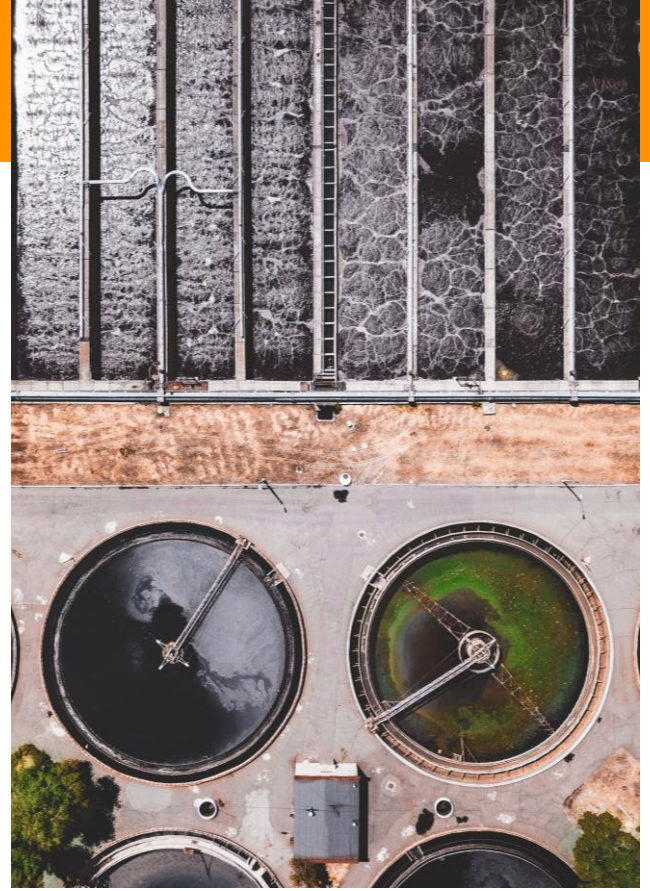
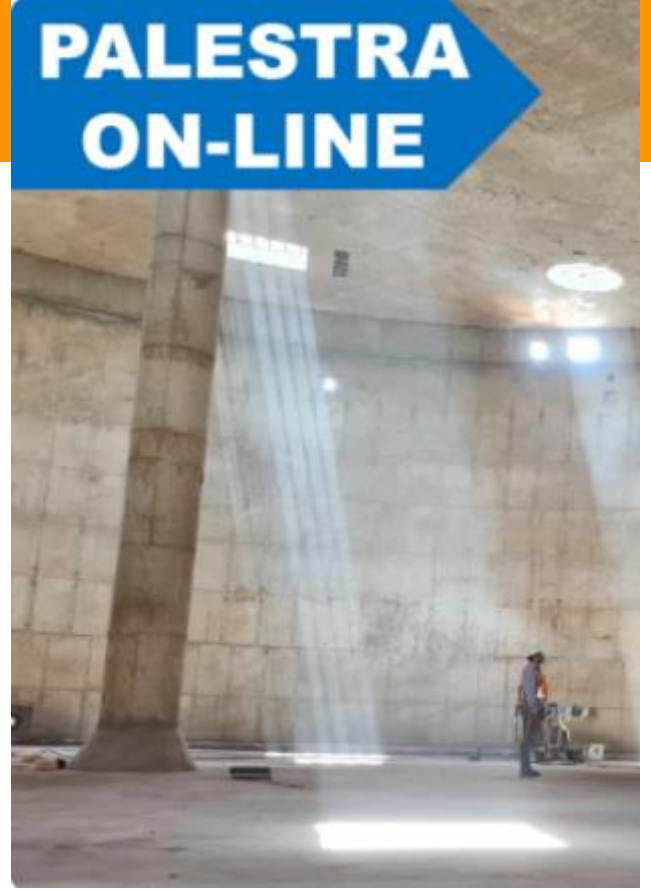


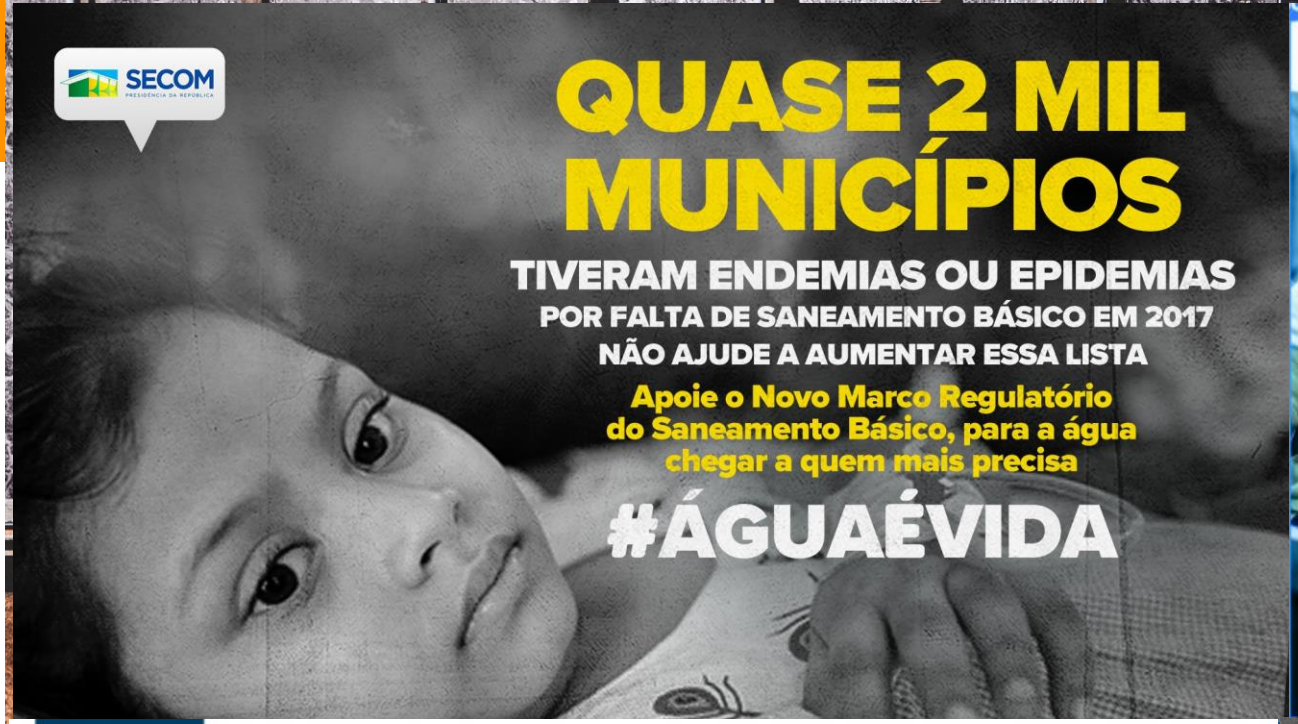


CONCRETOS ESPECIAIS PARA A DURABILIDADE DE OBRAS DE SANEAMENTO: CONCRETOS AUTOCICATRIZANTES, ANTIMICROBIANOS E REVESTIMENTOS GEOPOLIMÉRICOS

- Palestrante:
- MSc. Eng. Emilio Minoru Takagi
- Diretor Técnico da Penetron International

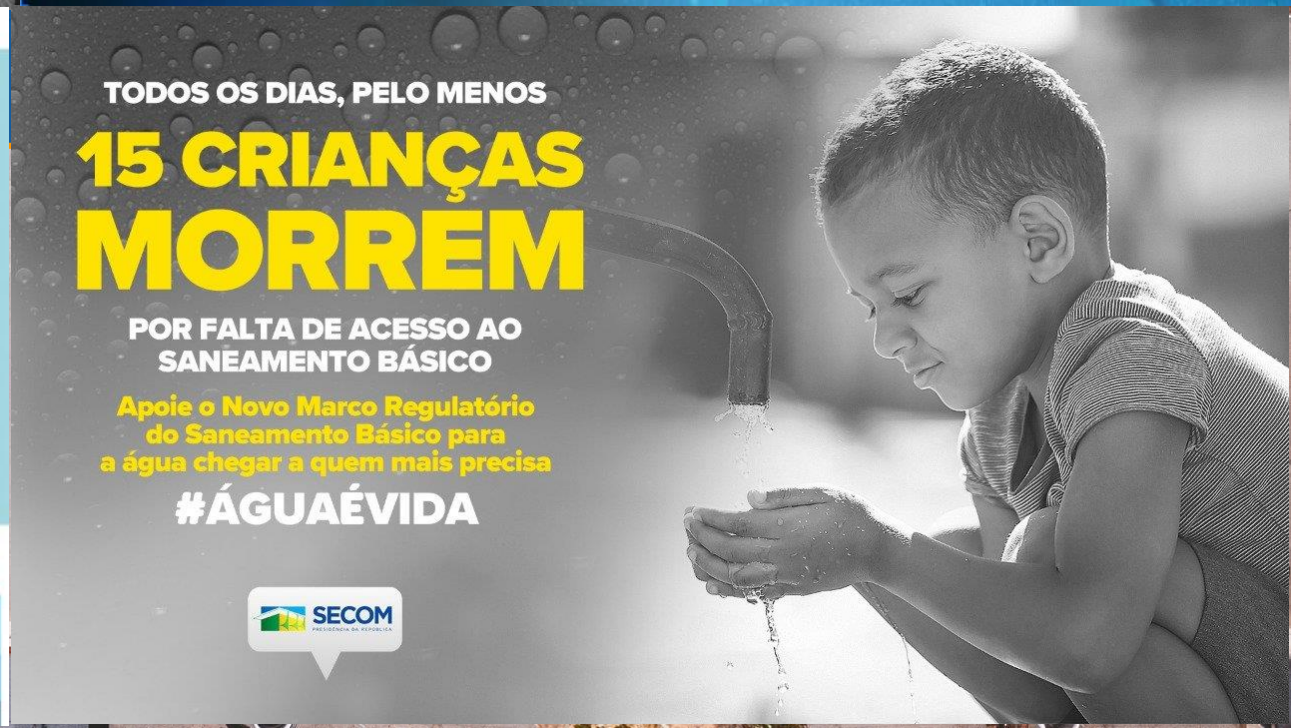
MINICURRÍCULO

- Diretor Técnico da Penetron International
- Doutorando e Mestre em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
- Membro do Comitê Editorial da Revista Concreto & Construções do IBRACON
- Secretário do CT-501 “Estanqueidade do Concreto” do IBRACON e IBI
- Gerente Técnico e Gerente de Produto da MC-Bauchemie Brasil
- Extensão universitária pela Japan International Cooperation Agency - JICA
- Engenheiro civil pela Escola Politécnica da USP (EPUSP)


SECOM
PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
QUASE 2 MIL MUNICÍPIOS
TIVERAM ENDEMIAS OU EPIDEMIAS
POR FALTA DE SANEAMENTO BÁSICO EM 2017
NÃO AJUDE A AUMENTAR ESSA LISTA
Apoie o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, para a água chegar a quem mais precisa
#ÁGUAÉVIDA

INVESTIR EM SANEAMENTO É INVESTIR EM DESENVOLVIMENTO
700 MIL EMPREGOS ATÉ 2033
#ÁGUAÉVIDA
SECOM

TOZZINIFREIRE
ENTENDA O MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO
SANEAMENTO BÁSICO EM NÚMEROS: LONGE DA UNIVERSALIZAÇÃO
Os Pilares do Saneamento Básico são o acesso da população a:
Rede de Abastecimento de Água
Coleta e Tratamento de Esgoto
Baixos índices de acesso a água e esgoto batidos no Brasil
100 milhões de brasileiros NÃO TEM ACESSO à coleta de esgoto (quase metade da população)
de 147 a 171 bilhões de dólares SÃO NECESSÁRIOS para, no ano de 2033 se atingir a meta de universalização do Plano Nacional de Saneamento Básico
Apenas 6% de participação do setor privado 6%
49 agências reguladoras
X
5570 prefeitos em todo o país que, em tese, decidem sobre investimentos no setor
fragmentação e confusão normativa
marco legal: destravando investimentos
Abertura ao Setor Privado:
Contratos de Concessão serão a norma (concorrência):
Definição de metas de universalização até 2033
Restrição aos Contratos de Programa: regras de transição
Licitação de Blocos de Referência ou Microrregiões: para organizar a demanda e mitigar pulverização dos serviços
maior segurança jurídica
Fortalecimento da Agência Nacional de Águas (ANA):
"Regulação padronizada": ANA passaria a editar normas de referência aos demais órgãos reguladores estaduais/municipais
Incentivo à adesão de prefeituras: apoio da União e acesso a crédito
Incentivo à ARBITRAGEM para resolução de conflitos nos contratos de concessão.
VALE A PENA INVESTIR
Cada US$1 investido em saneamento representa economia de US$4,3 em gastos com saúde
12-16% de Taxa de Retorno Interno (TIR)
CONTATOS
CLAUDIA ELENA BONELLI
cbonelli@tozziniFreire.com.br
ANTONIO BARBUTO NETO
abarbuto@tozziniFreire.com.br


