

4

**DADOS ORIENTATIVOS PARA PRODUÇÃO E
CONTROLE DE CALDAS DE INJEÇÃO**

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

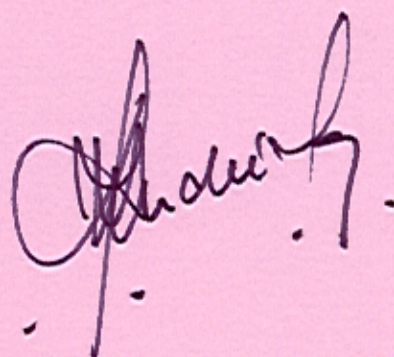
MARÇO / 75

X SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

CURITIBA

ABRIL

1.975



DADOS ORIENTATIVOS PARA PRODUÇÃO E CONTROLE
DE CALDAS DE INJEÇÃO EM PROTENSÃO

TEMA : IV

AUTORES : FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO
LUERCIO SCANDIUZZI

X SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

AUTORES: Luércio Scandiuzzi *

Francisco Rodrigues Andriolo **

TÍTULO : DADOS ORIENTATIVOS PARA PRODUÇÃO E CONTRO-
LE DE CALDAS DE INJEÇÃO EM PROTENSÃO.

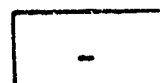
RESUMO: São reunidos neste trabalho dados obtidos em ensai-
os realizados sobre caldas de cimento. São apre-
sentados valores de diversas propriedades físicas,
quando da variação de:

- Proporção de mistura
- Tipos de cimento
- Aditivos
- Temperatura

Paralelamente são lembrados os controles que devem
ser feitos, quando da injeção em cabos protendidos.
Juntam-se desta maneira, a experiência de Laborató-
rio com os cuidados durante a produção.

* Engº - Supervisor do Laboratório de Concreto.

** Engº - Chefe do Setor de Laboratórios de -
Ilha Solteira.



DADOS ORIENTATIVOS PARA PRODUÇÃO E CONTROLE

-DE CALDAS DE INJEÇÃO EM PROTENSÃO

1 - INTRODUÇÃO: -

As caldas de cimento para injeção são suspensões que apresentam propriedades reológicas bastante variáveis em função do cimento usado, processo de mistura, tempo decorrido entre seu preparo e aplicação, aditivos usados, temperatura e outros fatores que normalmente acarretam problemas quando de sua aplicação.

Estas dificuldades podem ser sensivelmente minimizadas, - quando se dispõe de um Laboratório para determinação das propriedades da calda a ser usada bem como, de um controle de campo para verificação destas propriedades no instante da injeção, comparativamente com as determinadas no Laboratório.

Estes estudos se tornam tanto mais necessários a medida - que os conhecimentos e a homogeneidade dos materiais em pregados na preparação das caldas forem menores. Outro fator importante no estudo prévio das caldas são as especificações das Projetistas.

Normalmente as Projetistas responsáveis pelos cálculos - das peças pretendidas especificam as caldas, baseadas em experiências de obras anteriores e normas estrangeiras.

Estas especificações geralmente se restringem a limitar a relação água/cimento, a resistência mínima da calda a uma determinada idade, a potência da bomba a ser usada na injeção e, um determinado aditivo em certa porcentagem. Esquecem-se às vezes que na obra pode-se estar usando cimentos de marcas, finuras e qualidades diferentes, que a porcentagem de aditivo pode não ser a ideal, que as condições de temperatura são outras, enfim, uma série de fatores que exercem influência sobre as propriedades das caldas.

Baseados nas experiências realizadas em Ilha Solteira é - nosso objetivo fornecer neste trabalho, os resultados de

ensaios realizados, alguns dos problemas encontrados e tecer algum comentário sobre os resultados obtidos.

Antes porém da apresentação desses estudos e dos resultados de ensaios, daremos algumas definições sobre caldas e propriedades inerentes das mesmas, métodos e procedimentos de ensaios, baseados em pesquisas bibliográficas, adotados pelo Laboratório de Ilha Solteira.

Acreditamos que o fornecimento destes dados preliminares facilitará a compreensão dos problemas que podem ocorrer na injeção de cabos de protensão bem como, da necessidade dos ensaios de Laboratório, campo e do controle a ser efetuado.

2 - DEFINIÇÕES E COMENTÁRIOS: -

As caldas são definidas como sendo suspensões em água e, no caso específico de caldas para injeções em cabos protendidos, usa-se normalmente caldas de cimento acrescidas opcionalmente de aditivo.

Dentro de certos limites de proporção água/cimento, esta suspensão apresenta propriedades reológicas bastante semelhantes aos fluidos plásticos ou, fluidos de Bingham, por um tempo limitado após sua preparação.

É exatamente neste intervalo de tempo, que se tem interesse em conhecer e definir as propriedades de uma determinada calda, para se alcançar os objetivos de injetabilidade e resistência máximas desejadas.

Os fluidos Newtonianos quando em regime laminar de escoamento, apresentam gradiente de velocidade proporcional ao esforço aplicado, na forma $F = \eta \frac{dv}{dz}$, sendo η

definido como coeficiente de viscosidade dinâmica. Já nos fluidos plásticos, Bingham chegou a uma fórmula onde é mostrado que existe um fator f , que é necessário ser superado pelo esforço F para haver uma proporcionalidade com o gradiente de velocidade, na forma $F - f = U \frac{dv}{dz}$

Onde são definidos f = limite de escoamento e U = coeficiente de viscosidade plástica.

Observamos portanto que, se o cimento usado na preparação

da calda apresentasse características físico-químicas - constantes e ideais, o passo mais importante seria minimizar estes dois fatores ao máximo, jogando com a água / cimento e aditivo, para uma resistência mínima desejada. Não cabe porém neste trabalho, até onde é válido admitir a aplicação desta fórmula, no estudo das caldas. Superficialmente podemos lembrar que vários fatores tais como perda de cargas ao longo da bainha, curvaturas do cabo , granulometria do cimento, e também o fato desta não apresentar movimento laminar, afastam a realidade do problema, da solução teórica.

