



<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo160.pdf>

## Fissuras por retração plástica

**CAUSA:** Evaporação da água do concreto logo após o lançamento do concreto. Após o lançamento do concreto e após a vibração, as pedras e a areia, com densidade  $\gamma \approx 2,65$  tendem a descer dentro da pasta de cimento, com densidade  $\gamma \approx 1,85$ .

É o chamado auto-adensamento dos sólidos.

Uma parte da água, límpida, com densidade  $\gamma = 1.0$ , sobe, e aflora na superfície da laje.

A água que está reagindo com o cimento não sobe.

A água, que aflora na superfície do concreto, evapora.

O concreto tem seu volume reduzido na superfície, e fissura.

Essa fissura, que se forma por retração do **concreto, ainda plástico**, é a chamada **fissura de retração plástica**.



Figure 1: A typical plastic shrinkage crack.  
(Courtesy of Portland Cement Association)

# " Früschwinden von Beton "

## Retração Prematura do Concreto

Dr. Pietro Lura ; Dr. Andreas Leeman  
EMPA , Abteilung Beton / Bauchemie / Schweiz

[https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2020/04/2010\\_Fr%C3%BChschwinden-von-Beton\\_Dr-Lura\\_Dr-Leemann\\_EMPA.pdf](https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2020/04/2010_Fr%C3%BChschwinden-von-Beton_Dr-Lura_Dr-Leemann_EMPA.pdf)

Em um sistema de partículas porosas saturadas, quatro fases diferentes são observadas durante a secagem (Figura 2):

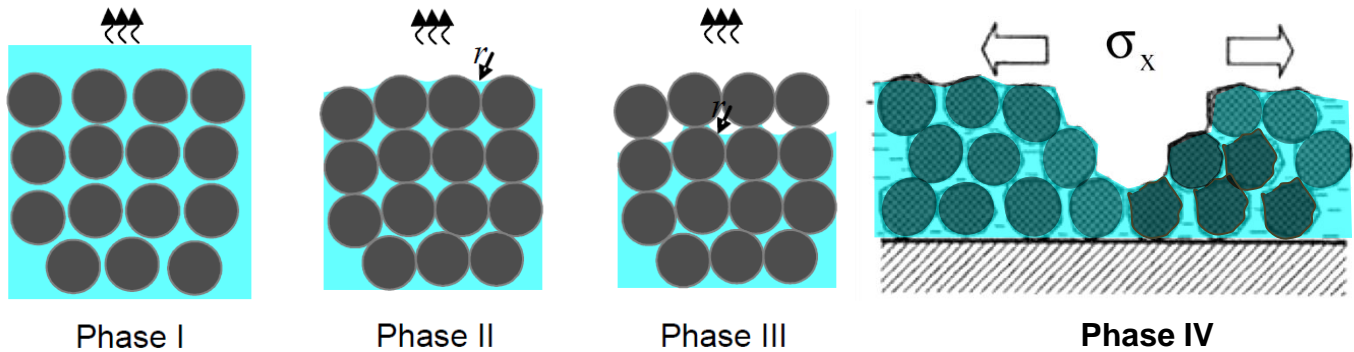
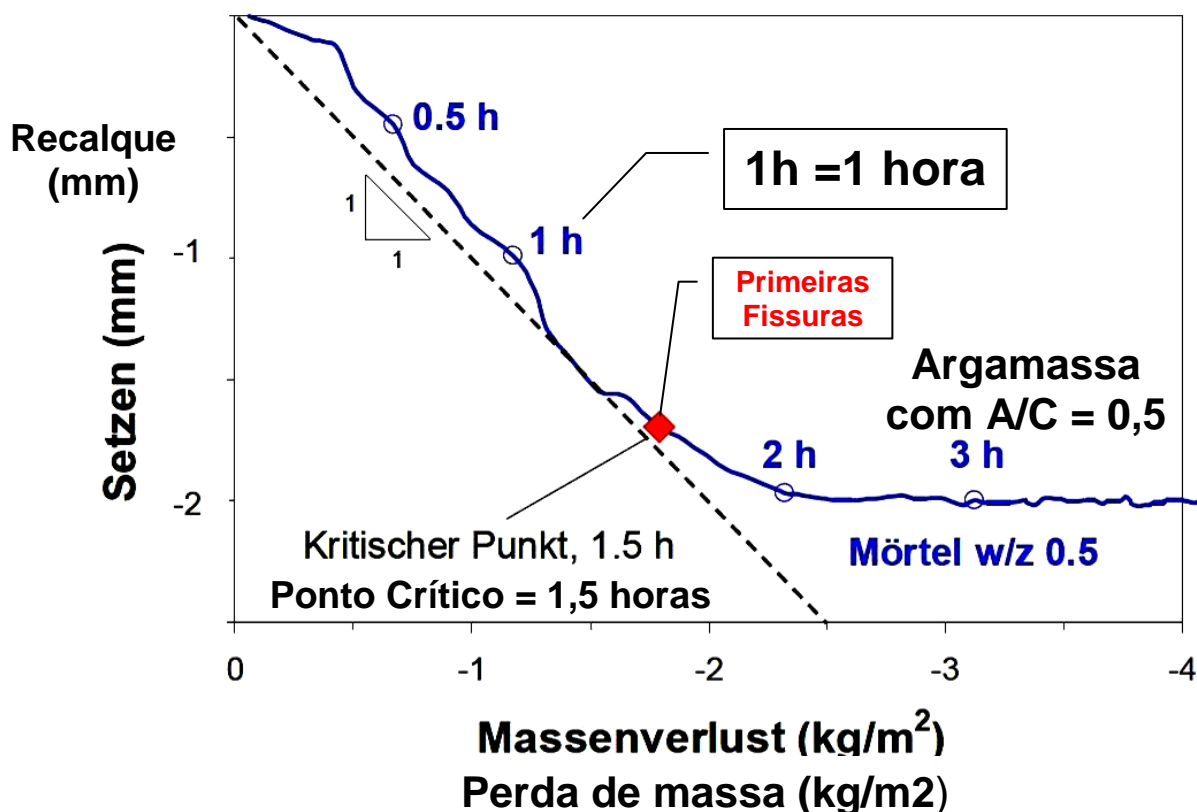


Figura 2 : Diferentes fases da secagem de uma suspensão [ Lura et al. 2007 ]

- A fase inicial, quando uma camada de água evapora da superfície (fase I);
- A segunda fase, durante a qual o nível de água desce e atinge as partículas superiores e então se formam meniscos com raio  $r$  (fase II)
- A terceira fase, durante a qual os meniscos se formam já no interior do sistema de partículas (fase III)
- A quarta fase , quando as partículas se rearrumam e então se formam as fissuras, pouco profundas ( fase IV )

O recalque da argamassa termina abruptamente após 1,5 horas e ao mesmo tempo a argamassa mostra as **primeiras fissuras** devido ao encolhimento precoce da argamassa

