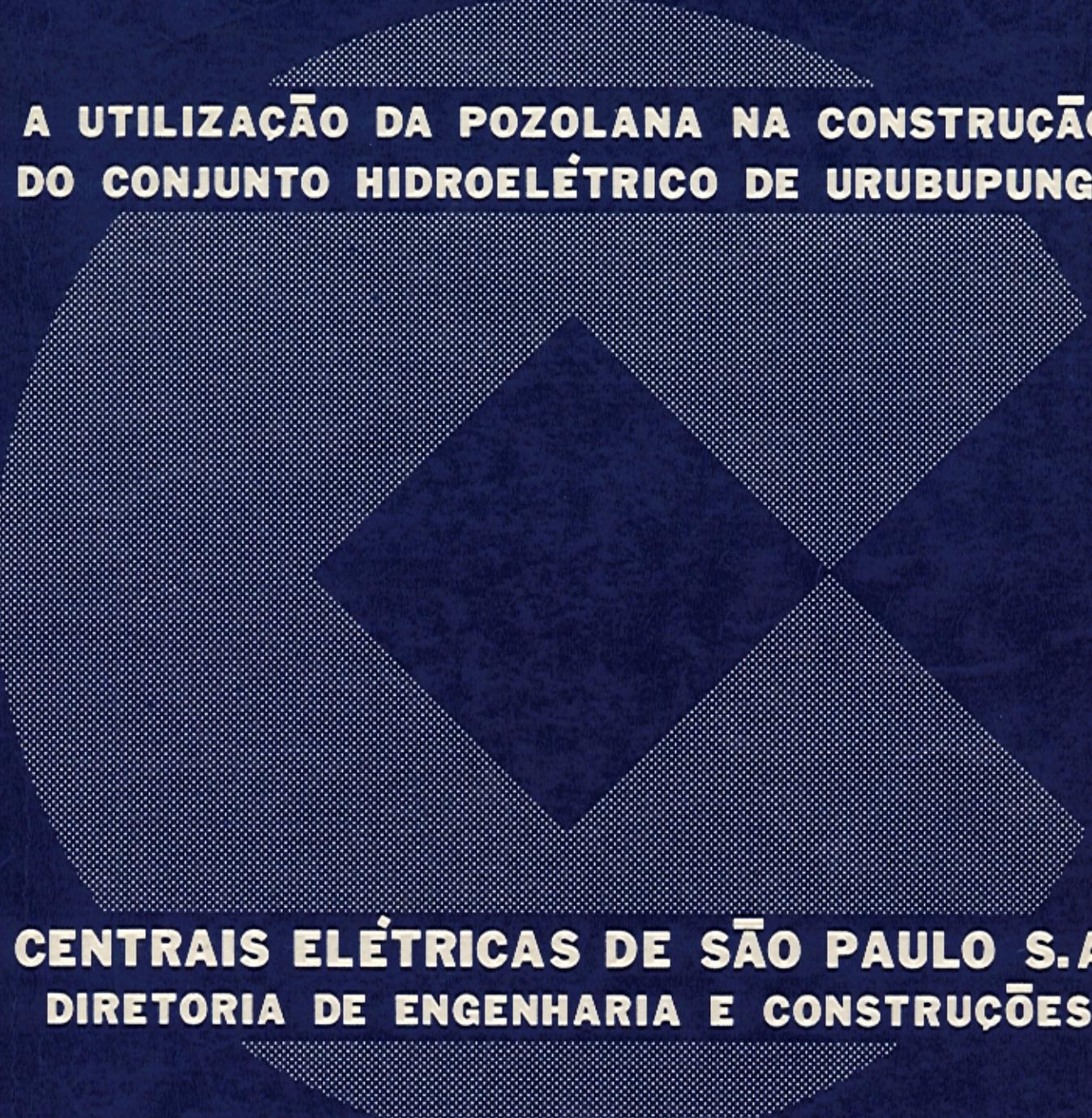


(2)

A UTILIZAÇÃO DA POZOLANA NA CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO HIDROELÉTRICO DE URUBUPUNGÁ



**CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A.
DIRETORIA DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES**

ABRIL / 75

ENGº FRANCISCO R. ANDRIOLI

LABORATÓRIO DE CONCRETO - ILHA SOLTEIRA
SETOR DE LABORATÓRIOS
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO - II
DIRETORIA DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLI

ILHA SOLTEIRA - ABRIL/1975

1 - I N T R O D U Q Á Q

1 - INTRODUÇÃO:

A Centrais Elétricas de São Paulo S.A., através da construção do maior Conjunto Hidroelétrico - do Hemisfério Sul - o Complexo de Urubupungá, acumulou um considerável acervo de conhecimentos relacionados - com a Tecnologia de Construção de Grandes Barragens.

Dentre esses conhecimentos sobressaem-se - os relacionados com a tecnologia dos materiais que vêm sendo acumulados há mais de dez anos graças a harmoniosa cooperação que sempre existiu entre os nossos Setores de Laboratório e Obras.

Este trabalho apresenta uma das mais importantes conquistas da Tecnologia Nacional, realizada em caráter pioneiro pela CESP - a utilização da pozolana nas Obras de Jupiá e Ilha Solteira.

2 - R E S U M O

2 - RESUMO:

A grande novidade na tecnologia de concretos, para obras de grande porte no Brasil, foi a utilização da Pozolana.

Especialmente na fase atual que atravessamos em que as construções civis atingem proporções nunca vistas, julgamos oportuno divulgar novas técnicas - que colocam a disposição do mercado, novos materiais - de construção os quais além de melhorarem as qualidades do produto final são de mais baixo custo.

O desenvolvimento do uso de material pozo lânico resulta na economia de um produto mais nobre - que é o Cimento Portland.

O emprego da Pozolana tem sido orientado, na maioria dos casos, pela economia que proporciona, - tendo entretanto como objetivo produzir-se concretos - de melhores qualidades, menos permeáveis e mais resistentes a ação de águas agressivas. A utilização da Pozolana faz-se necessária quando o agregado, disponível para a construção, for reativo sob ação dos álcalis - dos Cimentos.

3 - DEFINIÇÕES - CLASSIFICAÇÃO - ASPECTOS TÉCNICOS

3 - DEFINIÇÕES - CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS TÉCNICOS

3.1 - DEFINIÇÃO

Pozolanas são comumente definidas como materiais silicosos ou silico-aluminosos, que por si só possuem pequeno ou nenhum valor como aglomerante, mas quando devidamente moidos, reagem quimicamente com cal em presença de água, formando compostos estáveis e com propriedades aglomerantes. Não são considerados como pozolanas, materiais que por si só sejam aglomerantes.

O Hidróxido de Cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - forma-se durante a hidratação do Cimento Portland, e a Pozolana combina com a cal liberada para formar compostos de boa resistência e cimentantes. É idéia geral que a sílica de uma Pozolana deve estar em seu estado amorfo para uma boa atividade. Sílica cristalina, como o quartzo, é considerada praticamente inerte em presença de cal.

3.2 - CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS TÉCNICOS

As Pozolanas classificam-se em naturais e artificiais. São naturais aquelas que foram formadas por algum processo da natureza e que em geral necessitam apenas de uma moagem para seu uso. As artificiais são aquelas obtidas por um processo industrial ou como um sub produto.

Como exemplo de Pozolanas naturais temos:
- Tufos e cinzas vulcânicas - são talvez as primeiras pozolanas que se têm notícia, usadas na antiguidade - pelos romanos e que são ainda hoje exploradas. No Brasil a probabilidade de ocorrência desses materiais recai sobre o Triângulo Mineiro.

= Rochas contendo minerais de Opala - em geral são encontrados na forma de xistos, contendo outras formas - de sílica que não a amorfa, necessitando portanto de uma calcinação para sua ativação completa.

= Terras diatomáceas - são as Pozolanas mais ativas na reação com cal. O diatomito é formado por sedimentação de carapaças de micro-organismos. A ocorrência de diatomito é bastante grande ao sul do Estado de Mato Grosso e no Nordeste Brasileiro.

O seu uso no estado natural, em concretos, é bastante limitado devido ao aumento da água necessária para manter a trabalhabilidade. Isto ocorre por causa da forma alongada de suas partículas.

Experiências realizadas pelo Laboratório - da CESP mostram que a Água Requerida diminui sensivelmente quando aquecemos o diatomito ao redor de 650°C e em seguida moemos o produto.

As Pozolanas artificiais são as seguintes:

= Xistos e argilas calcinadas - as argilas e xistos - calcinados são mais comumente usados que as pozolanas naturais, devido à facilidade em obter-se matéria prima adequada para sua fabricação. Em contra posição às jazidas de pozolanas naturais, as de xistos e argilas próprios à fabricação de pozolana são mais uniformes.

A matéria prima deve ser altamente argilosa, sendo que a atividida deve aumentar com o conteúdo de argila. As argilas que mais se prestam como matéria prima são as cauliníticas e as montmoriloníticas. As propriedades pozolânicas são induzidas ao redor de 500°C, sendo que a temperatura ótima de calcinação está na faixa de 700°C a 850°C. O super aquecimento das argilas às temperaturas de 920°C e 1.000°C provoca uma recristalização com formação de compostos estáveis, diminuindo muito a atividade química. O controle de temperatura tem, portanto, um papel importante na fabricac

ção de pozolanas.

Durante a calcinação, a argila caulinítica desidrata-se completamente entre 600°C a 560°C e o arranjo atômico é destruído formando-se uma substância sílico-aluminosa amorfa. Neste estado a argila adquire suas propriedades pozolânicas.

À temperatura de 950°C há a formação de alumina (- Al₂O₃), sendo que este produto é de difícil moagem e baixa atividade. A partir deste fato é conveniente, como método de controle de fabricação, fazer-se uma "Análise Térmica Diferencial" da argila - calcinada. Uma argila bem calcinada, quando submetida a "Análise Térmica Diferencial, não deverá apresentar o pico endotérmico de 500°C a 560°C, devendo porém revelar o pico exotérmico a 950°C. Ilustrativamente apresentamos no Desenho 1 (folha 10) uma série de "Análises Térmicas Diferenciais".

