1. OBJETIVO

Especificar os requisitos mínimos exigíveis para os redutores de permeabilidade por cristalização, a fim de reduzir a passagem de água e promover a autocicatrização de fissuras em estruturas de concreto submetidas à ação de água de percolação, umidade do solo, sob pressão hidrostática negativa e sob pressão hidrostática positiva.

2. LISTA DE SIGLAS E EXPRESSÕES

ABNT – Associação brasileira de Normas Técnicas

ASTM – ASTM International (American Society for Testing and Materials)

ART – Anotação de responsabilidade técnica

°C – Graus Celsius

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

EB – Especificação Básica

GPES – Gerência Projetos Especiais

NBR – Norma Brasileira

REV – Revisão

3. AQUISIÇÃO

A aquisição do redutor de permeabilidade por cristalização deve ser quantificada através da massa, utilizando a unidade de medida *Kg* para o caso dos produtos em pó. Para redutores de permeabilidade por cristalização fornecidos em baldes, tambores ou contêineres, seu volume deverá ser quantificado em litros.

4. NORMAS A SEREM UTILIZADAS

Devem ser seguidas as normas – seus apêndices e suas normas de referência em última revisão – em todas as atividades pertinentes ao projeto, ao fornecimento, à aplicação, à instalação e aos testes.

Tabela 01 – Normas

Documento	Título
ABNT NBR 5738	Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova
ABNT NBR 10787	Concreto Endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão – Método de ensaio
ABNT NBR 12170	Potabilidade aplicável em sistema de impermeabilização – Método de ensaio
ABNT NBR 12171	Aderência aplicável em sistema de impermeabilização composto por cimento impermeabilizante e polímeros – Método de ensaio
ABNT NBR 9917	Agregados para concreto- Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. (Opção ASTM C114-13)
ABNT NBR 9575	Impermeabilização – Seleção e projeto
GB 18445	Cementitious capillary crystalline waterproofing materials
ABNT NBR 6118	Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
ABNT NBR 15575	Desempenho de edificações habitacionais
ABNT NBR 14931	Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento
ABNT NBR 7500	Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos

5. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os redutores de permeabilidade por cristalização devem ser integrados à tecnologia do concreto que garantam a estanqueidade dos elementos construtivos.

5.1. Termos e definições

Para efeito deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 9575 e ABNT NBR 15575.

5.1.1. Redutores de permeabilidade por cristalização integral

São produtos que uma vez aplicados como adição na dosagem do concreto, reagem com umidade e componentes formados no processo da hidratação do cimento Portland, formando cristais insolúveis e promovendo a autocicatrização de fissuras passivas, reduzindo sensivelmente a permeabilidade do concreto sob pressão hidrostática.
Desta forma, é vedada a utilização de redutores de permeabilidade que não promova a autocicatrização de fissuras passivas.

5.1.2. Fissuras

Fissuras podem ser classificadas como ativas (variação da abertura em função de movimentações higrotérmicas ou outras) ou passivas (abertura constante). Ambas são fissuras de componente estrutural, que significa o seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais.

5.1.3. Autocicatrização do concreto

Entende-se a capacidade do concreto de fechar suas próprias fissuras. Existem duas abordagens, autógena e autônoma. A autocicatrização autógena é a capacidade do concreto de promover a cicatrização através de seus próprios materiais cimentícios. A autocicatrização autônoma ocorre com a inserção de agentes que promovem a cicatrização do concreto.

5.2. Compatibilidade entre componentes do concreto

Os redutores de permeabilidade por cristalização integral devem ser compatíveis com os cimentos Portland produzidos no Brasil, não devendo produzir reações químicas que possam causar perda de propriedades físicas de desempenho, nem a corrosão das armaduras do concreto armado.