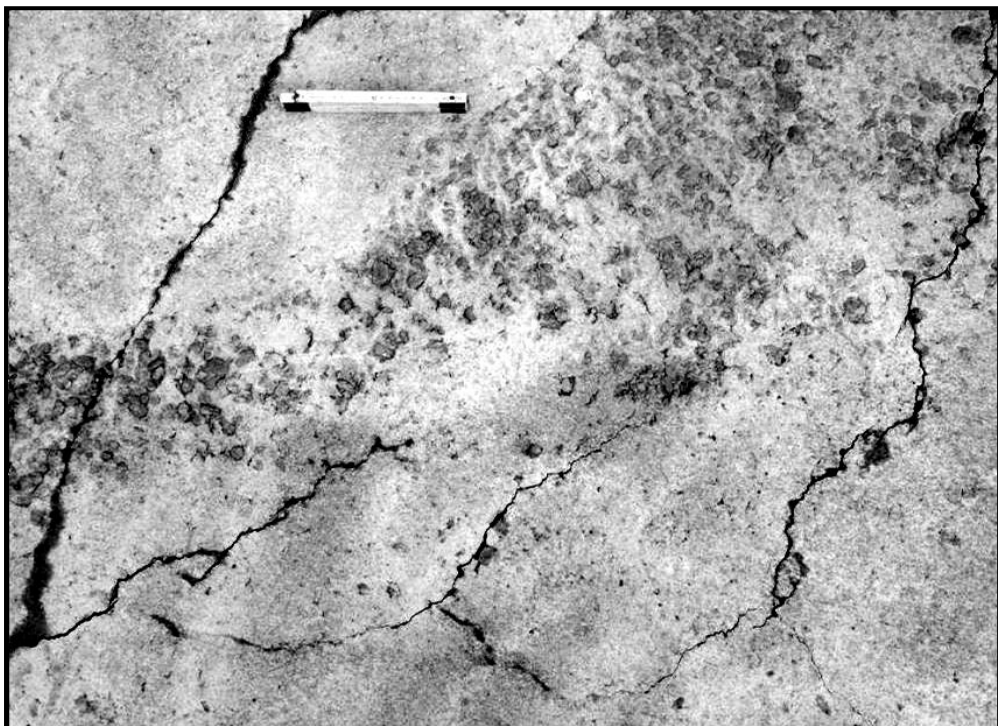


**" Früschwinden von Beton "**  
**Retração Prematura do Concreto**

Dr. Pietro Lura ; Dr. Andreas Leeman



**ZOOM**



**Figure 1.** Plastic shrinkage cracks appearing on the concrete surface few hours after placement. Photo courtesy of Dr. Andreas Leemann,

# Methods of Preventing Plastic Shrinkage Cracking of Concrete

[Suryakanta](#) | June 30, 2015 | [Concrete](#), [Concrete Technology](#)

<https://civilblog.org/2015/06/30/10-methods-to-prevent-plastic-shrinkage-cracking-of-concrete-surface/>



## 1. Erecting Temporary Wind Breaks

Higher wind velocities can greatly affect the rate of evaporation of water from the concrete being placed. This in turn will result in plastic shrinkage cracking of concrete. Therefore erect temporary wind breaks to reduce the wind velocity over the surface of the concrete.

## 2. Providing Sunshades

In case of construction of concrete slabs, it is very effective to provide sunshades over the concrete slabs and thereby controlling the surface temperature of the slab.

## 3. Proper Placement Timing

In very hot weather conditions, concrete should not be placed in the afternoon, because it can lead to plastic shrinkage cracks on concrete due to loss of water. Therefore it is a good practice to schedule concrete placement in early morning or early evening. This way we can have better control over concrete temperature.

#### **4. Using Fog Sprays**

In very hot and dry periods the wind is very hot. Therefore use fog sprays to spray fog into the air over the concrete surface and in the direction opposite to the direction the wind is blowing. Using of fog sprays reduce the rate of evaporation from the concrete surface.

#### **5. Dampening the Subgrade**

During construction of concrete pavement in hot and dry weather, dampen the subgrade which is liable to water absorption from concrete. But remember the subgrade should not be over dampened. The formwork and the reinforcement should also be dampened.

#### **6. Using Evaporation Retarder**

Spray an evaporation retarder such as aliphatic alcohol over the freshly screeded concrete surface. Surfaces can dry prematurely when the rate of evaporation is greater than the rate of bleeding. These products form a film on the surface that reduces the rate of evaporation of water, thus allowing time for all the bleed water to rise to the surface. In extreme conditions, re-application of the evaporation retarder may be necessary both before and during trowelling. These products do not affect the strength or performance of the concrete and can act as a finishing aid.

#### **7. Start Curing Immediately**

Commence curing as soon as possible after finishing. Spray the surface with liquid membrane curing compound or cover the surface with wet burlap or start water curing after concrete placement.

#### **8. Accelerating Setting Time of Concrete**

Use some form of chemical admixture in concrete to accelerate the setting time of concrete and avoid large temperature differences between concrete and air temperature.

#### **9. Adding Polypropylene Fibres in Concrete Mix**

Polypropylene fibres can be added to the concrete mix to reduce the incidence of plastic shrinkage cracking. Fibres tend to bind the surface of the concrete together and provide some strength to the plastic concrete to resist the shrinkage forces.

#### **10. Be Ready**

Have proper manpower, equipment and supplies on hand so that the concrete can be placed and finished promptly.

+ + +

## COMENTÁRIOS :

1. Nos pavimentos de rodovias, há uma grande influência da direção do lançamento do concreto, pois formam-se zonas de pequeno “engrenamento” entre os agregados, criando linhas de menor resistência. Aí se formam as fissuras de retração plástica.
2. As fissuras tendem, também, a se formar na direção perpendicular à direção do vento.
3. A distância entre as fissuras “paralelas”, **devidas à retração plástica**, é em torno de 3 vezes a espessura da laje