TODOS OS DIAS, PELO MENOS
15 CRIANÇAS MORREM
POR FALTA DE ACESSO AO SANEAMENTO BÁSICO
Apoie o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico para a água chegar a quem mais precisa
#ÁGUAÉVIDA
SECOM

TOZZINIFREIRE

ENTENDA O MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO

SANEAMENTO BÁSICO EM NÚMEROS: LONGE DA UNIVERSALIZAÇÃO

Os Pilares do Saneamento Básico são o acesso da população a:

Rede de Abastecimento de Água

Coleta e Tratamento de Esgoto

Baixos índices de acesso a água e esgoto batidos no Brasil

100 milhões de brasileiros NÃO TEM ACESSO à coleta de esgoto (quase metade da população)

de 147 a 171 bilhões

de dólares SÃO NECE$$ÁRIOS para, no ano de

2033

se atingir a meta de universalização do Plano Nacional de Saneamento Básico

Apenas 6% de participação do setor privado **6%**

49 agências reguladoras

X

5570 prefeitos em todo o país que, em tese, decidem sobre investimentos no setor

fragmentação e confusão normativa

marco legal: destravando investimentos

Abertura ao Setor Privado:

Contratos de Concessão serão a norma (concorrência):

- Definição de metas de universalização até 2033
- Restrição aos Contratos de Programa: regras de transição
- Licitação de Blocos de Referência ou Microrregiões: para organizar a demanda e mitigar pulverização dos serviços

maior segurança jurídica

Fortalecimento da Agência Nacional de Águas (ANA):

- "Regulação padronizada": ANA passaria a editar normas de referência aos demais órgãos reguladores estaduais/municipais
- Incentivo à adesão de prefeituras: apoio da União e acesso a crédito

Incentivo à ARBITRAGEM para resolução de conflitos nos contratos de concessão.

VALE A PENA INVESTIR

Cada US$1 investido em saneamento representa economia de US$4,3 em gastos com saúde

12-16% de Taxa de Retorno Interno (TIR)

CONTATOS

CLAUDIA ELENA BONELLI
cbonelli@tozzinifreire.com.br

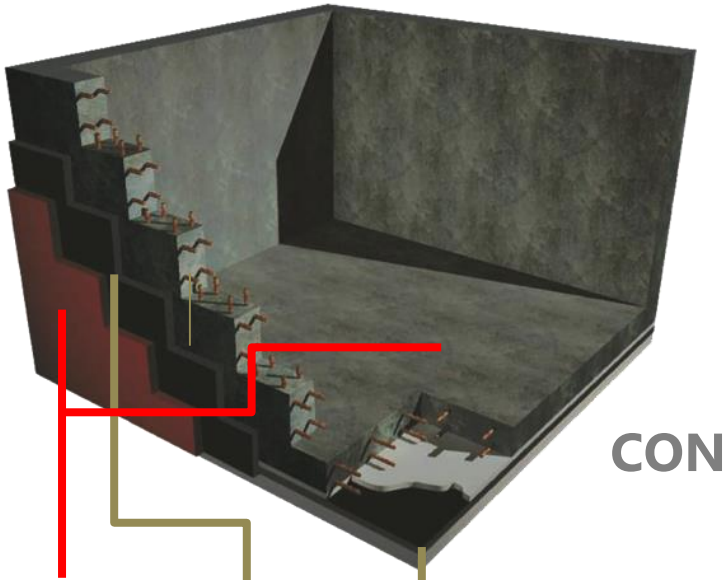
ANTONIO BARBUTO NETO
abarbuto@tozzinifreire.com.br