Para o laboratório, existem ainda as restrições impostas pelas projetistas que limitam os fatores da calda a ser usada.

Portanto, é dentro destes limites estipulados, que o laboratório deve procurar fazer estudos para diminuir ao máximo os fatores f e U .

Determinações tais como, retentividade, tempo de escoamento, estabilidade, tensão de ruptura, tempo de início de pega, e a viscosidade plástica, complementando com ensaios de modelos em escala real ou reduzida praticamente definem a calda e bomba ideais a serem utilizadas.

Neste ponto passamos a uma explanação sobre os objetivos dos ensaios geralmente efetuados em caldas de injeção e suas correlações com as propriedades reológicas.

2.1 - TEMPO DE ESCOAMENTO: -

É definido como sendo o tempo que um determinado - volume de calda leva para se escoar através de um cone padronizado. Este tempo de escoamento tem relação direta com a fluidez da calda, podendo ser usado como um controle desta propriedade.

Após o estudo e definição de uma calda, onde se procurou reduzir ao máximo a viscosidade tendo sempre em vista as demais propriedades requeridas, a observação desta propriedades é fundamental para o bom andamento da injeção.

Conforme veremos, o tempo de escoamento é um ensaio simples de ser realizado e, tendo em vista a sua fidelidade, é aconselhável a sua utilização no próprio local da injeção.

No laboratório, esses ensaios devem ser realizados/ para correlação entre a viscosidade da calda com o tempo de escoamento, para posterior controle no campo.

Acreditamos que o conhecimento das propriedades da calda apenas minutos após sua preparação deixa geralmente dúvidas sobre sua qualidade ao longo da tubulação. Um ensaio com material coletado na saída/ da bainha é bastante representativo para se observar até que ponto as perdas das propriedades originais podem ser representativas.

2.2 - ESTABILIDADE: -

Sendo as caldas constituídas de grãos em suspensão/ no meio líquido, um dos grandes problemas na injeção é causado pela sedimentação desses grãos antes de se iniciar a "pega". Podemos observar que este/ fenômeno pode ser responsável pela paralização da injeção, com a obstrução da bainha até a formação de vazios na parte superior da bainha.

A granulometria do cimento bem como a finura do mesmo são responsáveis diretos pela aceleração deste processo. Observamos que nem sempre podemos exigir cimento de boa qualidade no que se refere a finura e granulometria, por falta de cimentos especiais para caldas, como é o caso do "III S" de fabricação americana.

Além de um estudo prévio dos vários tipos de cimento passíveis de serem usados em caldas de injeção, o outro procedimento usualmente adotado para minimização dos efeitos da sedimentação e a adição de certa percentagem de aditivo expensor.

Este procedimento, além de minimizar os efeitos da sedimentação, auxilia no preenchimento dos vazios.

Um alerta cabível neste procedimento, se refere - as verificações que devem ser feitas quanto aos - efeitos secundários, de ordem negativa do aditivo. Verificar se este tem efeito corrosivo sobre os cabos, se a expansão não se faz sentir após o endurecimento da calda, se a queda de resistência não é representativa, são cuidados que devem ser tomados tanto na escolha do aditivo, quanto na quantidade/ adicionada.

A verificação da expansão e sedimentação é feita - de maneira simultânea, sendo um ensaio geralmente/ de laboratório, na determinação do cimento e aditivo adequados, para a calda em estudo e de campo, para controle destas propriedades.

2.3 - RETENTIVIDADE: -

E a capacidade da água que está entre os grãos do cimento se separar com maior ou menor facilidade dos mesmos pode ser verificada em princípio no ensaio/ de estabilidade.

Quando a calda é submetida a pressão, há uma tendencia da água se movimentar com maior rapidez que as partículas imersas. Como a água é responsável/ direta pela maior ou menor fluidez da calda, este/ abandono pode acarretar uma diminuição sensível e rápida da plasticidade. Acelera-se também o fenômeno da sedimentação das partículas devido à perda de estabilidade, podendo ter consequências que afetam desde a qualidade da injeção até, e não raro , a obstrução da canalização.

Observamos portanto que a estabilidade e a "secagem" ou retentividade da calda sob pressão são fenômenos correlatos, sendo influenciados pelos mesmos - fatores, principalmente finura e granulometria do cimento e, relação água/cimento.

2.4 - VISCOSIDADE PLÁSTICA: -

Os coeficientes reológicos dos fluidos plásticos -

podem ser determinados com relativa facilidade em/ laboratório, dispondo-se de um viscosímetro de ci lindros coaxiais.

As características e princípio de funcionamento - desses aparelhos fogem da objetivo deste trabalho/ e portanto, serão omitidos. Limitaremos nossos co mentários sobre a obtenção desses valores e sua va lidade na definição de uma calda para injeção.

Já havíamos comentado anteriormente que a fórmula/ de Bingham deixa de levar em conta fatores tais co mo perdas de carga, movimento turbilhonar, dimen-- sões das partículas, e outros fatores que desempe- nham papel fundamental nas características do flui- do.

Tendo isso em vista, a definição de uma bomba para injeção feita através da determinação dos coefici- entes reológicos pelo viscosímetro de cilindros - coaxiais, nos parece não ser senão uma aproximação bastante grosseira da realidade mesmo porque, o - próprio sistema de funcionamento de bombas de mes- ma potencia pode exercer influência no bom andamen- to dos trabalhos de injeção.

Comentamos já que a calda quando submetida a pres- são tende a alterar suas prppriedades originais. - Vemos portanto que a aplicação de uma pressão ide- al merece cuidados maiores na sua definição. A - utilização de uma bomba de alta pressão, definida/ pelos coeficientes reológicos acrescidos de um fa tor de segurança pessimista pode acarretar a seca- gem mesmo em caldas consideradas de boa qualidade, com todas as conseqüências que já expusemos.