<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/images/image040.jpg>



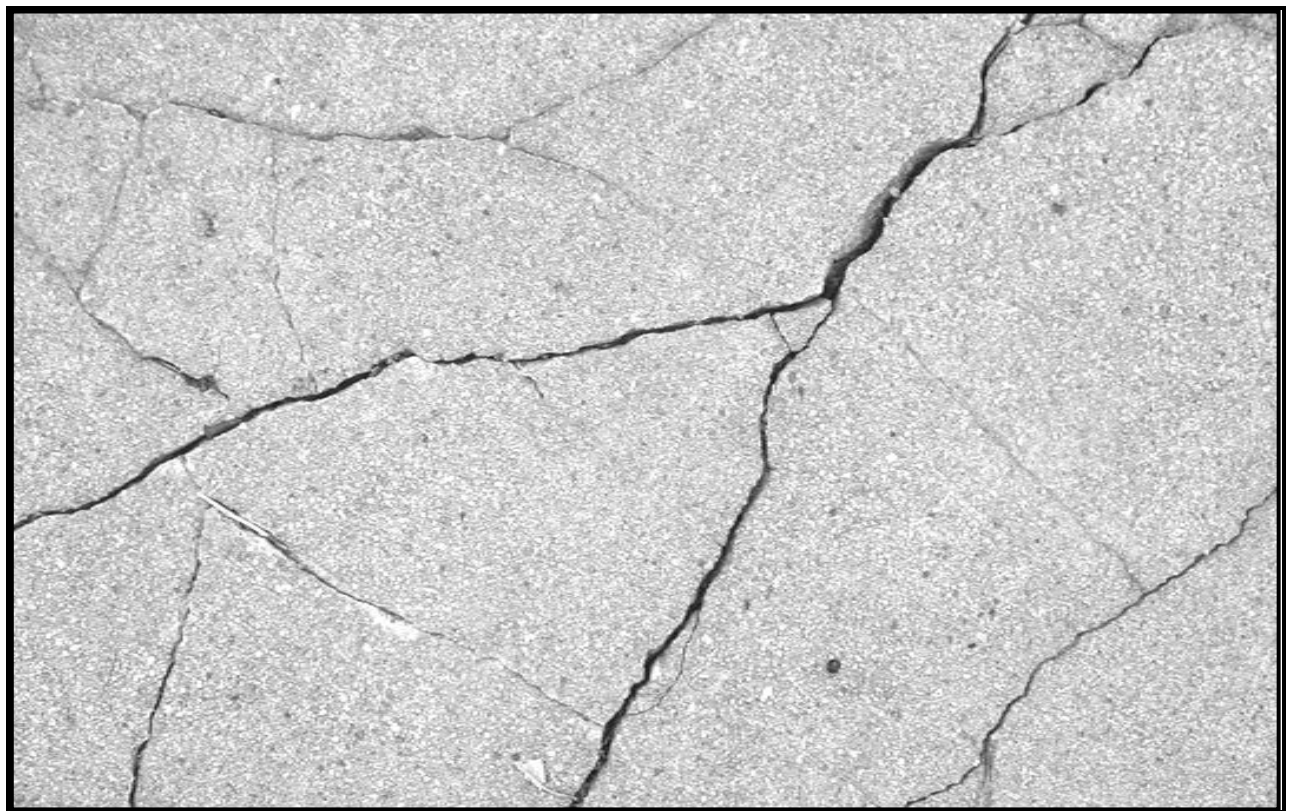
A distância entre as fissuras “paralelas”, devidas à retração plástica, é em torno de 3 vezes a espessura da laje

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSp1b1vcT0xmAvwmO7CCBxyZBq3xixZIN7Qcg&usqp=CAU>





**Fig. 13-7. Typical plastic shrinkage cracks. (IMG12267)**  
*Design and Control of Concrete Mixtures* - Steven H. Kosmatka



[https://cti-ia.net/wp-content/uploads/2019/03/concrete-and-stone-cracked-30-texture\\_zJ8oNiHO-1080x675.jpg](https://cti-ia.net/wp-content/uploads/2019/03/concrete-and-stone-cracked-30-texture_zJ8oNiHO-1080x675.jpg)





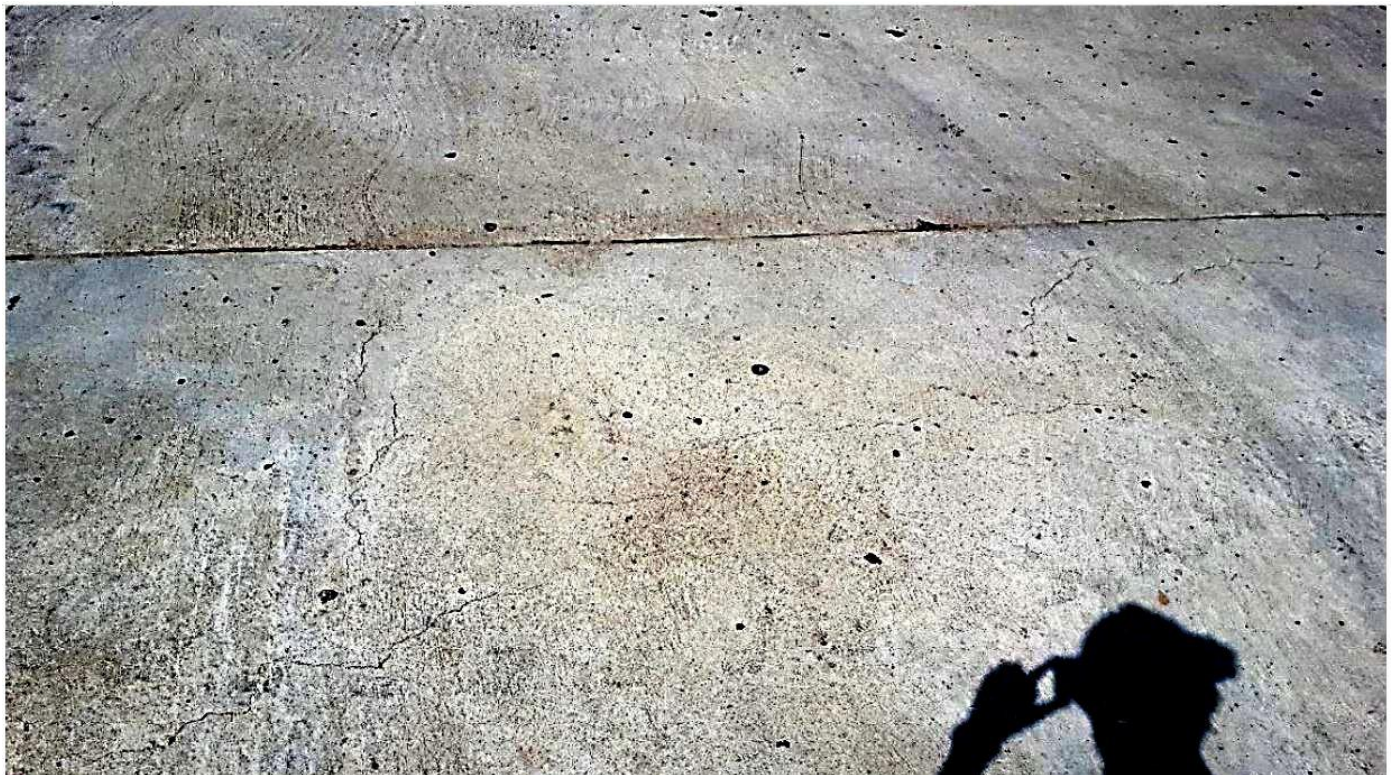
Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

## MÉTODOS DE REPAROS DE FISSURAS EM PAVIMENTOS RÍGIDOS EM SÍTIOS AEROPORTUÁRIOS

Pedro Ivo Saraiva Vitória - Rio de Janeiro - Setembro de 2016

### 4.2.15. Fissuras de Retração Plástica

São fissuras pouco profundas (superficiais), de pequena abertura (inferior a 0,5 mm) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem, formando ângulo de  $45^\circ$  a  $60^\circ$  com o maior eixo longitudinal da placa (Figura 51).