WHITE TANK

DA PALLESTRA EM CAIXA ALTA
DO PALESTRANTE

Sistema WHITE TANK®

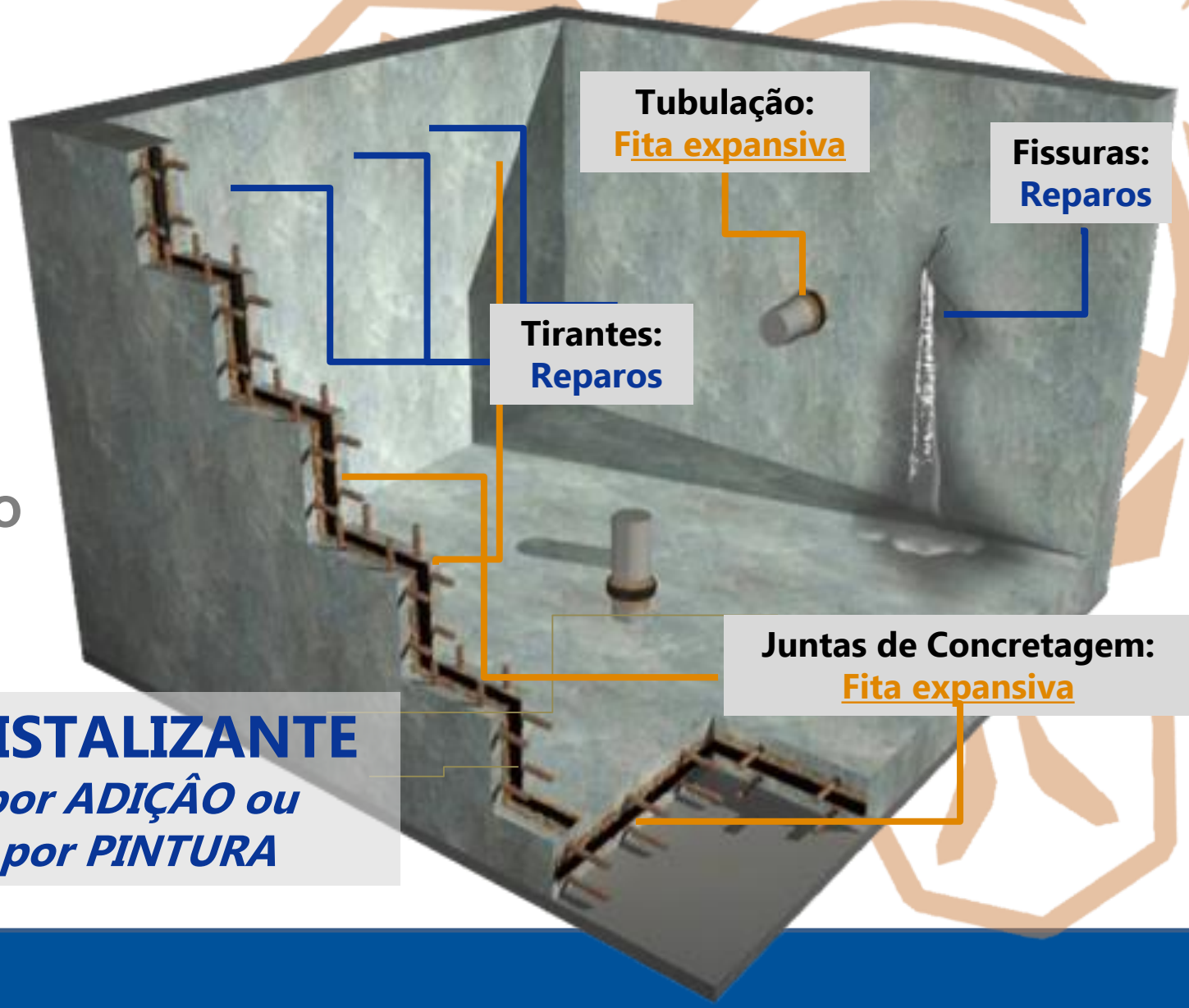
BLACK TANK



CONCRETO

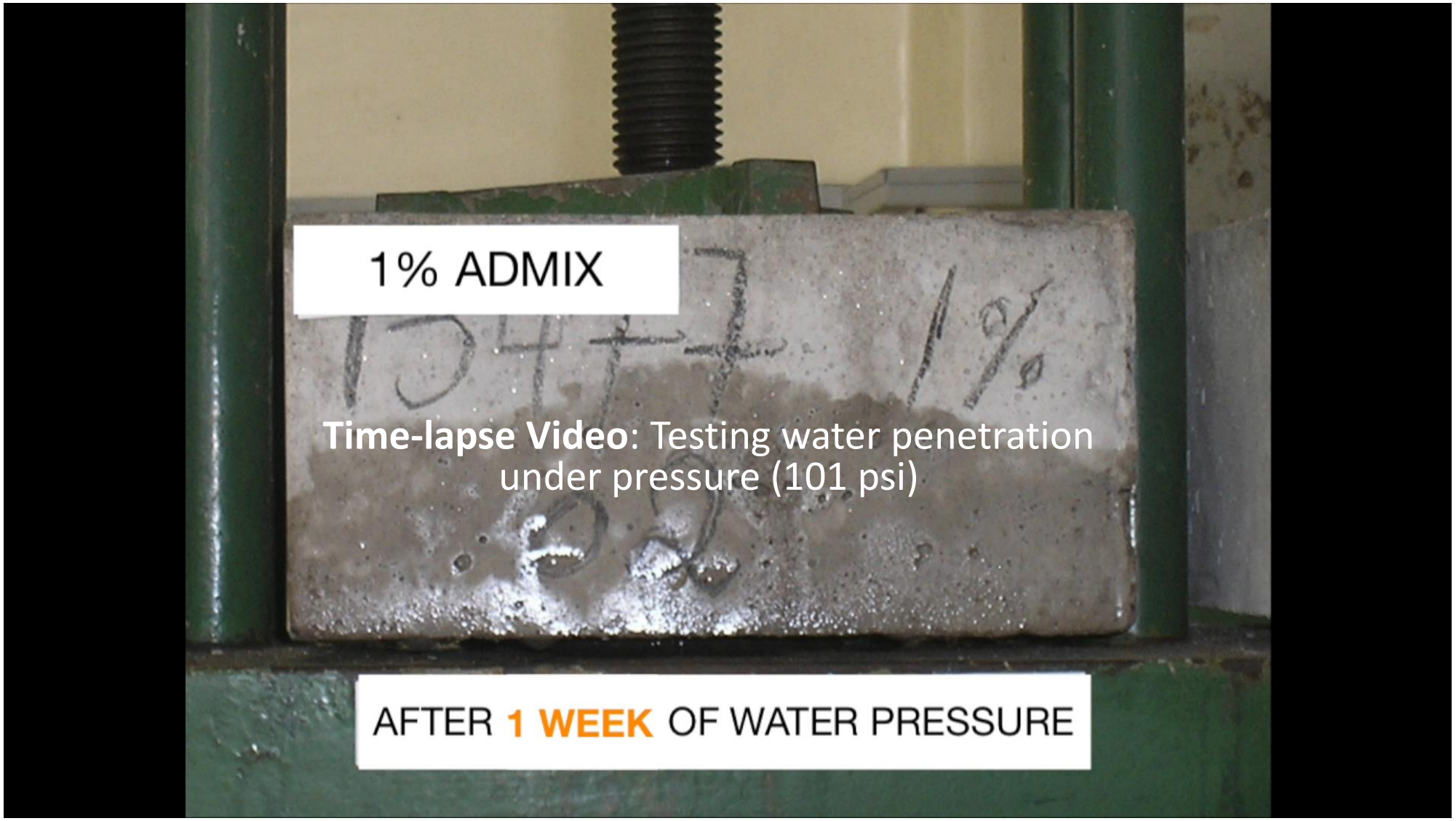
Proteção mecânica

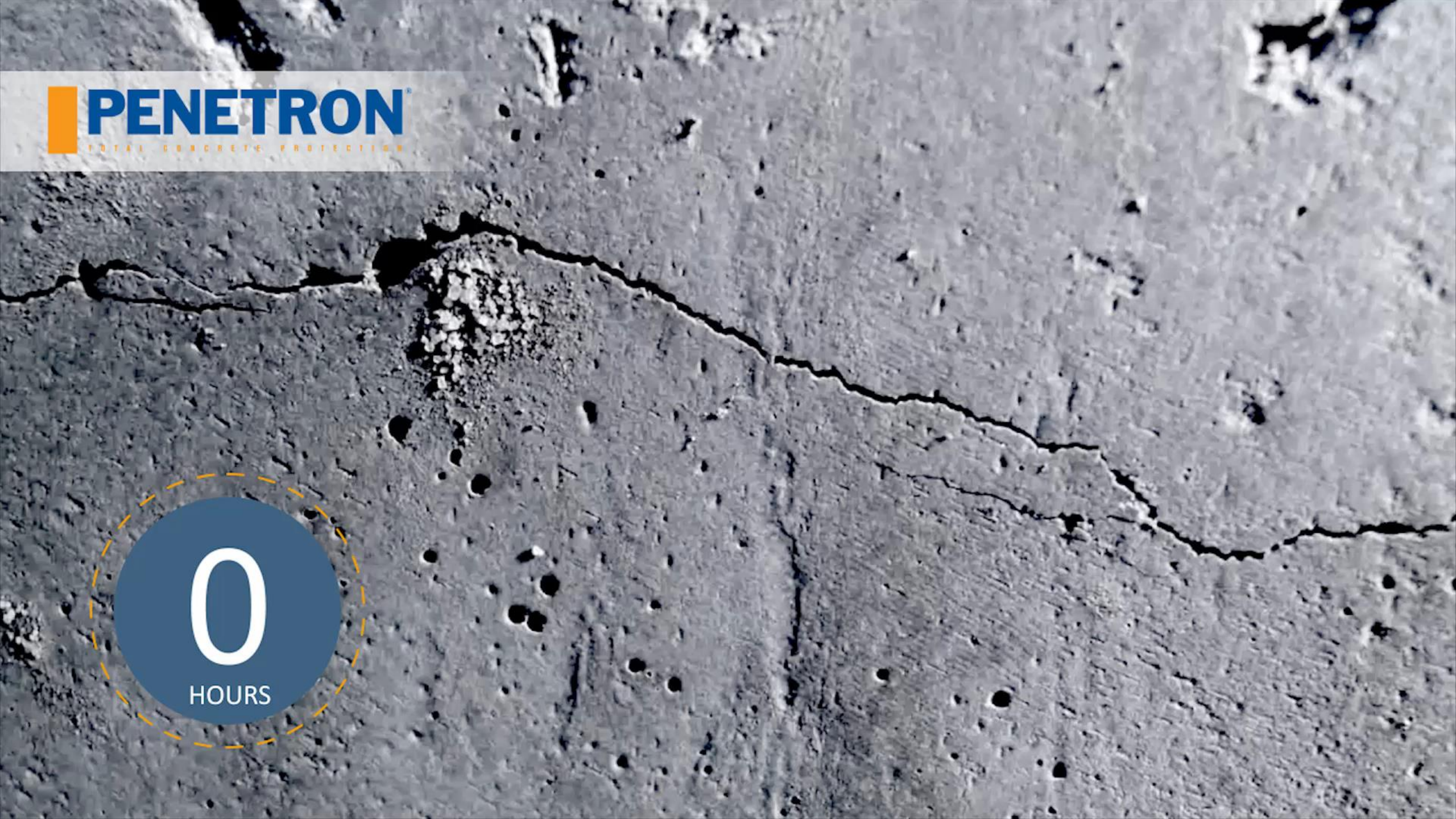
Manta
ASFÁLTICA



CRISTALIZANTE
por ADIÇÂO ou por PINTURA

Pontos fortes Aditivo Redutor de Permeabilidade (RP) NBR 11768:2019

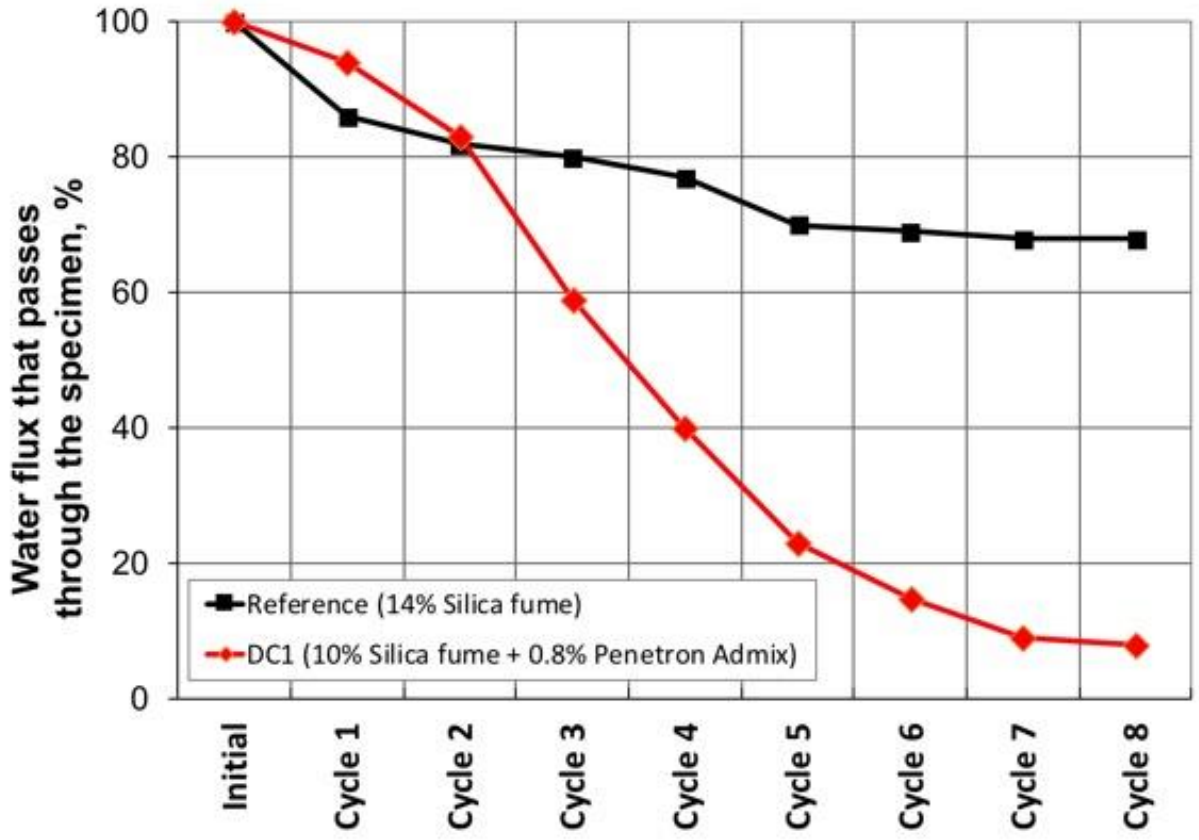


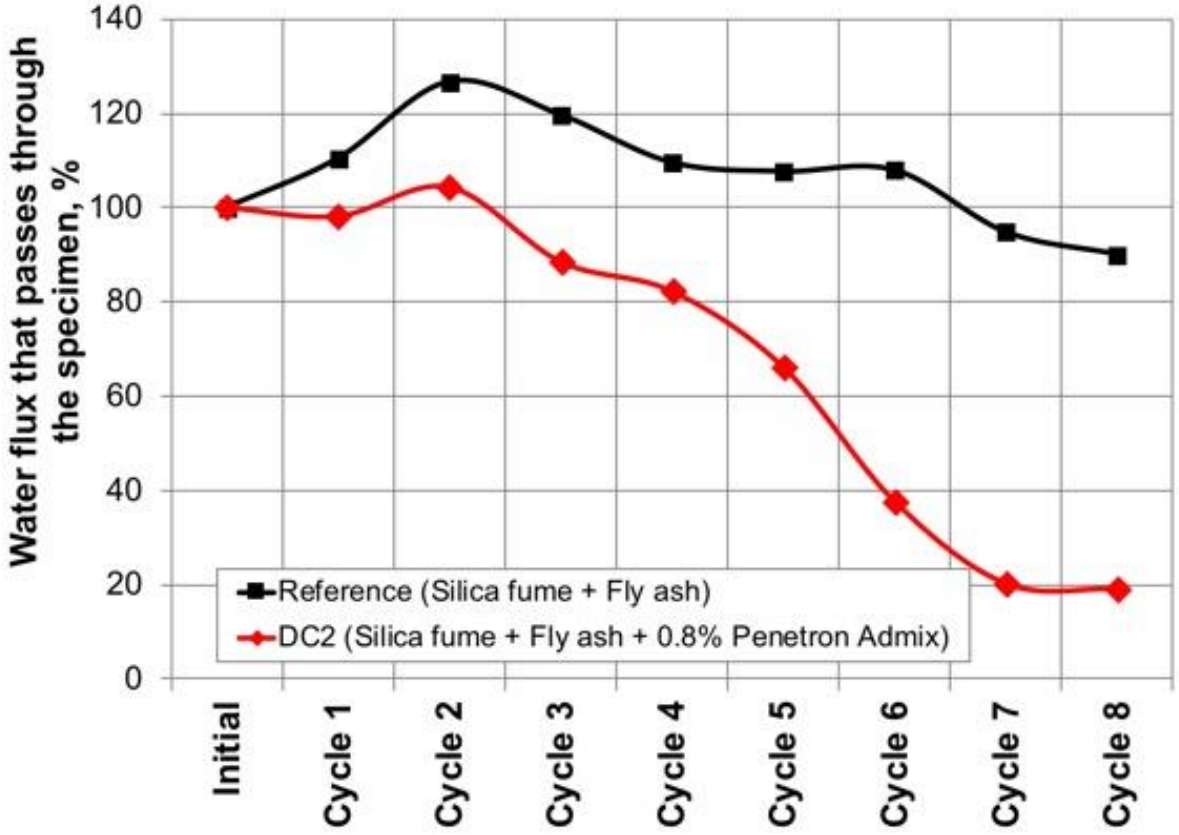

PENETRON
TOTAL CONCRETE PROTECTION
0
HOURS

Capacidade de Auto-cicatrização de fissuras estruturais passivas

Procedimento Mexicano basado na norma GB 18445/1

Nuevo Aeropuerto Internacional de la CDMX (Texcoco)





CEMEX

Holcim

CORTE A–A

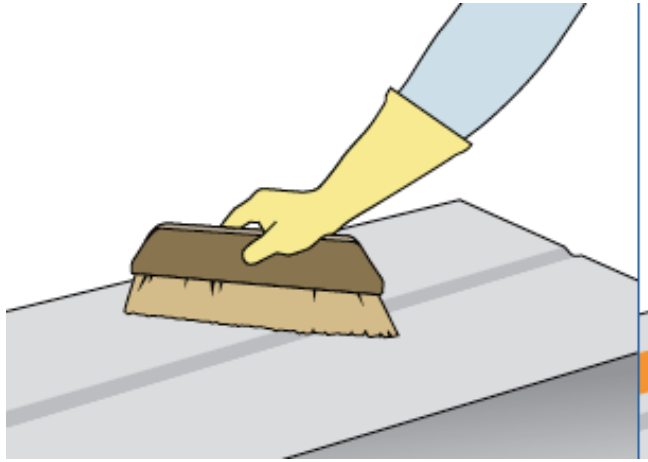
servatório enterrado em 2 etapas:

o da junta de concretagem por corte verde ou mento.