5.3. Potabilidade

Para utilização em estruturas em contato com água potável, os redutores de permeabilidade por cristalização não podem alterar a potabilidade da água para consumo humano, atendendo a metodologia de ensaio da ABNT NBR 12170 e Portaria de Consolidação nº 05 de 27/09/2017 – MS-Anexo XX.

5.4. Qualidade do concreto

A estrutura de concreto deverá ser integra e coesa, sem falhas como ninhos de concretagem, tratamento adequado das juntas frias, e outras imperfeições. Também devem-se ser aplicadas as boas práticas e recomendações da construção civil, tais como o tempo adequado para a cura do concreto, conforme descrito no ABNT NBR 14931.

6. APLICAÇÃO

A aplicação dos redutores de permeabilidade por cristalização é recomendada em estruturas de concreto subterrâneas e hidráulicas.
Em estruturas de saneamento devem ser utilizadas em tanques e reservatórios dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, sujeitas a ocorrência de fissuras passivas e em contato com água, da seguinte forma:

- Aplicação como adição ao concreto no processo de dosagem

Recomenda-se a utilização da quantidade de cristalizante indicada por cada fabricante, atendendo no mínimo 0,8% do peso do cimento e aos requisitos de desempenho para aditivos redutores de permeabilidade por cristalização integral presentes do item 08 – Apresentação dos Documentos Técnicos - Requisitos de Desempenho.

1. ESCOPO DO FORNECIMENTO

Estabelece as condições técnicas exigíveis para aquisição do redutor e permeabilidade para aplicação em estruturas de concreto novas.

1.1. Generalidades

Os redutores de permeabilidade por cristalização integral são comercializados em embalagens fechadas (sacos, bombonas ou outros frascos) e estas devem ser claramente identificados com as informações conforme item 7.2.

1.2. Informações do Produto

As seguintes informações referentes ao produto devem estar de acordo com a ABNT NBR 7500 e a legislação vigente relativa ao transporte de produtos químicos, sendo indispensáveis as seguintes informações, além da disponibilidade da Ficha de Segurança de Produto Químico (FISPQ):

a) nome do fabricante ou distribuidor nacional responsável (quando se tratar de produto importado);

b) número do lote, data e local de fabricação;

c) prazo de validade;

d) peso líquido;

e) quando aplicável, instruções para homogeneização antes da utilização e o resumo das recomendações para armazenamento;

f) precauções relativas à segurança, saúde e meio ambiente (por exemplo, se o produto é cáustico, tóxico ou corrosivo, conforme ABNT NBR 7500).

2. APRESENTAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS - REQUISITOS DE DESEMPENHO

O Fabricante deve indicar em sua especificação os resultados dos requisitos para comprovação dos parâmetros de desempenho descritos na Tabela 01 – Ensaios e Normas, sendo os resultados dos laudos apresentados em período máximo de 3 anos antes da solicitação da homologação e referente à norma vigente do produto. A empresa de tecnologia, designada pelo Fabricante, deve ser nacional e creditada pelo órgão regulador.

No caso da elaboração de novas versões desta especificação básica, visando atender adequações no documento e as atualizações das normas solicitadas, o Fabricante homologado terá um prazo de 180 dias para reapresentar os itens dos ensaios que tiveram seus critérios de desempenho modificados.

Tabela 01 – Ensaios e Normas

	Método de Ensaio	Dias de ensaio	Requisitos
IM calculado a partir da resistência à compressão	ABNT NR 5739	28d	IM >= 0,95
Penetração de água sob pressão	Conforme anexo A	56d	IM <= 0,4
Autocicatrização	Redução do fluxo de água na amostra com o cristalizante - conforme anexo B	63d	IQ >= 0,80
		77d	IQ >=0,95
Potabilidade	Atender à Portaria de Consolidação no 5 de 27/09/2017 - MS - Anexo XX e NBR 12170	---	---

O índice de multiplicação (IM), deve ser obtido pela equação a seguir:
IM=rA/rR
Onde
IM é o coeficiente de multiplicação;
rA é o resultado de concreto com redutor de permeabilidade por cristalização integral;
rR é o resultado do concreto de referência.