**Figura 51 - Fissuras de Retração Plástica**

Fonte: PEDRO VITÓRIA, 2016.

A causa deste tipo de fissura é a retração plástica, que é aquela que ocorre no concreto antes do início da sua pega, sendo formada praticamente sem a necessidade de nenhuma energia, pois o concreto ainda não iniciou a sua fase de endurecimento, não tendo ainda nenhuma resistência.

### 5.2.6.Selagem de Fissura de Retração Plástica

A selagem de fissuras de retração plástica ou fissuras superficiais (fissura não ativa) é aplicada para tratamento de uma ou mais das seguintes manifestações patológicas: fissuras de retração plástica com comprimento inferior a 0,60 m, abertura inferior a 1,0 mm, não interligada e com profundidade de até metade da espessura da placa.

Primeiramente, deve-se isolar a área de trabalho, em seguida retirar a poeira, grãos de areia, partículas soltas das fissuras empregando-se jato de ar limpo. A mangueira acoplada ao compressor não deverá transportar umidade ou óleo para dentro da fissura.

Em seguida, se aplica sobre as fissuras um dos seguintes produtos: microcimento, fluorsilicato, nata de cimento, resina epóxi ou similar, com o intuito de fechar superficialmente as mesmas.

O material de reparo recomendado é o microcimento, que deverá garantir boa aderência e desempenho semelhante ao da placa de concreto. Sua aplicação pode se dar por meio de bicos injetores, porém o mais simples é a aplicação por gravidade, que é feito com o auxílio de um aplicador com o material já misturado (Figura 85).



Figura 85 - Aplicação de microcimento por gravidade

O reparo somente pode ser considerado como terminado (Figura 86) quando a fissura não absorver mais o material.



**Figura 86 - Selagem de fissuras de retração plástica**

Fonte: PEDRO VITÓRIA, 2016.

No caso de a selagem ficar mais alta que a cota do pavimento, pode se lixar a fissura selada para garantir um melhor acabamento do reparo realizado.

+++

Estudo de caso, realizado na obra de ampliação do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim ( Aeroporto do Galeão ), o que possibilitou a identificação das diferentes manifestações patológicas ( tipos de fissuras ) em campo, assim como a definição do método de reparo mais adequado para cada tipo de fissura, visando influenciar o mínimo possível na operação de um aeroporto.

**Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia**

**Figura 13: Fissura de Retração Plástica**

**3.15 Fissuras de retração plástica**

São fissuras pouco profundas (superficiais), de pequena abertura (inferior a 0,5mm) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa.



Publicação IPR - 737

MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS

2010

## *Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos 39* *MT/DNIT/IPR*

### **Fissuras não direcionadas**

A causa deste tipo de fissura é a retração plástica, que é aquela que ocorre no concreto antes do início da sua pega, sendo formada praticamente sem a necessidade de nenhuma energia, pois o concreto ainda não iniciou a sua fase de endurecimento, não tendo ainda nenhuma resistência.

Desta forma, devido às futuras deformações volumétricas a que o concreto será submetido (retração hidráulica por perda d'água ou retração térmica), estas fissuras tendem a apresentar uma grande abertura, que pode ultrapassar a 0,5 mm.

Devido às dimensões da placa de concreto, onde a superfície exposta prepondera em relação ao volume, é praticamente descartada a possibilidade da ocorrência da retração térmica em pavimentos.

Muitas vezes, quando a evaporação da água do concreto, depois de terminado o acabamento do pavimento, é muito rápida, estas fissuras podem ser inúmeras e esparsas, formando um rendilhado (*crazy cracks*), sendo preponderantemente superficiais e de aberturas bem insignificantes.

A causa deste tipo de fissura é a execução do pavimento em ambiente de muita insolação, ação de ventos e baixa umidade relativa do ar.

Elas são, às vezes, perceptíveis a olho nu durante a concretagem, como também podem não ser logo observadas, aparecendo depois, quando o concreto iniciar a sua fase de endurecimento.

Para evitar este tipo de fissura, o pavimento, quando executado em condições ambientais adversas, deve ser protegido contra a insolação por coberturas ou pela formação de neblina artificial (*fog spray*), para evitar a evaporação da água de mistura do concreto, enquanto está sendo executado o pavimento.

Outras causas para este tipo de fissura são problemas relacionados com os aditivos empregados no concreto (qualidade ou superdosagem), que podem retardar demasiadamente a pega do concreto, agravando as consequências da retração plástica.

## Cura deficiente

A falta de cura ou uma cura deficiente provoca no pavimento fissuras de retração plástica ou de perda d'água.

**Fissuras de retração plástica** Estas fissuras, dependendo da sua abertura e profundidade, devem ser tratadas conforme indicado nas alíneas —a II e —b II da subseção 5.4.2.

### 5.4.2. Tratamento de fissuras

a) Fissuras lineares que não atravessam toda a espessura da placa

#### **Fissuras com abertura igual ou menor que 0,4 mm**

No tratamento destas fissuras deve ser aplicada uma resina epóxi de baixa viscosidade (  $<100$  mPa.s ), para permitir que, por absorção capilar, a própria fissura promova a penetração da resina para o seu interior, realizando uma vedação satisfatória.

Se a fissura for estável, isto é, não apresentar movimentação, devido às variações sazonais, pode ser aplicado um produto rígido.

Para a aplicação deste tratamento deve ser adotado o seguinte procedimento:

Lixar a superfície do concreto ao longo de toda a extensão da fissura, em uma faixa de 0,5 cm de largura, estando a fissura no meio desta faixa;

Limpar e secar esta superfície, e principalmente o interior da fissura, por meio de jatos de ar, retirando todo o pó e outros detritos;

Por meio de um pincel, como se fosse uma pintura, aplicar sobre a fissura e sobre a faixa que a contém (ver Figura 10), uma resina epóxi bastante fluida, como as indicadas a seguir:

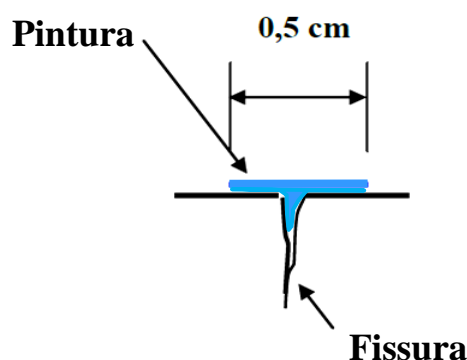
**Nitobond Injeção**, da Fosroc ;

**MC-Dur 1264 KF**, da MC Bauchemie;

ou outra equivalente.

