	Corrosão **Desplacamento do Concreto de Cobrimento** **nas Emendas por Traspasse**	**Prof. Eduardo C. S. Thomaz** **Notas de aula**

CORROSÃO DE ARMADURAS

EVENTUAIS CAUSAS PARA O

DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO

DAS EMENDAS DE BARRAS

A SEGUIR MOSTRAMOS MODELOS COM AS FORÇAS GERADAS PELA EXPANSÃO DO AÇO DAS BARRAS QUANDO ESSE AÇO É TRANSFORMADO NOS ÓXIDOS

Fe3O4, Fe(OH)2, Fe(OH)3, Fe(OH)3.3H2O

DURANTE A CORROSÃO (OXIDAÇÃO)

ANTECIPANDO AS CONCLUSÕES :

CONCLUSÃO 01	**UM COBRIMENTO GRANDE , ALÉM DE TORNAR MAIS DIFÍCIL A PENETRAÇÃO DE AGENTES AGRESSIVOS ÀS ARMADURAS, AUMENTA TAMBÉM A RESISTÊNCIA MECÂNICA AO DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO..**
CONCLUSÃO 02	**AS BARRAS EMENDADAS PRECISARIAM TER UM COBRIMENTO COM O DOBRO DA ESPESSURA DO COBRIMENTO DAS BARRAS ISOLADAS PARA QUE TIVESSEM A MESMA PROBABILIDADE DE DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO.**

O EFEITO DA CORROSÃO EM FRESTA, JÁ ABORDADO ANTERIORMENTE, NÃO É REAPRESENTADO. VER LINKS ABAIXO

http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/Corrosao%20emendas%20barras.pdf

http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/Corrosao%20emendas%20barras%20-%20Parte%202.pdf

Risque d’éclatements du béton dû à la corrosion de l’armature

Risque d’éclatements du béton dû à la corrosion de l’armature

F. Hunkeler,; B. Mühlan,;H. Ungricht,

ETH - Oktober 2006 Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office Fédéral des Routes

ZOOM

DESPLACAMENTO DO COBRIMENTO DA EMENDA DE DUAS BARRAS COM CORROSÃO

F. Hunkeler,; B. Mühlan,;H. Ungricht,

DESPLACAMENTO DO COBRIMENTO DE UMA BARRA COM CORROSÃO

https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/piece-concrete-crumbling-away-reveal-iron-1513789709

shutterstock.com - 1513789709

2007 - Enga Margarida Nascimento - Relatório da Visita efetuada pela equipe do CENTRAN e do IME às Pontes de entrada do Campo da Marambaia / RJ

2020 - Prof. Marcelo Medeiros - Engenharia de Construção Civil da

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

2019 - CORROSÃO NAS EMENDAS DAS BARRAS- PILAR NO VIADUTO DA AVENIDA DOUTOR FREITAS- BELÉM/PA

CBPE 2018 X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

Análise de Manifestações Patológicas em um Viaduto Localizado no Centro da Cidade de Belém-PA Catarina de Nazaré Pereira Pinheiro, Adriene Rodrigues Barbosa, Victória Dias Reis, Felipe Ramos de Oliveira

https://www.researchgate.net/publication/327944927_Analise_de_Manifestacoes_Patologicas_em_um_Viaduto_Localizado_no_Centro_da_Cidade_de_Belem-PA

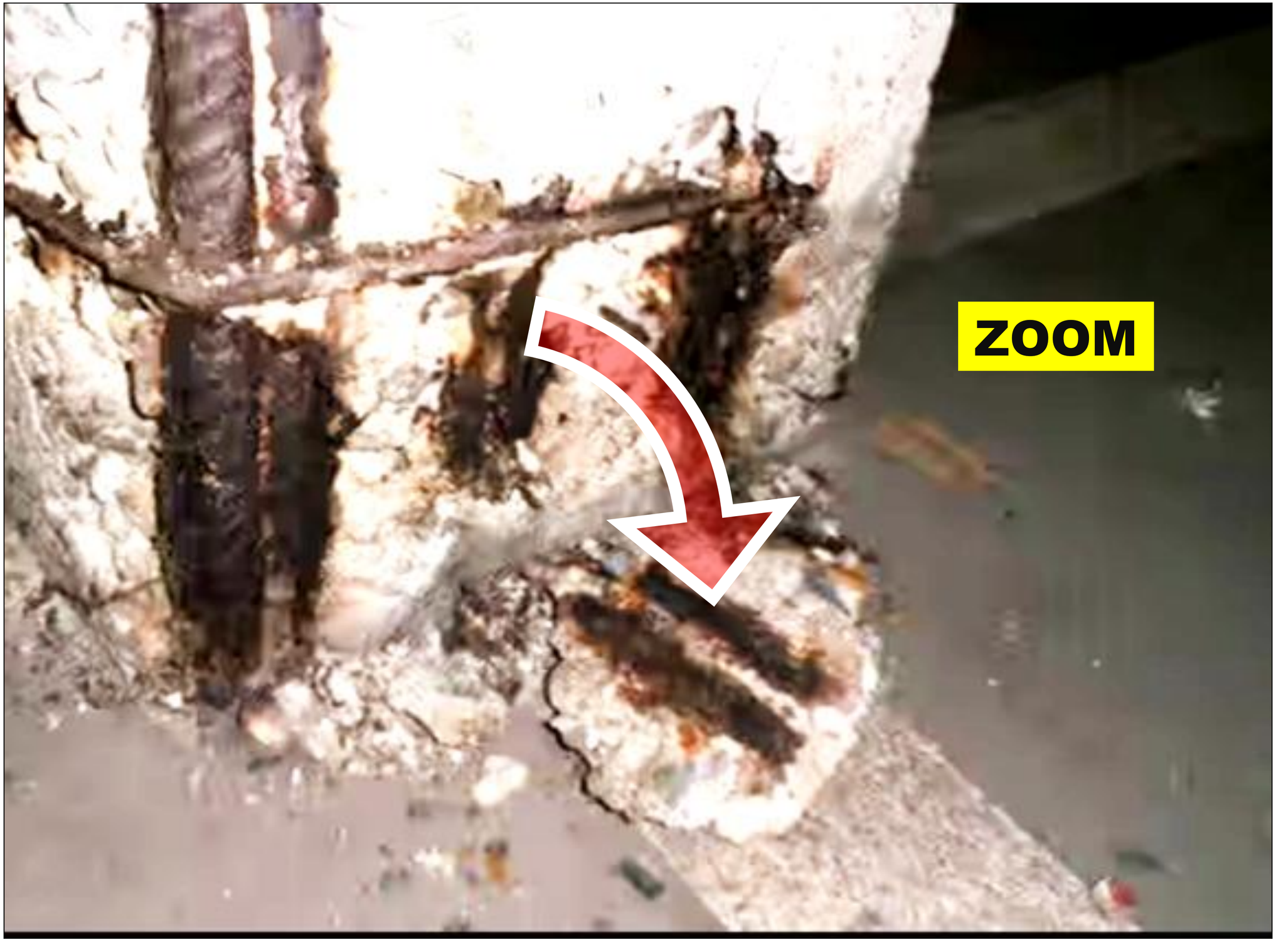
2019 - Viaduto Localizado no Centro da Cidade de Belém / PA = AVENIDA DOUTOR FREITAS

Parkbauten in Stahlbeton: Hinweise zu Oberflächenschutz und Gefälle (bi-medien.de)

Norbert Swoboda 19.10.2015, 16:36 Uhr, aktualisiert 20.03.2023, 12:08 Uhr MÜNCHEN

Parkbauten in Stahlbeton: Hinweise zu Oberflächenschutz und Gefälle (bi-medien.de)

Norbert Swoboda 19.10.2015, 16:36 Uhr, aktualisiert 20.03.2023, 12:08 Uhr MÜNCHEN



“ Corrosion of Steel in Concrete ”.

Luca Bertolini, Bernhard Elsener, Pietro Pedeferri, Rob P. Polder - Copyright - 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 3-527-30800-8

“

The main consequences of corrosive attack are shown in Figure 4.3.

Corrosion is often indicated by rust spots that appear on the external surface of the concrete, or by damage to the concrete cover produced by the expansion of the corrosion products.