O índice de redução de fluxo (IQ) do ensaio de autocicatrização, deve ser obtido pela equação a seguir:
IQ=1- Q(t)/Q0
Onde
Q(t) é a leitura no tempo (t) referente à vazão do ciclo de ensaio
Q0 é a leitura da vazão no tempo do ciclo de ensaio inicial

2.1. Ficha técnica

A ficha técnica deve conter as seguintes informações:

a) breve descrição do produto;

b) principais aplicações do produto;

c) informações de compatibilidade com outros produtos químicos como aditivos para concreto;

d) informações de intervalo de dosagem recomendado pelo fabricante;

e) tipos de embalagens para entrega;

f) características principais do produto (cor, aspecto, massa específica)

8. RESPONSÁVEL(IS) PELO PREENCHIMENTO DA ESPECIFICAÇÃO

Especificação elaborada e aprovada por:
Data: 30/05/2023
Engª Jeruza Cristina Scheibe – DI/GPES
Engº Heber Augusto C. de Andrade– DI/GPES
Engº Jorge Luiz B. Fortes Jr.– DI/GPES
Engº Anderson Presznhuk – DI/GPOCT

Preenchimento realizado por:
Nome: Jeruza Cristina Scheibe
CREA: 95686/D PR
Gerência: GPES
Telefone:(41) 3582 2264
Data: 30/05/23

9. CONTROLE DAS REVISÕES

Rev.	Data	Descrição:	Elaboração:	Aprovação:
00	30/05/2023	Emissão inicial.	Engª Jeruza Cristina Scheibe – DI/GPES Engº Heber Augusto C. de Andrade.– DI/GPES Engº Jorge Luiz B. Fortes Jr.– DI/GPES Engº Anderson Presznhuk – DI/GPOCT	Engª Jeruza Cristina Scheibe – DI/GPES Engº Heber Augusto C. de Andrade.– DI/GPES Engº Jorge Luiz B. Fortes Jr.– DI/GPES Engº Anderson Presznhuk – DI/GPOCT

Anexo A

PENETRAÇÃO DE ÁGUA SOB PRESSÃO

PROCEDIMENTO DE TESTE PADRÃO – PENETRAÇÃO DE ÁGUA SOB PRESSÃO

1. Norma de Referência

NBR 10.787 – Concreto Endurecido – Determinação da Penetração de Água sob Pressão (adaptada).

2. Objetivo

Realizar teste de permeabilidade pelos diferentes fabricantes de redutores de permeabilidade para validação do procedimento assim como comparação e análise dos resultados. Nessa repetição será testado o método A como forma de condicionamento (descrito no **item 3 c**).

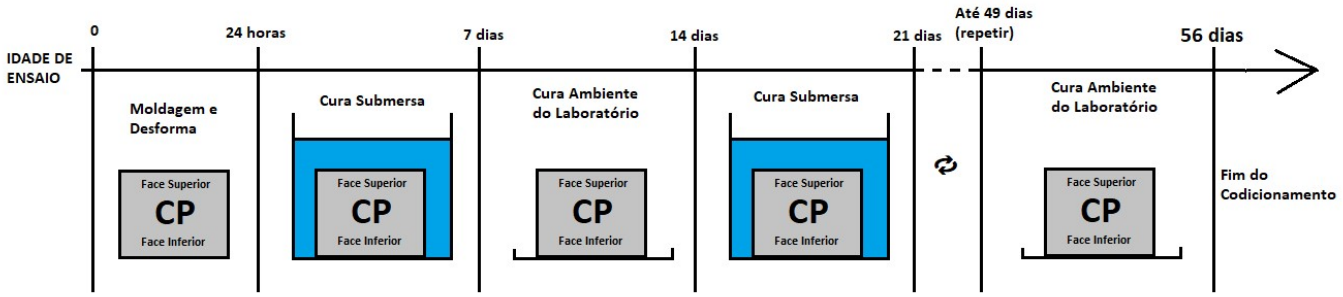
3. Procedimento a ser seguido:

a) Traço de concreto:
Recomenda-se a moldagem de pelo menos duas amostras REFERÊNCIA (sem redutor de permeabilidade) e duas amostras com o redutor de permeabilidade.
O traço do concreto deverá seguir as seguintes características:
- 320 kg de cimento/m³;
- Cimento CP II F 40 Votorantim Rio Branco do Sul;
- Teor de argamassa em massa de ≥ 55 %;
- Quantidade igual 100 % de agregado graúdo, com diâmetro máximo de 9,5 mm (somente brita 0);
- Agregado miúdo conforme NBR 11768-1 Anexo A;
- Relação a/c = 0,65;
- Abatimento = maior que 10 cm;
- Sem utilização de aditivo redutor de água para ajustar o abatimento;
- Dosagem do redutor de permeabilidade conforme recomendação do fabricante (com exceção das amostras referência que não deverão receber dosagem deste aditivo);

b) Moldagem dos corpos-de-prova:
Segundo a norma brasileira os corpos-de-prova deverão ser prismáticos, com seção quadrada de 250mm x 250mm e altura de 125mm. Neste ensaio não vamos utilizar corpos-de-prova cilíndricos, *(seguir procedimento descrito na NBR 10.787 para obtenção dos corpos de prova)*.
Além disso, deverão ser seladas as bordas laterais, inclusive ao lado da entrada de água para evitar qualquer vazamento.
Os traços deverão ser rodados e a variação de *slump* deverá ser registrada com informação adicional ao teste. Antes de despejar o concreto nos moldes metálicos é necessária a utilização de desmoldantes para que a "desforma" dos corpos de prova não seja prejudicada.
A desforma deverá ser realizada 24 horas após a moldagem ou após os CPs tiverem resistência suficiente para isso.

c) Condicionamento dos corpos-de-prova:

Logo após a desforma dos CPs deverá ser iniciado o **condicionamento em ambiente de laboratório (temperatura 23±2°C e umidade do ar 60%)** através do método A, seguindo os passos descritos abaixo:
Método A:
- 7 dias em cura submersa (dia 1 ao 7);
- 7 dias em cura seca (dia 8 ao 14);
- 7 dias em cura submersa (dia 15 ao 21);
- 7 dias em cura seca (dia 22 ao 28);
- 7 dias em cura submersa (dia 29 ao 35);
- 7 dias em cura seca (dia 36 ao 42);
- 7 dias em cura submersa (dia 43 ao 49);
- 7 dias em cura seca (dia 50 ao 56);



A cura submersa deve feita da seguinte forma:
- condicionar os corpos-de-prova separadamente entre CPs REFERÊNCIA e CPs com redutor de permeabilidade, ou seja, em tanques de cura diferentes;
- trocar a água dos tanques de cura após 30 dias, e a água deve ser saturada com cal.

A idade de ensaio é de 56 dias. Quando esta idade for atingida os CPs deverão deixar o condicionamento, receber lixamento com escova de aço na face que receberá pressão de água e ir para o teste de penetração de água sob pressão.

d) Teste de Permeabilidade e Resultados:

Na máquina de pressão, a pressão deverá ser mantida durante 14 dias, seguindo as pressões e o número de dias descritos abaixo:
a. Pressão de 0,1±0,01 MPa durante 48 horas;
b. Pressão de 0,3±0,03 MPa durante 24 horas;
c. Pressão de 0,7±0,07 MPa durante 11 dias;

Após estes 14 dias sob pressão de água, os CPs são removidos da máquina e no mesmo momento são partidos ao meio, seguindo o procedimento na NBR 10.787, para a medição (em mm) da penetração máxima de água sob pressão. O resultado é a média da penetração de água sob pressão dos CPs.
O relatório deverá ser complementado com as fotos dos CPs após a corte, no momento da medição da penetração de água sob pressão.