**Somente considerar como terminada esta pintura, quando a fissura não absorver mais a resina.**

Figura 10 – Pintura com resina fluida



# "PLASTIC SHRINKAGE CRACKING IN CONCRETE - *Mitigation and Modelling* "

Faez Sayahi - Sweden - Luleå University of Technology - May, 2019

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1300566&dswid=2777>

Early-age (up to 24 hours after casting) cracking may become problematic in concrete.

It can have a negative influence on the aesthetics of the structure, as well as decreasing the durability and serviceability, by facilitating the ingress of harmful materials into the concrete bulk.

Moreover, these cracks may expand gradually during the member's service-life due to longterm shrinkage and/or loading.

Early-age cracking is caused by two driving forces:

- 1) plastic shrinkage cracking which is a physical phenomenon and occurs due to rapid and excessive loss of moisture, mainly in form of evaporation,
- 2) chemical reactions between cement and water which causes autogenous shrinkage.

In this PhD project only the former is investigated.

Rapid evaporation from the surface of fresh concrete causes negative pressure, known as capillary pressure, in the pore system.

This pressure pulls the solid particles together and decreases the inter-particle distances, causing the whole concrete element to shrink.

If this contraction is hindered in any way, the induced tensile stresses may exceed the low tensile strength of the concrete, leading to cracking.

The phenomenon, which occurs shortly after casting while the concrete is still in the plastic stage, is mainly observed in elements with high surface to volume ratio such as slabs and pavements

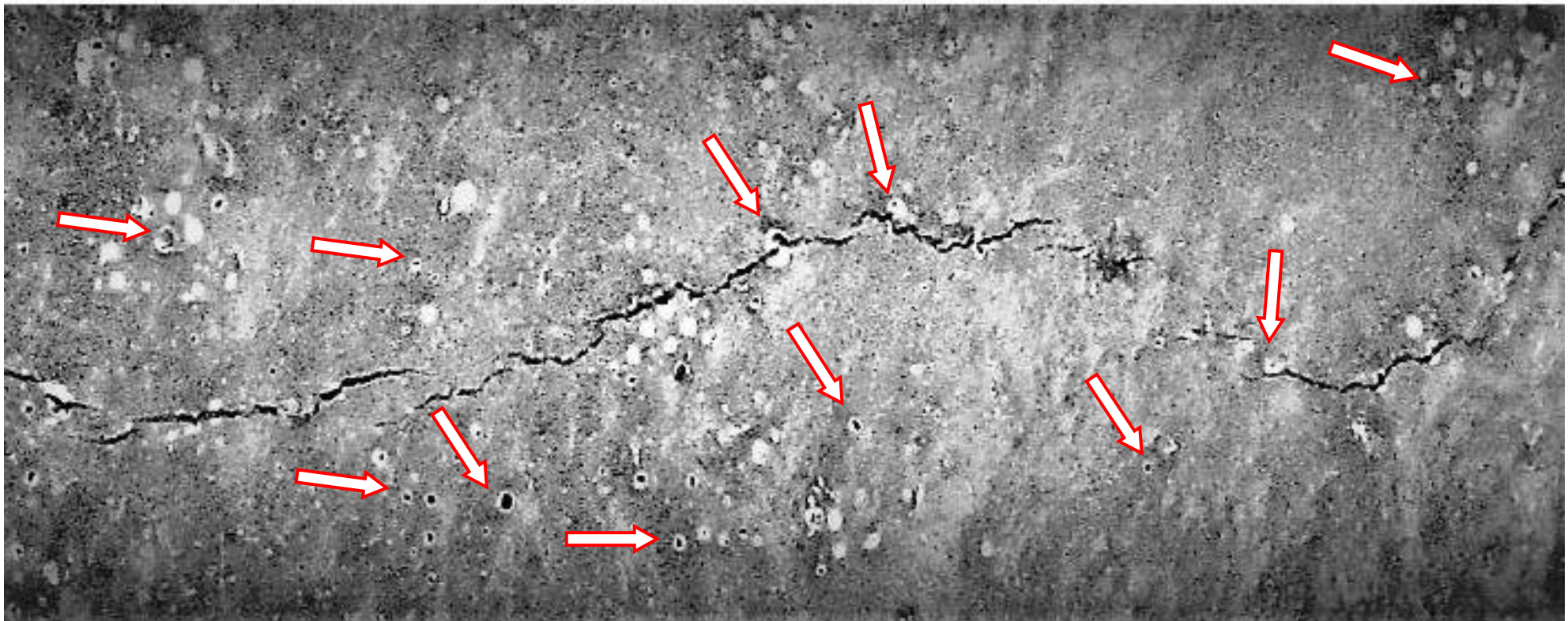
**Faez Sayahi** - Sweden - Luleå University of Technology - May, 2019

*The picture shows a plastic shrinkage crack at **18 hours after casing**, in a self-compacting concrete ( SCC ) with **w/c of 0.5***