These products in fact occupy a much greater volume than the original steel bar.

The volume of the corrosion products can be from 2 to 6 times greater than that of iron they are derived from, depending on their composition and the degree of hydration.

For example, the volumes of the oxides Fe_3O_4, $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_3 \cdot 3H_2O$ are, respectively, 2, 3, 4, and 6 times greater than that of iron.

In general, the volume of the products of corrosion, a mixture of these oxides, can be considered 3 – 4 times the volume of iron.

“

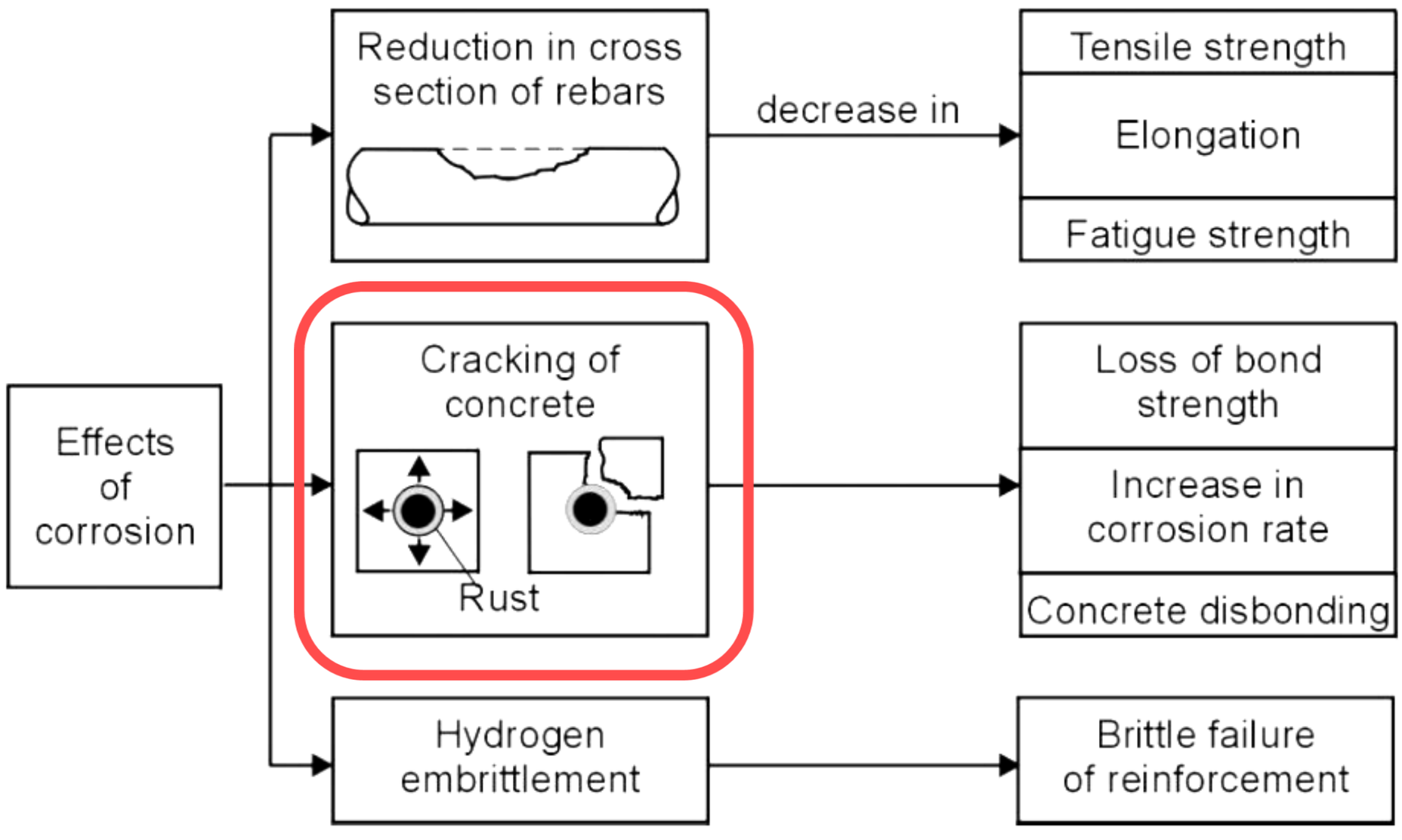


Figure 4.3 Structural consequences of corrosion in reinforced concrete structures [10]

DESPLACAMENTO em UMA BARRA

COM CORROSÃO

DESPLACAMENTO DO COBRIMENTO DE UMA BARRA COM CORROSÃO

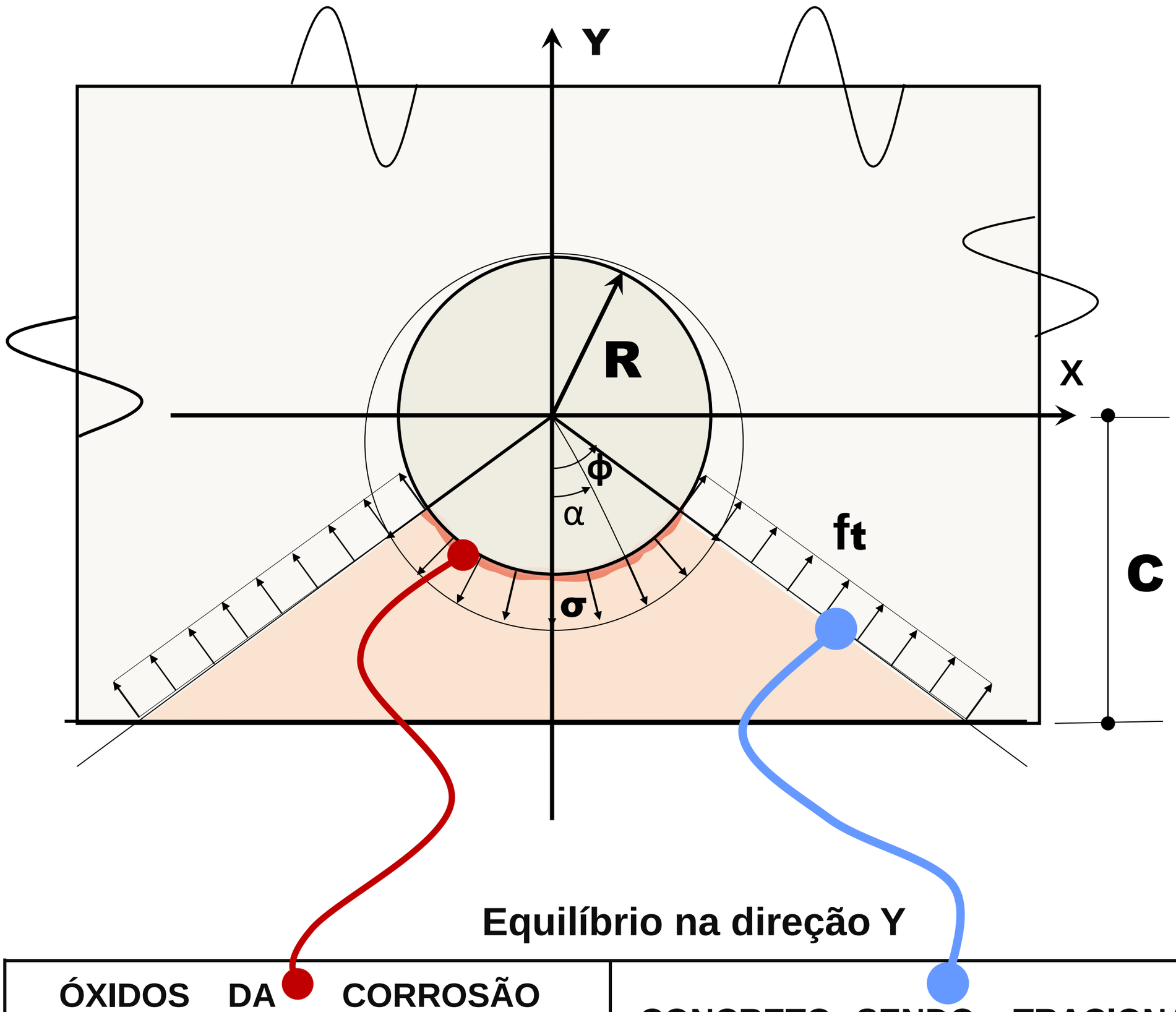
https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/piece-concrete-crumbling-away-reveal-iron-1513789709

shutterstock.com – 1513789709

DESPLACAMENTO em <u>UMA BARRA</u> COM CORROSÃO

σ = tensão de compressão devida à expansão dos óxidos de ferro formados na superfície da barra da armadura.