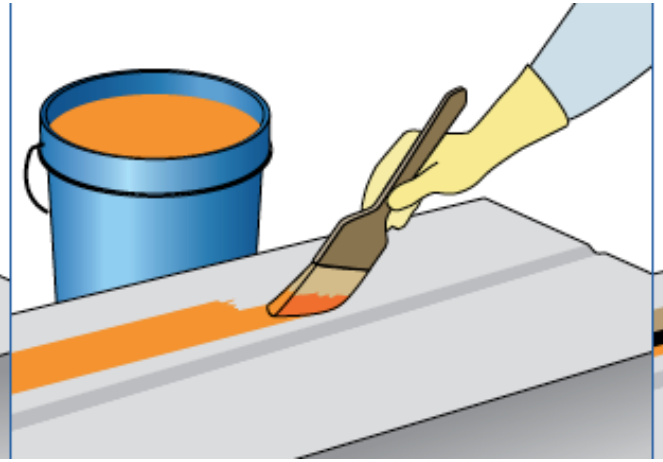
do tratamento de junta de concretagem da 1ª mpa sem deixar poças de água e concretar em

APLICAÇÃO

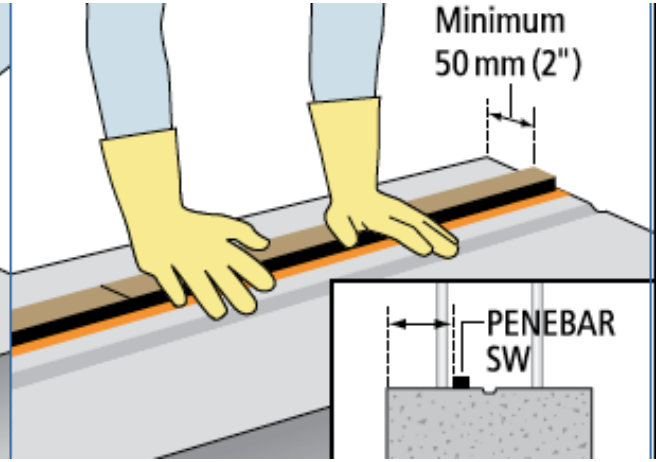
Step 1



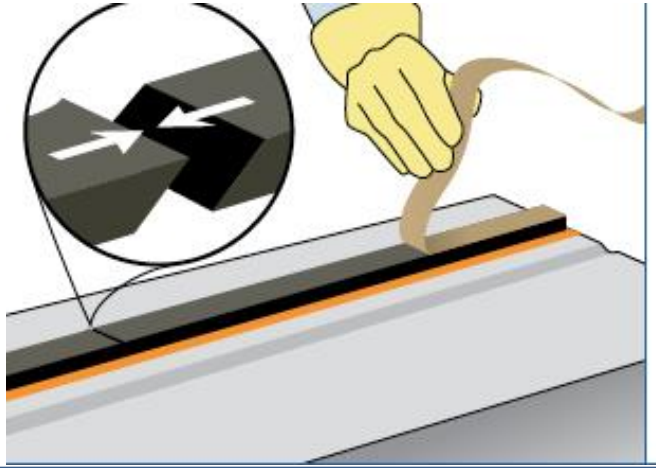
Step 2



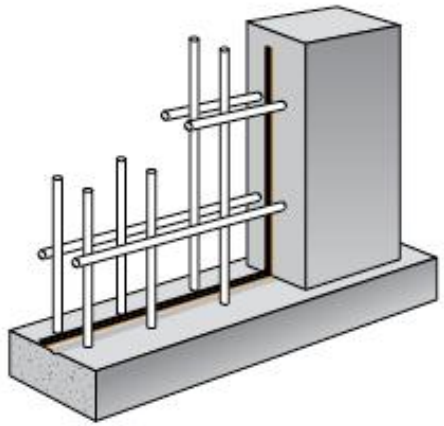
Step 3

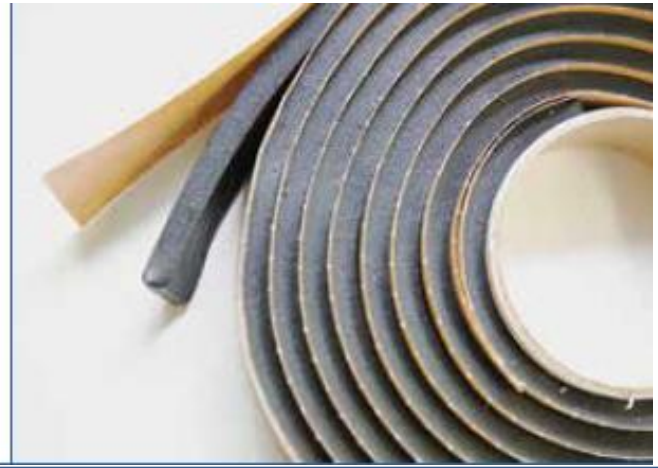


Step 4



Step 5





Executar o procedimento a seguir para tratamento de junta fria de concretagem quando o lançamento do concreto for interrompido conforme previsto pelo plano de concretagem ou quando na ocorrência de fatos imprevistos previsível, por apicoamento e opcionalmente, com emprego de forma de tela de aço expandido e aditivo retardador para superfície de concreto e limpeza por hidro-jateamento para remover a nata de cimento, deixando exposto o agregado graúdo e a junta preparada para a próxima etapa de concretagem, conforme figura a seguir:

Forma com tela de aço expandido designação do fabricante: SMT - 9-A, Catalogo do fabricante STECK METAL – Telefone: 11 4605 4575 - www.streckmetal.com.br - streckmetal@streckmetal.com.br

Antibiose e estanqueidade do concreto com o uso de aditivo cristalino antimicrobiano para estruturas de saneamento

Revista CONCRETO & Construções
Edição 102 pág 69 - 75.

Emilio Minoru **TAKAGI** – Doutorando e Diretor Técnico
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) / Penetron Internacional

Cristiano Martins **QUINTÃO** – Mestre e Engenheiro Civil
Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)

Sávio Nunes **BONIFÁCIO** – Mestre e Engenheiro Civil
UFMG / Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)

Cláudio Neves **OURIVES –** Diretor
Penetron Brasil Ltda.

Maryangela Geimba **LIMA** – Professora Doutora Titular
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Resumo do artigo

Mecanismo da BIODETERIORAÇÃO

- **Fatores para a Deterioração do Concreto**
- **Quais as Causas da Biodeterioração?**
- **Ciclo da Biodeterioração**

Aditivo antimicroviano

- **Como funciona?**
- **Famílias de Bactérias**
- **Ensaios & Eficiência**

Palavras-chave:

biodeterioração do concreto; ácido sulfúrico biogênico; aditivo cristalino antimicrobiano; reabilitação.

SiSTEMAS de PROTEÇÃO

- **#1: Aditivo cristalino (CA) + BioMIC**
- **#2: Sistema de Reparo**

Fatores para a Deterioração do Concreto

O concreto é exposto a várias formas de ataques pelo esgoto em ambientes sépticos de uma ETE.

Ataque Químico

- Coagulantes
- Fluoretação
- Desinfecção com Cloro

Ataque Físico

- Variação de Temperatura
- Pressão Hidrostática
- RAA (Reação Álcali Agregado)

Ataque Mecânico

- Abrasão – fluxo do efluente com sólidos suspensos

Ataque Biológico

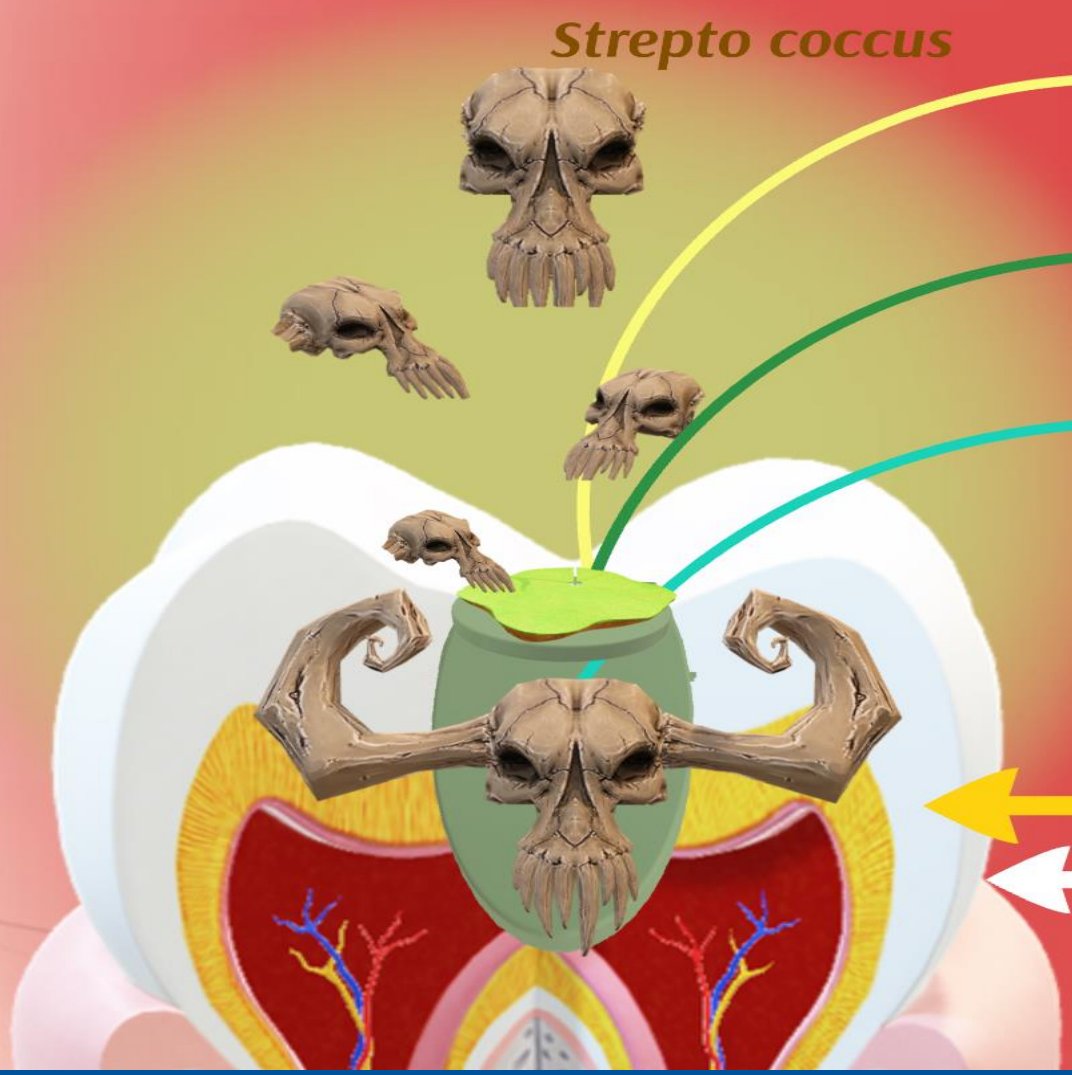
- Biodeterioração
- Ácido Sulfúrico Biogênico
- Corrosão Microbiana Induzida (MIC)

Definição de ácido sulfúrico biogênico:

O processo bacteriano de oxidação do gás sulfeto de hidrogênio em ácido sulfúrico em ambientes de águas residuais.