Início da fissuração = 146 minutos ; Término das medições após 18 horas

Abertura média da fissura após 18 horas = 0,297mm

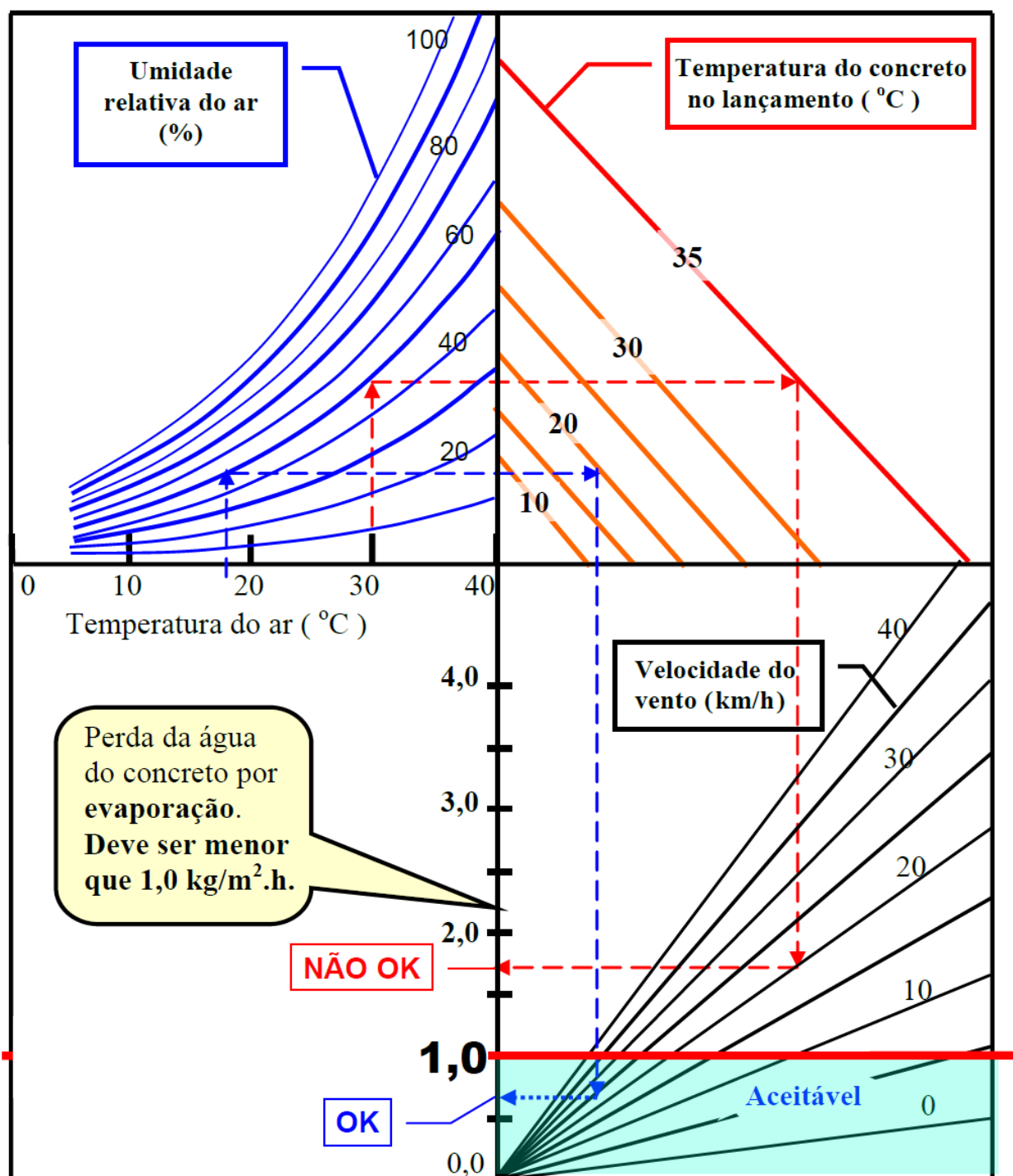
Abertura máxima da fissura após 18 horas = 0,419mm



OBS : Pode-se observar as marcas (bolhas) deixadas pela água quando aflora na superfície do concreto.



## Como evitar o aparecimento de Fissuras na Superfície do Concreto Recém-Lançado.



Esse gráfico é parte da pesquisa feita por Lerch William - Plastic shrinkage - ACI Journal Feb.1957, adotado, como recomendação, pela ACI 305R-1991 e pela ACI 305R-1999.

[http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20305R-99%20Hot%20Weather%20Concreting\\_MyCivil.ir.pdf](http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20305R-99%20Hot%20Weather%20Concreting_MyCivil.ir.pdf)

- Entrar os dados da **CONCRETAGEM**, na seguinte seqüência :
  - Temperatura do ar
  - Umidade Relativa do ar
  - Temperatura do Concreto lançado
  - Velocidade do Vento no Local da Concretagem
- Obter do gráfico a Perda de Água do concreto, por Evaporação, em (kg/ m<sup>2</sup>. hora ).
- Se a perda de água do concreto, por evaporação, for menor que 1,0 ( kg / m<sup>2</sup>. hora ), será pequeno o risco de formação de fissuras na superfície do concreto, por retração plástica.
- Caso contrário, haverá risco de formação de fissuras, por retração plástica, na superfície do concreto, logo após a concretagem.

- No gráfico estão mostrados 2 exemplos : um **OK** e um **NÃO OK** .

### **Exemplo 1 : Boas condições para a concretagem**

Temperatura do ar = 18°C  
 Umidade relativa do ar = 50 %  
 Temperatura do concreto no lançamento = 20°C  
 Velocidade do ar = 25 km / hora

Conclusão :

Perda de água por evaporação  $\approx 0,7 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora} < 1,0 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora}$

Aceitável = **OK**

### **Exemplo 2: Más condições para a concretagem**

Temperatura do ar = 30°C  
 Umidade relativa do ar = 50 %  
 Temperatura do concreto no lançamento = 35°C  
 Velocidade do ar = 20 km / hora.

Conclusão :

Perda de água por evaporação  $\approx 1,7 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora} > 1,0 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora}$

Não Aceitável = **NÃO OK**

*Obs: Se a temperatura do concreto, no lançamento, fosse 20°C, a perda de água por evaporação seria :  $0,2 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora} < 1,0 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{hora} = \text{Aceitável} = \text{OK}$*

## **USANDO FÓRMULAS**

### *"PLASTIC SHRINKAGE CRACKING IN CONCRETE "*

Faez Sayahi - Sweden - Luleå University of Technology - May, 2019

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1300566&dswid=2777>

Based on Eq. [2.1], Uno (1998) proposed a single operation equation to estimate the water evaporation rate, which does not use vapour pressure as an input, since a temperature-vapour pressure relationship is incorporated in the equation. The formula is expressed as Eq. [2.2] (imperial units) and Eq. [2.3] (metric units):

$$E = 5 \times \left( [T_c + 18]^{2.5} - r \times [T_a + 18]^{2.5} \right) \times (V + 4) \times 10^{-6} \quad (2.3)$$

$E$  = water evaporation rate, [ kg/m<sup>2</sup>/hr],

$T_c$  = concrete (water surface) temperature, [°C],

$T_a$  = air temperature, [°C],

$r$  = air relative humidity = (RH percent) / 100,

$V$  = wind velocity, [km/h]

### *Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas*

July 1998 [Aci Materials Journal](#) 95-M34(July-Aug 1998):365-375

Authors: [Paul John Uno](#) - [UNSW Sydney](#)

<https://www.researchgate.net/publication/260209439> Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas

## USANDO A FÓRMULA de Paul John Uno

$$E = 5 \times \left( [T_c + 18]^{2,5} - r \times [T_a + 18]^{2,5} \right) \times (V + 4) \times 10^{-6}$$

### **Exemplo 1 : Boas condições para a concretagem**

Temperatura do ar =  $T_a = 18^\circ\text{C}$

Umidade relativa do ar =  $r = 50\% = 0,50$

Temperatura do concreto no lançamento =  $T_c = 20^\circ\text{C}$

Velocidade do ar =  $V = 25 \text{ km / hora}$

$$E = 5 \times \left( [20 + 18]^{2,5} - 0,50 \times [18 + 18]^{2,5} \right) \times (25 + 4) \times 10^{-6} =$$

$$E = 5 \times (8901 - 0,50 \times 7776) \times 29 \times 10^{-6} =$$

$$E = 0,727 \approx 0,7 \text{ (pelo gráfico)}$$

Conclusão : Perda de água por evaporação  $\approx 0,7 \text{ kg / m}^2.\text{hora} < 1,0 \text{ kg / m}^2.\text{hora}$