ft = resistência à tração do concreto



Equilíbrio na direção Y

ÓXIDOS DA CORROSÃO "*EMPURRANDO*" O COBRIMENTO	CONCRETO SENDO TRACIONADO
$\mathbf{2\ x} \int_0^{\phi} [(R.d\alpha).\sigma].\cos(\alpha) = \mathbf{2\ x} \left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right).\ ft\right].\ sen\phi$	

COBRIMENTO = C - R

$$\int_0^{\phi} [(R.d\alpha).\sigma].\cos(\alpha) = (R.\sigma).\int_0^{\phi} cos(\alpha).d\alpha) =$$

$$= (R.\sigma).\ sen\ (\phi)$$

Nas fotos dos desplacamentos observa-se :

$\phi \cong 45\ a\ 60 graus$ Usaremos $\phi \cong 45 graus$

ÓXIDOS DA CORROSÃO "EMPURRANDO" O COBRIMENTO	CONCRETO SENDO TRACIONADO
$\int_0^{\phi} [(R.d\alpha).\sigma].\cos(\alpha) =$	$\left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft\right] . sen\phi$
$(R.\sigma).sen(\phi) =$	$\left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft\right] . sen\phi$
$(R.\sigma) =$	$\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft$
$\sigma =$	$\left(\frac{C}{R.\cos\phi} - 1\right) . ft$
EXEMPLO 01 ; $\phi \cong 45 a 60 graus$; Usamos 45 graus **Barra 16mm ; R = 0,8 cm** **COBRIMENTO = C – R** **Cobrimento = 4 cm ; C = 4cm + 0.8cm = 4,8cm**	
$\sigma =$	$\left(\frac{4,8\ cm}{0,8cm\ .\ \cos\ 45 graus} - 1\right) . ft$
$\sigma =$	$7,5\ ft$

$\sigma =$	$\left(\frac{C}{R.\cos\phi} - 1\right) . ft$

EXEMPLO 02 :

Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 2 cm ; C = 2cm + 0.8cm = 2,8cm

$\sigma =$	$\left(\frac{2,8\ \text{cm}}{0,8cm\ .\ \cos\ 45\,graus} - 1\right) . ft$
$\sigma =$	$\left(\frac{2,8\ \text{cm}}{0,8cm\ .\ \cos\ 45\,graus} - 1\right) . ft$
$\sigma =$	$4,0\ ft$

EXEMPLO 03 :

Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 1 cm ; C = 1cm + 0.8cm = 1,8cm

$\sigma =$	$\left(\frac{1,8\ \text{cm}}{0,8cm\ .\ \cos\ 45\,graus} - 1\right) . ft$
$\sigma =$	$\left(\frac{1,8\ \text{cm}}{0,8cm\ .\ \cos\ 45\,graus} - 1\right) . ft$
$\sigma =$	$2,2\ ft$

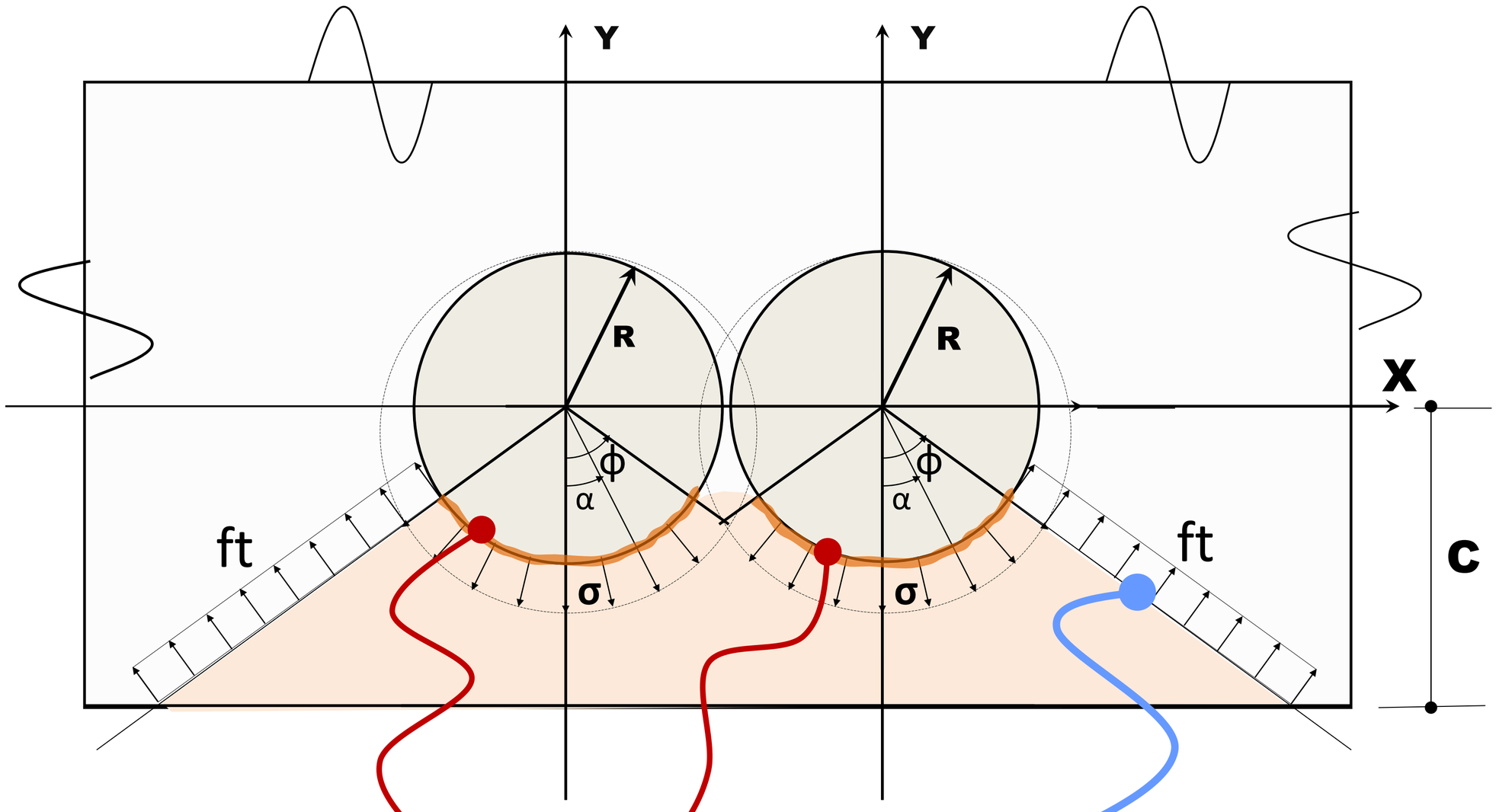
DESPLACAMENTO em EMENDA
de
DUAS BARRAS

COM CORROSÃO

DESPLACAMENTO em EMENDA de DUAS BARRAS COM CORROSÃO

Norbert Swoboda 19.10.2015, 16:36 Uhr, aktualisiert 20.03.2023, 12:08 Uhr MÜNCHEN

Modelo = DESPLACAMENTO em EMENDA de <u>DUAS BARRAS</u> COM CORROSÃO



ÓXIDOS DA CORROSÃO "EMPURRANDO" O COBRIMENTO	CONCRETO SENDO TRACIONADO

$$\mathbf{4\ x} \int_0^{\phi} [\,(R\,.\,d\alpha)\,.\,\sigma\,]\,.\cos(\alpha) \;=\; \mathbf{2x}\left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right)\,.\;ft\right].\,sen\phi$$