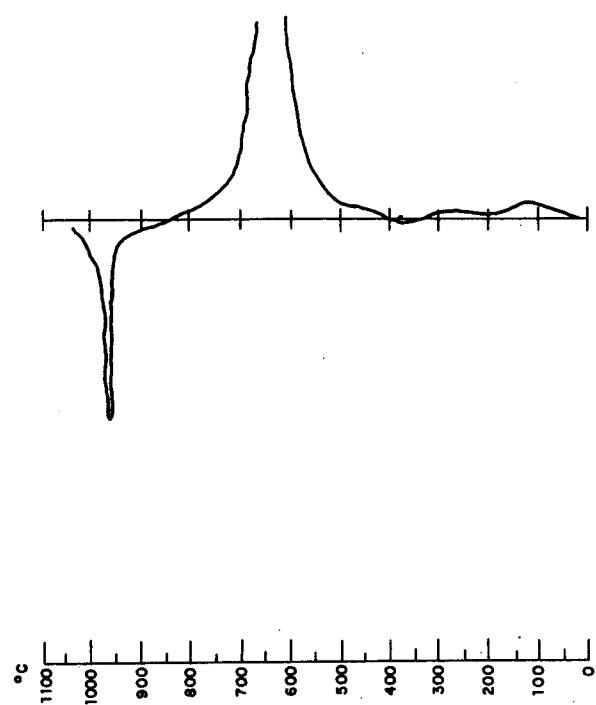
As argilas montmoriloníticas reagem diferentemente à calcinação. A desidratação ocorre na faixa de 450°C e 750°C, sendo que se verifica na argila a diminuição da distância dos planos interatômicos dos cristais. A quebra da estrutura cristalina só ocorrerá de 750°C a 1.000°C.

= Fly-Ash - são cinzas ricas em silíca, - obtidas em usinas termoelétricas em que o carvão é pulverizado é usado como combustível. As Fly-Ashes - disponíveis nas usinas termoelétricas do sul do País são de boa qualidade, porém na finura que se apresentam não têm grande valor como material pozolânico. Nossos estudos mostraram a necessidade de uma moagem, com intuito de torná-las mais ativas. A finura ideal para essas Fly-Ashes está ao redor de 9.000 cm²/g. - (BLAINE).

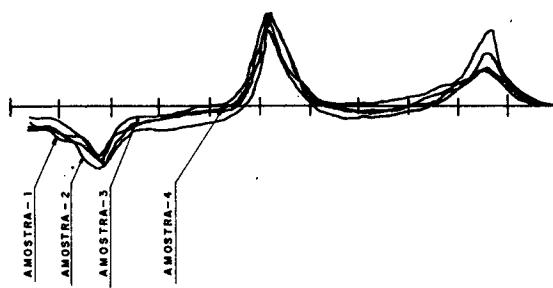
LABORATÓRIO DE CONCRETO	DESENHO
C E S P — ILHA SOLTEIRA	

ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL -1-

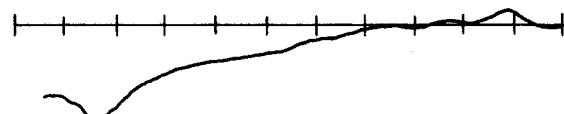
ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL
 MÉTODO PARA:
 A) IDENTIFICAÇÃO DA ARGILA
 B) VERIFICAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA JAZIDA
 C) CONTROLE DE CALCINAÇÃO



A - B



C



ARGILA CALCINADA
AMOSTRAS DE ARGILA
ÁREA DAS PERDIZES

CAULIM DO SACOMÃ
AMOSTRAS DE ARGILA

4 - ENSAIOS E ESPECIFICAÇÕES

4 - ENSAIOS E ESPECIFICAÇÕES:

À falta de ensaios e especificações para o controle de qualidade, dentro das normas técnicas Brasileiras, temos adotado para nossos estudos e controles as recomendações do A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) e do Corps of Engineers dos Estados Unidos. Ao final deste item fornecemos uma sugestão de especificação. Os ensaios mais importantes são os seguintes:

- Finura na Peneira nº 325 - é necessário para o controle da uniformidade do produto. O peneiramento é feito sob um jato d'água à pressão de 10 psi.
- Superfície Específica no Permeâmetro de Blaine - é o mesmo ensaio já difundido entre nós para o cimento. É feito também como controle da uniformidade.
- Pêso Específico - o ensaio é feito com auxílio de um picnômetro. A densidade das pozolanas variam desde 2,1 a 2,7 g/cm³.
- Atividade com Cal - é a resistência à compressão de argamassas preparadas com areia, pozolana e cal. Os corpos de prova são cilíndricos 5 x 10 cm e curados a uma temperatura de 55°C durante 7 dias, quando então são rompidos. A areia padronizada para o ensaio é a de Ottawa, porém escolhemos uma areia (Cajueiro-Jupiá) de tal forma a obter os mesmos resultados que a Padrão ASTM.
- Atividade com Cimento - este ensaio compara as resistências à compressão, aos 28 dias, de corpos de prova cúbicos com 5 cm de aresta, moldados com argamassas - de mesma trabalhabilidade. A cura dos corpos de prova é feita a 37°C.
- Água Requerida - é a comparação entre as quantidades d'água usadas para propiciar a mesma trabalhabilidade.

- Redução da Expansão da Argamassa - mede a reatividade da pozolana com os alcalis do cimento e portanto o seu valor na correção da reação alcali-agregado.

O ensaio consiste em comparar a expansão - de barras de 1" x 1" x 10" moldadas com argamassa, com areia de pirex (silica reativa).

- Composição Química - a composição química de uma pozolana é a análise que menos identifica suas propriedades. Faz-se restrições quanto ao teor de SO_3 e MgO apenas para manter coerência com as restrições impostas - ao Cimento Portland.

Após as experiências realizadas em Jupiá e Ilha Solteira, o Laboratório passou a utilizar alguns limites para as propriedades supra citadas, e que são:

- Requisitos Físicos:
 - = Material retido na nº 325 (45μ) - max % = 12.
 - = Superfície Específica Blaine: cm^2/g
 - = Quando a pozolana for obtida a partir da calcinação e moagem de argilas
 - minímo - 8.200
 - máximo - 8.500
 - = Quando a pozolana for obtida a partir do resíduo - de usinas (Fly-Ashes)
 - minímo - 4.000
 - = Quando a pozolana for obtida a partir da calcinação e moagem de diatomitos
 - minímo - 10.000
 - máximo - 12.000
 - = Expansão ou Retração em Autoclave, max % = 0,5
 - = Reatividade com os álcalis do cimento
 - = Redução da expansão aos 14 dias - min.% = 75
 - = Expansão da argamassa aos 14 dias - max % = 0,02
 - = Índices de Atividade Pozolânica
 - = Com cimento, 28 dias - min % do controle = 75
 - = com cal, 7 dias - min kg/cm^2 (espécimes 5 x 10) = 56
 - = Água requerida - max % do controle = 110

= Aumento da Retração por secagem, 28 dias - max % = 0,03.

- Requisitos Químicos:

= Soma de SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	- min %	= 70
= MgO	max %	= 5
= SO ₃	max %	= 3
= Umidade	max %	= 3
= Perda ao Fogo	max %	= 10
= Equivalente alcalino em Na ₂ O	- max %	= 1,5

5 - EFEITO DA POZOLANA NOS CONCRETOS

5 - EFEITO DA POZOLANA NOS CONCRETOS:

O uso de uma boa pozolana, em quantias adequadas e com condições ideais de cura, melhora a maioria das propriedades importantes de um concreto. Não é mal lembrar que os concretos contendo pozolana necessitam de uma cura mais prolongada, tendo-se em vista as suas características na hidratação.

As pozolanas têm sido usadas em reposição ao cimento de 15% a 40% da quantidade deste, nos concretos. Essa porcentagem de substituição refere-se ao "volume sólido" do cimento, para facilidade dos trabalhos de dosagem.

A pozolana pode ser usada como um material a ser misturado no concreto durante a betonagem, ou ser moida juntamente com clinker e gesso dando os Cimentos Pozolânicos. Dessas duas formas, somos particularmente favoráveis a moagem em separado e posteriormente, durante a betonagem, misturados.

Isto porque os Cimentos Pozolânicos prefiram a proporção de cimento e pozolana, e esta proporção pode não ser a melhor para o uso. Além disso, os Cimentos Pozolânicos, como são produtos de uma mesma moagem teriam as partículas de cimento e pozolana em uma mesma finura. Com isto não estariamos tirando o máximo proveito dos dois materiais, pois a finura ótima de cada um dos produtos está em faixas diferentes. Exemplificando: - experiências feitas em nosso Laboratório mostraram que as finuras ótimas para o cimento e a pozolana de Urubupungá são respectivamente 3.500 e 8.500 cm²/g (Finura Blaine). Essas finuras ótimas foram estabelecidas em função da Água Requerida.

As pozolanas, como já se sabe, produzem as seguintes melhorias às propriedades dos concretos:

- TRABALHABILIDADE: As pozolanas, quando usadas em substituição parcial do cimento, aumentam a plasticidade -

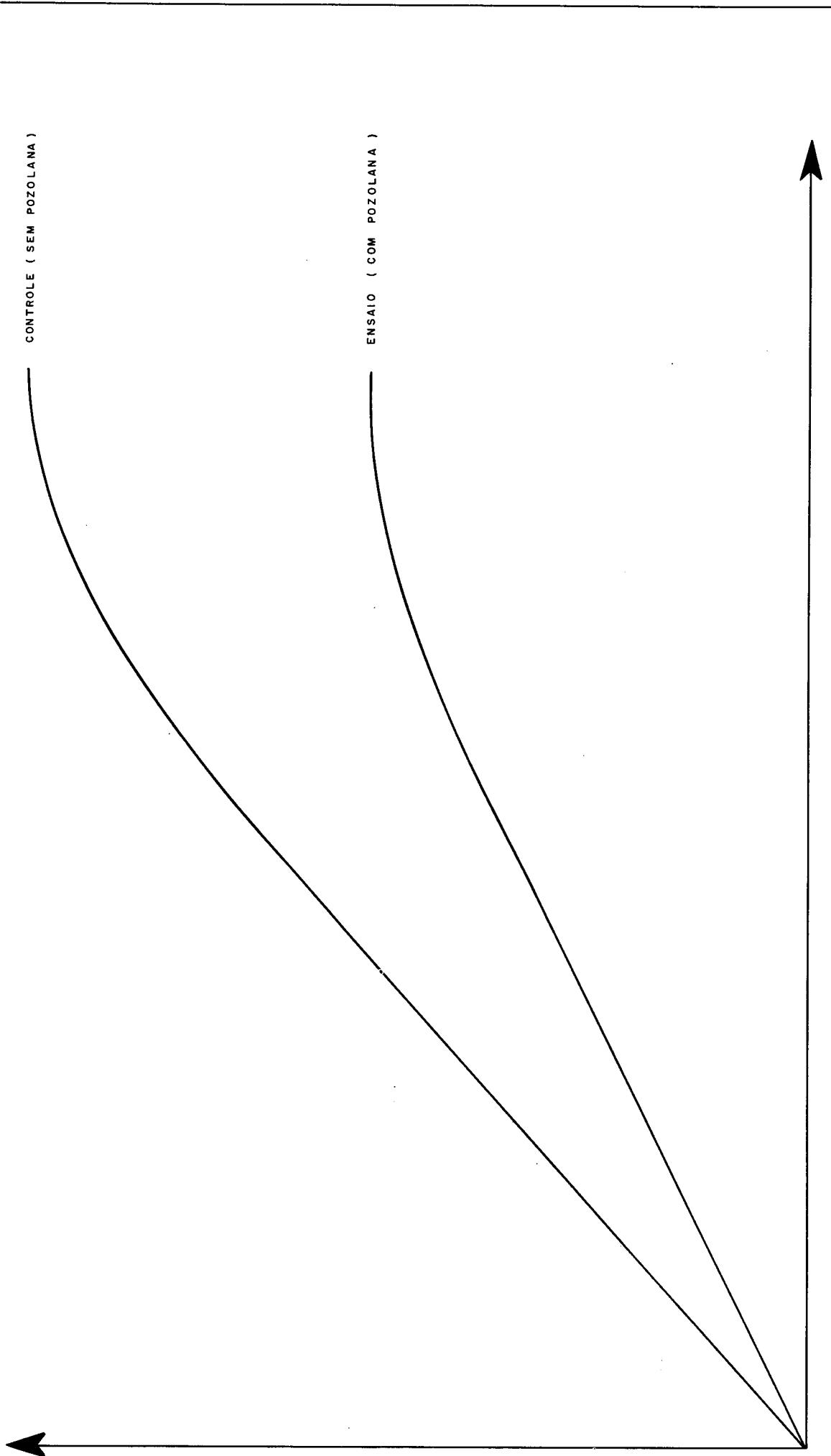
do concreto e diminuem a segregação. Essa melhoria é mais pronunciada nos concretos "pobres" (altos fatores água/cimento) do que nos "ricos" (baixos fatores água/cimentos), e dependerá diretamente da finura do produto e da porcentagem substituída. Os produtos que melhores resultados têm apresentado a esse respeito são diatomitos e argilas calcinadas finamente moídas e algumas Fly-Ashes finas.