**Aceitável = OK**

### **Exemplo 2: Más condições para a concretagem**

Temperatura do ar =  $30^\circ\text{C}$

Umidade relativa do ar =  $50\% = 0,50$

Temperatura do concreto no lançamento =  $35^\circ\text{C}$

Velocidade do ar =  $20 \text{ km / hora}$ .

$$E = 5 \times \left( [35 + 18]^{2,5} - 0,50 \times [30 + 18]^{2,5} \right) \times (20 + 4) \times 10^{-6} =$$

$$E = 5 \times (20450 - 0,50 \times 15963) \times 24 \times 10^{-6} = 1,5 \approx (+/-) 1,7 \text{ (pelo gráfico)}$$

Conclusão :

Perda de água por evaporação  $\approx 1,5 \text{ kg / m}^2.\text{hora} > 1,0 \text{ kg/m}^2.\text{hora}$

**Não Aceitável = NÃO OK**

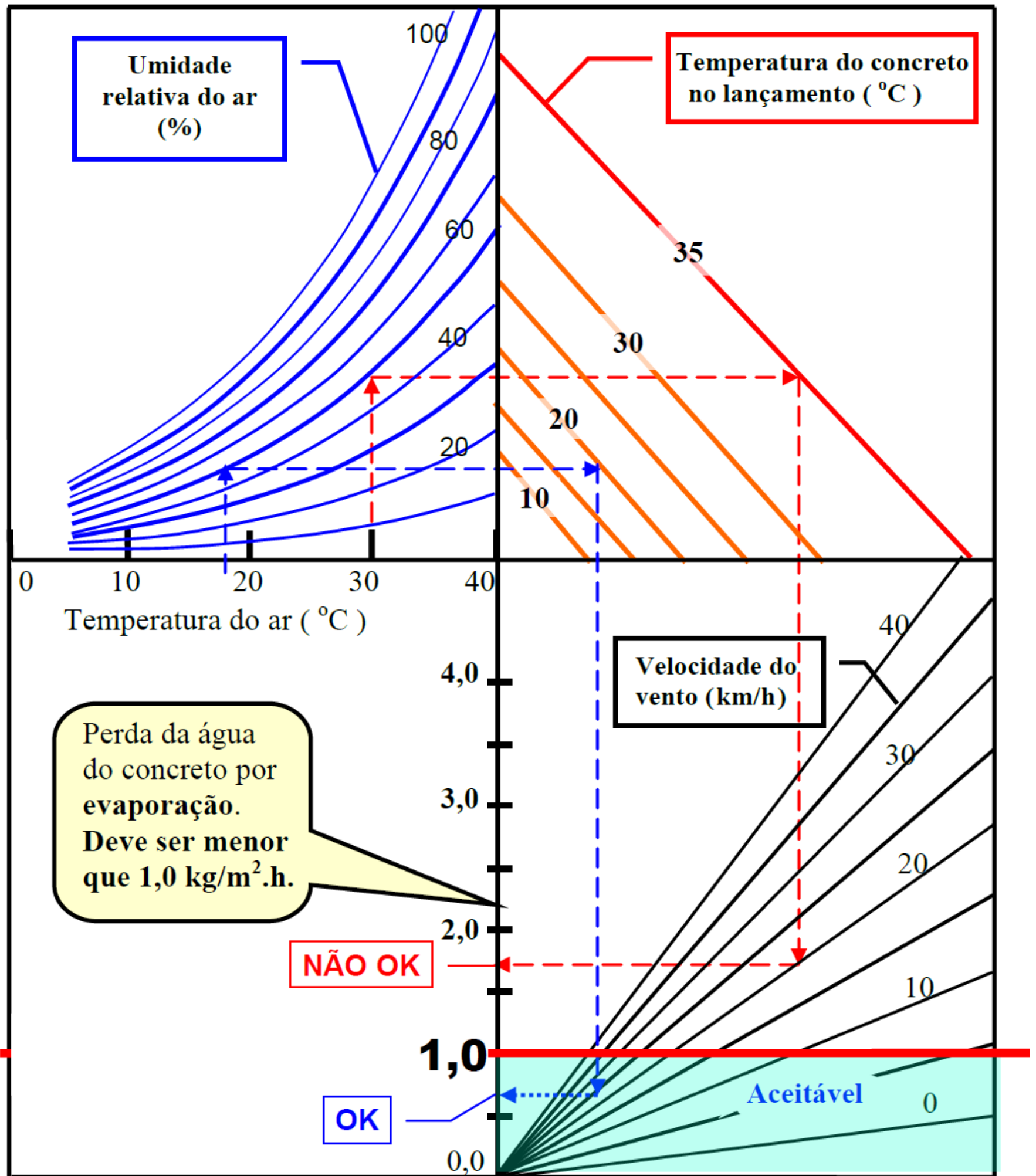
## COMENTÁRIOS

- Para fabricar o concreto com baixa temperatura deve-se misturar gelo na água.
- Para evitar o surgimento de fissuras por retração plástica, logo após a concretagem, além de lançar o concreto frio, deve-se cobrir o concreto recém-lançado com esteiras úmidas. Cobrir as esteiras com areia, para evitar que elas sejam deslocadas pelo vento.
- Manter essa cura úmida por 7 dias, pelo menos.

**Esteira :** Tecido de palha, junco, taquara, etc., feito de hastes entrelaçadas, etc

- Um cuidado complementar, usado em barragens de concreto, é fazer a concretagem em camadas de 30cm a 50cm, medindo a temperatura do concreto recém lançado e recém hidratado com termopares, não deixando a temperatura do concreto atingir 50 graus.
- Se necessário, esperar para concretar a camada seguinte.
- Esse procedimento, em geral, é desnecessário em blocos pequenos.

## LANÇAMENTO DO CONCRETO - (ampliado)



ACI305R-1991 e ACI305R-1999

[http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20305R-99%20Hot%20Weather%20Concreting\\_MyCivil.ir.pdf](http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20305R-99%20Hot%20Weather%20Concreting_MyCivil.ir.pdf)

- A velocidade do vento é medida a 50 cm acima da superfície do concreto.
- A temperatura do ar e a umidade relativa do ar devem ser medidas entre 1,2m e 1,8m acima da superfície do concreto. (Menzel, Carl A., "Causes and Prevention of Crack Development in Plastic Concrete," *Proceedings of the Portland Cement Association*, 1954, pages 130 to 136.)