Acreditamos que a montagem de um sistema simulador das condições reais do trabalho de injeção é a com plementação ideal do estudo, para garantir a quali- dade da injeção e eliminar com antecedência, pro-- blemas que podem inclusive alterar o cronograma de protensão.

Achamos importante o conhecimento da viscosidade -

plástica da calda, para estudos de minimização da -
mesma, e, correlação com o tempo de escoamento para
controle de campo mas não, partir somente dos valo-
res fornecidos pelo viscosímetro para definição da
calda e da bomba a serem utilizadas.

2.5 - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO:

A resistência da calda, principalmente quando espe-
cificada para baixas idades, é um dos fatores prin-
cipais na limitação da água/cimento e do aditivo, -
tanto em tipo como quantidade a ser empregado.

Um controle rigoroso sobre estas resistências pode
levar a se trabalhar com um coeficiente de seguran-
ça menor que o previsto como consequência pode-se -
usar uma relação água/cimento e, porcentagem de adi-
tivo nos limites máximos que atendam uma maior flui-
dez da calda, minimizando os problemas da injeção.

Para isto, aconselhamos a moldagem de corpos de pro-
va não só da calda preparada antes da injeção mas -
principalmente de material recolhido na saída da -
bainha. Este procedimento oferece condições de aná-
lise da qualidade, em termos de resistência da cal-
da, ao longo de toda a tubulação.

2.6 - TEMPO DE PEGA:

O início das operações de complementação das peças/
protendidas se faz após o endurecimento da calda na
bainha. Com o conhecimento do tempo de pega, a recu-
peração de registros das conexões de injeção e saí-
da da calda podem ser iniciadas sem que se espere -
por um tempo maior que o necessário.

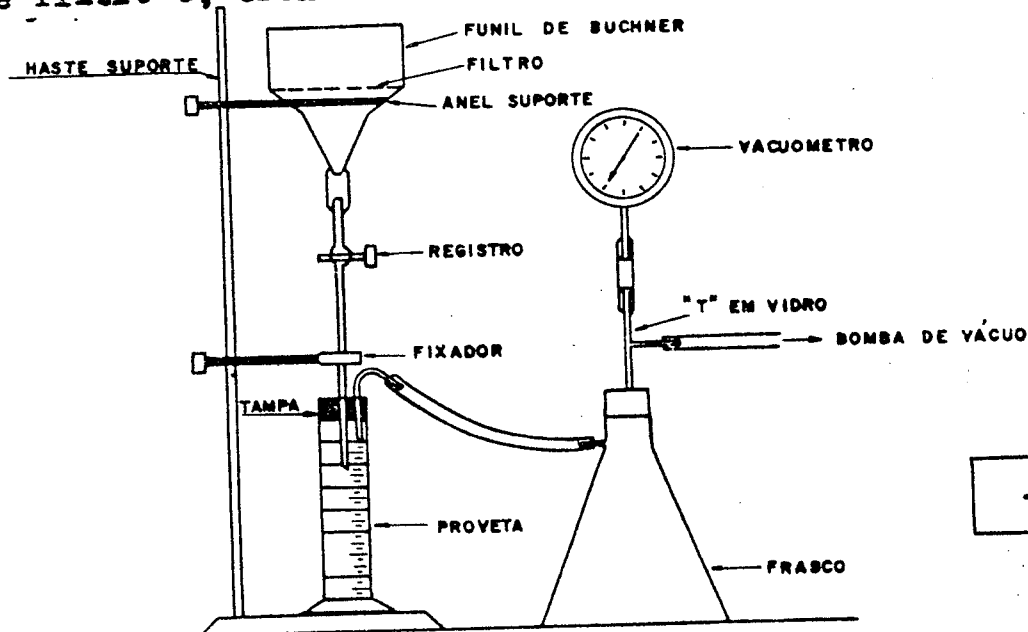
3 - ENSAIOS:

A apresentação detalhada dos métodos e procedimentos para os ensaios de definição e controle das caldas torna-se desnecessária neste trabalho, por tratar-se de traduções de fácil obtenção. Faremos exposições superficiais e algumas observações que julgamos necessárias.

Para determinação do tempo de pega usamos agulha do aparelho de Vicat. Com relação a este ensaio, temos apenas a alertar quanto à determinação do tempo de pega em caldas com aditivos. Normalmente os aditivos expansores provocam a formação de uma camada porosa na superfície do molde, falseando desta forma a penetração da agulha e consequentemente o resultado do ensaio. É conveniente portanto que a determinação do tempo de pega seja feita na calda controle ou padrão, como denominamos, sem aditivo.

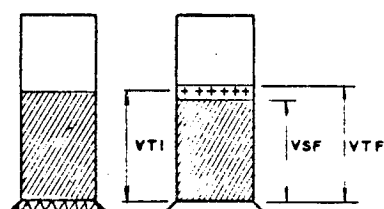
Há ainda um outro ensaio que pode ter o resultado falseado pela formação dessa camada porosa, se a calda não está confinada. O uso de cilindros de 5 x 10 cm para moldagem de corpos de prova é o procedimento usual para controle de resistência da calda. Durante o endurecimento, é conveniente que a calda fique confinada, pela colocação de uma chapa metálica sobre o cilindro, evitando-se assim a formação da camada porosa que pode levar à obtenção de resultados de resistência à compressão irreais.

Para determinação da capacidade da calda reter a água quando sob pressão, apresentamos abaixo um esquema de ensaio. São necessárias peças tais como funil de BUCHNER, bomba e medidor de vácuo em pol/mercúrio, cilindro graduado, suporte metálico, registro, rolhas vedantes, papel de filtro e, cronômetro.



É aconselhável que o filtro esteja umedecido com água antes de entrar em contato com a calda e que o funil de Buchner esteja nivelado e livre de vibrações durante o ensaio, que se resume em verificar, após a aplicação do vácuo, qual o tempo necessário para se obter 60 ml de água/ no cilindro graduado.

A sedimentação e a expansão são feitas simultaneamente - sendo necessário apenas um cilindro graduado conforme esquematizamos.