- ÁGUA DE EXSUDAÇÃO (BLEEDING): Como citamos acima, as pozolanas vem contribuir para evitar a segregação. Essa melhoria faz-se também sentir em um tipo de segregação específica, que é a água de Exsudação - Bleeding.

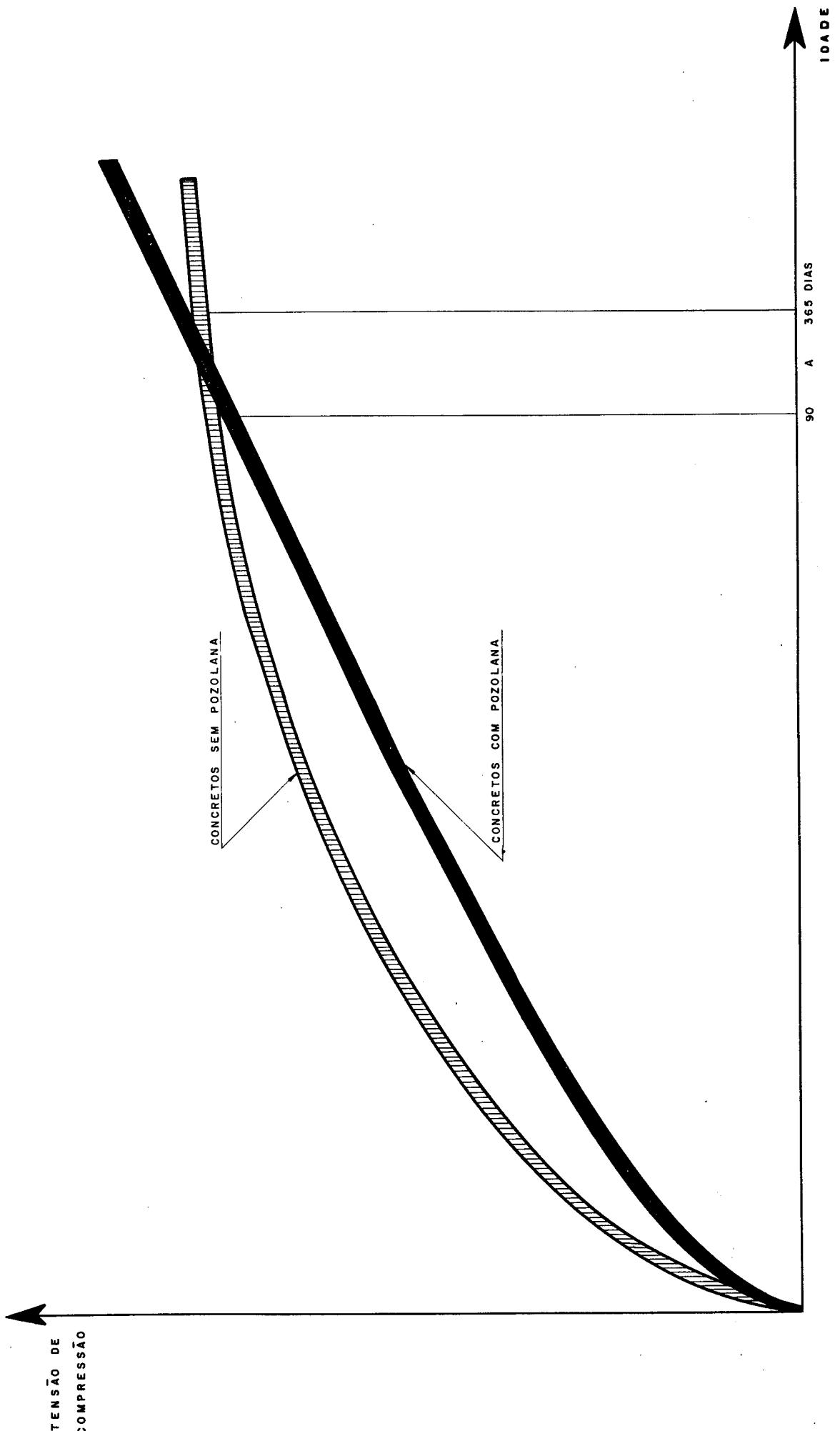
No Desenho 2 (fólya 18) apresentamos uma ilustração do fenômeno em questão.

- RESISTÊNCIA: Concretos contendo pozolana diminuem a resistência até, aproximadamente, 28 dias de idade. As idades mais avançadas (90 dias - 365 dias) é normal - que os concretos com pozolanas tenham resistências mais altas que concretos equivalentes sem pozolana. Ainda no Desenho 3, ilustramos o fato supra-comentado. Uma limitação, portanto, da pozolana é o seu uso em obras onde se requeiram altas resistências do concreto à baixas idades, como ocorre em peças pré-moldadas. Nessa situação deve-se fazer uma análise cuidadosa tendo-se em vista o mínimo teor de pozolana para combater a retividade dos Agregados com os Alcalis do Cimento.

- PERMEABILIDADE: As pozolanas agem positivamente, tornando os concretos mais impermeáveis. Também essa propriedade é mais afetada em concretos "pobres" do que - nos de alto teor de aglomerante. Estudos efetuados pelo "Army Corps of Engineers" dos Estados Unidos mostraram que os concretos com A/C desde - 0,5 até 1,0 têm permeabilidade baixa e constante quando se usa material pozolânico; isto é mostrado no Desenho 4 (folha 20).



LABORATÓRIO DE CONCRETO	DESENHO
C E S P — ILHA SOLTEIRA	
INFLUÊNCIA DA POZOLANA NA	
ÁGUA DE EXSUDADAÇÃO	
-2-	



LABORATÓRIO DE CONCRETO
C E S P — ILHA SOLTEIRA
EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA COM
A IDADE.

— 365 DIAS

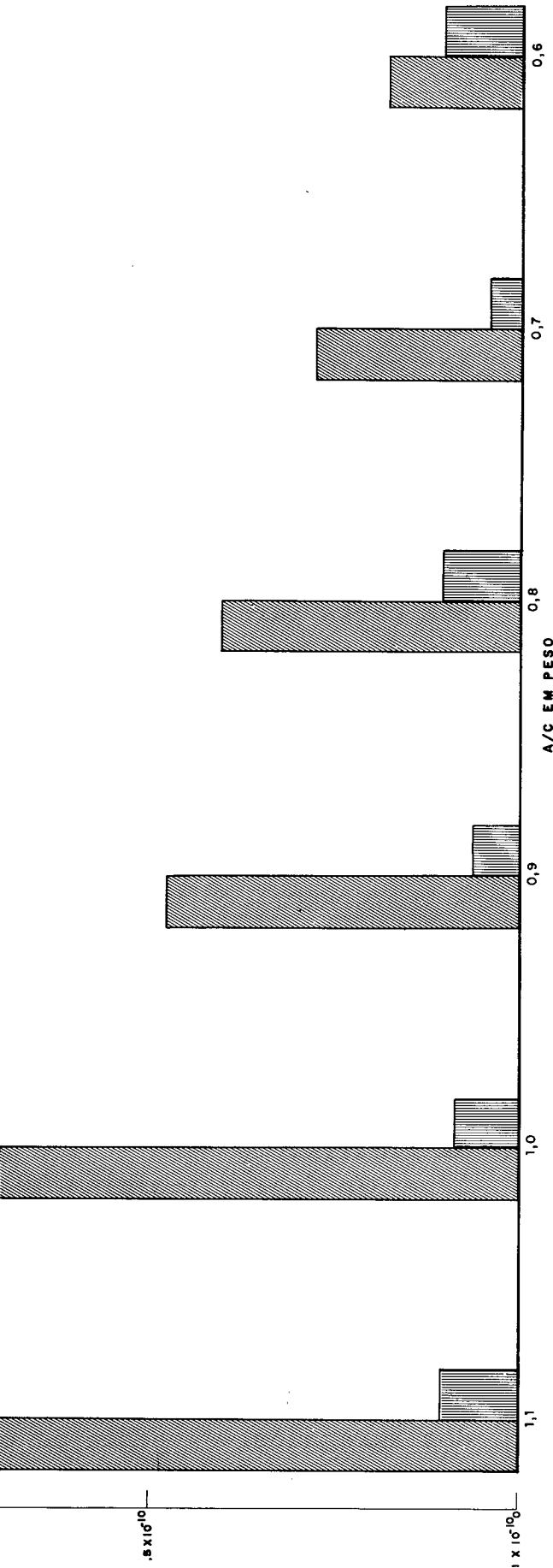
1.5×10^{-9}

cm³/seg.