ÓXIDOS DA CORROSÃO "EMPURRANDO" O COBRIMENTO	CONCRETO SENDO TRACIONADO
$2 \times \int_0^{\phi} [(R.d\alpha).\sigma].\cos(\alpha) =$	$\left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft\right] . sen\phi$
$2 \times (R.\sigma).sen(\phi) =$	$\left[\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft\right] . sen\phi$
$2 \times (R.\sigma) =$	$\left(\frac{C}{\cos\phi} - R\right) . ft$
$\sigma =$	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{C}{R.\cos\phi} - 1\right) . ft$
EXEMPLO 04 : **COBRIMENTO = C - R** **Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 4 cm ; C = 4cm + 0.8cm = 4,8cm**	
$\sigma =$	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{4,8\ cm}{0,8cm\ .\ \cos\ 45 graus} - 1\right) . ft -$
$\sigma =$	$3,7\ ft$

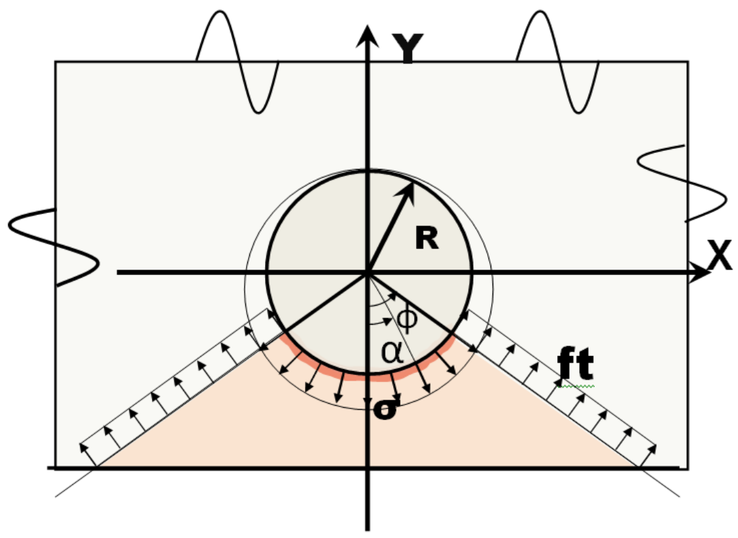
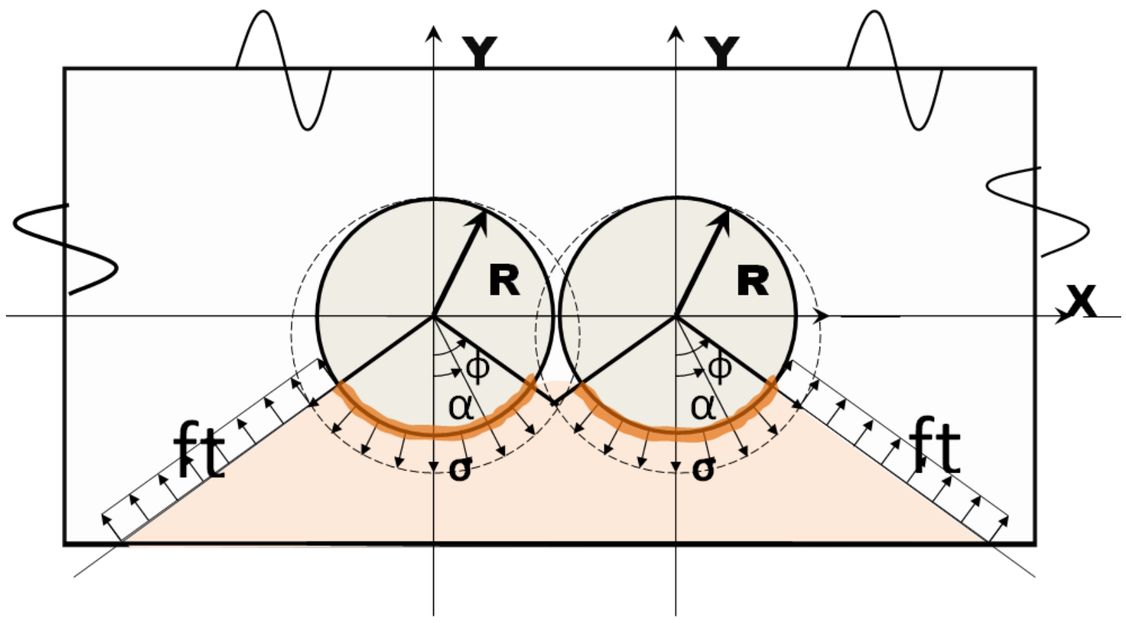
EXEMPLO 05 : Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 2 cm ; C = 2 cm + 0.8cm = 2,8cm	
$\sigma =$	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{2,8 \text{ cm}}{0,8cm \,.\, \cos 45 graus} - 1 \right) . \, ft -$
$\sigma =$	$2,0 \; ft$

EXEMPLO 06 : Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 1 cm ; C = 1 cm + 0.8cm = 1,8cm	
$\sigma =$	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{1,8 \text{ cm}}{0,8cm \,.\, \cos 45 graus} - 1 \right) . \, ft -$
$\sigma =$	$1,1 \; ft$

EXEMPLO 07 : Barra 16mm ; R = 0,8 cm ; Cobrimento = 8 cm ; C = 8 cm + 0.8cm = 8,8cm	
$\sigma =$	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{8,8 \text{ cm}}{0,8cm \,.\, \cos 45 graus} - 1 \right) . \, ft -$
$\sigma =$	$7,3 \; ft$

RESUMO

RESUMO : A TENSÃO σ , QUE CAUSA O DESPLACAMENTO , É FUNÇÃO DO COBRIMENTO DA BARRA

COBRIMENTO ▼		
8 cm	σ =,,,,,,,,,,,	σ = 7,3 ft
4 cm	σ = 7,5 ft	σ = 3,7 ft
2 cm	σ = 4,0 ft	σ = 2,0 ft
1 cm	σ = 2,2 ft	σ = 1,1 ft
CONCLUSÃO 01	UM COBRIMENTO GRANDE , ALÉM DE TORNAR MAIS DIFÍCIL A PENETRAÇÃO DE AGENTES AGRESSIVOS ÀS ARMADURAS, AUMENTA TAMBÉM A RESISTÊNCIA MECÂNICA AO DESPLACAMENTO.	
CONCLUSÃO 02	BARRAS EMENDADAS PRECISARIAM TER UM COBRIMENTO COM O DOBRO DA ESPESSURA DO COBRIMENTO DE BARRAS ISOLADAS PARA QUE TIVESSEM A MESMA PROBABILIDADE DE DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO.	

EXEMPLO

DE OBRA

COM

DESPLACAMENTO

CASO REAL - FOTO em 2011 - ELEVADO DO JOÁ / RJ

CORROSÃO EM REGIÃO COM MARESIA RICA EM CLORETOS

A CORROSÃO OCORREU NO TRECHO DA EMENDA POR TRASPASSE ENTRE O PRIMEIRO E O SEGUNDO LANCE DO PILAR, (VER PONTOS ASSINALADOS NA FOTO)

LONGE DO SOLO E LONGE DA "ZONA DE RESPINGO" (MOLHA , SECA)

Fotos tiradas pelo Eng. Raul Lisboa no dia 17 de julho de 2011, um domingo em que a pista do Elevado do Joá / RJ estava sem tráfego.

FOTO 1968 = PRIMEIROS LANCES DOS PILARES PÓRTICOS

FOTO 1968 = PRIMEIROS LANCES DOS PILARES PÓRTICOS

FASE SEGUINTE DA OBRA : EMENDA DAS ARMADURAS E EXCUÇÃO DO SEGUNDO LANCE DOS PÓRTICOS DE APOIO DAS VIGAS

FOTO 19?? - VISTA INFERIOR

POSIÇÃO DAS FUTURAS CORROSÕES

.