ESTABILIDADE

VTI - VOLUME TOTAL INICIAL
 VSF - VOLUME SÓLIDO FINAL
 VTF - VOLUME TOTAL FINAL

$$\% \text{ EXP} = \frac{VTF - VTI}{VTI} \times 100\%$$

$$\% \text{ SED} = \frac{VTF - VSF}{VTI} \times 100\%$$

CALDAS SEM ADITIVOS
 $VTI = VTF$

Observamos que este ensaio tem grande utilidade na definição do aditivo a ser empregado sendo complementado com maior rigor no que tange à estabilidade, pelo ensaio de retentividade.

A determinação do tempo de escoamento adotado no Laboratório de Ilha Solteira pelo cone especificado pelo "Corps of Engineers" por solicitação da projetista foi usado também o cone de Marsh.

O ensaio especificado pelo CRD, se resume em determinar o tempo que um volume conhecido de calda leva para se escoar enquanto que pelo cone de Marsh, é o tempo para se obter por escoamento, um volume de 1000 cm³ de calda (diferente do volume do cone).

Os tempos obtidos por um e outro método, para uma mesma calda, são diferentes e portanto, não se deve usar indistintamente um ou outro cone no controle da calda.

As variações observadas de ensaio para ensaio em caldas -

de mesmas características são menores no cone especificado pelo CRD..

Acreditamos que este fato se dá pela imprecisão na obtenção do volume exato de 1.000 cm^3 especificado pelo cone - de Marsh, quando o cronômetro deve ser travado enquanto - no outro ensaio, e mais fácil verificar o momento de término de escoamento, para travamento do cronômetro.

4 - ESTUDOS E CONTROLES REALIZADOS NO LABORATÓRIO E OBRA DE - ILHA SOLTEIRA: -

4.1 - ADITIVOS EXPANSORES E PLASTIFICANTES: -

A adição de aditivos expansores nas caldas de injeção é o procedimento normal que se adota para o combate à sedimentação. Afim de verificar a performance de alguns aditivos comumente usados e, a sua influência não só no combate a sedimentação, mas - também as variações das demais propriedades das caldas, foi feito um estudo mantendo-se constante o cimento, variando a quantidade de aditivo e, a relação A/C.

Para tanto, variou-se p/ um mesmo aditivo a relação A/C de 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55 e 0,60 e ainda, a porcentagem de aditivo de 0,0 - 0,5 e 1% em relação ao peso de cimento.

Na tentativa de melhorar a fluidez, foram feitos - testes de caldas nas quais foi adicionado 0,2%, em relação ao peso de cimento, de um aditivo plastificante.

Este estudo nos permitiu o traçado de curvas que caracterizaram perfeitamente o comportamento das propriedades das caldas com a variação da água/cimento. Para efeito ilustrativo, e de comentários dos resultados obtidos, fornecemos no desenho nº 1 as curvas típicas obtidas para uma das famílias estudadas.

Observa-se que as curvas obtidas para tempo de escoamento, retentividade e viscosidade plástica obedecem leis de variações com a água/cimento bastante -

semelhantes.

Este fato ratifica de forma bastante convincente o que já foi exposto anteriormente ou seja, os fatores que exercem influência sobre estas propriedades são praticamente os mesmos e, nos leva a acreditar de forma mais segura quanto a fidelidade do ensaio de tempo de escoamento. Isto simplifica bastante os ensaios de controle no campo, que podem ser resumidos em ensaios rápidos e simples tais como tempo de escoamento, estabilidade, resistência a compressão e temperatura da mistura. Observamos que mantidas as características determinadas por estes ensaios relativas às previamente de finidas pelos estudos de laboratório e simulação de serviços, podemos praticamente garantir que não está havendo variações nas características de injetabilidade ótima, previamente determinadas.

Um outro fato que chama a atenção, e que consideramos particularmente importante, é quanto a aumento acentuado no tempo de escoamento quando a relação água/cimento cai para valores menores que 0,45. Isto nos alerta quanto ao cuidado rigoroso que deve ser dado nas quantidades de componentes que devem ser adicionados para obtenção da calda previamente determinada.

Observamos que nesta faixa principalmente, pequenas variações nas proporções da mistura podem diminuir sobremaneira a fluidez da calda, com as consequências já comentadas.

Acreditamos inclusive, que quando a relação A/C começa a atingir valores em torno de 0,35, as caldas não apresentam mais características dos líquidos de Bingham e nesta faixa, nos parece que a mistura de água e cimento se aproxima muito mais de uma pasta. Isto trará seguramente problemas para injeção, caso se consiga injetá-la com as técnicas atuais em uso.

Analisando-se agora os benefícios trazidos pelos -

aditivos estudados, pudemos verificar que os efeitos prejudiciais da sedimentação podem ser perfeitamente combatidos pelo uso adequado tanto quantitativo quanto qualitativo dos mesmos.

Com relação à qualidade, faremos um pequeno parentese para exemplo, tendo em vista que um dos aditivos estudados, não apresentou expansão.

Este aditivo havia sido indicado para ser usado como expensor nas caldas de injeção na protensão do vertedouro de superfície, em uma das obras em construção por parte da CESP.

A coleta da amostra foi feita na recepção do material e os estudos iniciados imediatamente após esta coleta eliminando desta forma, os possíveis efeitos prejudiciais de estocagem.

Nas várias caldas estudadas usando-se a porcentagem de aditivo especificada pelo fabricante e posteriormente o dobro da especificada, não foi observada qualquer expansão. Apenas uma pequena minimização nos efeitos de sedimentação e tempos de escoamento foi notado, o que nos leva a crer que o aditivo em questão trabalhou talvez como defloculante e não como expensor de acordo com as especificações do fabricante.

Alertamos portanto para o uso de expansores, sem uma análise feita através de ensaios de laboratório para comprovação dos efeitos e comportamento do aditivo especificado para uso.

Com relação a possíveis ataques nocivos à armadura e bainha de protensão, adotamos a determinação do PH da calda obtida, fazendo restrições apenas as caldas ácidas.

