	7 dias	28 dias	42 dias	56 dias	84 dias	112 dias	252 dias	
Cimento n.º 36.	-0,004	0,043	0,052	0,055	0,052	0,053	0,060	média de 2 c.p.
80% Cimento n.º 36. 20% Pozolana.	-0,002	0,057	0,059	0,059	0,060	0,058	0,068	média de 2 c.p.

Os resultados obtidos, apesar de compreenderem um período de tempo pequeno, já mostram uma ação favorável da pozolana sobre a resistência dos cimentos aos sulfatos.

Essa ação é lenta; a princípio, devido talvez a um fator água/aglomerante maior, a expansão da mistura cimento-pozolana é ligeiramente superior à do cimento puro; mas a partir de 3 ou 4 meses esta ultrapassa a primeira — a expansão das barras de cimento puro passa a crescer mais rapidamente que a das barras de cimento-pozolana.

Provavelmente o aumento de resistência aos sulfatos seria mais sensível si a porcentagem de pozolana na mistura fosse maior. Si adotássemos a relação $SiO_2 + Al_2O_3 / CaO \geq 1$, preconizada por varios autores, chegaríamos a uma porcentagem de pozolana na mistura igual a pelo menos 28% (v. análises químicas do cimento portland n. 36 e da pozolana n. 1, esta última completada pela nota na pagina.

Não consideramos satisfatório nenhum dos dois tipos de argamassa adotados; o 1º é pouco permeável, tornando a marcha da expansão excessivamente lenta; no 2º a argamassa não é plástica e a areia é mal graduada, o que dificulta a moldagem. Em vista disso resolveu o I. N. T. iniciar novos ensaios, com argamassa 1:5 de **consistência plástica** (v. método para ensaio de cimento), e com **areia normal graduada**; a solução sulfatada contem apenas **sulfato de magnésio**.

Influência das pozolanas sobre a retração das argamassas de cimento ao ar livre

As barras foram colocadas ao ar livre após uma cura prévia em água potável durante 7 dias.

II PARTE

PESQUISAS PARA O ESTABELECIMENTO DE ESPECIFICAÇÕES PARA POLOZANAS

1 — Estudo das argamassas de cal e pozolana.

O método mais comum para ensáio de pozolana é o ensáio mecânico de uma argamassa de cal aérea extinta e pozolana. Féret aconselha o ensáio à compressão de argamassa plástica de cal e pozolana — traço em peso 1 de aglomerante: 3 areia, sendo o aglomerante constituído por uma mistura contendo 80% de pozolana e 20% de cal aérea extinta — devendo a cal conter pelo menos 90% de hidróxido de cálcio e no máximo 3% de outros constituintes (não incluído entre estes o carbonato de cálcio).

Adotámos no I. N. T. como método de ensáio o método para ensáio de cimento aprovado pela 1ª Reunião dos Laboratórios Nacionais de Ensaios (método proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), sendo o cimento substituído por uma mistura contendo 80% em peso de pozolana e 20% em peso de cal aérea extinta em pó contendo pelo menos 85% de hidróxido de cálcio. O **ensáio de compressão** é pois realizado sobre **corpos de prova cilíndricos 5 cm. x 10 cm. de argamassa normal plástica** (0,8 pozolana: 0,2 cal aérea extinta: 3 areia normal graduada), **conservados mergulhados em água potável a 21° ± 2° C. até a data da rutura.**

A tabela abaixo resume os resultados obtidos:

(1) — Neste resultado foram computados provisoriamente apenas tres corpos de prova; a expansão do quarto foi de 0,482%, afastando-se portanto muito da média. A observação posterior dos tres primeiros decidirá si se trata de defeito da execução do c. do p., ou já de um início de desagregação.

ARGAMASSA NORMAL DE CAL E POZOLANA

POZOLANA	AGUA cal + pozolana	Resistências à compressão (6 c. de p.) kg/cm ²			
		3 dias	7 dias	28 dias	84 dias
N.º 1: artificial-argila calcinada.....	0.705	5	18	64	81
N.º 2: artificial-argila calcinada.....	0,729	—	20	58	—
N.º 3: Kieselgur-calcinado-não moido.	1,700	—	—	8	—
N.º 4: Kieselgur-calcinado-moido.....	1,134	—	21	51	70
N.º 5: Cinza de carvão do R. Grande	0,724	—	—	12	—
N.º 7: artificial-argila calcinada.....	0,696	—	39	66	71

Com a pozolana n. 1 determinámos também o tempo de péga da argamassa normal de cal e pozolana: início da péga 5 h. 40 m. — fim de péga 24 h. (1).