Fotos tiradas pelo Eng. Raul Lisboa no dia 17 de julho de 2011, um domingo em que a pista do Elevado do Joá / RJ estava sem tráfego

TRASPASSE DAS ARMADURAS - DESPLACAMENTO

ZOOM

A CORROSÃO OCORREU NO TRECHO DA EMENDA POR TRASPASSE

2011 - ZOOM ZOOM

2011 - ZOOM ZOOM ZOOM

2011 - NA FACE OPOSTA DO MESMO PILAR NA MESMA REGIÃO DA EMENDA POR TRASPASSE

MODELO DO DESPLACAMENTO

CRITÉRIOS

DESPLACAMENTO DO CONCRETO DO COBRIMENTO

HIPÓTESES ADOTADAS

1 = NO MODELO APRESENTADO , A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO É APENAS UM INPUT.

É UM VALOR QUE DEPENDE APENAS DA QUALIDADE DO CONCRETO DA OBRA , NADA MAIS.

A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO , NESSE ESTUDO, NÃO TEM QUALQUER RELAÇÃO COM A ESPESSURA DO COBRIMENTO.

OBS. = NA REALIDADE DAS OBRAS , NO ENTANTO, OBSERVA-SE QUE UM COBRIMENTO GRANDE PERMITE UMA CONCRETAGEM MELHOR , COM OS AGREGADOS PREENCHENDO BEM O ESPAÇO DO COBRIMENTO.

COBRIMENTOS PEQUENOS DIFICULTAM A CONCRETAGEM , PODENDO INCLUSIVE CRIAR BROCAS E VAZIOS NO CONCRETO DO COBRIMENTO.

2 = NA MEDIDA EM QUE A OXIDAÇÃO DAS BARRAS PROGRIDE E QUE A ESPESSURA DA CAMADA DOS ÓXIDOS DE FERRO VAI AUMENTANDO , VAI CRESCENDO TAMBÉM A TENSÃO COM QUE ESSES ÓXIDOS VÃO " EMPURRANDO O CONCRETO DO COBRIMENTO " .

3 = NA MEDIDA EM QUE OS ÓXIDOS DA CORROSÃO VÃO "EMPURRANDO O COBRIMENTO " (NA ÁREA DE CONTACTO ENTRE A BARRA E O CONCRETO) , UMA OUTRA PARTE DESSE CONCRETO DO COBRIMENTO, (NOS DOIS PLANOS INCLINADOS MOSTRADOS NAS FIGURAS) , VAI SENDO TRACIONADA PARA " SEGURAR O COBRIMENTO " .

4 = QUANDO A TENSÃO DE TRAÇÃO NESSES DOIS PLANOS INCLINADOS ATINGE A TENSÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO **ft** , OCORRE A RUPTURA DO CONCRETO NESSES DOIS PLANOS E O COBRIMENTO CAI.

5 = FINALMENTE ! PARA QUE NOS DOIS PLANIOS INCLINADOS SURJA UMA TENSÃO DE TRAÇÃO IGUAL A **ft** , A TENSÃO DE COMPRESSÃO **σ** COM QUE OS ÓXIDOS " EMPURRAM O COBRIMENRO " DEVE ATINGIR DETERMINADOS VALORES .

ESSES VALORES , SIM, DEPENDEM DO COBRIMENTO.

ESSES VALORES FORAM SEMPRE MOSTRADOS EM TODOS OS EXEMPLOS CALCULADOS ACIMA .

EXEMPLO :

Considerando um Concreto com **fc=35 MPa** e **ft=2,2 MPa**

=> Numa BARRA ISOLADA **ф = 16 mm** com cobrimento de 4,0 cm essa tensão **σ** de compressão deve valer **7,5** ft = **16,5 MPa**

=> Numa EMENDA DE DUAS BARRAS **ф = 16 mm** , com o mesmo cobrimento de 4,0 cm , essa tensão **σ** de compressão precisa valer apenas **3,7** ft = **8,1 MPa**

ISTO É = Na emenda de DUAS BARRAS ocorreria o DESPLACAMENTO antes que na BARRA ISOLADA, i.e. logo que a tensão **σ , com que os óxidos de ferro empurram o concreto, atingisse 3,7** ft = **8,1 MPa** < 35 MPa

+ + +

Resistência à tração do concreto

Laboratório de FURNAS Centrais Elétricas S.A.

Ensaios de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto

L.A.Farias(1); A.N.M.Lopes(1); M.L. Stival(2); M.A.S.Andrade(1); R.M.Bittencourt(1)

Tabela 1 – Correlações entre a Resistência à Tração e a Resistência à Compressão

Faixa de Resistência à Compressão (MPa)	Método Direto (%)	
	Leroy	Schumman & Tucker
5 – 10	11,4	9,6
10 – 20	8,1	7,4
20 – 30	6,8	6,5
30 – 40	6,2	6,2
40 – 50	5,9	6,0

Exemplo : fc=35 MPa e ft =6,2% x 35=2,2MPa

FIM !!!

COMENTÁRIOS

Comentários de engenheiros

Eng. Godart Sepeda - Sex 03/11/23 04:51

RES: RES: RES: [calculistas-br]
DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO DE EMENDAS DE DUAS BARRAS
De: godart@infolink.com.br

Boa noite, bom dia, Eduardo Thomaz e para Todos que aqui participam.

Eduardo, inicialmente me permito dizer que tenho a mais absoluta certeza de que todos aqui lhe são gratos pela colocação e estudo desta questão tão relevante.

Em segundo lugar , vou me atrever a dizer que a mecânica desta questão para todos os pilares que tenham dois pavimentos é automaticamente enquadrada no caso de "cobrimento de emenda de duas barras".

Desta forma, o ponto crítico a ser analisado será sempre na emenda dos pilares.

Não pretendo estender meu comentário para vigas e/ou outros elementos de uma estrutura para não perder o foco do que quero levantar aqui.

Suas considerações , que tenho como de extrema relevância , apresentam maior agravamento por não se dar tão somente no plano horizontal das seções.

Tem mais agravamento por surgirem mais fragilmente nas seções envolvidas pelos estribos.

Tem maior agravamento ainda por termos nos **“**pés” dos pilares a tendência de apertar ainda mais o espaçamento destes estribos.

Mas, temos o que mais me aterroriza que é a perda sensível da transferência de carga das barras inferiores para as barras superiores que teoricamente podem ser mostradas e demonstradas por um estudo de bielas e tirantes ao longo de uma parte do comprimento da emenda. Isso é grave demais.

A corrosão provoca a perda de seção da armadura, que provoca o desplacamento do concreto, que provoca a perda da capacidade de carga do pilar, mas que principalmente pode estar mudando, de maneira terminal, o modelo de cálculo da estrutura exatamente pela perda da capacidade de transferir os esforços de uma barra para outra nas seções de emenda dos pilares.

Engastes podem estar se tornando rótulas ou coisas ainda piores !!

Temos alguns Meninos Brilhantes surgindo no bojo da engenharia de estrutura de nossa terra que bem poderiam estudar a soma de todas essas coisas.

Godart Sepeda
Rio de Janeiro, Sex 03 / 11 / 23

Eng. Eduardo Thomaz

RES: RES: RES: [calculistas-br]

DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO DE EMENDAS DE DUAS BARRAS

De: Eduardo Thomaz ecsthomaz@terra.com.br

Bem lembrado ! Eng. Hildebrando Pereira Dos Santos Junior.

Realmente, no caso de um possível impacto de caminhões em pilares de passarelas e viadutos, as normas alemães , baseadas nos ensaios de Camillo Popp (1965), recomendam que se use a armadura resistente do pilar afastada pelo menos 10cm da face do pilar (Ver no link abaixo)

Esses 10 cm superficiais não são considerados no cálculo estrutural do pilar.