Não nos parece correto a especificação prévia da porcentagem de aditivo a ser usada. Tendo-se em vista que o uso da menor relação A/C se deve à tentativa de minimização da sedimentação e que, os expansores agem exatamente para eliminar esses efeitos, podemos determinar uma calda com maior fluidez e combater a sedimentação pelo uso adequado de

aditivos expansores.

Não vemos inconveniente algum neste procedimento - pois, apesar da queda de resistência que os expansores normalmente causam, esta não nos pareceu representativa para os valores que as projetistas - exigem às primeiras idades.

O uso de caldas mais fluidas pelo aumento da A/C - além de facilitar a injeção faz com que fujamos um pouco da zona onde pequenas variações desta rela-ção modificam significativamente a fluidez da calda dando desta forma, maior margem de segurança - nos trabalhos de campo.

A melhora da qualidade da calda pela adição de uma porcentagem de aditivo plastificante pode ser nota da na diminuição dos tempos de escoamento e viscosidade plástica pelos resultados obtidos em caldas preparadas com os mesmos componentes, nas mesmas - proporções quando foram ensaiadas caldas sem qual-quer aditivo, com plastificante e, com plastificante e expansor.

Este último procedimento nos leva a obter caldas - de mesma qualidade em termos de fluidez e sedimentação com relações A/C menores que as necessárias, sem o uso dos aditivos.

4.2 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA FLUIDEZ DA CALDA: -

Um dos problemas enfrentados durante a injeção - dos cabos de protensão no vertedouro de superfície da usina de Ilha Solteira, foi a temperatura atingida pela calda no momento da injeção.

A definição prévia das características da calda/ a ser usada na injeção desses cabos, foi feita - em sala climatizada com temperatura variando entre 23 e 27°C.

Durante a execução dos serviços no campo, foi verificado, pelos ensaios de controle das características da calda em uso, que esta estava atin-gindo temperaturas bastante elevadas (>35,8°C) -

com variações sensíveis dos tempos de escoamento - relativos aos determinados no laboratório.

Confirmados os resultados de campo o Laboratório iniciou uma série de ensaios para verificação da variação da fluidez da calda com a temperatura.

No campo, a perda das características ótimas de injetabilidade da calda em uso foi confirmada pelo entupimento de dois cabos já protendidos (Vertedouro de superfície nº 2).

Foi então necessário um reestudo de simulação de serviço das condições reais de injeção. Montou-se uma estrutura tubular contendo bainhas e cabos nas posições limites do trabalho no campo, para injeção de caldas com temperaturas de 37°C.

Os resultados de ensaios com caldas a várias temperaturas podem ser vistos no desenho nº 2. Observa-se que os efeitos de temperatura são agravados - com a minoração da relação água/cimento, sendo bem menos sensíveis estes efeitos em caldas com relação A/C > 0,45.

Lembramos porém que as caldas são geralmente definidas na faixa mais crítica ou seja, é procedimento normal especificar-se caldas com relação A/C - menor que 0,40.

Tendo em vista os resultados de ensaios de simulação de serviço e, variação dos tempos de escoamento com caldas a temperaturas diferentes, optou-se pela utilização das seguintes caldas, na injeção - dos cabos do vertedouro de superfície de Ilha Solteira, em função do cabo a ser injetado:

- Cabos verticais

- Ancoragem

- Água/cimento $\leq$ 0,40 sem expensor

- 2ª etapa

- Água/cimento $\leq$ 0,45 com 0,8% de expensor em relação ao peso de aglomerante.

- Cabos horizontais das vigas munhão

- Água/cimento $\leq$ 0,40 com 0,8% de expensor.

- Cabos principais

Água/cimento $\leq 0,42$ com 0,8% de expensor.

Afim de ratificarmos os problemas que podem ocorrer quando a calda a ser usada na injeção não teve suas características bem definidas em função do trabalho a ser executado, fornecemos a solução adotada quando do entupimento dos cabos do VS-2. Foi introduzido um fio sonda para ser determinado o ponto exato onde ocorreu o entupimento.

Após o conhecimento do local onde se deu a obstrução, o concreto envolvente da bainha foi rompido, e, um furo cuidadoso foi feito na mesma. Através deste furo, os serviços de injeção nos cabos foram complementados pela injeção de uma calda de alta fluidez (A/C = 0,50 em caráter excepcional) com a água usada no preparo da calda, mantida à temperatura de 10 a 15°C.

4.3 - VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DA CALDA EM FUNÇÃO DO TIPO DE MISTURA: -

O tipo de mistura empregado na preparação da calda é um fator de influência considerável.

A verificação das variações das propriedades da calda em função do tipo de mistura, manual ou mecânica, foi verificado pelo preparo de caldas onde se eliminou a influência de fatores estranhos, pelo uso do mesmo cimento, relação A/C e temperatura e volume de calda. O misturador usado era provido de um "Variac", permitindo desta forma a verificação da influência da rotação de mistura e o tempo necessário para completa homogeneização da calda e de floculação do cimento.

Foram feitos ensaios com relações água/cimento - 0,4, 0,5 , 0,6 e 0,8.

Os critérios utilizados para mistura manual foram os especificados pelo MB-1 da ABNT ao passo que a mistura mecânica foi feita por um tempo de 3 min. a 1200 e 2000 R.P.M.

Observou-se que o tipo de mistura se faz sentir -

de maneira mais sensível nas caldas de baixa relação água/cimento (0,4 a 0,5) sendo que a medida - que cresce esta relação, a influência do tipo de mistura diminui sensivelmente, desaparecendo praticamente para relações A/C acima de 0,7.

As duas propriedades que mais foram afetadas pela maneira de ser preparada a calda, foram os tempos de pega e escoamento. Nesta última, em alguns dos ensaios realizados o volume colocado dentro do cone não chegou a escoar totalmente devido a alta viscosidade apresentada pela calda.