PERMEABILIDADE (K)

$.5 \times 10^{-10}$

1×10^{-10}

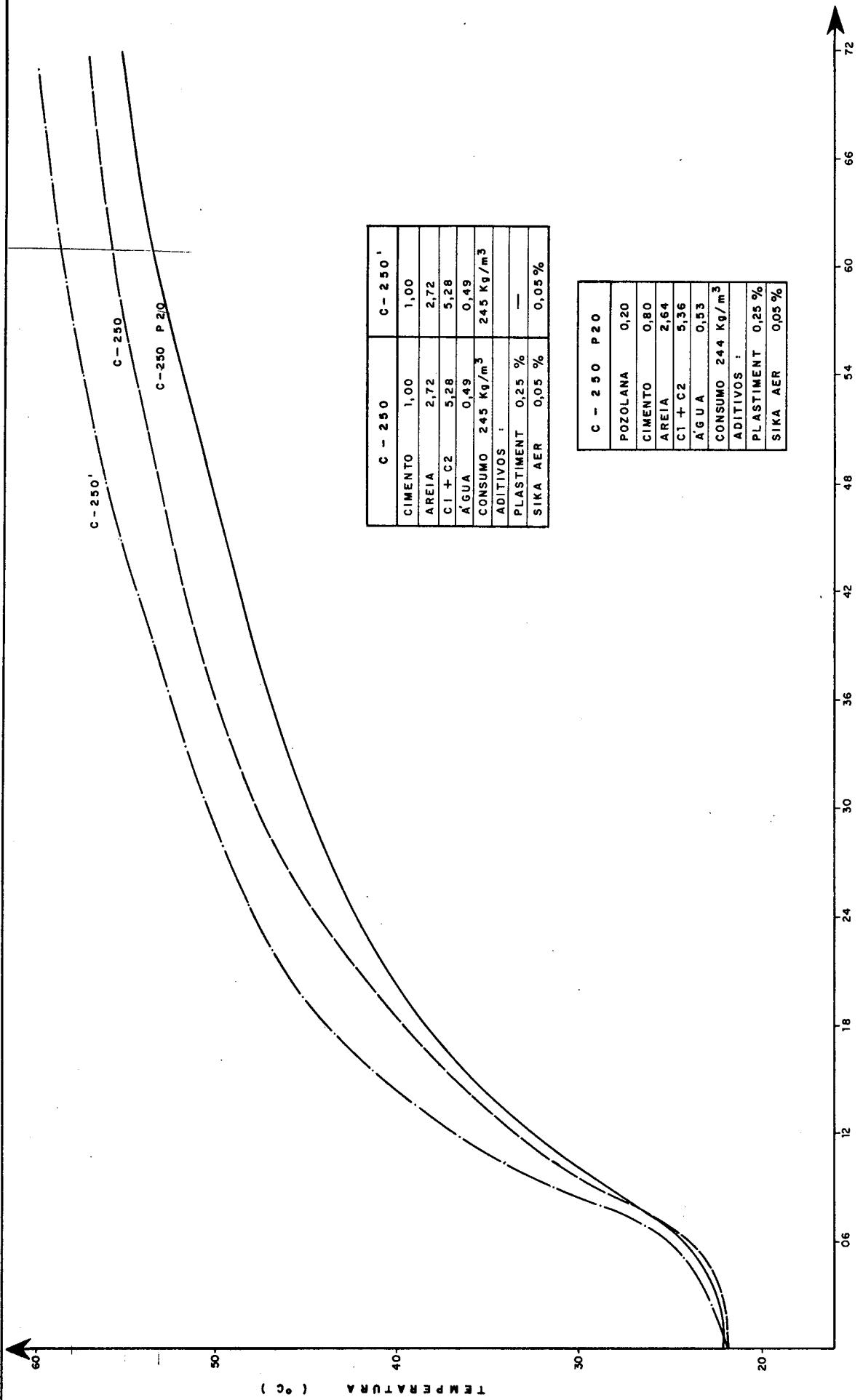


COMPARAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE CONCRETOS PARA VÁRIAS RELAÇÕES DE A/C NA IDADE DE 365 DIAS.
ENSAIOS FEITOS NO CORPS OF ENGINEERS — U.S.A.

NOTA : A 1ª COLUNA DE CADA A/C SÓMENTE CIMENTO PORTLAND
A 2ª COLUNA CIMENTO PORTLAND MAIS FLY ASH .

LABORATÓRIO DE CONCRETO
C E S P — ILHA SOLTEIRA
— PERMEABILIDADE —
— 4 —

- RETRAÇÃO POR SECAGEM: As pozolanas naturais em geral aumentam a água requerida para obter-se uma dada traba
lhabilidade e portanto, produzem concretos sujeitos a uma maior Retração por Secagem. As pozolanas de argila calcinada afetam pouco o conteúdo de água unitário/ do concreto. As Fly-Ashes praticamente não alteram a Água Requerida.
- CALOR DE HIDRATAÇÃO: Os concretos com cimento e pozolana desprendem menos calor durante a hidratação do que os concretos sem pozolana. Saliente-se também que esse calor é melhor distribuído. Esse fato contribui, com certa parcela, para evitar-se as trincas em concretos de grande massa. No Desenho 5 (folha 22) podemos notar a influência da pozolana, na Elevação Adiabática dos concretos, ao compararmos as misturas C-250, C-250' e C-250 P-20, observando-se que o concreto C-250 P-20 (com pozolana) apresentou picos térmicos menores que as outras duas misturas sem pozolana.
- RESISTÊNCIA QUÍMICA: Estudos efetuados pelo Bureau of Reclamation em 1970 e 1972, mostraram que concretos produzidos com material pozolânico resistem de maneira surpreendente ao ataque dos sulfatos, superando inclusive o desempenho dos concretos produzidos com cimentos Tipos II e V (cimentos Resistentes aos Sulfatos) - da A.S.T.M.
- REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: Em 1938 descobriu-se que alguns agregados reagem com os álcalis do cimento, podendo causar uma deterioração do concreto. Dos estudos realizados, a hipótese mais aceita, é de que a Sílica Ativa, de certos agregados, reage com os álcalis do cimento, em presença de água formando um gel em torno dos agregados. A pasta de cimento em torno do agregado, com a presença desse gel passa ser uma membrana semi permeável que permite o desenvolvimento de pressões



LABORATÓRIO DE CONCRETO
 C E S P - ILHA SOLTEIRA
 ELEVACÕES ADIABÁTICAS
 -5-

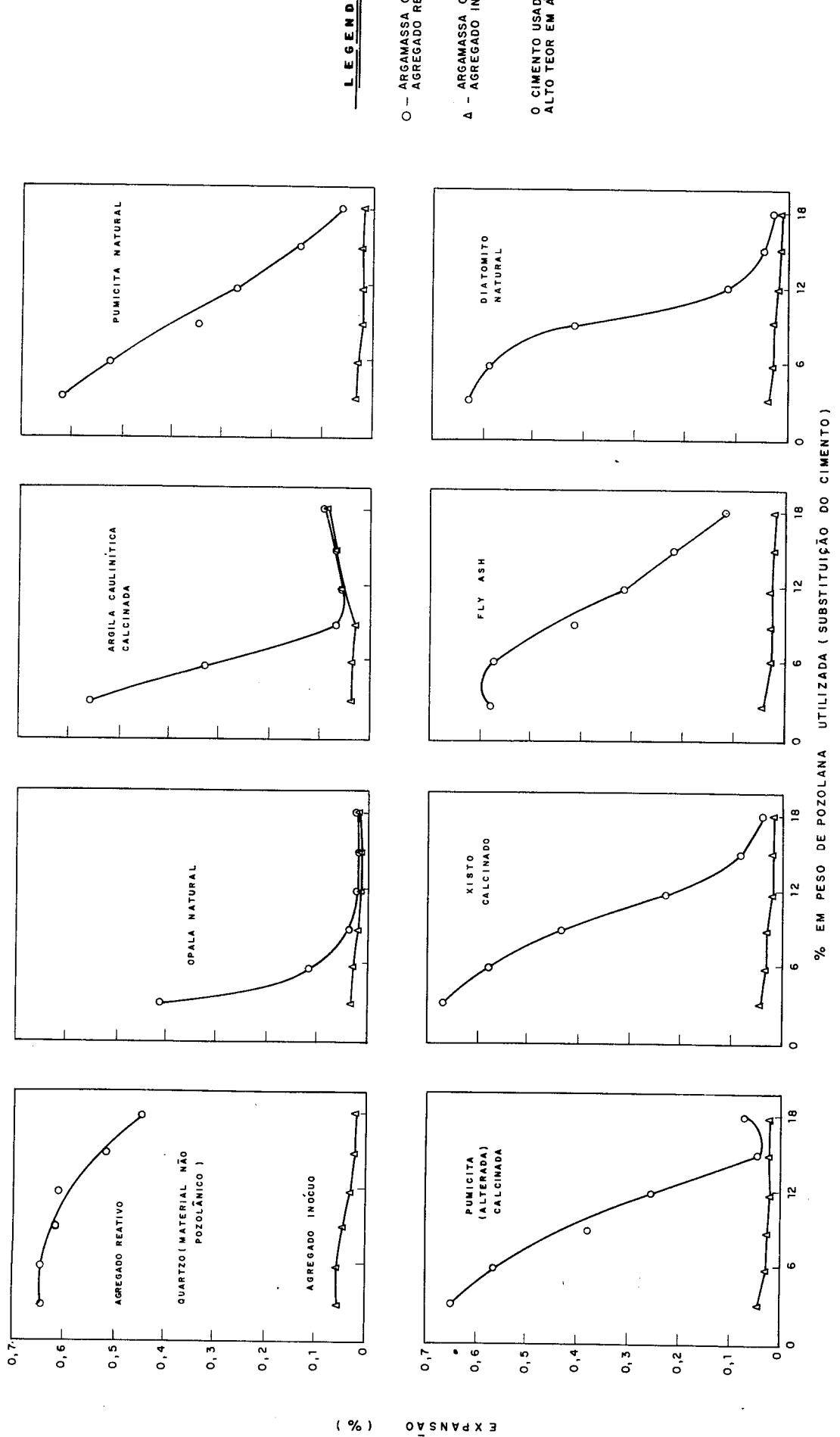
osmóticas. Segundo essa teoria, para agregados internos à massa de concretos, as pressões osmóticas seriam anuladas pela contraposição de pressões de outros agregados, sendo que na superfície, não havendo esse equilíbrio, a pasta de cimento poderia trincar provocando uma deterioração gradativa do concreto. Sabe-se que, de fato, a deterioração de concretos contendo agregado reativo ocorre inicialmente na superfície.

São agregados reativos aquêles que contém minerais de opala, calcedônia, ágata, tridimita e outros mais raros, todos porém na forma de sílica amorfa ou micro-cristalizada.

Stanton descobriu que a adição de certos - materiais silicosos, finamente moidos, reduziam a expansão de argamassas contendo agregado reativo e cimento de alto teor em álcalis. Posteriormente o uso de Pozolana foi reconhecido como um método efetivo no controle da reação álcalis-agregado. Tendo uma Superfície Específica alta, a pozolana reage prontamente com os álcalis impedindo que os mesmos concentrem-se na superficie dos agregados. Assim, o produto formado fica - distribuído por toda a massa de concreto, não apresentando a tumefação osmótica.

Tendo em vista determinar qual a porcentagem de cimento a ser substituído por pozolana, para um controle efetivo das reações álcalis-agregado, foram feitos estudos na Universidade da California, para diversos tipos de Pozolana. Verificou-se que essa substituição deve ser de 15% a 25% dependendo da sua natureza. Cada caso deve ser, portanto, verificado por um estudo similar, como se mostra no Desenho 6 (folha 24).