São apenas uma camada protetora contra impactos,

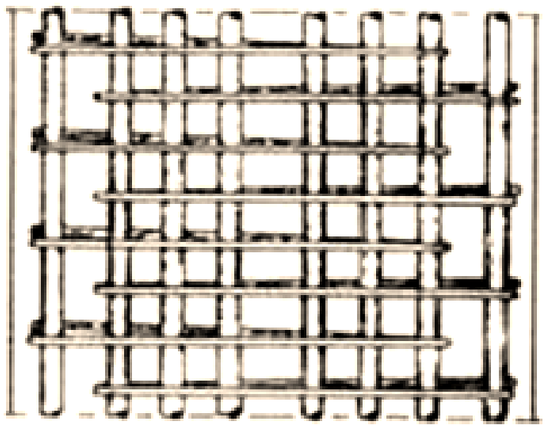
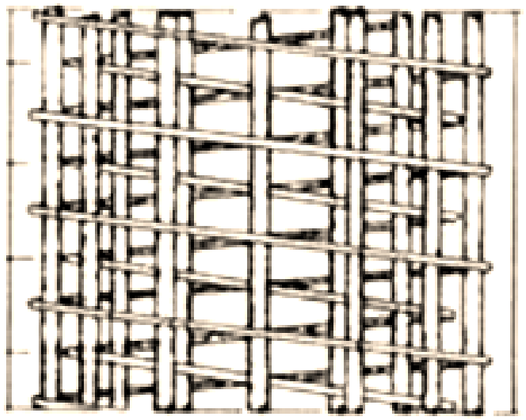
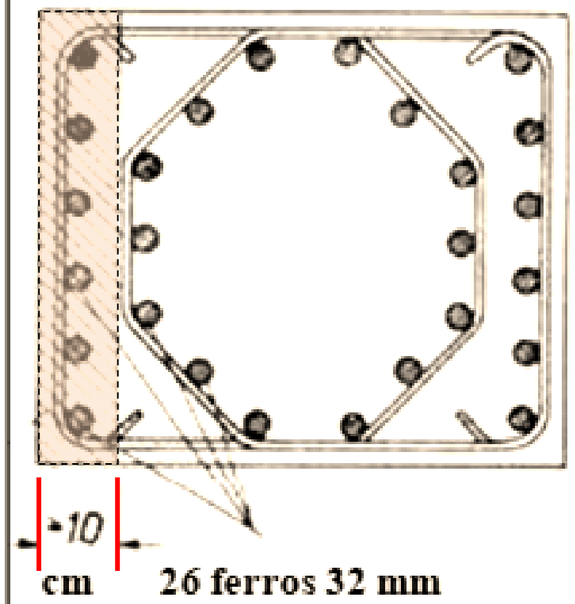
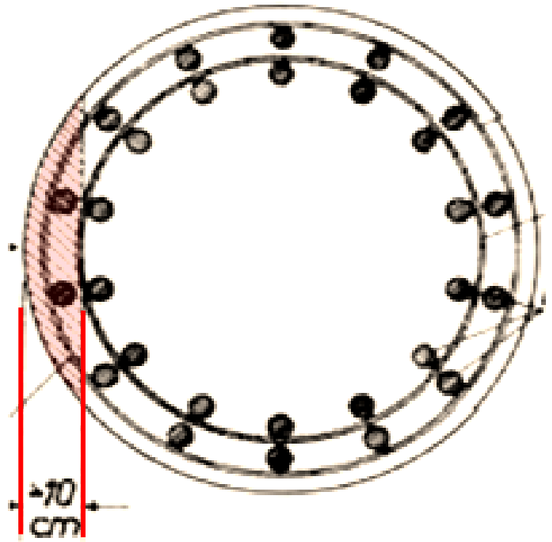
http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo121.pdf

Fazendo uma associação com o ataque de ambientes agressivos, como, por exemplo, uma forte maresia, podemos considerar, em obras muito expostas, uma camada de 10cm como protetora contra o ataque da maresia.

As armaduras para resistir aos esforços atuantes ficariam então numa segunda camada, afastada 10 cm das faces do pilar.

Ver figuras abaixo, do trabalho de Camillo Popp.

CAMILLO POPP (1965)

Armadura :	Pilar Retangular	Armadura	Pilar circular
Longitudinal : 26 ferros 32mm **Transversal:** **Estribos** **12,5mm** **cada 12cm** **em cada grupo,** **com traspasse em** **uma face do pilar.**	 **Vista lateral**	**Longitudinal** 28 ferros 32mm **Transversal:** **Estribos** **12,5mm** **cada 12cm** **em cada grupo,** **com traspasse em** **uma circunferência** **completa**	 **Vista lateral**
⇒ **Impacto** **Não considerar os** **10cm destruídos** **pelo impacto.**	 10 cm **26 ferros 32 mm** **Seção : 55cm x 65cm**	⇒ **Impacto** **Não considerar os** **10cm destruídos** **pelo impacto.**	 10 cm **Seção: ϕ =65cm**

Camillo Popp – **Untersuchungen über den Stossverlauf beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton = (Ensaios sobre a variação da força do Impacto durante a colisão de caminhões com pilares e colunas de concreto armado) - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 172 –1965**

+++

PESQUISAS ATUAIS

“ Construction and Building Materials “

Volume 296, 16 August 2021, 123587

Crevice corrosion of steel rebar in chloride-contaminated concrete

Lei Yan a , Guang-Ling Song a,b,c,⇑ , Ziming Wang a , Dajiang Zheng a

. . . . . .

. . . . . .

“

4.3. The crevice corrosion in concrete

In recent years, the effects of chloride ions and temperature on the corrosion behavior of reinforcing steel rebar in real concrete or in **simulated concrete pore solution** (**SCPS**) have been investigated by many researchers.

Crevice corrosion could occur not only in the SCPS, but also in real concrete.

According to the EIS results as shown in Fig. 15, it could be concluded that the HRB400 steel was more likely to be in a critical unstable state in which the crevice corrosion might be not very severe.

Therefore, in the cross-section images, the surface area directly exposed to the mortar was free of corrosion, while some rust was found in the crevice interior area under the PMMA plate which simulated a gravel aggregate (see Fig. 16).

In practice, all the reinforced concrete structures contain coarse aggregates (either rounded or crushed), and they can form crevices with steel rebar.

Due to imperfect concrete casting, these crevices are unlikely to be fully filled by cement.

Hence, crevices like the simulated one in this study cannot be avoided, and the crevice corrosion is highly likely.

Certainly, the aggregate shape and size can to some extent affect the crevice corrosion sensitivity.

It is well known that crevice corrosion is more likely to occur in a narrower and deeper crevice, into which oxygen is more difficult to diffuse.

A crevice formed between steel rebar and a spherical aggregate has a ‘‘mouth” becoming smaller and smaller as the distance from the aggregate / rebar contact point decreases.

Therefore, the crevice corrosion is easier to occur around the contact point, and **the corrosion area is determined by the aggregate size.**

In practice, aggregates have various shapes and sizes.

All the contact points of an aggregate on the steel rebar can be the sites for crevice corrosion.

Obviously, some electrochemical parameters for the HRB400 steel in the concrete cannot be exactly the same as those in the SCPS owing to the complexity of concrete microstructure and high concrete resistivity.

The crevice corrosion behavior of the reinforced concrete might be slightly different.

For example, in a newly built concrete structure the pH is typically in the range of 13.0–13.5, higher than 12.5 due to the dissolved Na^+ , K^+ and more OH^- ions in the pore solution.

Correspondingly, the conductivity and buffering effect of the pore solution are also higher and stronger.

Thus, pitting and crevice corrosion risks are very low.

However, the pH value and the concentrations will gradually decrease with time, particularly in the region with micro-crack defects.

Consequently, **the crevice corrosion risk will increase more quickly than that of pitting corrosion** according to the study.

▪ ▪ ▪ ▪

5. Conclusions The experiments in the study have shown that due to the presence of a crevice, corrosion can initiate at a lower bulk chloride concentration and at a lower temperature than in the absence of a crevice.

Certainly, the numerical values of the thresholds are also influenced by some experimental conditions, such as pH, geometry, and stirring speed, which need more detailed further investigations.

Nevertheless, the following specific conclusions can be obtained:

1) Crevice corrosion can occur on the HRB400 steel rebar at room temperature once the concentration of chloride ions is higher than 0.25 M in a simulated concrete pore solution (SCPS), or at temperatures higher than 35 C in the SCPS containing 0.10 M chloride ions.

A higher concentration of chloride ions and temperature can give rise to more serious crevice corrosion damage, and the auto-catalytic crevice corrosion always deteriorates with time.

2) The galvanic effect resulting from the differences in electrochemistry between the interior and exterior of a crevice in the SCPS accelerates the anodic dissolution inside the crevice.