No preparo das caldas para a injeção dos cabos no vertedouro de superfície de Ilha Solteira, a rotação utilizada foi de 1 200 rpm que se mostrou satisfatória.

4.4 - VERIFICAÇÃO DA PERFORMANCE DA BOMBA PARA INJEÇÃO:

Afim de verificar a performance da bomba injetora/ a ser usada, foi programado uma série de ensaios - que visavam simular os possíveis problemas que poderiam ser encontrados quando da injeção das bainhas de protensão das estruturas dos vertedouros da obra de Ilha Solteira.

Para a esquematização e execução dos ensaios, foram impostas certas condições tais como:

- Calda com sedimentação mínima.
- Altura manométrica e posição da bainha semelhante à ser enfrentada nas estruturas a serem pretendidas.
- Necessidade de lavagem da bainha e posterior reinjeção.
- Injeção descontínua (com paradas intercaladas) , supondo avarias durante a mesma.

Foram realizados ensaios de tempo de escoamento e sedimentação das caldas ensaiadas, com amostras coletadas antes da injeção e na saída da bainha. Tal

procedimento nos permitia verificar as variações das características das caldas em função da bomba e, da relação água/cimento para um mesmo tipo de cabo com isto, foi possível determinar o tipo de bomba e a fluidez limite da calda a ser usada de acordo com a posição e comprimento da bainha a ser injetada.

Após estes testes, ficou definido o seguinte esquema de trabalho de injeção em função da posição do cabo:

Cabos longitudinais:

Bomba injetora Mixopress; rotativa (turbina) com motor de 3 HP e saída em T permitindo retorno da calda, pressão máxima 12-15 kg/cm².

Cabos longitudinais e verticais:

Bomba injetora Triplex, com motor 4 HP 3 pistões - verticais acionados por "arvore" e saída em T permitindo retorno da calda.

Cabos horizontais:

Bomba injetora E.B.F.; rotativa (turbina) com motor 3 HP e saída em T permitindo retorno da calda, pressão máxima de 10-12 kg/cm².

Os dados fornecidos são de ordem genérica e foram adicionados a este trabalho para uma avaliação da importância dos testes de bomba que devem ser feitos em função da calda a ser utilizada.

O uso de um mesmo tipo de bomba se torna inconveniente pois seria necessário a definição de várias caldas que atendessem as características do aparelho de injeção e, posição e comprimento da bainha a ser injetada.

Acreditamos ser mais fácil e menos arriscado a produção e o controle de um único tipo de calda, usando bombas de características e potências diferentes, em função da bainha a ser injetada.

4.5 - VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS CALDAS COM O TIPO DE CIMENTO: -

Este estudo visava verificar a influência do tipo/ de cimento nas propriedades das caldas. Para tanto, foram produzidas caldas com relações A/C variando nas proporções 0,4; 0,5; 0,6 e 0,8 e determinadas todas as suas propriedades.

O uso de um mesmo aditivo expensor, de qualidades/ já conhecidas pelo Laboratório, foi o procedimento adotado para verificação da expansão e influência nas demais propriedades das caldas produzidas. Os cimentos usados nos testes foram Corumbá (moido em Jupiá), Santa Rita, Maringá, Votoram e Proletari (Russo).

Este estudo permitiu verificar que a finura do cimento afeta as condições de estabilidade das caldas nas mesmas relações água/cimento.

Cimento que apresentam porcentagens altas retidas/ nas peneiras $\frac{1}{2}$ 200 e $\frac{1}{2}$ 325, apresentam maiores - sedimentações.

A expansão provocada por um mesmo aditivo, em caldas com mesma relação A/C varia com o cimento usado.

Os tempos de pega variam com o cimento e, com a relação água/cimento.