Em Ilha Solteira, o Laboratório de Concreto realizou estudos de acompanhamento de exposição de concretos ao tempo, quando então comprovamos as experiências da Universidade da California.



EXPANSÃO EM BARRAS DE ARGAMASSA APÓS 15 MESES DE CURA A 37°C
EFEITO DE POZOLANAS NA CORREÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALIS - AGREGADO

% EM PESO DE POZOLANA UTILIZADA (SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO)

LABORATÓRIO DE CONCRETO	CESP - ILHA SOLTEIRA	DESENHO
- REATIVIDADE -	- 6 -	

6 - USO DE POZOLANAS EM URUBUFUNGÁ

6 - USO DE POZOLANAS EM URUBUPUNGÁ:

Dos estudos dos agregados disponíveis, para a construção da Obra de Jupiá, resultou como mais econômico o uso de cascalho e areia naturais existentes próximo ao canteiro.

Esse cascalho contém pedras de ágata, calcedônia, com predominância de quartzito. Ensaios foram realizados, e mostraram que tal agregado era altamente reativo.

Como primeira medida, usou-se no inicio da obra um cimento de teor de alcalis da ordem de 0,2 %. Como os volumes de concreto eram bastante elevados (aproximadamente 1.400.000 m³), não havia condições do fornecedor desse cimento suprir as necessidades. Optou-se então pelo uso de cimentos comuns e a instalação de uma fábrica de pozolana. Como solução intermediária, até a instalação da fábrica, optou-se pelo uso de Fly-ashes provenientes do Sul do País.

Essa Fly-Ash, como já citado, apresentava-se com uma finura entre 3.500 e 4.000 cm²/g (Blaine) que poderia ter uma melhoria considerável na atividade com cimento, caso fosse dobrada a sua finura. Para a correção da expansão álcalis-agregado, todavia, apresentou-se bastante eficiente.

Como já se observou, a utilização de Pozolanas por parte da CESP, já vai na casa dos 10 anos.

Finalmente, a pozolana fabricada em Jupiá foi colocada em uso em 1965 e mostrou-se satisfatória de uma maneira geral. A partir dessa data fomos introduzindo melhorias, no sentido de aperfeiçoamento do produto.

Na barragem de Jupiá tivemos a seguinte distribuição de volumes de concreto, com respeito ao uso de pozolanas:

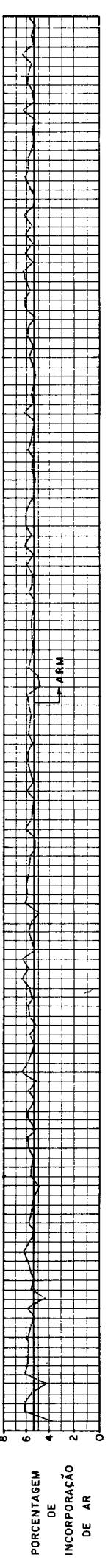
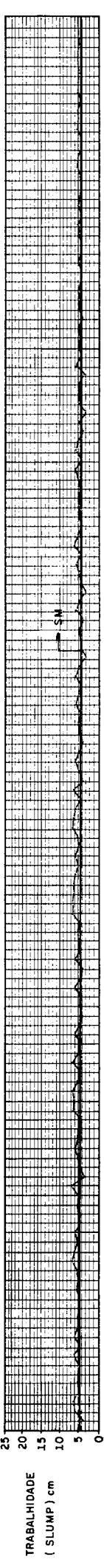
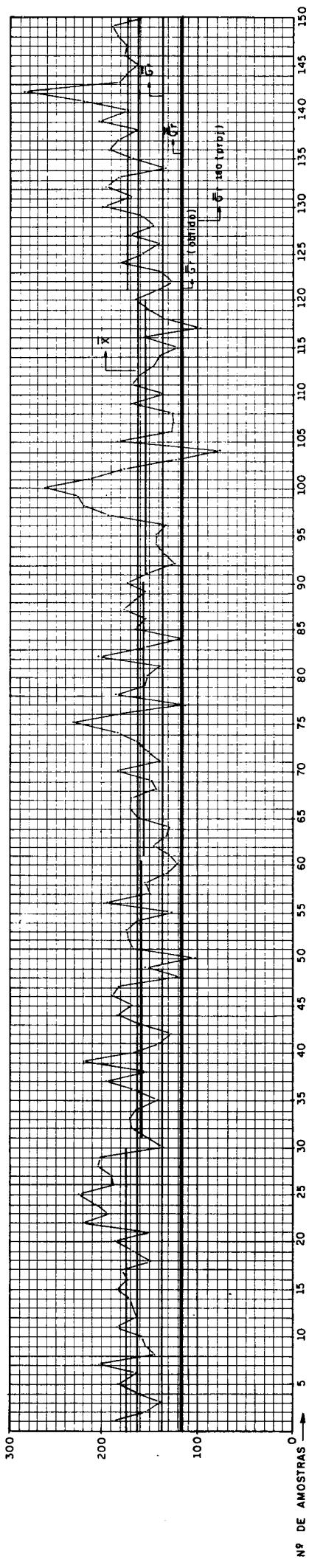
- 100.000 m³ de concreto, usando-se cimento de baixo teor em alcalis;
- 300.000 m³ de concreto, usando-se cimentos com ál calis ao redor de 0,7% e reposição por 20% de Fly - Ash.
- 1.000.000 m³ de concreto, usando-se cimentos com - alcalis ao redor de 0,7% e reposição por 20% de pozo lana artificial produzida em Jupiá.

Note-se que Jupiá é uma barragem de contra fortes, de gravidade, porém aliviada. Isto refere-se a peças estruturais relativamente esbeltas, exigindo concretos com boa resistência mecânica. Foi muito comum o uso de concretos com relação A/C ao re dor de 0,5. Como já comentamos, para esse tipo de concreto, os efeitos positivos da pozolana são poucos sensíveis.

Para a construção de Ilha Solteira, praticamente concluída, utilizamos agregados naturais - do Pontal do Sucuriú - Jupiá, transportados por hidrovia, através de comboios de barcaças. Como o agregado possuia as mesmas características daquele usado em Jupiá, houve a necessidade da utilização da pozolana. Em contraposição a Jupiá, Ilha Solteira é uma barragem tipicamente de gravidade, de grande mas sa, o que permitiu o uso de concretos de baixa resistência mecânica como a mistura 152-ET22, cujos valores de acompanhamento são mostrados no Desenho 7 (folha 28).

Em Ilha Solteira, em determinado período houve a necessidade de usarmos diatomito, devido à enorme quantidade de chuva que ocorreu em certa época, o que nos impediu uma estocagem prévia de argila seca, para pozolana.

Em termos de volume de concreto tivemos:
- 181.000 m³ de concreto, usando-se de 20% a 30% de diatomito em reposição ao volume sólido de cimentos



NOMENCLATURA DO TRAÇO	A/C eq.	SLUMP (cm)	AR INCORP. (%)	COMPOSIÇÃO DO TRAÇO DE CONCRETO — SATURADO SUPERFÍCIE SECA — Kg/m ³						
				CIM	POZ	AREIA	ÁGUA	C 1	C 2	C 3
152 E - T22 v	0,85	4 a 4,5	6,0	63	21	424	82	373	411	566
										531

$$\begin{aligned}
 G_t &= 100 \text{ (PROJETO)} \\
 G_t &= 118 \text{ (PROJETO x COEFICIENTE DE FORMA)} \\
 \bar{G}_t &= 139 \text{ (OBTIDO)} \\
 \bar{G}_t &= 117 \text{ (OBTIDO)}
 \end{aligned}$$

LABORATÓRIO DE CONCRETO	DESENHO
C.E.S.P — ILHA SOLTERRA	
CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO	-7-

com alcalis ao redor de 0,6%.

- 3.546.000 m³ de concreto, usando-se de 20% a 30% de Pozolana em reposição ao volume sólido de cimento - com álcalis ao redor de 0,6%.

O consumo médio global de aglomerante para a Obra de Ilha Solteira apresentou-se da seguinte/ forma:

- Cimento - 136 kg/m³
- Pozolana - 41 kg/m³, o que consideramos bastante econômico.

Para a obra da Usina de Água Vermelha, cujos estudos foram totalmente realizados no Laboratório de Concreto de Ilha Solteira, serão usados agregados naturais provenientes da Cascalheira do Aporé.

Usufruindo-se do "KNOW-HOW" adquirido e da economia observada em Ilha Solteira, no que se refere à produção de concreto, estudamos e poderão ser usados, nessa nova grande obra da CESP, concretos com até 40% de pozolana em reposição ao volume sólido de cimento.

7 - FABRICAÇÃO DE POZOLANA ARTIFICIAL EM JUPIÁ.

7 - FABRICAÇÃO DE POZOLANA ARTIFICIAL EM JUPIÁ:

7.1 - PROSPECÇÃO DA JAZIDA:

Dos materiais disponíveis na região, a escolha da matéria prima recaiu sobre as argilas cauli-níticas, bastante plásticas e com baixo conteúdo de areia. Essas argilas ocorrem com grande abundância - nos varjões no vale do Rio Paraná.

A análise granulométrica nos deu uma boa orientação na delimitação das jazidas. Logo no início ficou claro que argilas com uma porcentagem de material, retido na peneira nº 270, maior que 25%, resultavam, após calcinação, em pozolanas de pouca atividade.

Para a identificação e verificação da uniformidade da argila a ser explorada usou-se a "Análise Térmica Diferencial". Esse ensaio revelou-se eficiente para esse objetivo, conforme mostramos no Desenho 1 (fó^lha 10).

Ainda, para a seleção das jazidas, os materiais prováveis foram calcinados em Laboratório a diversas temperaturas e moidos também a diversas finuras. Os produtos assim obtidos foram submetidos a uma série completa de ensaios conforme citado anteriormente. Com o resultado desses ensaios pode-se escolher a matéria prima que mais nos convinha, e ainda, permitia-nos fixar a temperatura de calcinação do material no fôrno industrial.

7.2 - PROCESSAMENTO:

A fábrica de pozolana de Jupiá, foi opera da pela CESP desde sua implantação em 1965 até meados de 1973, quando a CESP vendeu-a ao grupo Itau-Corumbá. A partir dessa época a CESP, através do Laboratório de Concreto de Ilha Solteira, apenas controla a qualidade da pozolana produzida para as obras da CESP, em andamento.

Para a produção de pozolana, a argila é seca ao sol em um páteo próximo à fábrica, sendo recolhida a um barracão coberto. A fabricação inicia-se/ com a homogeneização e quebra do material através de rolos dentados e laminadores, como mostra o fluxograma do Desenho 8 (folha 33). Nessas condições a argila atravessa uma galeria de secagem sobre uma esteira de aço inoxidável. Essa secagem é feita a uma temperatura de 200°C conseguida pela circulação dos gases de tiragem do fôrno através da referida galeria.