Anexo B

PROCEDIMENTO DE TESTE - AUTOCICATRIZAÇÃO

PROCEDIMENTO DE TESTE AUTO CICATRIZAÇÃO

1. Objetivo

Realizar ensaio de auto cicatrização pelos diferentes fabricantes de redutores de permeabilidade para validação do procedimento assim como comparação e análise dos resultados. A indução da fissura de 0,3 mm a 0,4 mm deve acontecer com a idade de 28 dias.

2. Procedimento a ser seguido:

a) Traço de concreto:
Recomenda-se a moldagem de pelo menos 12 amostras REFERÊNCIA (sem redutor de permeabilidade) e 12 amostras com o redutor de permeabilidade.
O traço do concreto deverá seguir as seguintes características:
- 320 kg de cimento/m³;
- Cimento CP II F 40 Votorantim;
- Teor de argamassa em massa de ≥ 55 %;
- Agregado graúdo com diâmetro máximo de 9,5 mm (somente brita 0);
- Agregado miúdo conforme NBR 11768-1 Anexo A;
- Relação a/c = 0,65;
- Abatimento = maior que 10 cm;
- Sem utilização de aditivo redutor de água para ajustar o abatimento;
- Dosagem do redutor de permeabilidade conforme recomendação do fabricante (com exceção das amostras referência que não deverão receber dosagem deste aditivo);

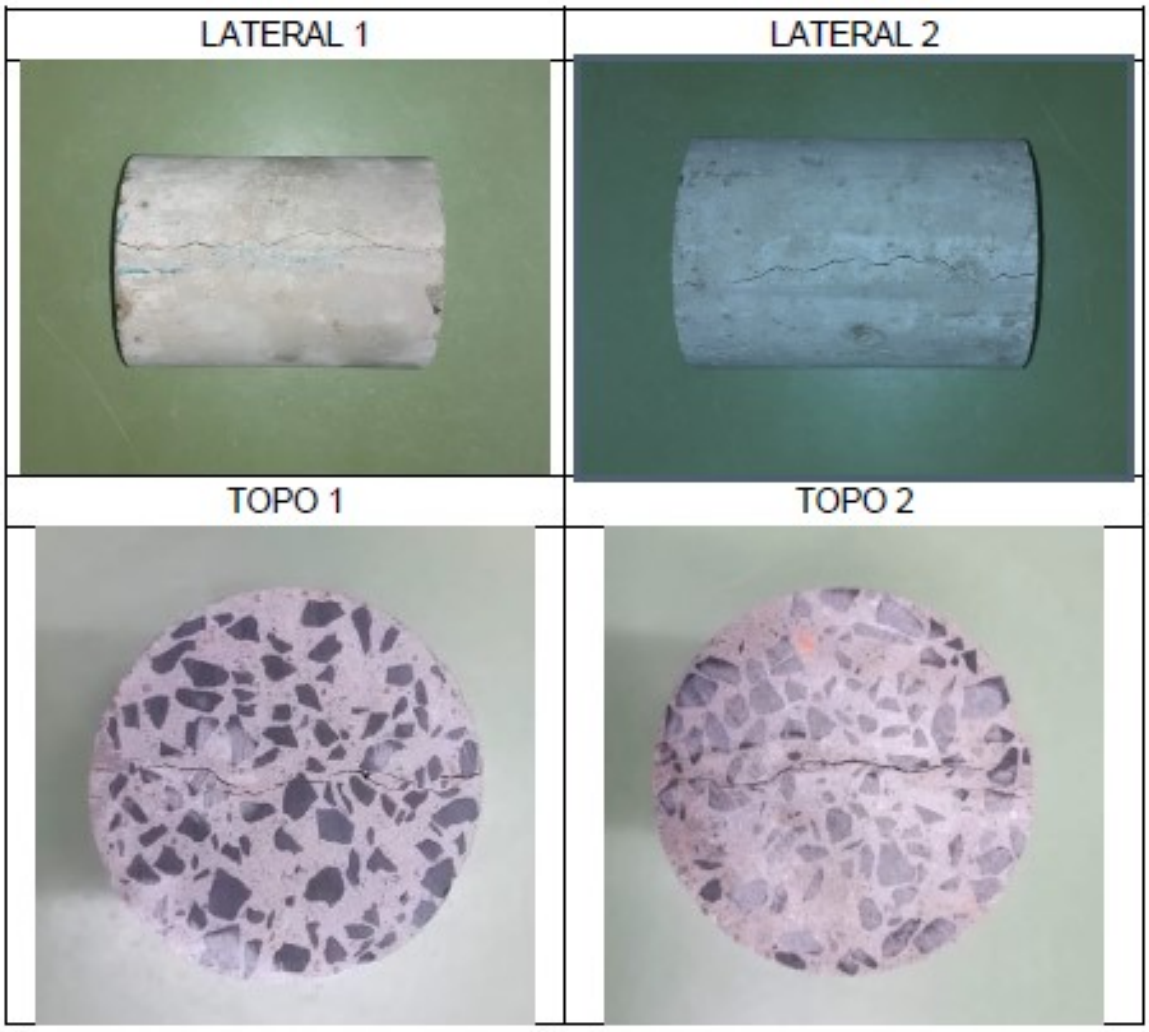
b) Moldagem dos corpos-de-prova:
Os corpos-de-prova deverão ser cilíndricos com as dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.
Os traços deverão ser rodados e a variação de slump deverá ser registrada com informação adicional ao teste. Antes de despejar o concreto nos moldes é necessária a utilização de desmoldantes para que a "desforma" dos corpos de prova não seja prejudicada.
A desforma deverá ser realizada 24 horas após a moldagem ou após os CPs tiverem resistência suficiente para isso.