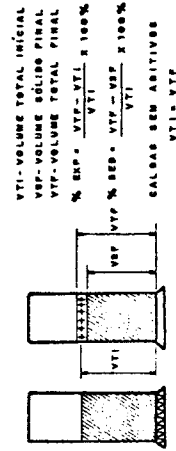
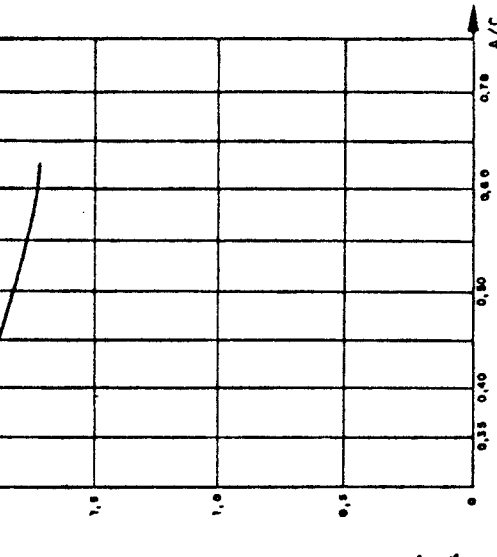
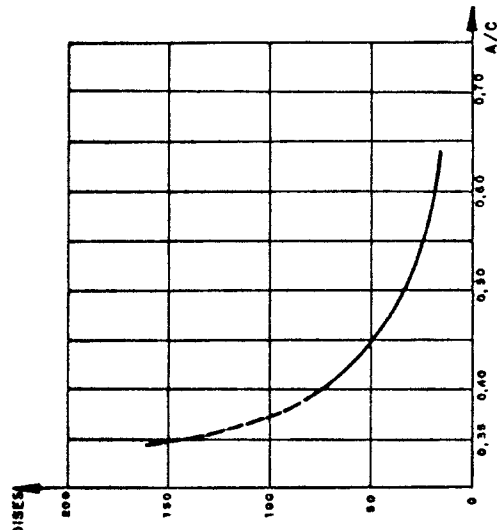
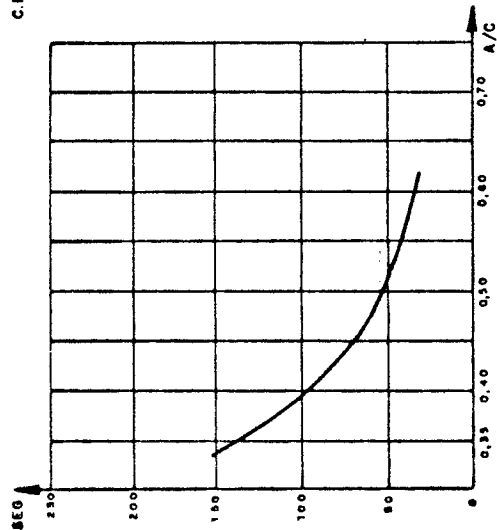
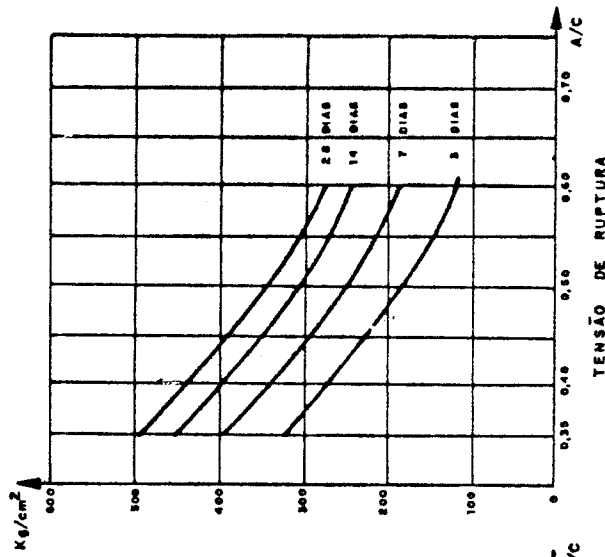
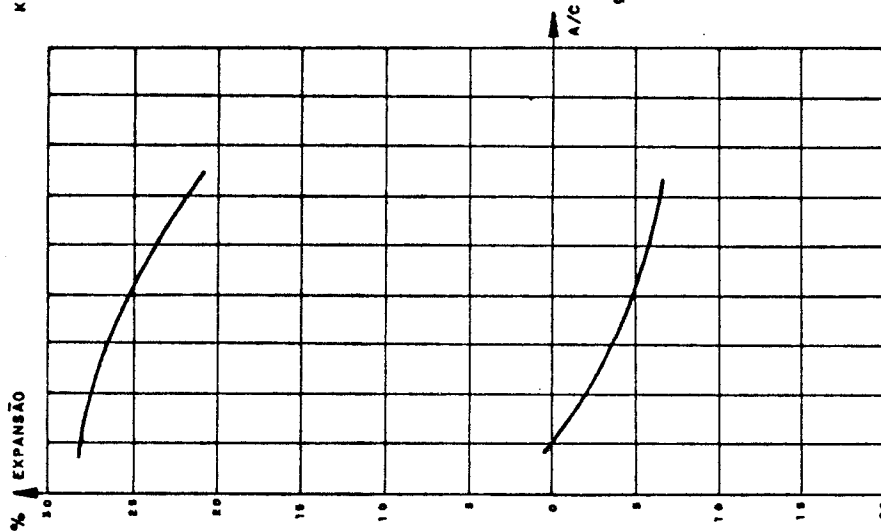
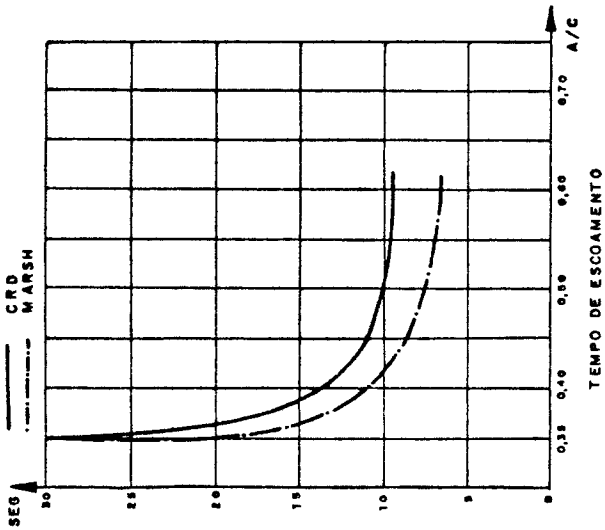
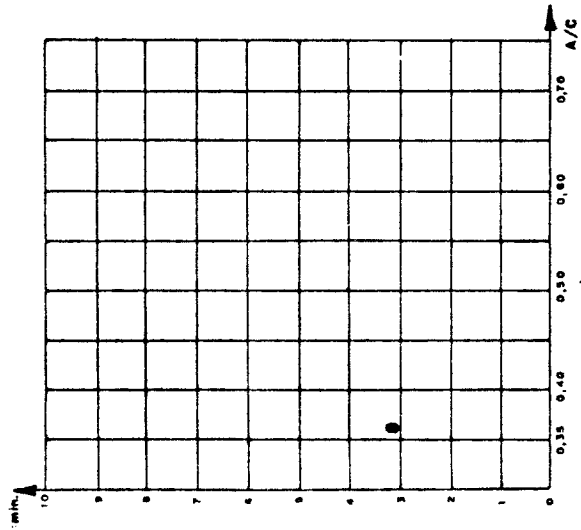
Estes dados, nos orientam no sentido de que a obtenção da calda que apresenta melhores características de injetabilidade varia não só com os aditivos empregados e relação A/C mas também, com as características do cimento usado.

O controle das propriedades do cimento definido para produção da calda é um procedimento que deve - ser adotado pelo Laboratório, visando minimizar - possíveis variações da fluidez e estabilidade da calda.

5 - COMENTÁRIOS FINAIS: -

Observa-se pelos dados de ensaios realizados no Laboratório e no campo, durante a protensão do vertedouro de superfície em Ilha Solteira, da importância que deve ser dada na definição e controle das propriedades das caldas de injeção bem como dos ensaios de serviço simulado antes do início da injeção propriamente dita.