Em seguida o material é introduzido no forno para a calcinação. O fôrno é rotativo tendo 2,5 m de diâmetro e 37 m de comprimento. A temperatura de calcinação é de 750°C e ocorre na terça parte da saída do fôrno. O óleo usado é o "Bunker Oil" e o consumo é de 70 kg de óleo por tonelada de pozolana.

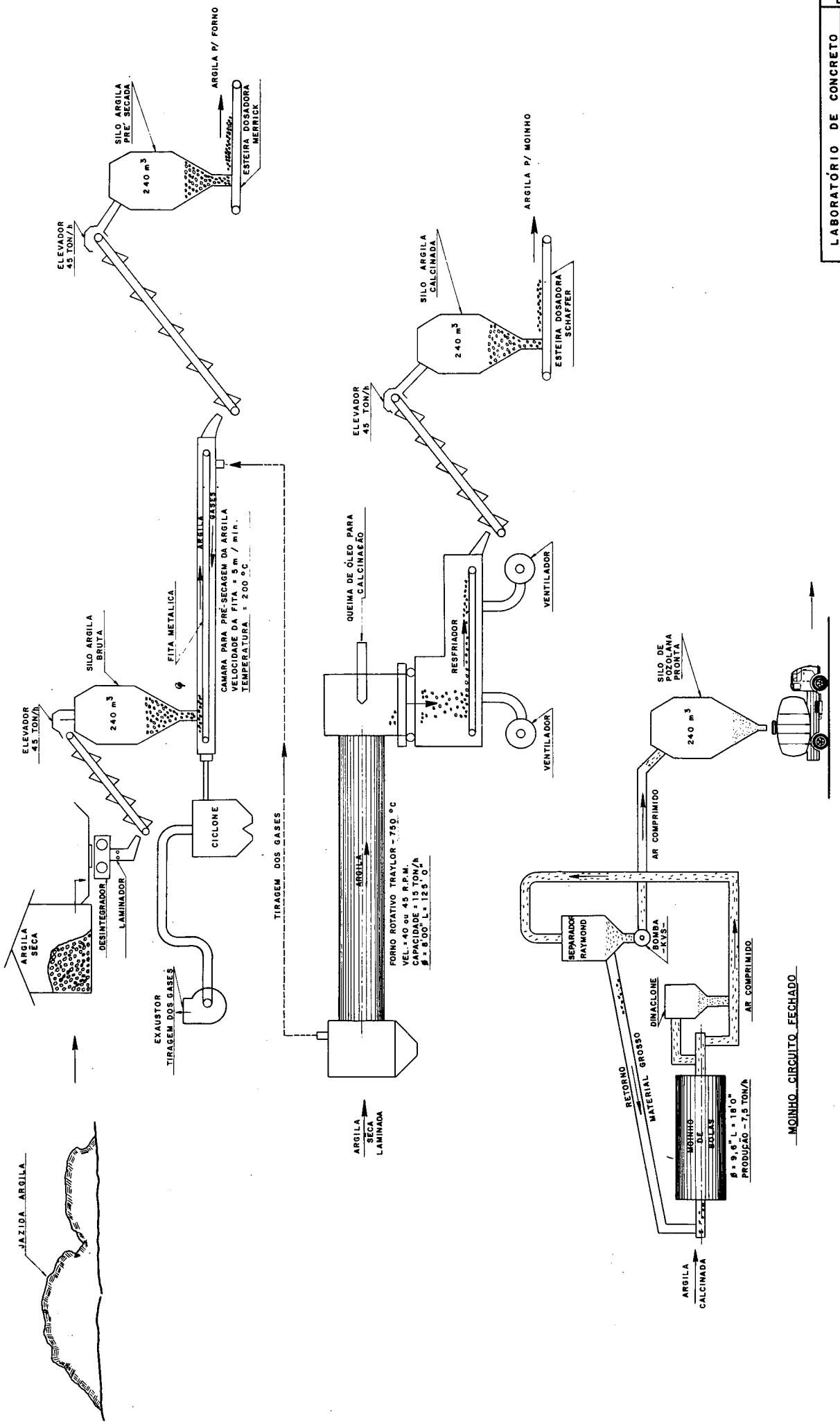
Após a calcinação o produto é resfriado - bruscamente em um resfriador a ar. Esse resfriamento é para impedir uma recristalização do material. Além disso, o resfriador em conexão com o fôrno proporciona uma pequena economia de óleo.

A última fase é a moagem do produto, que é feita por um moinho de bolas. Esse moinho é de circuito fechado, com um separador de ar.

A fábrica de Jupiá possui:

- Um moinho exclusivo para pozolana - Moinho 2 - com produção entre 7,5 a 10 t/h.
- Um moinho - Moinho 3 - montado em abril/1971 podendo moer ou pozolana ou clinker para cimento, com produção ao redor de 17 t/h.
- Um moinho - Moinho 1 - exclusivo para moagem de clinker para cimento, com produção ao redor de 20t/h.

A título de orientação, observação da qualidade, e eficiência do controle do produto, nos Desenhos 9 a 13 (folhas 34 a 38) e no Desenho 14 - (folha 39) apresentamos os valores médios mensais e



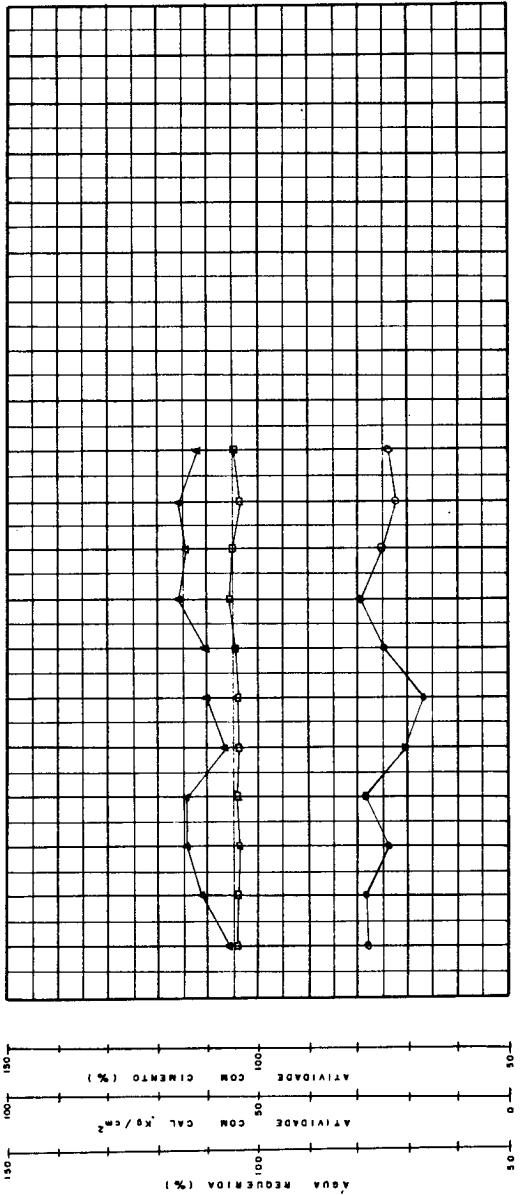
- 22 -

DESENHO	— 8 —
LABORATORIO DE CONCRETO C E S P — ILHA SOLTEIRA	FLUXOGRAMA FABRICAÇÃO DE POZOLANA — JUPIÁ

REFERÊNCIA /1969	TIPO DE POZOLANA	PERÍODO DIAS	DATA DE COLETA	DADOS ESTATÍSTICOS									
				MÉDIA	C. VARIABIL.								
DENSIDADE APARENTE (g/cm³)				2,57	2,59	2,50	2,45	2,49	2,49	2,56	2,59	2,63	2,57
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)				16,0	12,4	13,7	15,1	14,9	17,1	15,5	14,6	14,1	13,4
FINURA (%)	# 325 (% RETIDA)			4,1	3,8	3,7	3,5	3,9	3,9	3,6	3,5	3,6	3,5
MÉDIO (μ)	MÉDIO (μ)			5714	6173	6307	6711	6177	6119	6200	6513	6535	6415
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (cm²/g)				24,0	24,5	24,5	24,4	24,5	25,0	24,5	24,5	24,7	24,7
ÁGUA DE PASTA COM 100% CIMENTO (%)				27,5	28,4	28,3	28,6	28,9	29,1	28,5	28,7	29,0	28,8
CONSISTÊNCIA PASTA COM 20% POZOL (%)				0,060	0,041	0,080	0,071	0,021	0,007	0,006	0,005	-0,028	-0,028
EXPANSÃO PASTA COM 100% CIMENTO (%)				0,042	0,032	0,062	0,062	0,018	0,004	0,005	0,001	-0,015	-0,025
AUTO CLAVE PASTA COM 20% POZOL (%)				96,0	90,3	81,4	88,8	90,3	90,8	90,2	96,3	92,6	97,0
REATIVIDADE REDUÇÃO DA EXPANSÃO (%)				0,002	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,003	-0,002
COM ALCALIS EXPANSÃO DA ARGAMASSA (%)				104,3	104,2	103,8	104,0	103,8	104,1	104,4	105,4	105,0	103,6
ÍNDICES DE ÁGUA REQUERIDA (%)				77,7	77,7	74,3	78,0	70,3	66,7	74,7	79,3	75,0	72,6
ATIVIDADE COM CIMENTO (%)				56	61	64	64	57	60	60	66	64	66
POZOLANICA COM CAL (kg/m³)				0,006	0,007	0,002	-0,016	-0,015	-0,008	0,000	0,008	0,020	0,019
RETRAGÃO POR SECAGEM UNIDADE DA AMOSTRA (%)				0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,25	0,35	0,23	0,18	0,05
PERDA AO FOGO				0,90	0,90	0,85	0,85	0,80	0,45	0,95	1,20	1,38	1,71
ANALISE Si O₂				66,60	66,60	64,90	64,90	65,30	64,90	64,00	65,35	67,90	67,20
ANALISE Al₂O₃				23,5	23,5	26,54	26,54	26,60	26,76	27,58	26,12	22,26	22,85
QUÍMICA Fe₂O₃				6,85	6,85	6,36	6,36	6,40	6,84	6,52	6,28	6,21	4,45
Wg O				0,76	0,76	0,83	0,83	1,23	1,01	0,94	0,85	1,21	0,58
S O₃				29,90	29,90	32,90	32,90	33,00	33,60	34,90	32,40	28,47	27,30
Al₂O₃ + Fe₂O₃				96,50	96,50	97,80	97,80	98,30	98,50	98,10	97,75	96,37	94,30
Si O₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃													97,06
													1,3