Figura 1 – Concreto armado que apresentou uma alta taxa de corrosão atípica nas superfícies em contato com os gases do esgoto, diagnosticada como biodeterioração induzida por microrganismos por meio de ácido sulfúrico biogênico

Fatores para a Deterioração do Concreto



BIOFILME

ácido láctico
pH < 4,5

CÁRIE

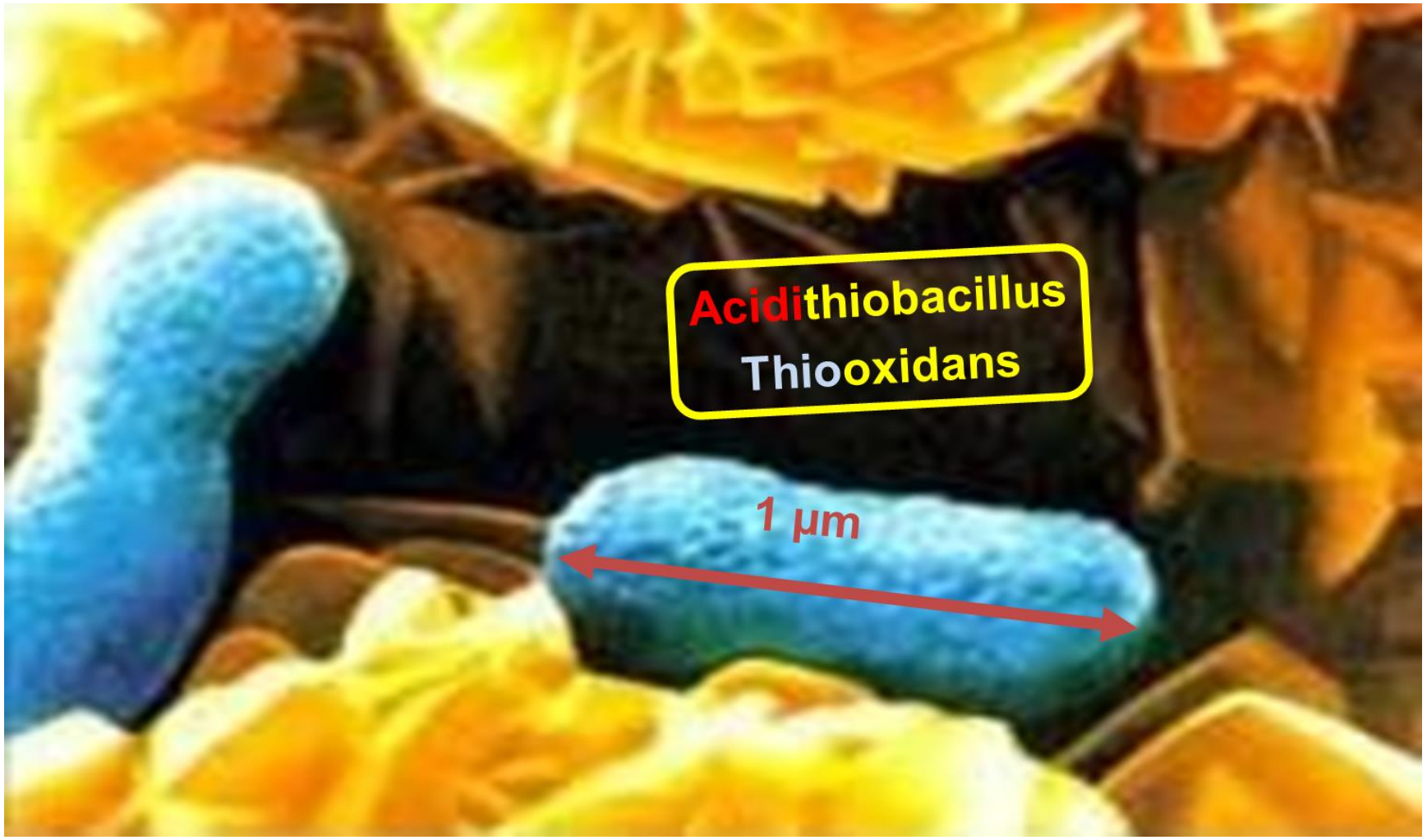
Strepto coccus Mutans

Dentina 285 MPa

Esmalte 350 MPa

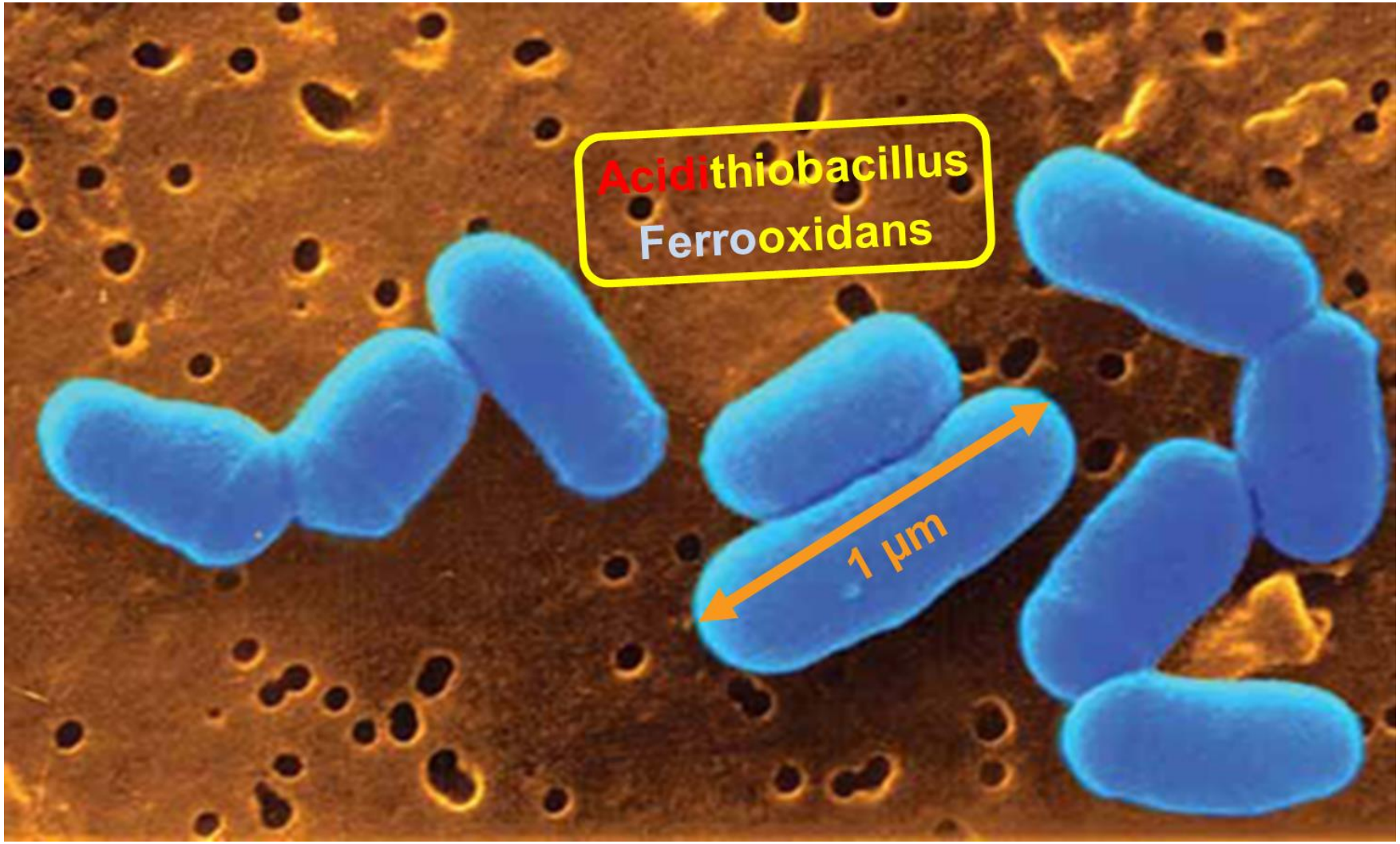
PENETRON

Biodeterioração do Concreto



A Corrosão Microbiana Induzida (MIC) ocorre quando o ácido sulfúrico, produzido por uma família de bactérias, que "devora a pasta de cimento" - deixando exposto o aço da armadura de reforço.

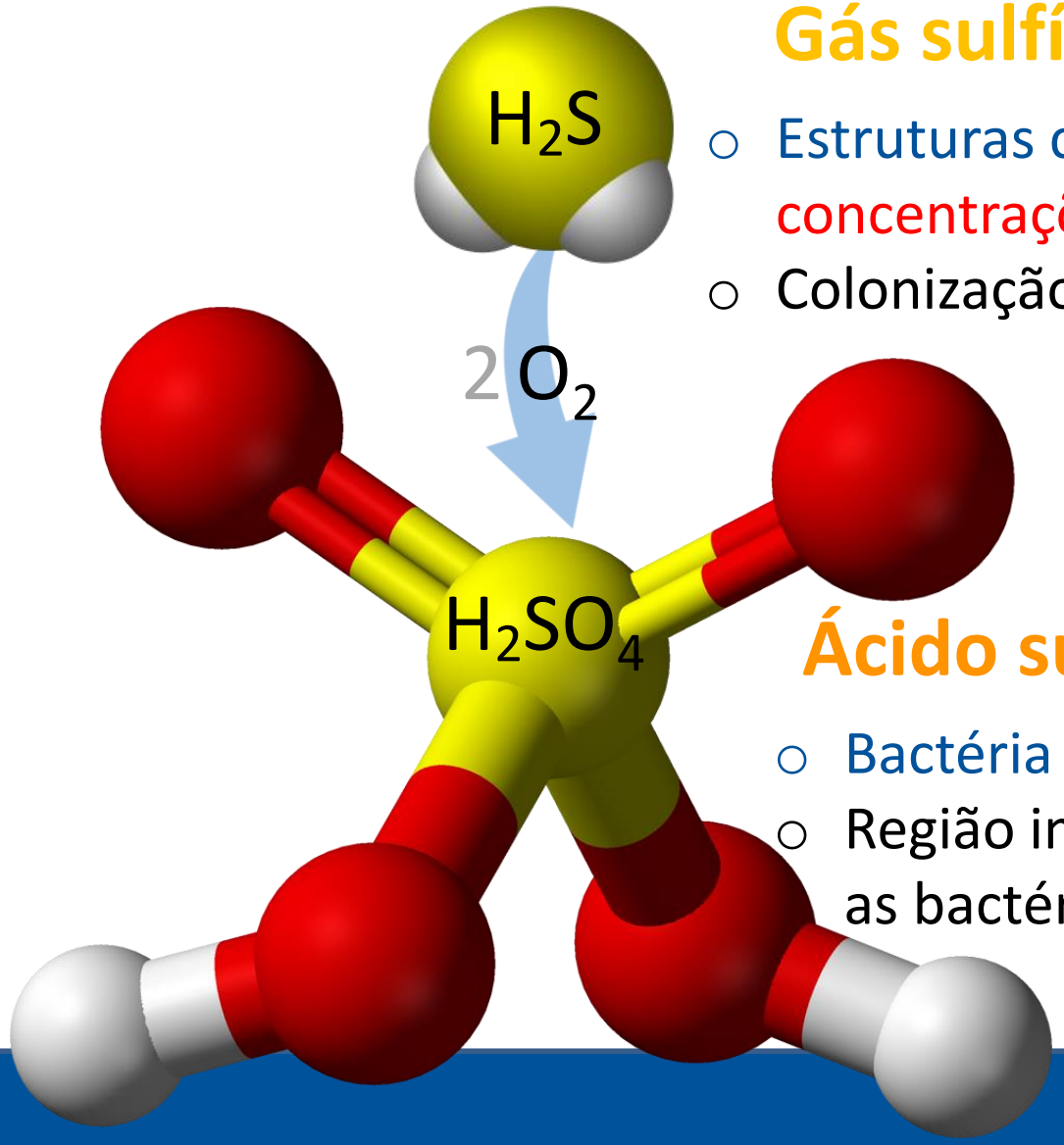
Biodeterioração do Aço



Acidithiobacillus Ferrooxidans (ou seja, bactérias que comem ferro) corroem o aço exposto da armadura de reforço.

Cerca de 5% do suprimento mundial de ouro e 20% de seu cobre é atualmente extraído usando biomineração com Acidithiobacillus.

2. FORMAÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO BIOGÊNICO (ASB)



Gás sulfídrico

- Estruturas confinadas em ETEs & Sistemas de Esgoto têm altas concentrações de H_2S nas zonas gasosas
- Colonização de bactérias – formação de biofilme da região aerada

Ácido sulfúrico biogênico

- Bactéria Thiobacillus transforma H_2S em H_2SO_4 biogênico pH<1
- Região imediatamente acima do efluente é mais propícia para as bactérias (+Nutrientes)

Ácido sulfúrico biogênico H_2SO_4

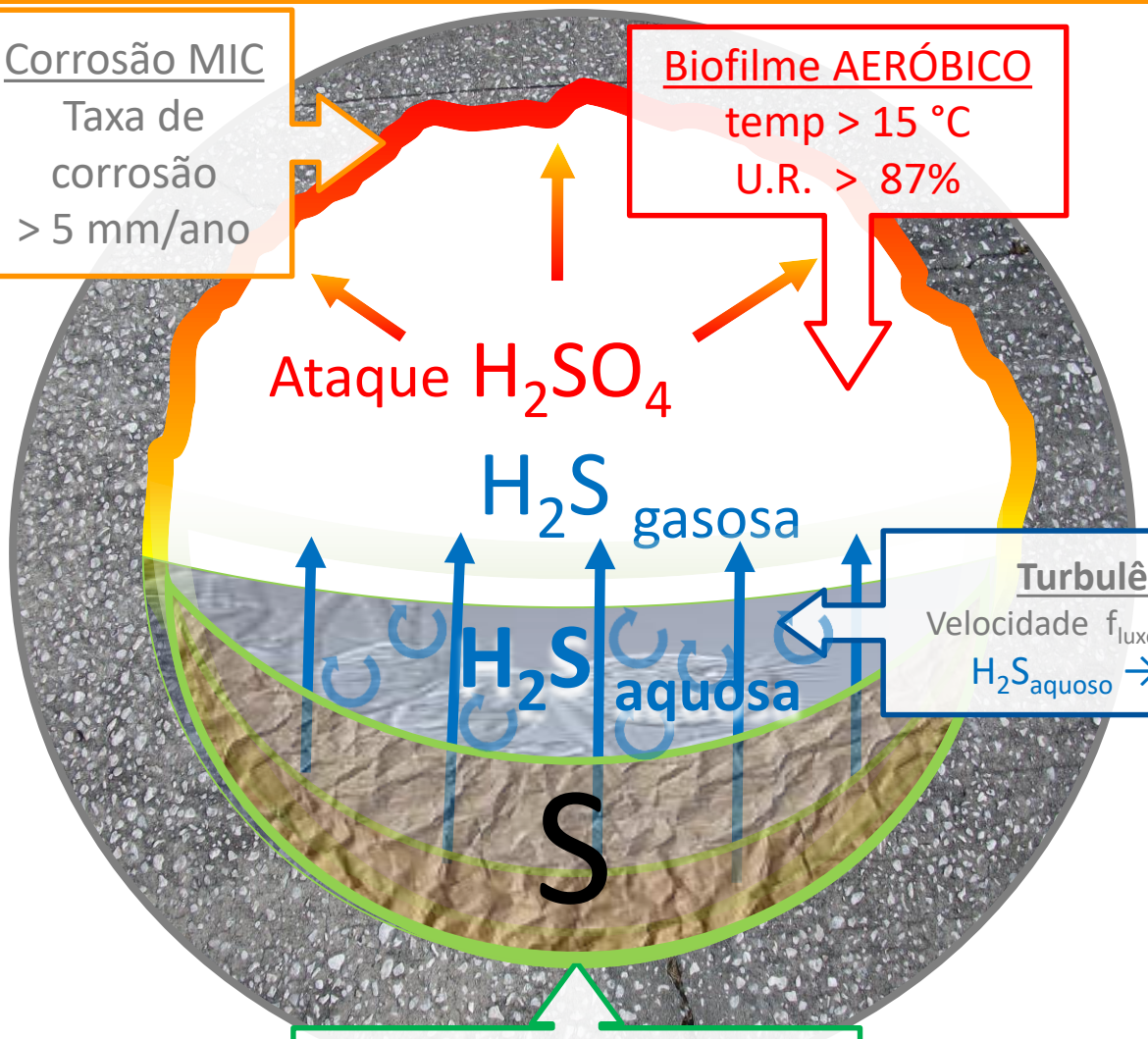
$2\,O_2$

(Biofilme AERÓBICO)
Acidithiobacillus thiooxidans y
Acidithiobacillus ferrooxidans

Ácido sulfídrico H_2S gas aq.

(Biofilme ANAERÓBICA)
Bactérias redutoras de sulfato

Compostos de enxofre S

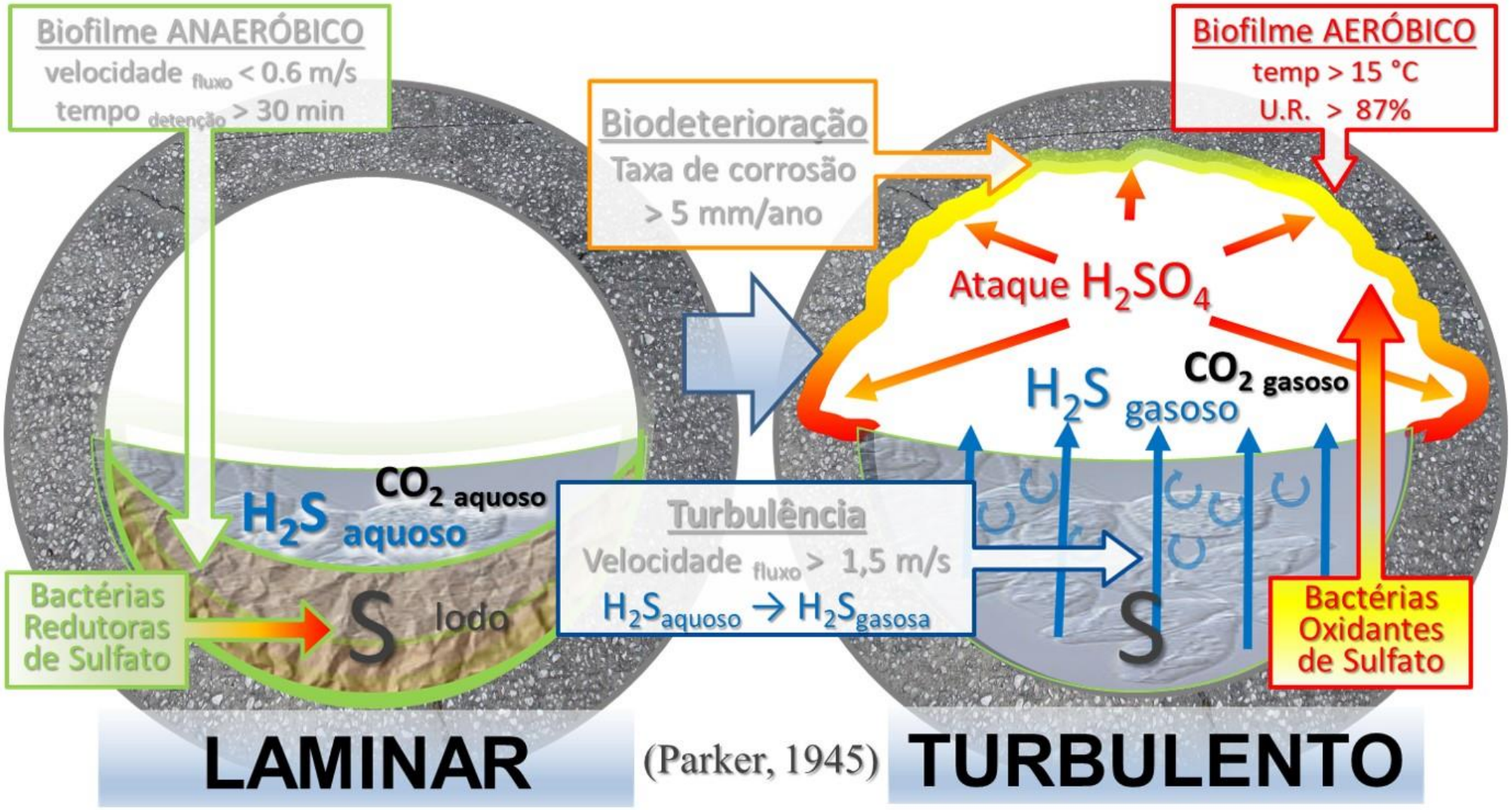


(Parker, 1945)

Info biofilme

Biodeterioração de tubulação de concreto

Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico



Biofilme Anaeróbico

Tabela 1 – Agressividade do esgoto em relação ao concreto

Ambiente Agressivo		Referência	Resultados
pH	< 5,5	NBR 12655:2015	7,2 (neutro)
Concentração de cloretos	> 1.000 ppm	BS EN 1008:2002	100 ppm
Concentração de sulfatos	> 1.500 ppm	NBR 12655:2015	25 ppm

Biofilme Anaeróbico

Tabela 2 – Zonas da camada de lodo que formam o H_2S_{aquoso} no esgoto

ZONA	Mecanismo	Oxigênio dissolvido
AERÓBICA	Em contato com o esgoto, na zona aeróbica, proliferam bactérias oxidantes de sulfatos (BOS), que consomem o oxigênio dissolvido no esgoto.	OD > 0,1 mg/L
ANAERÓBICA	Zona anaeróbica, onde proliferam as bactérias redutoras de sulfato (BRS), essas consomem gradualmente os nutrientes: sulfatos e matéria orgânica e geram H_2S_{aquoso}.	OD < 0,1 mg/L
INERTE	A concentração de nutrientes se aproxima de zero na parede de concreto e as bactérias BRS se tornam inativas. O concreto submerso no lodo não é atacado.	OD < 0,1 mg/L Nutrientes ≈