(1) A análise química da cal empregada é a seguinte (cal de marisco extinta):

Insolúvel	0.41
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1.70
MgO	0.07
Ca CO ₃	12.57
Ca (OH) ₂	85.25

Os melhores resultados correspondem à pozolana artificial-argila calcinada (de fabricação nacional) — ns. 1, 2, 7 e ao Kieselgur calcinado e moído — n. 4. Ainda é cêdo para estabelecer limites para uma especificação — si nos quiséssemos basear nos resultados anteriores, poderíamos fixar o limite de resistência a 7 dias entre 15 e 20 kg/cm², e o limite a 28 dias em 50 kg/cm². Não é possível comparar esses resultados com a especificação alemã, para "trass", pois nélas a argamassa adotada é de consistência da terra úmida, batida a martelo, e os corpos de prova são cúbicos. (2)

2 — **Capacidade de combinação das pozolanas com o hidróxido de cálcio.**

Adotámos o ensaio acelerado (48 horas a 60° C) indicado por Zamboni na obra "Il Controllo dei Cementi". A pozolana é mantida em contáto com uma solução saturada de hidróxido de cálcio — no fim do ensaio são determinadas a quantidade de Ca(OH)₂ absorvida por 1 gr. de pozolana, e as quantidades de sílica, alumina e oxido de ferro contidas em 1 gr. de pozolana e tornadas solúveis em ácido clorídrico diluído **após a combinação da pozolana com a cal.**

Na tabela seguinte resumimos os resultados das análises feitas pelo químico Kropf Soares, do I. N. T.:

POZOLANA	Ca (OH) ₂ absorvido pela pozo- lana — %	Solueis em ClH diluido após a combi- nação da po- zolana com a cal — % SiO ₂	Al ₂ O ₃ + + Fe ₂ O ₃
N.º 1: artificial-argila calcinada.	9,45	5,10	3,40
N.º 2: artificial-argila calcinada.	5,81	4,20	4,30
N.º 4: Kieselgur calcinado-moi- do.....	8,45	4,40	1,42
N.º 5: Cinza de carvão do R. Grande.....	8,13	3,26	2,68
N.º 6: Resíduo da fabricação do sulfato de alumínio.....	8,71	6,30	1,92

Parece-nos preferível o ensáio a frio, durante 28 ou 84 dias; adotámos o ensáio a quente por pre-mência de tempo. Segundo Zamboni, materiais como o quartzo e o caolim, que no ensáio a frio têm me-docre valor pozolânico, no ensáio a quente absorvem grande quantidade de hidróxido de cálcio.

(2) Zamboni realizou ensaios com pozolanas naturais ita-lianas, segundo um método quasi igual ao nosso (argamassa normal plástica 4 pozolana: 1 cal:15 areia normal artificial — não indica o formato dos corpos de prova nem as quantidades de agua).

As resistências à compressão obtidas foram as seguintes:

7 dias	6 a 24	kg/cm ²	(média 16	kg/cm ²)
28 dias	23 a 62	"	(média 45	")
84 dias	43 a 108	"	(média 79	")

(Zamboni, Il Controllo dei Cementi, pg. 484).

Tambem foram feitas as análises químicas segundo o método de análise da A. S. T. M. para cimento portland.

Análises químicas segundo o método para análise de cimento portland da A. S. T. M. (realizadas pelo químico Kropf Soares)

	Poz. n.º 1 artificial - argila calcificada	Poz. n.º 2 artificial - argila calcificada	Poz n.º 4 Kieselgur calcificado- moldo
Insolúvel (em CH diluído e carbonato de sódio).....	83,78	81,76	41,60
Perda ao fogo.....	1,70	3,52	3,20
SiO ₂	6,90	5,40	53,00
Fe ₂ O ₃	3,33	2,82	—
Al ₂ O ₃	2,71	5,42	2,16
MgO	0,51	—	—
CaO	—	—	0,60

Comparando os resultados dessas análises com as quantidades de cal absorvidas, e com os ensaios mecânicos de argamassa de cal e pozolana, parece-nos não haver relação entre a quantidade de **sílica solúvel** (em ácido clorídrico diluído e carbonato de sódio) e a **atividade pozolânica**.

É essa a opinião de Dorsch (Chemie der Zemente, pg. 201) — a cal póde naturalmente combinar-se muito bem com pozolanas, sem que para isso a sílica precise ser solúvel em álcalis (ou em ácido clorídrico diluído) (1). As pozolanas italianas analisadas por Zamboni têm um resíduo insolúvel em ácido clorídrico diluído, variando entre 85,90% e 84,77%; a sílica solúvel em ácido clorídrico diluído varia entre 0,30% e 0,70%.