LEGENDA

- - ATIVIDADE COM CIMENTO
- △ - ATIVIDADE COM CAL
- - ÁGUA REQUERIDA

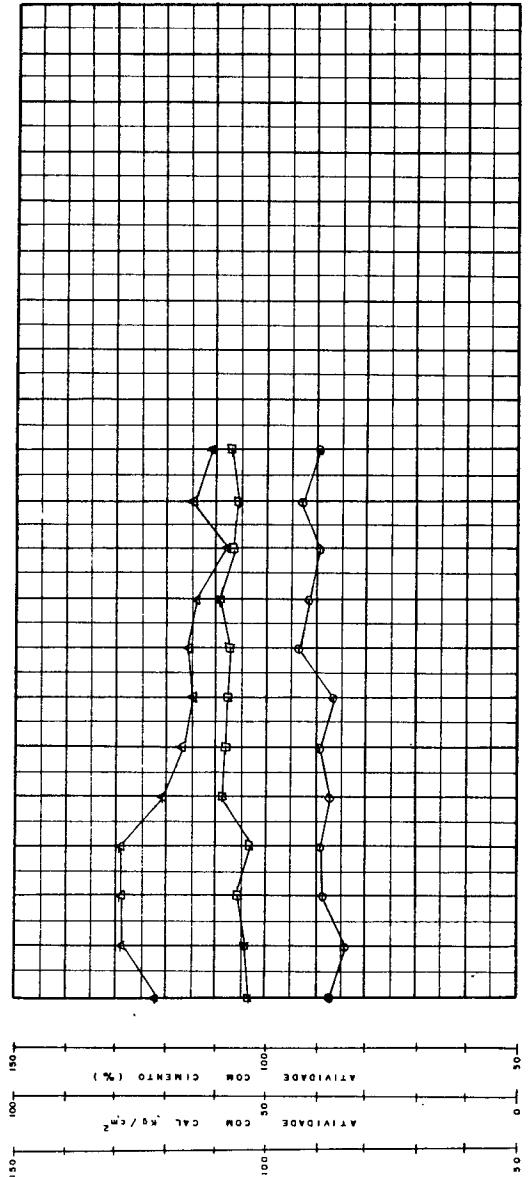


LABORATÓRIO DE CONCRETO
CESP - ILHA SOLTERRA
DESENHO
VALORES MÉDIOS-AMOSTRAS DAS
CENTRAIS DE CONCRETO - I. S.
- 9 -

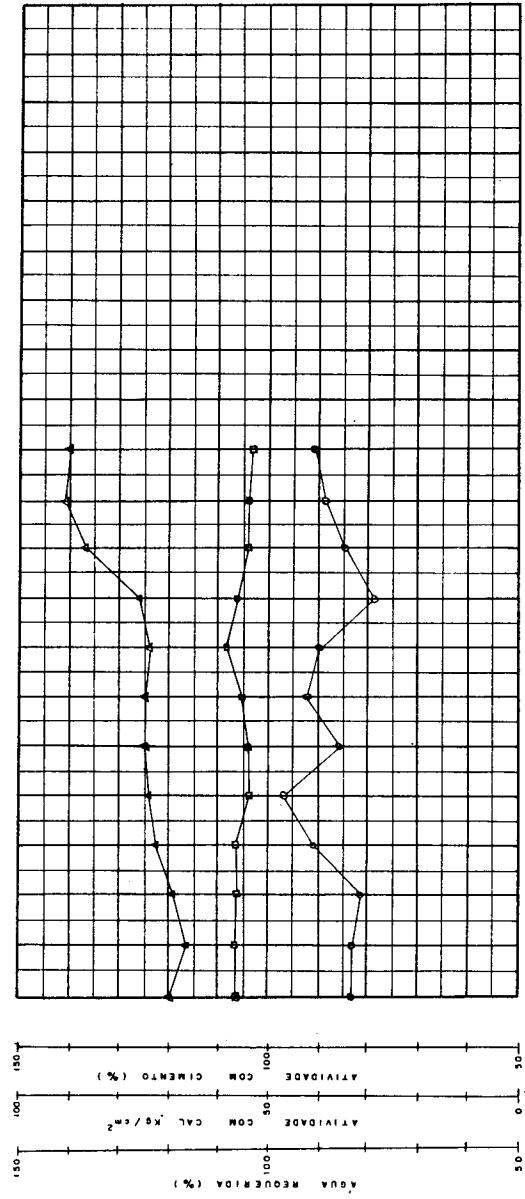
REFERÊNCIA /1970	JAN.	FEV.	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	DADOS ESTATÍSTICOS			
													MÉDIA	C. VARIABIL.		
TIPO DE POZOLANA																
PERÍODO	DIAS	DATA DE COLETA											-	-		
DENSIDADE APARENTE (g/cm³)													-	-		
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (kg/m³)	# 325 (% RETIDA)	12,5	12,4	12,0	16,1	15,0	14,6	16,9	16,0	14,4	15,2	14,5	2,51	2,50		
FINURA (%)	MÉDIO (U)	3,4	3,1	2,9	3,4	3,1	3,1	3,4	3,4	3,6	3,6	3,4	14,3	10,9		
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (cm²/g)	6885	7572	8064	6930	77412	7536	6929	6861	6962	6816	7310	7157	7314	5,8		
ÁGUA DE PASTA COM 100% CIMENTO (%)	24,6	24,6	24,7	24,0	21,0	21,0	24,0	24,0	24,2	24,2	23,8	22,0	24,0	2,9		
CONSISTÊNCIA PASTA COM 20% POZOL. (%)	29,7	30,5	29,4	29,4	29,8	29,9	28,6	28,6	29,2	29,0	28,6	25,6	28,8	4,0		
EXPANSÃO PASTA COM 100% CIMENTO (%)	-0,030	-0,018	0,022	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,050	0,050	0,052	0,052	0,041	85,4		
AUTO CLAVE PASTA COM 20% POZOL. (%)	-0,018	-0,007	0,039	0,042	0,050	0,053	0,052	0,052	0,035	0,051	0,072	0,041	0,039	66,7		
REDUTIVIDADE DA EXPANSÃO (%)	94,8	91,6	99,7	102,9	98,9	100,0	102,7	96,4	89,2	99,1	99,0	97,5	97,7	4,2		
EXPANSÃO DA ARGAMASSA (%)	0,002	-0,005	0,002	0,003	0,002	-0,005	0,001	-0,001	-0,006	-0,003	-0,003	0,001	-0,008	-450,0		
ÍNDICES DE ÁGUA REQUERIDA (%)	103,4	104,3	105,8	103,5	108,9	108,4	107,7	107,7	109,5	106,7	105,2	107,0	106,5	2,0		
ATIVIDADE COM CIMENTO (%)	75,2	68,3	78,4	78,7	74,4	78,4	71,4	83,7	81,3	79,9	82,9	78,5	77,6	5,9		
POZOLÂNICA COM CAL (kg/cm²)	72	79	79	79	71	67	65	66	64	58	65	61	69	10,4		
RETRAGÃO POR SECAGEM (%)	0,016	0,045	0,026	0,015	0,020	0,018	0,024	0,020	0,025	0,016	0,024	0,023	0,023	34,8		
UNIDADE DA AMOSTRA (%)	0,12	0,28	0,05	0,05	0,50	0,98	0,85	0,51	1,05	0,60	0,60	0,72	0,53	66,0		
PERDA AO FOGO (%)	2,14	2,18	1,87	1,95	1,58	1,85	1,50	1,60	1,40	1,70	1,80	1,75	1,75	14,9		
ANÁLISE SiO₂	68,22	67,60	68,87	67,90	66,75	65,60	64,20	66,00	67,90	67,40	66,00	65,10	66,79	2,1		
Al₂O₃					22,21	24,87	24,91	25,24	24,11	23,95	22,99	26,37	25,70	5,4		
Fe₂O₃					4,69	4,93	5,29	5,76	5,49	5,05	5,21	3,93	4,80	5,02	10,6	
QUÍMICA M g o	0,94	0,88	0,88	1,16	0,95	0,94	0,76	1,01	1,16	1,38	0,94	1,12	1,01	16,8		
S O₃					TRACOS TRACOS TRACOS TRACOS TRACOS TRACOS TRACOS											
(%) Al₂O₃ + Fe₂O₃					26,90	26,48	26,50	26,90	29,85	30,20	31,00	29,60	28,20	30,50	28,79	5,9
SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃					95,12	94,08	95,37	94,80	96,60	95,80	95,20	95,60	96,90	95,60	95,58	0,82