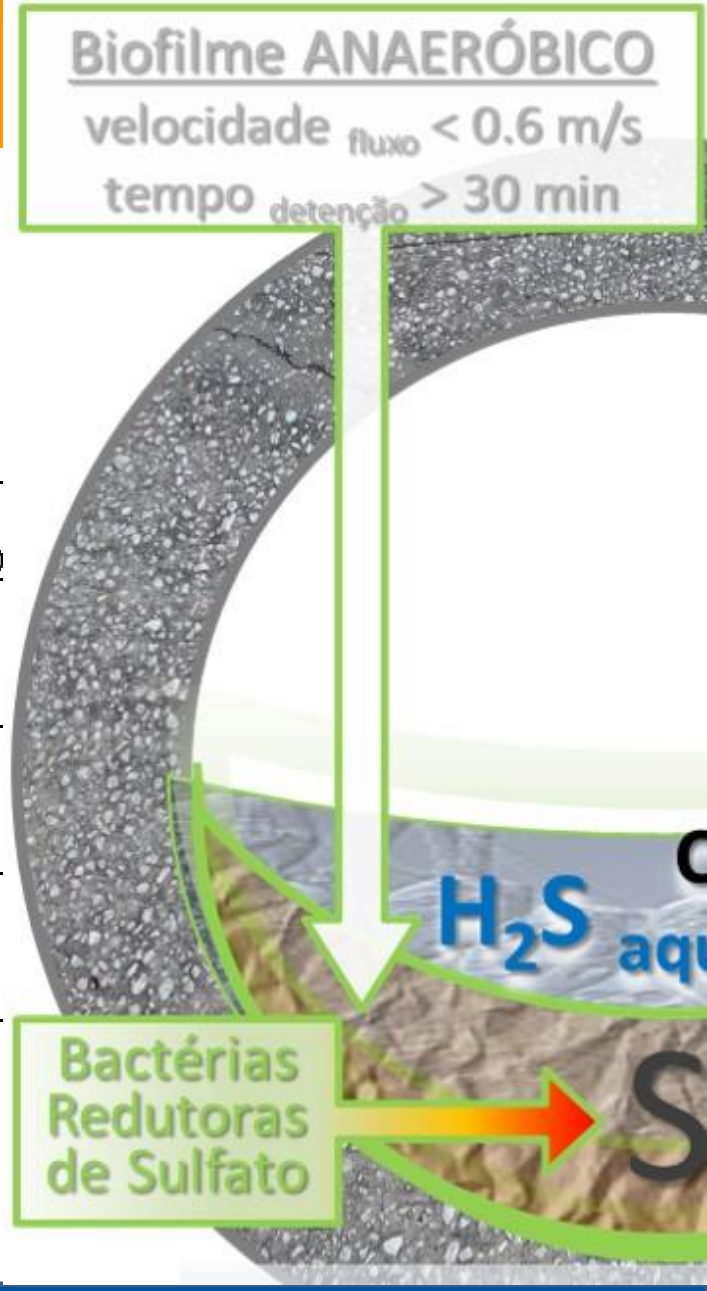
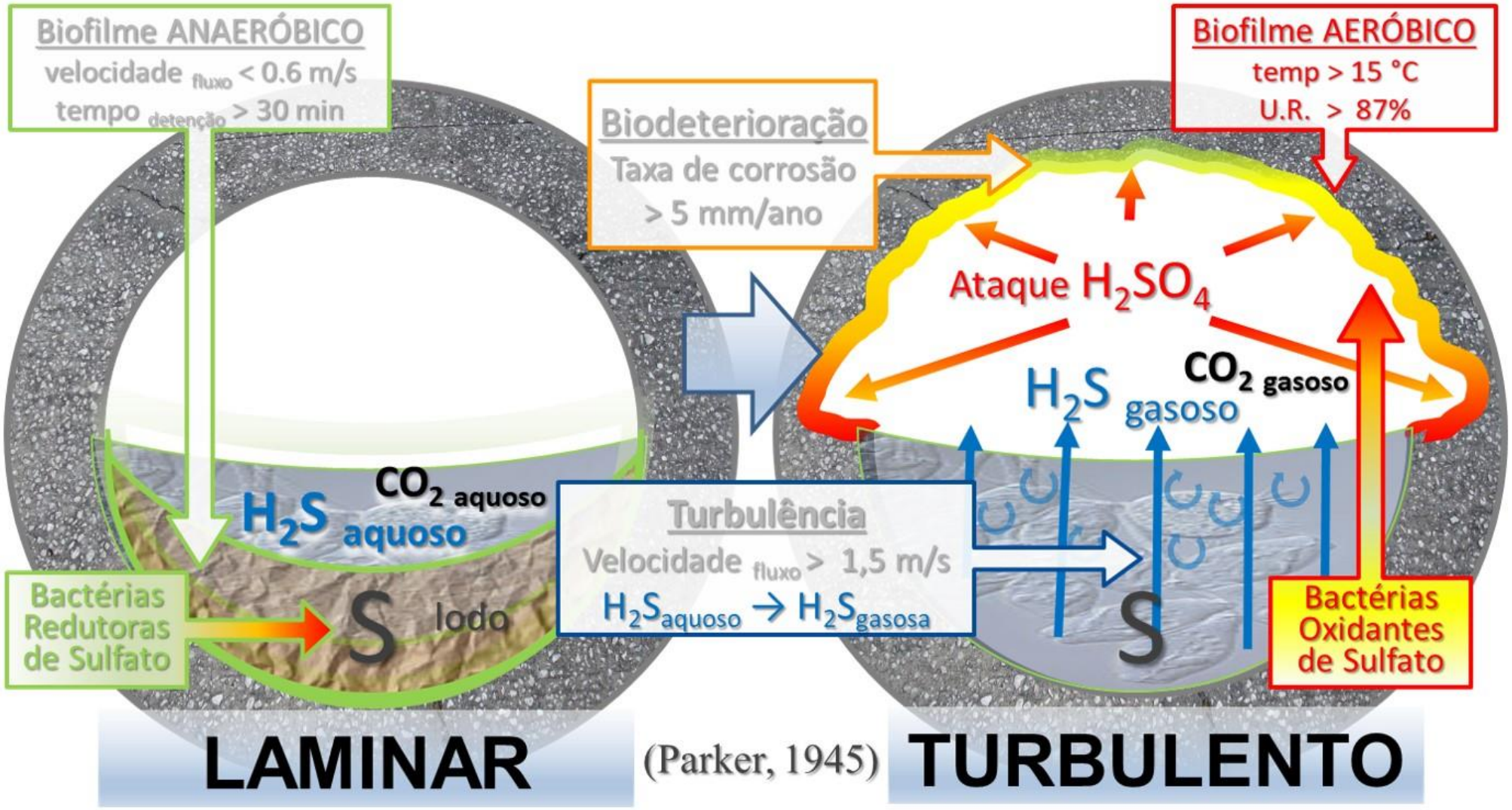


Tabela 3 - Fatores que afetam a formação de H_2S_{aquoso} no esgoto

Fator	Mecanismo	Influência
Tempo de retenção do esgoto	Tempo de retenção > 30 min estimula a sedimentação de uma camada de lodo, onde proliferam as BRS.	Aumenta H_2S_{aquoso} no esgoto
	Tempo de retenção maior tende a esgotar o OD no esgoto e aumentar a liberação de H_2S_{aquoso} pela camada de lodo.	
	Tempo de retenção longo resulta em uma camada de lodo solta que facilita a penetração dos nutrientes para a ZONA ANAERÓBICA.	
Temperatura do esgoto	Temperaturas > 15°C aumentam a atividade metabólica microbiana das BRS na ZONA ANAERÓBICA.	Aumenta H_2S_{aquoso} no esgoto
	Aumento da temperatura diminui a solubilidade do OD no esgoto e aumenta a liberação de H_2S_{aquoso} pela camada de lodo.	
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Alta DBO acelera a atividade bacteriana e o consumo do OD, e aumenta a liberação de H_2S_{aquoso} pela camada de lodo.	Aumenta H_2S_{aquoso} no esgoto
Oxigênio dissolvido (OD)	Maiores taxas de OD no efluente impedem que o H_2S_{aquoso}, formado na ZONA ANAERÓBICA do lodo, escape e seja liberado para o esgoto, pois se oxida antes na ZONA AERÓBICA do lodo	Diminui H_2S_{aquoso} no esgoto
Velocidade de fluxo do esgoto	Quando é respeitada a velocidade mínima de projeto de 0,6 m/s, NÃO deve ocorrer a sedimentação de uma camada de lodo.	Diminui H_2S_{aquoso} no esgoto
	Velocidades > 1,5 m/s estimulam a aeração e aumentam a oxidação do H_2S_{aquoso}, resultando na redução do potencial de acúmulo de sulfeto.	Diminui H_2S_{aquoso} no esgoto
	Velocidades de projeto > 2,5 m/s propiciam um efeito autolimpante da camada de lodo em todo o sistema.	Elimina H_2S_{aquoso} no esgoto
	Para velocidades de projeto > 3,0 m/s, é necessário um estudo de dosagem para tornar o concreto resistente à abrasão.	

Biofilme Aeróbico



Biofilme Anaeróbico

Tabela 4 - Fatores que afetam a liberação de H_2S_{gasoso} no ar

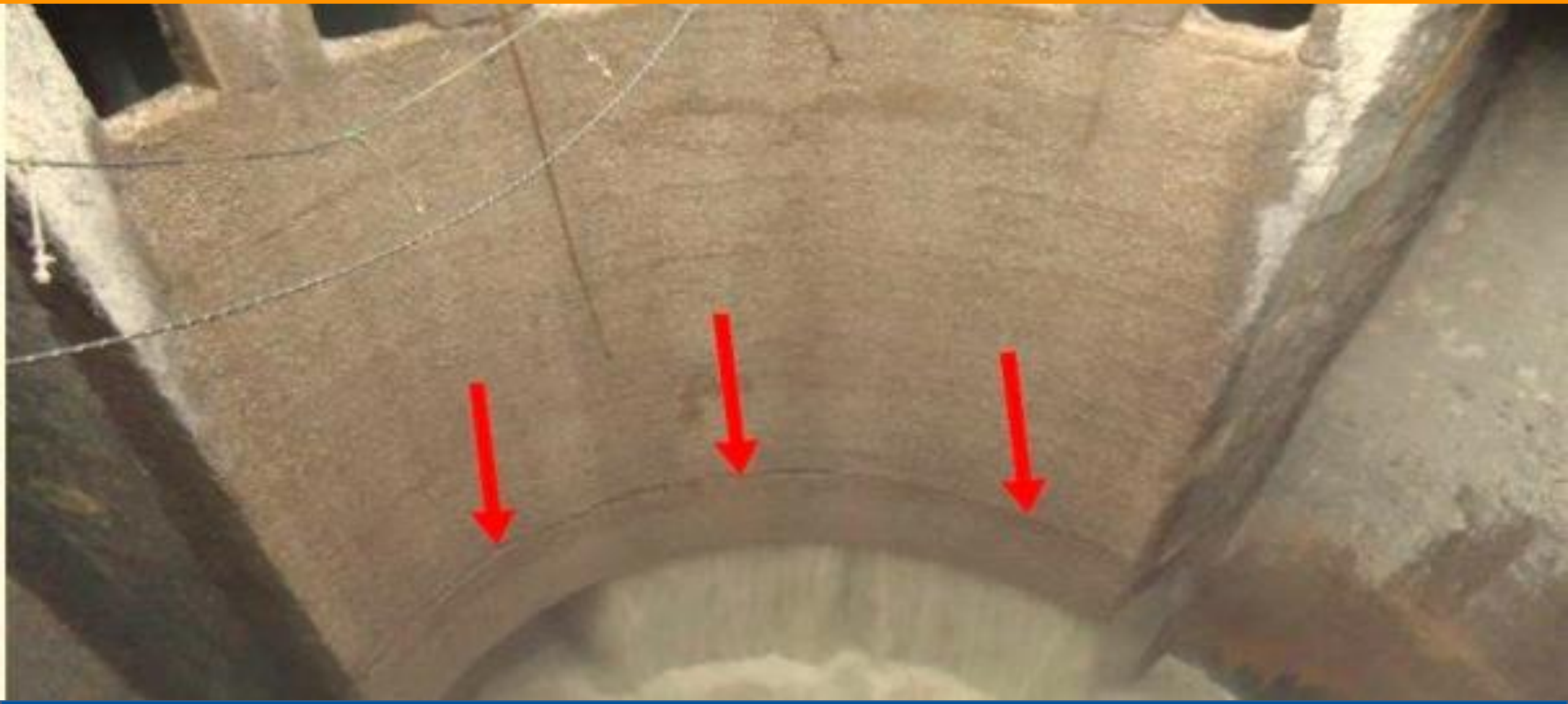
Fator	Mecanismo		Influência
pH do esgoto	O H_2S dissolvido pode existir como H_2S_{aquoso} e HS^- no esgoto, dependendo do valor de pH.	pH < 6 → 100% de H_2S_{aquoso}	Aumenta H_2S_{gasoso} no ar
		6 < pH < 9	pH típico do esgoto.
		pH > 9 → 100% de HS^-	Diminui H_2S_{gasoso} no ar.
Turbulência no fluxo do esgoto	Locais com forte turbulência agravam diretamente o processo de liberação do H_2S_{aquoso} no esgoto para a liberação do H_2S_{gasoso} para a interface atmosfera.		Aumenta H_2S_{gasoso} no ar.
Temperatura do esgoto	O aumento da temperatura favorece a liberação na forma de H_2S_{gasoso} , pois reduz a solubilidade do H_2S_{aquoso} no esgoto.		Aumenta H_2S_{gasoso} no ar.