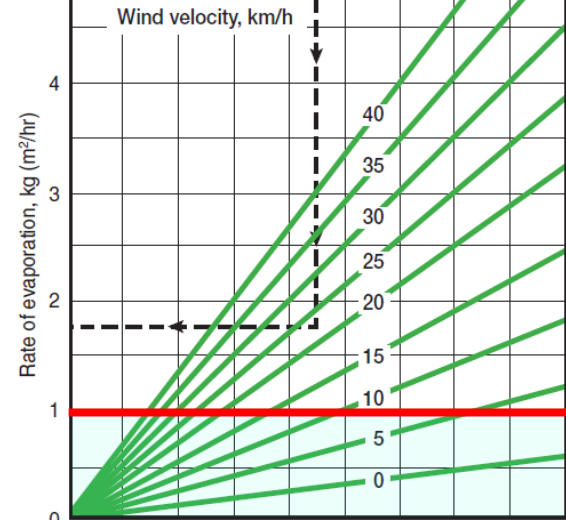
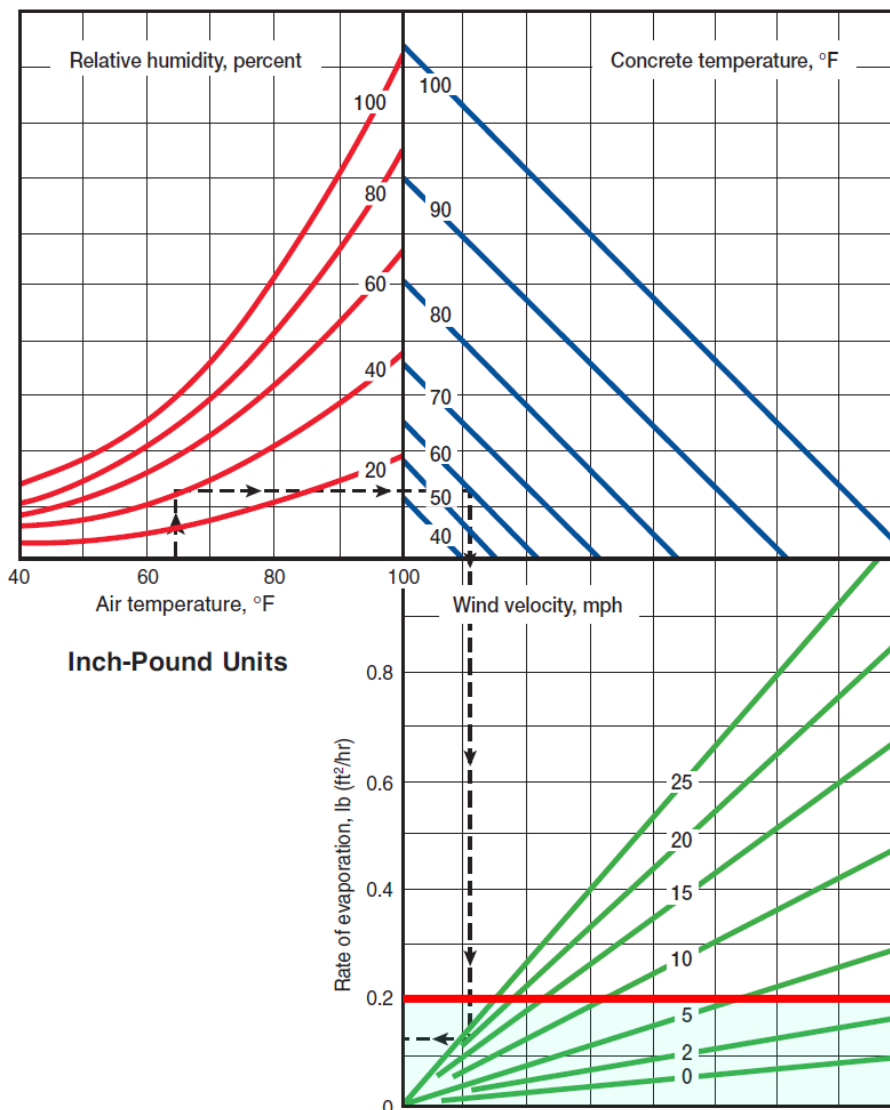
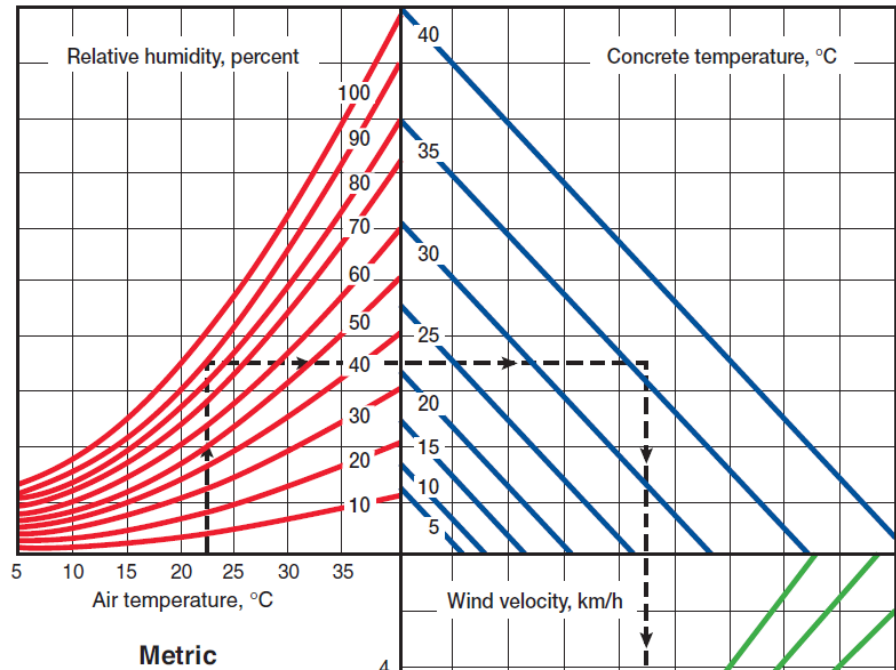
# Design and Control of Concrete Mixtures

Steven H. Kosmatka

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1300566/FULLTEXT02.pdf>

## To use these charts:

1. Enter with air temperature, move *up* to relative humidity.
2. Move *right* to concrete temperature.
3. Move *down* to wind velocity.
4. Move *left*: read approximate rate of evaporation.



One or more of the precautions listed below can minimize the occurrence of plastic shrinkage cracking. They should be considered while planning for hot-weather concrete construction or while dealing with the problem after construction has started. They are listed in the order in which they should be done during construction.

1. Moisten concrete aggregates that are dry and absorptive.
2. Keep the concrete temperature low by cooling aggregates and mixing water.
3. Dampen the subgrade (Fig. 13-9) and fog forms prior to placing concrete.
4. Erect temporary windbreaks to reduce wind velocity over the concrete surface.
5. Erect temporary sunshades to reduce concrete surface temperatures.

Fig. 13-8. Effect of concrete and air temperatures, relative humidity, and wind velocity on rate of evaporation of surface moisture from concrete. Wind speed is the average horizontal air or wind speed in km/h (mph) measured at 500 mm (20 in.) above the evaporating surface. Air temperature and relative humidity should be measured at a level approximately 1.2 to 1.8 m (4 to 6 ft) above the evaporating surface and on the windward side shielded from the sun's rays (Menzel 1954).