POZALUM - 1.0 %

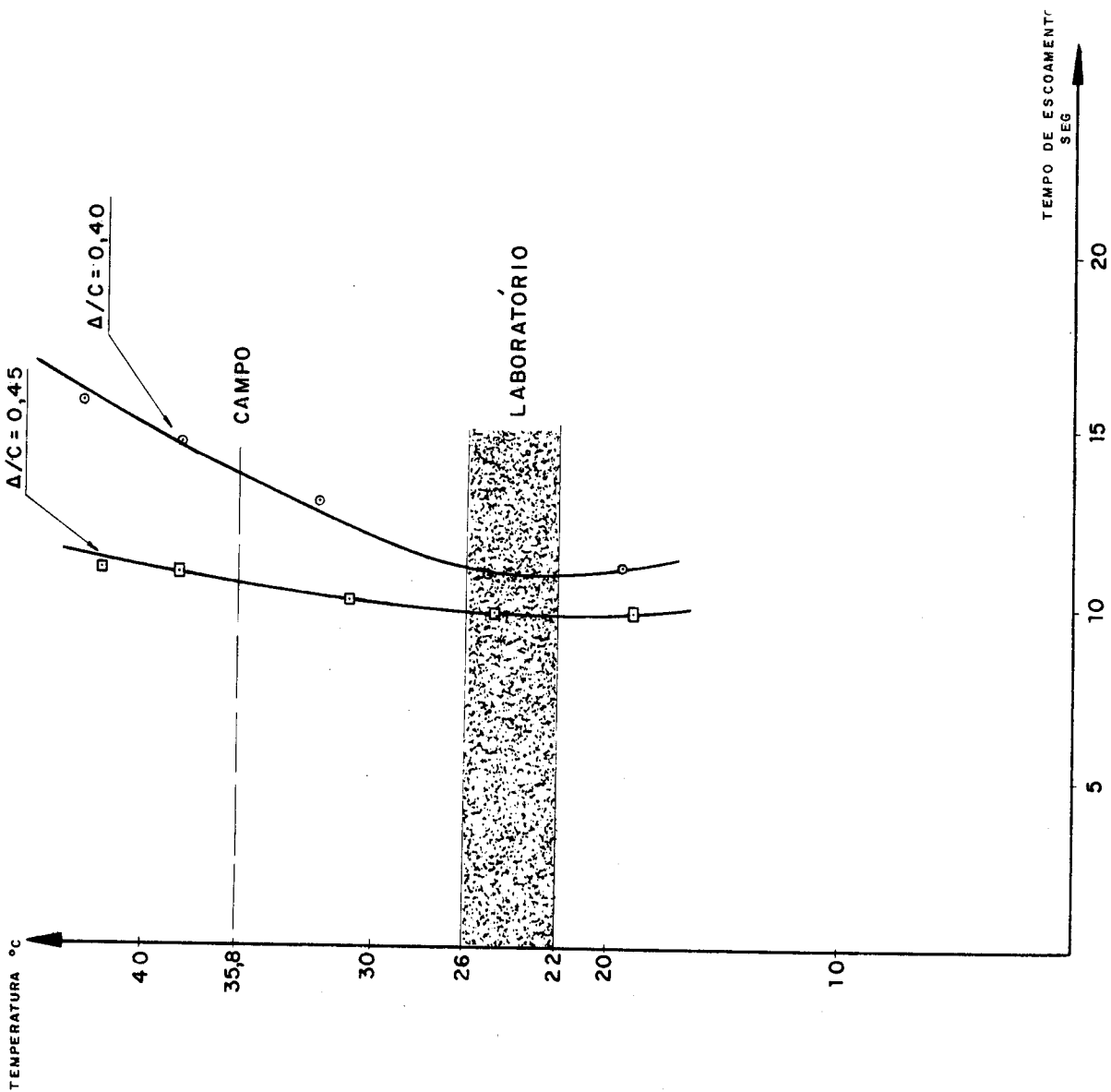


EFEITO DA TEMPERATURA

CALDA - ÁGUA/CIMENTO=0,40				
TEMPERATURAS (°C)				TEMPO DE ESCOAMENTO seg
CIMENTO	AMBIENTE	ÁGUA	CALDA	
27,0	24,5	9,9	19,2	11,0
25,7	25,3	19,8	24,8	10,8
26,0	25,7	30,2	32,0	12,8
26,3	26,0	40,2	38,1	14,4
26,2	26,1	49,4	42,3	15,6

CALDA - ÁGUA/CIMENTO = 0,45				
TEMPERATURAS (°C)				TEMPO DE ESCOAMENTO seg
CIMENTO	AMBIENTE	ÁGUA	CALDA	
27,2	25,3	9,2	18,6	9,6
26,0	25,5	19,7	24,6	9,6
26,2	25,9	29,6	30,9	10,0
26,2	26,1	40,3	38,2	10,8
26,1	26,2	48,8	41,5	10,8

DES. 2



B I B L I O G R A F I A

- 1 - A injetabilidade de caldas e argamassas de cimento
- Michel Papadakis
- 2 - Relatório C-60/71 - Estudos de Caldas de Cimento, com -
adição de pó de alumínio.
- 3 - Relatório C-02/74 - Análise comparativa da performance /
de alguns aditivos expansores.
- 4 - Relatório C-62/72 - Ensaio em caldas com cimento Barro-
so.
- 5 - Relatório C-74/72 - Caldas com expansor - Intracrete - -
Vertedouro de superfície - Ilha Sol-
teira.
- 6 - Relatório C-60/72 - Verificação da performance da bomba/
injetora de caldas, da EBP - VSL
- 7 - Relatório de protensão do vertedouro de superfície Usi-
na de Ilha Solteira.
- 8 - Métodos de ensaios de caldas - Laboratório de Concreto -
de Ilha Solteira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S/A - CESP em especial à Diretoria de Construções, pelo incentivo recebido na elaboração deste trabalho e também ao corpo técnico do Setor de Laboratórios de Ilha Solteira, responsável pela elaboração e compilação dos dados apresentados.