LEGENDA

- - ATIVIDADE COM CIMENTO
- △ - ATIVIDADE COM CAL
- - ÁGUA REQUERIDA

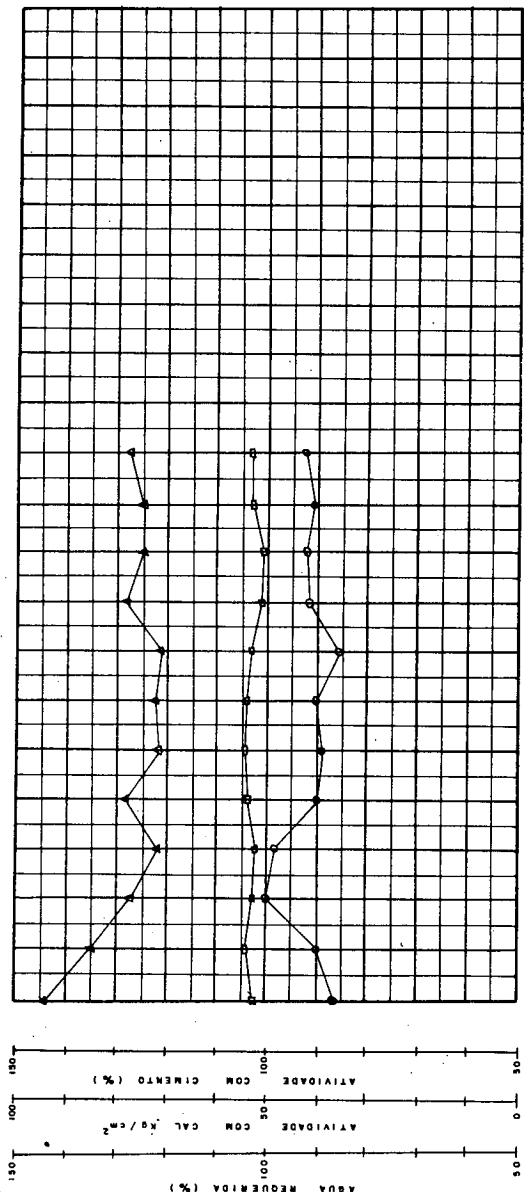


LABORATÓRIO DE CONCRETO CESP	ILHA SOLTERRA	DESENHO
VALORES MÉDIOS-AMOSTRAS DAS CENTRAIS DE CONCRETO - I.S.	-10-	



<u>LEGENDA</u>	O	- ATIVIDADE COM CIMENTO
A	Δ	- ATIVIDADE COM CAL
	□	- ÁGUA REQUERIDA

LABORATÓRIO DE CONCRETO	DESENHO
C E S P - ILHA SOLTEIRA	
VALORES MÉDIOS-AMOSTRAS DAS CENTRAIS DE CONCRETO - I.S.	-11-



LEGENDA

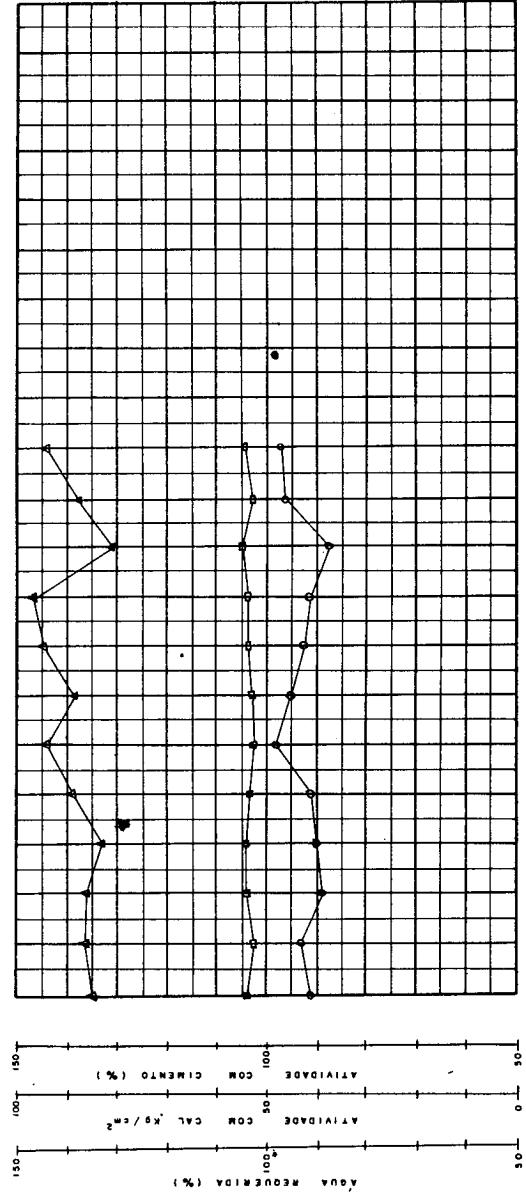
- ATIVIDADE COM CIMENTO
- ATIVIDADE CON CAL
- ÁGUA REQUERIDA

LABORATÓRIO DE CONCRETO
C E S P - ILHA SOLTEIRA

**VALORES MÉDIOS-ANOSTRAS DAS
 CENTRAIS DE CONCRETO - I.S.**

-12-

REFERÊNCIA /1973	JAN.	FEV.	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.			DADOS ESTATÍSTICOS
TIPO DE POZOLANA															MÉDIA C.VARIAÇÃO
PERÍODO DIAS															
DATA DE COLETA															
DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)															
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm ³)															
# 325 (% RETIDA)	2,52	2,55	2,54	2,54	2,52	2,51	2,49	2,53	2,55	2,49	2,57	2,58			2,53 1,2
FINURA (%) # MÉDIO (U.)	5,6	7,7	6,5	7,2	7,3	7,7	7,8	7,4	6,1	7,6	6,7	7,5			7,1 9,9
FINURA (%) SUPERFÍCIE ESPECIFICA (cm ⁻²)	9333	8780	9380	9514	9123	9510	9071	9318	9526	9871	9200	9111			9170 4,6
ÁGUA DE PASTA COM 100% CIMENTO (%)	22,2	22,2	22,2	22,2	22,6	22,6	22,8	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4			22,4 0,8
CONSISTÊNCIA PASTA COM 20% POZOL (%)	26,6	25,8	26,4	26,6	27,7	27,6	26,8	26,6	26,8	25,4	25,4	25,4			26,4 2,7
EXPANSÃO PASTA COM 100% CIMENTO (%)	0,115	0,115	0,115	0,115	0,116	0,116	0,162	0,081	0,081	0,096	0,096	0,096			0,107 19,6
AUTOMA PASTA COM 20% POZOL (%)	0,068	0,068	0,069	0,064	0,069	0,066	0,066	0,066	0,058	0,066	0,066	0,066			0,066 15,2
REATIVIDADE REDUÇÃO DA EXPANSÃO (%)	100,6	98,1	107,1	100,6	100,6	99,4	101,2	98,9	100,7	100,8	100,8	100,8			100,8 2,2
ALCALIS EXPANSÃO DA ARGAMASSA (%)	-0,004	-0,005	0,000	-0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	-0,009	0,001	0,001	0,001			-0,0008 -312,5
INDÍCOS DE ÁGUA REQUERIDA (%)	100,7	102,7	104,1	104,3	103,7	102,7	102,9	103,5	103,8	105,0	103,4	104,5			103,7 0,8
ATIVIDADE COM CIMENTO (%)	91,5	93,2	89,3	90,3	91,5	98,7	95,0	93,0	92,1	87,7	96,4	97,6			92,6 3,4
POZOLÂNICA COM CAL (kg/cm ²)	85	87	86	83	89	94	88	95	97	81	87	94			89 5,2
REFRAÇÃO POR SECAGEM															
UNIDADE DA AMOSTRA (%)	0,011	0,004	0,009	0,019	0,020	0,030	0,016	0,015	0,010	0,012	0,012	0,012			0,014 50,0
PERDA AO FOGO	0,25	0,20	0,45	0,10	0,10	0,10	0,20	0,25	0,10	0,50	0,50	0,50			0,27 62,9
ANÁLISE SíO ₂	1,40	0,90	2,10	1,65	1,80	1,50	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85			1,19 39,5
ANÁLISE Al ₂ O ₃	66,60	65,60	63,00	65,60	66,50	67,10	67,20	66,70	68,70	67,30	67,30	67,30			66,57 2,1
ANÁLISE Fe ₂ O ₃	23,69	25,19	27,66	25,42	24,60	24,47	23,68	25,24	22,82	23,92	23,92	23,92			24,54 5,1
QUÍMICA MgO	5,31	5,11	5,24	5,08	5,30	5,13	5,22	5,06	5,88	5,08	5,08	5,08			5,21 4,4
(%) Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	29,00	30,30	32,90	30,50	29,90	29,60	28,90	30,30	28,70	29,00	29,00	29,00			29,76 4,0
SíO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	95,60	95,80	95,90	96,10	96,40	96,70	96,10	97,00	97,40	96,30	96,30	96,30			96,33 0,5



LABORATÓRIO DE CONCRETO
C & S P - ILHA SOLTEIRA
VALORES MÁXIMOS AMOSTRAS DAS CENTRAIS DE CONCRETO - I-S.
-13-

LABORATÓRIO DE CONCRETO
C E S P — ILHA SOLTEIRA
GRÁFICO DOS VALORES OBTIDOS —
AMOSTRAGEM CENTRALIS DE CONCRETO
— I.S. —

1.973

ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.
ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.
ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.

ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.
ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.

ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.
ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.

ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.
ESPECIE: MCOIA NOV. OUT. NOV. DEZ.
JAN. FEVER. MAR. ABR. MAI. JUN. JUL. AGO. SET. OUT. NOV. DEZ.

ATIVIDADE COM CIMENTO
(%)ATIVIDADE COM CAL
(kg/cm²)ÁGUA REQUERIDA
(%)BLAINE cm³/gREDUÇÃO DA EXPANSÃO
(%)EXPANSÃO DA ARGAMASSA
(%)EXPANSÃO EM AUTO CLAVE
(%)P. F.
F e 2 0 3
A 1 2 0 3
S 1 0 2
(%)RETRAÇÃO POR SECAGEM
(%)EXPAÑSÃO DA ARGAMASSA
(%)EXPANSÃO EM AUTO CLAVE
(%)REDUÇÃO DA EXPANSÃO
(%)RETRAÇÃO POR SECAGEM
(%)LEGENDA

MÁXIMO OBTIDO
MÉDIO OBTIDO
MÍNIMO OBTIDO
LIMITE MÁXIMO
LIMITE MÍNIMO

1.971

1.972

1.973

1.974

1.975

1.969

1.970

anuais, a partir de 1969. As amostras referem-se à amostragem efetuada nas Centrais de Concreto da Obra de Ilha Solteira. Saliente-se a evolução dos valores da Atividade Pozolânica com Cimento, durante o período 1969 a 1973, o que representa os frutos das pesquisas dirigidas para a melhoria do produto.

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO

ENGº CHEFE DO SETOR DE LABORATÓRIOS DE ILHA SOLTEIRA

ILHA SOLTEIRA - ABRIL / 1975.

8 - BIBLIOGRAFIA.

8 - BIBLIOGRAFIA:

Este trabalho foi baseado no Relatório/C-08/70 "Palestra feita, em 17/03/70, na Associação Brasileira de Cimento Portland" pelo Engº José Florentino de Castro Sobrinho, Chefe do Setor de Laboratório, na época, e nos seguintes relatórios:

DO LABORATÓRIO:

- C-44-67 - "Estudo da Pozolana da área 3A".
- C-45-67 - "Estudo da Pozolana da área das Perdizes"
- Q-09-69 - "Considerações técnicas sobre a finura do cimento e pozolana de Jupiá".
- C-10-69 - "Pozolana do Rio da Casca".
- C-30-69 - "Ensaios com cinzas da Usina de Figueira".
- C-21-70 - "Possibilidade de fornecimento de pozolana a partir de Janeiro/1971".
- C-11-71 - "Estudo de qualidade e viabilidade de exploração de argila para ser utilizada como matéria prima da Pozolana".
- C-14-71 - "Estudo da fabricação da Pozolana".
- C-28-71 - "Estudo complementar da argila da Área I - Varjão Seco".
- C-63-71 - "Previsão de extração de argila para 1972"
- C-24-73 - "Verificação de propriedades de concretos variando-se a porcentagem de material pozolânico".
- C-39-74 - "Valores comparativos de concretos com materiais pozolânicos".

OUTROS:

- Concrete for long-time service in sulfate environment
 - Bureau of Reclamation.
- Concrete Manual U. S. Bureau of Reclamation.
- The Chemistry of Cement and Concrete - Frederick M. Lea.
- Fly Ash in Mass Concrete - A.C.I. - Robert Philleo.
- ASTM - C-618-71 - Fly Ash and Raw calcined natural - Pozzolans for use in Portland Cement Concrete.
- Métodos de ensaios - CRD - Corps of Engineers.
- Métodos de ensaios do A.S.T.M.

9 - I N D I C E

9 - ÍNDICE:

- 1 - Introdução**
- 2 - Resumo**
- 3 - Definições - Classificação - Aspectos técnicos**
 - 3.1 - Definição**
 - 3.2 - Classificação e Aspectos Técnicos**
- 4 - Ensaios e Especificações**
- 5 - Efeito da Pozolana nos Concretos**
- 6 - Uso de Pozolanas em Urubupungá**
- 7 - Fabricação de Pozolana Artificial em Jupiá**
 - 7.1 - Prospecção da Jazida**
 - 7.2 - Processamento.**
- 8 - Bibliografia**
- 9 - Índice**