3 — Velocidade de combinação das pozolanas com o hidróxido de cálcio.

Adotámos o método, descrito nas páginas 252 e 253 do livro "The Chemistry of Cement and Concrete", por F. M. Lea e C. H. Desch.

A velocidade de combinação da pozolana com o hidróxido de cálcio é determinada em função da queda de condutividade de uma solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em contáto com a qual está a pozolana.

A determinação é feita entre 1200 e 2700 minutos após a introdução da pozolana na solução, mantida a $250^\circ \pm 2^\circ \text{C}$. Durante o ensaio deve ser evitado o contáto da solução com o ar atmosférico. Isso torna o ensaio muito delicado.

Resultado obtido com a pozolana n. 1 — artificial (argila calcinada) (determinação feita pelo químico A. A. de Aragão): **quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ absorvida por uma grama de pozolana n. 1 durante 1000 minutos: 2 mag aC $(\text{OH})_2$.**

(1) V. também Lea and Desch, The Chemistry of Cement and Concret, pg. 254: "Muitos métodos diferentes foram descritos para a determinação da proporção de pozolana soluvel em extrações com soluções acidas ou alcalinas, ou com as duas em sucessão... Os resultados obtidos com esses método não mostraram em caso algum correlação com a resistencia desenvolvida pela pozolana quando ensaiada em argamassas de cal ou de cimento."

Obs.: Para comparar este resultado com os dados contidos no livro citado, observemos que esses dados referem-se a 0,5 g de pozolana, e não a 1g.

A velocidade de combinação da pozolana com o hidróxido de cálcio é função da finura (ou melhor, da superfície específica) da primeira. Deve ser exigida para as pozolanas uma finura pelo menos igual à dos cimentos portland.

CONCLUSÃO

Como conclusão sugerimos a seguinte orientação para um método de ensaio de pozolanas:

A — **Finura** — resíduo na peneira de 0.075 mm.

B — **Resistência à compressão da argamassa normal plástica de cal e pozolana** — método descrito na II Parte — 1.

Quanto às misturas de cimento portland e pozolana (2), e aos cimentos portland-pozolânicos, sugerimos que sejam ensaiados de acôrdo com o método brasileiro para ensaio de cimento, excéto quanto ao ensaio de expansibilidade, que deverá ser substituído pelo ensaio de expansão em autoclave.

(2) Apesar de serem atualmente os cimentos portland-pozolônicos (obtidos pela mistura íntima e convenientemente proporcionada do cimento com a pozolana, na fábrica, e de preferência durante a moagem) geralmente considerados superiores às misturas de cimento portland e pozolana, feitas na obra, durante o amassamento do concreto, o emprego destas já foi prática corrente, como mostram por exemplo Lea and Desch na obra *The Chemistry of Cement and Concrete*: “As pozolanas são usadas em argamassas de cal e pozolana, em cimentos mixtos portland-pozolônicos, e como adições diretas aos concretos... A adição de trass aos concretos de cimento portland foi prática corrente durante muitos anos na Alemanha, Holanda e Bélgica... A princípio a prática corrente era adicionar o trass como um constituinte separado dos concretos, mas nos últimos anos foi introduzida a prática de misturar previamente o trass com o cimento em misturadores secos apropriados, antes de coloca-los na betoneira. Dois cimentos portland-trass, misturados previamente e embalados em sacos, contendo respectivamente 30% e 50% de trass, são atualmente vendidos na Alemanha.”

Grun, em sua obra *Der Beton*, editada em 1937, cita ensaios comparativos entre o cimento portland-trass misturado previamente na fábrica, e misturas equivalentes feitas na obra, em betoneira, de diversas maneiras, sendo iguais os resultados obtidos, desde que o tempo de amassamento do concreto não seja inferior a dois minutos — conclui ser dispensável a mistura prévia na fábrica. Esses ensaios referem-se apenas à resistência à compressão de concretos executados com essas misturas.

ANEXO 01

Kieselgur = Diatomaceous earth

From Wikipedia, the free encyclopedia



Diatomaceous earth – also known as **D.E.**, **diatomite**, or **kieselgur/kieselguhr** – is a naturally occurring, soft, siliceous sedimentary rock that is easily crumbled into a fine white to off-white powder. It has a particle size ranging from less than 3 μm to more than 1 mm, but typically 10 to 200 μm .

Depending on the granularity, this powder can have an abrasive feel, similar to pumice powder, and has a low density as a result of its high porosity.

The typical chemical composition of oven-dried diatomaceous earth is 80–90% silica, with 2–4% alumina (attributed mostly to clay minerals) and 0.5–2% iron oxide.^[1]

+ + +