c) Condicionamento submerso após da desforma
Após da desforma, os corpos-de-prova devem ser condicionados separadamente entre CPs REFERÊNCIA e CPs com redutor de permeabilidade, ou seja, em tanques de cura diferentes até completar 28 dias de cura submersa.

d) Indução de fissura e preparação dos CPs para o ensaio

A indução de fissura deve acontecer com a idade de 28 dias para os CPs REFERÊNCIA e CPs com redutor de permeabilidade. Antes da indução da fissura devem ser removidos os "topos" dos CPs, cortando 2,5 cm de cada extremidade, conferindo ao CP a altura final de 15 cm. O próximo passo é a indução de fissura de 0,3 mm a 0,4 mm. Para isso devem ser "rompidos" todos os 12 CPs aos 28 dias da série REFERÊNCIA e todos os 12 CPs com redutor de permeabilidade. O "rompimento" deve ser realizado diametralmente na velocidade de 0,45±0,15 MPa/s. Com o CP posicionado na prensa, a fissura deve ser ligeiramente superior a 0,4 mm para que, quando da remoção do CP, a abertura permaneça entre 0,3 e 0,4 mm.

Após da indução da fissura, que deve ter abertura entre 0,3 mm e 0,4 mm, deve ser realizada uma verificação visual para separar os CPs com a fissura mais "regular", ou seja, ter a abertura semelhante dos dois topos e nas laterais.



Após esta verificação, deve ser “colado” um tubo “acrílico” transparente de 2” de diâmetro e 1 m de altura que seja graduado, no topo dos CPs. As laterais dos CPs onde estiver a fissura devem ser selados para evitar qualquer vazão de água pelos laterais. A água deve percolar somente pela fissura interna, do topo até a extremidade contrária.