This accelerating effect increases with increasing concentration of chloride ions and temperature.

3) The crevice corrosion can also be preferentially triggered in concrete.
Crevice corrosion damage that has been overlooked must be considered in reinforced concrete structures.

DEFINIÇÃO

Mill Scale = Carepa de Laminação

A carepa de laminação de aço é um resíduo sólido gerado na indústria metalúrgica.

Essa é formada em função da oxidação de tarugo ou placa de aço, portanto, sendo composto por óxidos, basicamente de ferro.

Ver Links :

https://www.youtube.com/watch?v=fJshkCwUV1s

https://www.youtube.com/watch?v=qkT0a1zgosY

2022 - RILEM TC REPORT

Methods for characterising the steel–concrete interface to enhance understanding of reinforcement corrosion: a critical review by RILEM TC 262-SCI

Published online: 3 May 2022

Abstract

The **steel–concrete interface (SCI)** is a complex, multi-phase and multi-scale system.

It is widely known to influence the performance and longterm durability of concrete structures.

However, a fundamental understanding of its properties and effects on corrosion initiation of embedded reinforcing steel remains elusive.

This is attributed to its complicated heterogeneity and time-dependent nature, exacerbated by the lack of suitable techniques for systematic and detailed characterisation.

This paper, prepared by members of the RILEM Technical Committee 262-SCI, critically reviews available information regarding current methods (laboratory or field-based) for characterizing local properties of the SCI that have been identified as governing factors affecting corrosion initiation.

These properties include characteristics of the steel such as **MILL SCALE (= carepa de laminação)** and **rust layers,** and characteristics of the concrete such as **interfacial voids, microstructure and moisture content**.

Materials and Structures (2022) 55:124

We evaluated over twenty methods and summarized their advantages, applications and limitations.

The findings show a severe lack of well established, nondestructive techniques that are suitable for direct monitoring of the SCI at a representative scale with sufficiently high resolution (spatial, temporal), particularly for moisture related aspects.

Several promising novel techniques with significant potential for further development and application were identified and discussed.

Finally, we provide several recommendations for future research needs that are required to advance this critically important topic.

1 Introduction

It is well known that the **steel–concrete interface (SCI)** plays a significant role in determining the performance and long-term durability of reinforced concrete structures.

Yet, our fundamental understanding of the SCI is incomplete.

Recent state-of-the-art reviews, prepared by the members of RILEM TC 262-SCI, attempted to elucidate the characteristics of the SCI and their potential impact on corrosion of steel reinforcement in concrete [1, 2].

These reviews have shown that, despite many decades of research, the most dominant SCI characteristics influencing the susceptibility of steel reinforcement to corrosion remain largely unclear.

The associated uncertainty is mainly attributed to the complexity and heterogeneity of the SCI, and its interactions with many factors.

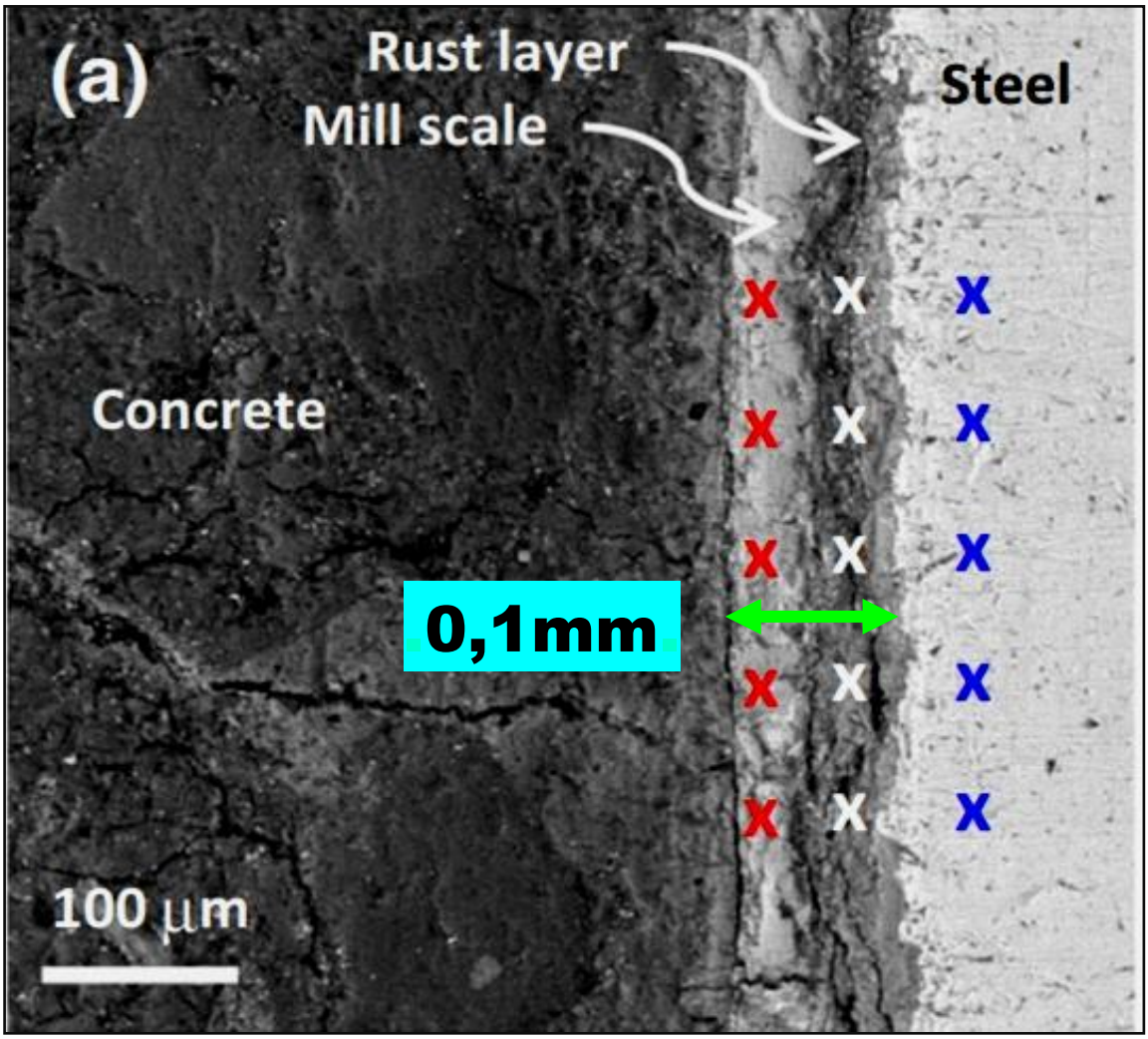
However, the absence of a comprehensive understanding and the existence of (some) conflicting findings in the literature are also, to an extent, due to a lack of informative, consistent and well-established experimental methods for studying the SCI.

This limits our ability to model reinforcement corrosion accurately, formulate new materials and construction practices to build corrosion-resistant reinforced concrete structures, and develop new means and methods to delay corrosion onset or propagation, extending the service life of existing structures.

Thus, a systematic approach for characterizing the local, physical, and chemical properties of the SCI is highly needed.

The overall aim of this paper is to evaluate techniques for characterizing local properties of the SCI that have been identified as the main factors influencing corrosion initiation in previous publications by the RILEM TC 262-SCI.

These include characteristics of the steel surface such as **mill scale** (= carepa de laminação) and **rust layers**, and characteristics of the concrete such as interfacial **voids, microstructure and moisture content** [2]. This paper will focus on techniques currently used in practice (in the laboratory or field) and touch on potential methods under development



▪ ▪ ▪

8 Conclusions

We evaluated over twenty methods for studying local characteristics of the steel–concrete interface (SCI) identified as the main parameters influencing corrosion initiation in previous reports by the RILEM TC 262-SCI.

The key findings are:

The SCI is physically and chemically complex with time-dependent properties that vary over multiple length scales due to many interacting factors.

None of the existing methods was deemed satisfactory on its own to provide a complete characterization of the main parameters influencing corrosion initiation.

Therefore, combination of different methodologies is required.

Several established techniques are available for direct quantitative characterization of selected features, namely mill scale (= carepa de laminação) and rust layers on the steel surface, and the interfacial voids and microstructure of the cementitious matrix at the SCI.

However, no proven techniques exist for in-situ characterization of the moisture content, state and distribution, and electrolyte solution composition at the SCI.

Yet, we consider these as the main factors influencing corrosion.

A significant limitation of many current established techniques is that they are destructive, and thus unsuitable for monitoring time-dependent changes at

the SCI or field application on actual structures.

Another challenge is the conflict between achieving a representative field of view and high spatial resolution, limiting characterization to small specimens of the SCI that may not represent conditions in engineering structures.

We cannot yet reliably determine the location of corrosion initiation with respect to other features at the SCI.
Conventional two-dimensional characterization may lead to misinterpretation of the actual mechanism. Nevertheless, several three-dimensional techniques have emerged in recent years, and more work is needed to establish and exploit these for characterizing the SCI fully.

- More research is needed to establish new or improved protocols to achieve non-destructive and representative characterization of the SCI without losing sensitivity or resolution.

▼

▼

▼

Segue

2022 - Materials and Structures (2022) 55:124 - TABLE 2

RILEM - Summary of methods and their potential for characterizing SCI

SCI = **S**teel–**C**oncrete **I**nterface

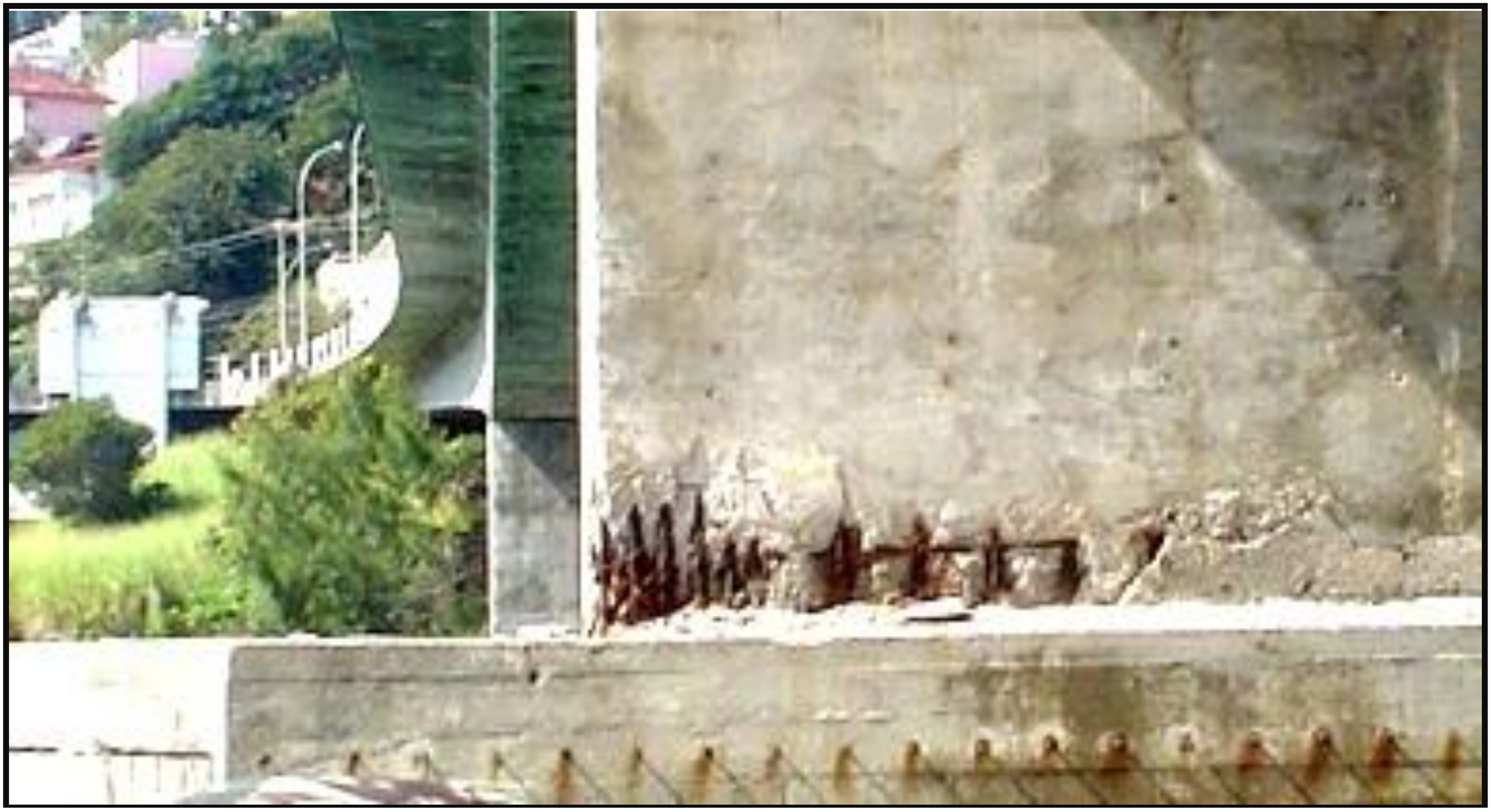
Method*	Length scale	Direct observation	Quantitative	Physical properties	Chemical properties	Three-dimensional	Non-destructive	Spatial & temporal	Field application
Microscopy									
Optical microscopy (OM)	µm-cm	✓	✓	✓	•	•	×	×	×
Secondary elec. (SEM-SE)	nm-mm	✓	×	✓	•	•	×	×	×
Backscattered elec. (SEM-BSE)	µm-cm	✓	✓	✓	•	×	×	×	×
Focused ion beam (FIB-SEM)	µm	✓	✓	✓	•	✓	×	×	×
Transmission elec. (TEM)	nm-µm	✓	✓	✓	•	•	×	×	×
Radiography and tomography									
X-ray imaging (µCT)	µm-cm	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	×
Neutron imaging	µm-cm	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	×
Combined X and neutron imaging	µm-cm	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	×
Spectroscopy									
Energy-dispersive X-ray (EDX)	µm-mm	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
Raman spectroscopy	µm-mm	✓	✓	×	✓	×	•	•	×
X-ray photoelectron (XPS)	nm-µm	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
Infrared spectroscopy (IR)	µm-mm	×	✓	•	✓	×	×	•	×
Physical									
Nano/micro indentation	nm-µm	✓	✓	✓	×	×	×	×	×
Thermogravimetric analysis (TGA)	mm	•	✓	✓	•	×	×	×	×
Dynamic vapour sorption (DVS)	mm	•	✓	✓	×	×	×	×	×
Others (less applicable)									
Electrochemical	mm-cm	×	✓	•	•	×	✓	•	✓
Mass transport based	µm-cm	×	•	✓	×	×	•	•	•
Electrical resistivity	mm-cm	×	•	✓	×	×	•	•	✓
Elec. resistance tomography (ERT)	mm-cm	×	•	✓	×	•	✓	•	✓
Ground penetrating radar (GPR)	mm-cm	×	•	✓	×	•	✓	✓	✓
Ground penetrating radar (GPR)	mm-cm	×	•	✓	×	•	✓	✓	✓
Nuclear magnetic res. (NMR)	mm-cm	×	•	✓	×	×	✓	✓	✓

* Notes: We define a method as "indirect" if it applies only to the bulk concrete, steel or reinforced concrete, as a proxy to SCI (see Section 2 and Fig. 1). A method is "non-destructive" if it can characterise SCI in its native state without extensive sample preparation (e.g. sampling, cutting, drying, grinding, polishing etc.) that might alter the SCI characteristics. "Spatial & temporal" refers to the ability to capture changes in properties over space and time on a single specimen.

FINAL

FINAL

2006 / 2007 - Enga Margarida Nascimento - Relatório das Visitas efetuadas pelas equipes do CENTRAN / EB / BR e do IME / EB / BR às Pontes da entrada do Campo da Restinga da Marambaia / RJ



FACE LATERAL DO PILAR

ZOOM

REMOVENDO O DESPLACAMENTO

REMOVENDO O DESPLACAMENTO - CORROSAO NAS EMENDAS

+ + +