Figura 1: exemplo do corpo de prova preparado para ensaio de auto cicatrização

Em seguida deve ser feito um teste de vazão de água enchendo o tubo com água até 100 cm de altura. Deve ser medido o tempo de redução de nível de água de 100 cm para até 70 cm. Essa redução de nível de água deve ser parecida para todos os CPs (amostra referência e amostras com cristalizante) que vão ser selecionados para a continuação do ensaio de auto cicatrização. Deve se calcular a vazão média excluindo-se os valores discrepantes (>10%). Deverá ser composta uma amostra com pelo menos 3 corpos de prova com vazão igual a vazão média mais ou menos 10%. Estes CPs devem ser submetidos ao ensaio de auto cicatrização com uma duração mínima de 63 dias a partir do início da passagem de água.

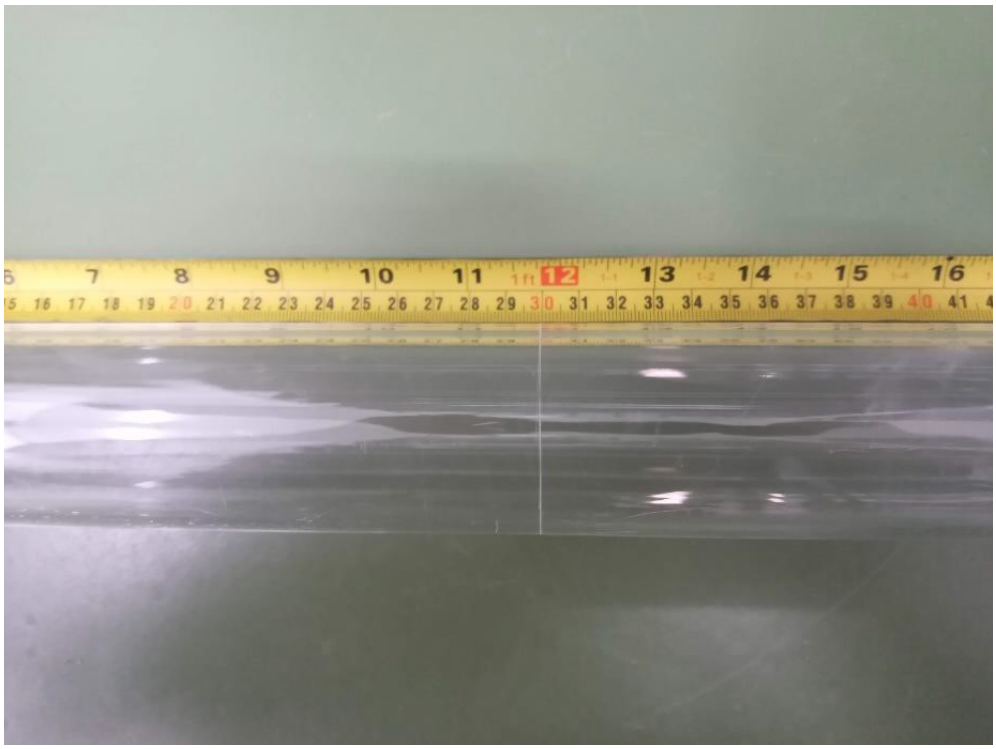


Figura 2: Marcação de 30cm no tubo acrílico.

e) Ensaio de auto cicatrização:

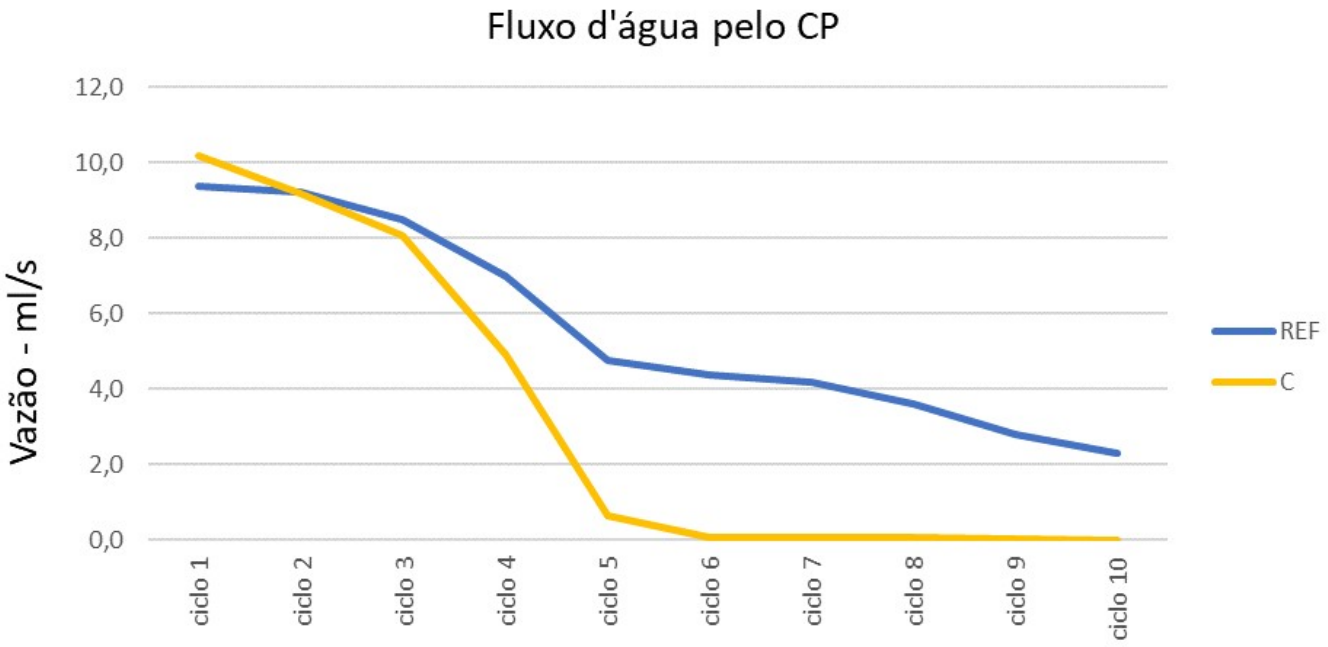
Com a idade de 28 dias dos CPs preparados conforme o item 2 d), deve iniciar o ensaio de auto cicatrização com uma duração mínima de 63 dias (podemos rever isso, talvez 56 dias ou até um ensaio mais rápido de 28 dias, dependo do % de redução desejado). Seguem alguns pontos importantes a seguir:

1. O nível de água deve ser mantido constantemente em 100 cm no tubo com a água.
2. A medição da vazão média de água deve ser feita uma vez por semana, sempre no mesmo dia e horário. Deve ser medido o tempo para redução do nível de água no tubo de 100 cm até 70 cm. Essa medição deve ocorrer com no tempo máximo de 30 min. Caso o nível d'água não chegue à marca de 70 cm em 30min., o nível da coluna de água deve ser registrado. O valor relatado que ser relatado é a vazão (volume por tempo). Nas primeiras semanas espera-se uma grande vazão média de água que será menor ao longo do tempo para as amostras com o cristalizante.

A água do circuito de recirculação deve ser substituída a cada 7 dias, uma vez que a água vai sendo carregada com sais ao longo do ensaio.

O circuito de recirculação de água tem que ser independente para cada material avaliado para evitar a contaminação cruzada e interferências nos resultados.

O relatório deve ter um registro fotográfico e as anotações sobre a vazão de água, para gerar um gráfico parecido conforme embaixo.


Fluxo d'água pelo CP
Vazão - ml/s
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
ciclo 1
ciclo 2
ciclo 3
ciclo 4
ciclo 5
ciclo 6
ciclo 7
ciclo 8
ciclo 9
ciclo 10
REF
C