Biofilme Aeróbico

Tabela 5 - Fatores que afetam a geração de $H_2SO_{4\ biogênico}$ no cobrimento do concreto

Fator	Mecanismo	Influência
Carbonatação	A carbonatação reduz o pH do cobrimento do concreto, consumindo o hidróxido de cálcio alcalino, que favorece a colonização do concreto por microrganismos.	Aumenta $H_2SO_{4\ biogênico}$ no concreto
Umidade relativa (UR)	UR > 87% é o valor mínimo necessário para que as BOS estejam ativas.	Aumenta $H_2SO_{4\ biogênico}$ no concreto
	UR entre 85% ↔ 95%, necessária para as reações químicas de oxidação do sulfeto, e o desenvolvimento das atividades das BOS.	
	UR entre 95% ↔ 100%, na condição de saturação dos poros com água, o pH do cobrimento do concreto é reduzido mais significativamente.	
Temperatura atmosférica	Temperaturas abaixo de 15,6°C inibe a atividade metabólica das BOS.	Aumenta $H_2SO_{4\ biogênico}$ no concreto
	Temperaturas entre 15 °C ↔ 20°C, aumentam as atividades microbianas, com consequente aumento da geração de H_2SO_4.	
	A taxa de oxidação do H_2S_{gasoso} a 25 °C pode ser 15% maior do que aquela a 20 °C.	
Matéria orgânica	A maior concentração de nutrientes e umidade se situa sobre a superfície do concreto próximo ao nível do efluente devido a influência da zona de respingo. Desta maneira, esta área comumente apresenta corrosão/degradação mais severa devido a maior atuação da atividade bacteriana.	Aumenta $H_2SO_{4\ biogênico}$ no concreto

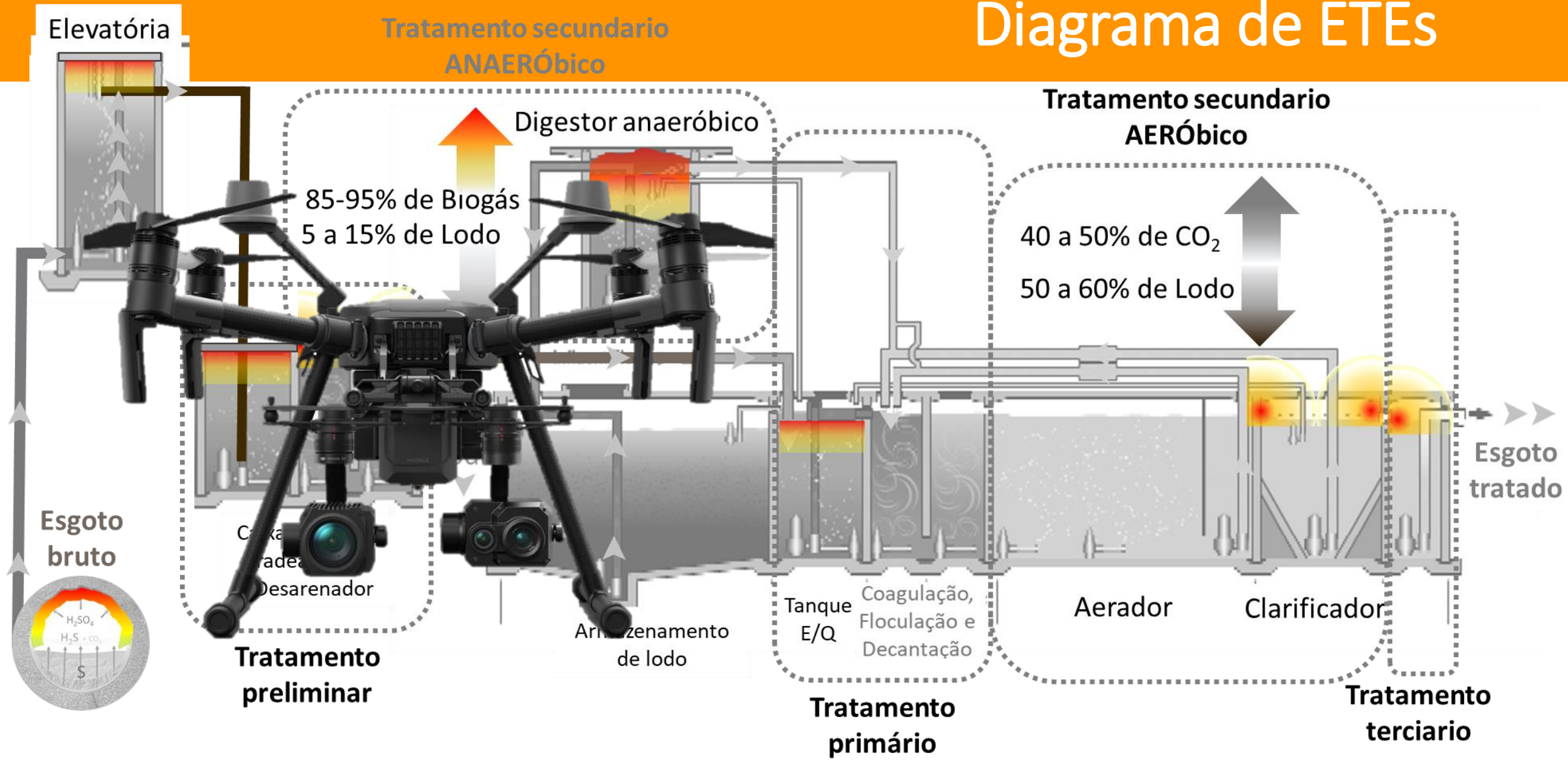
Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico



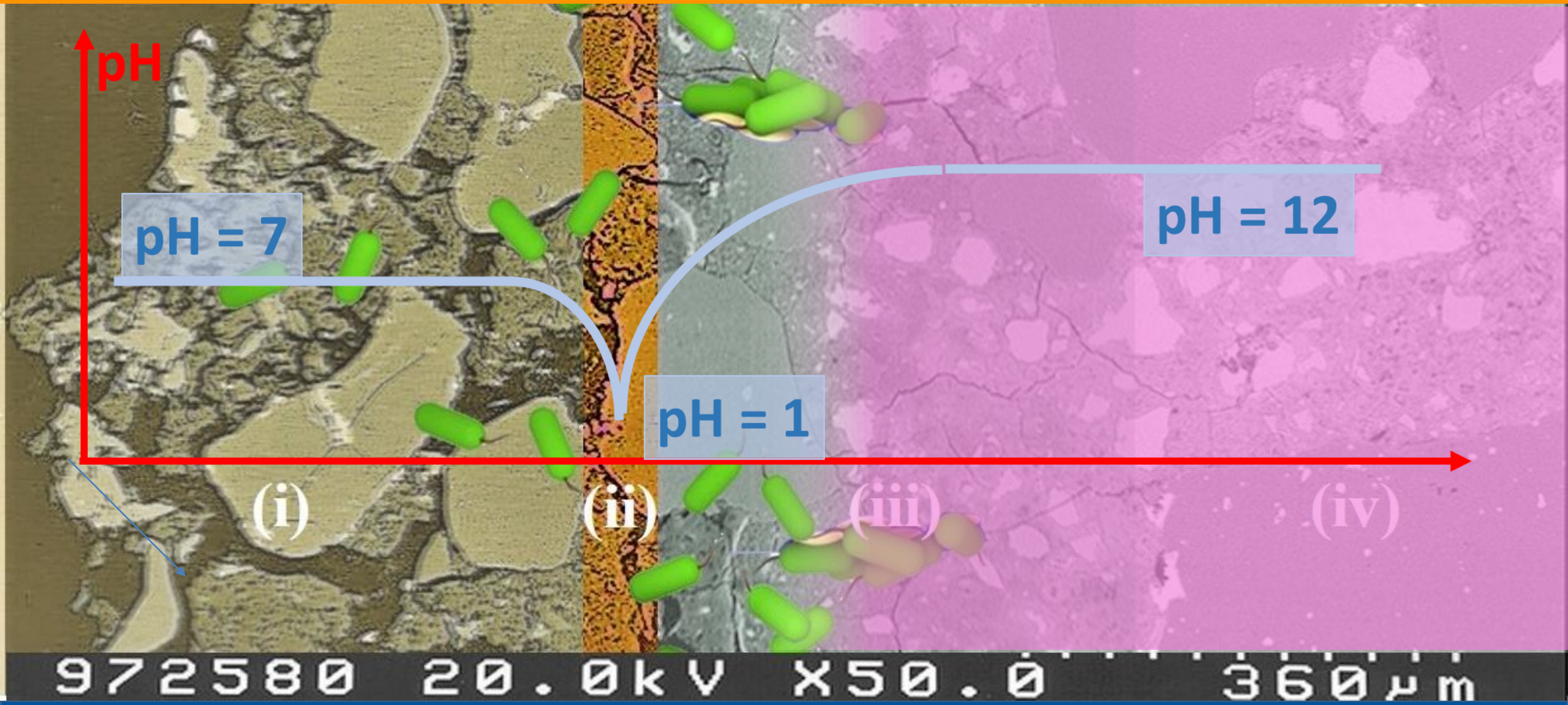
PENETRON®
TOTAL CONCRETE PROTECTION

Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico

Diagrama de ETEs



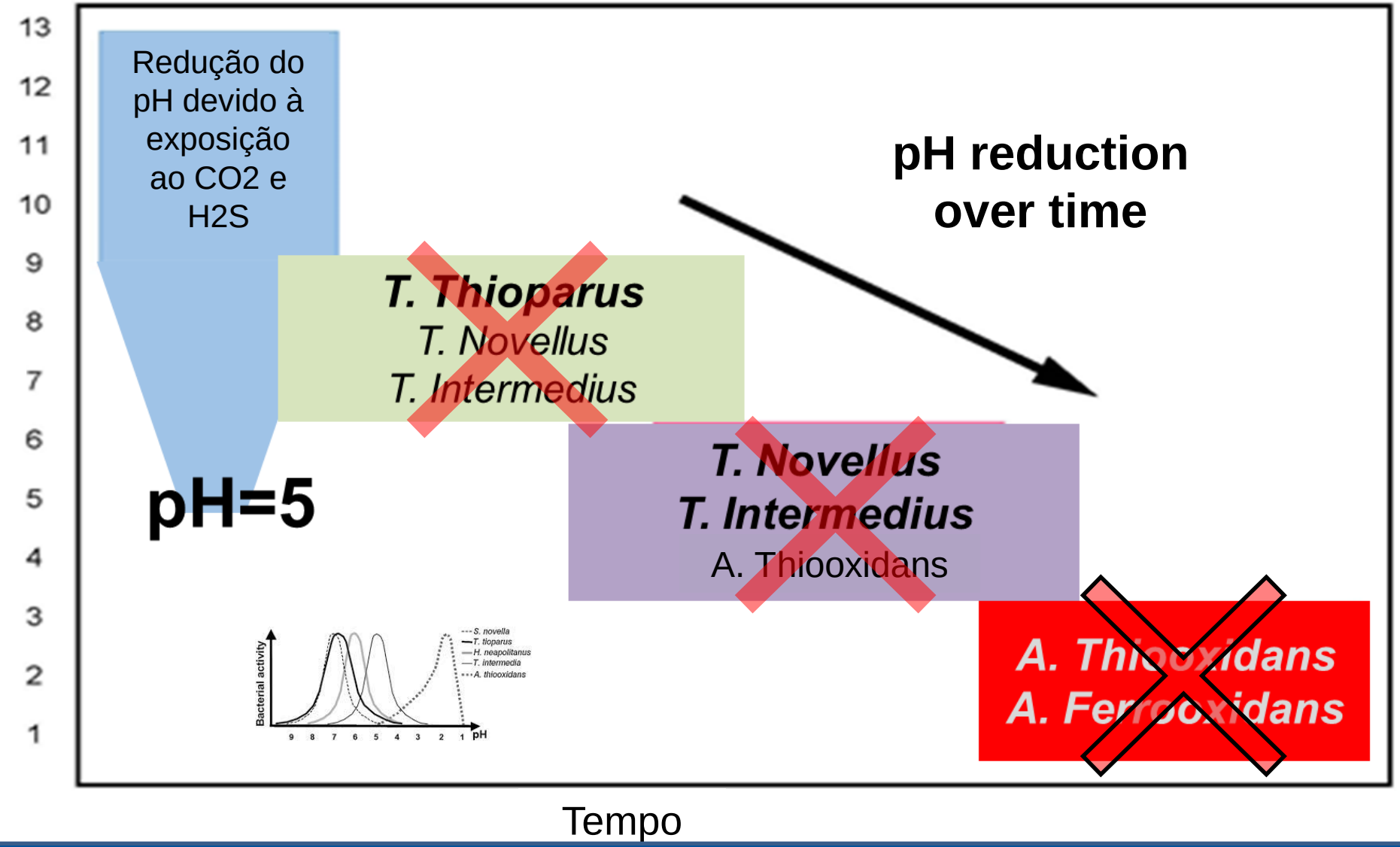
Faixa de Proteção Biogênica de Longo Prazo



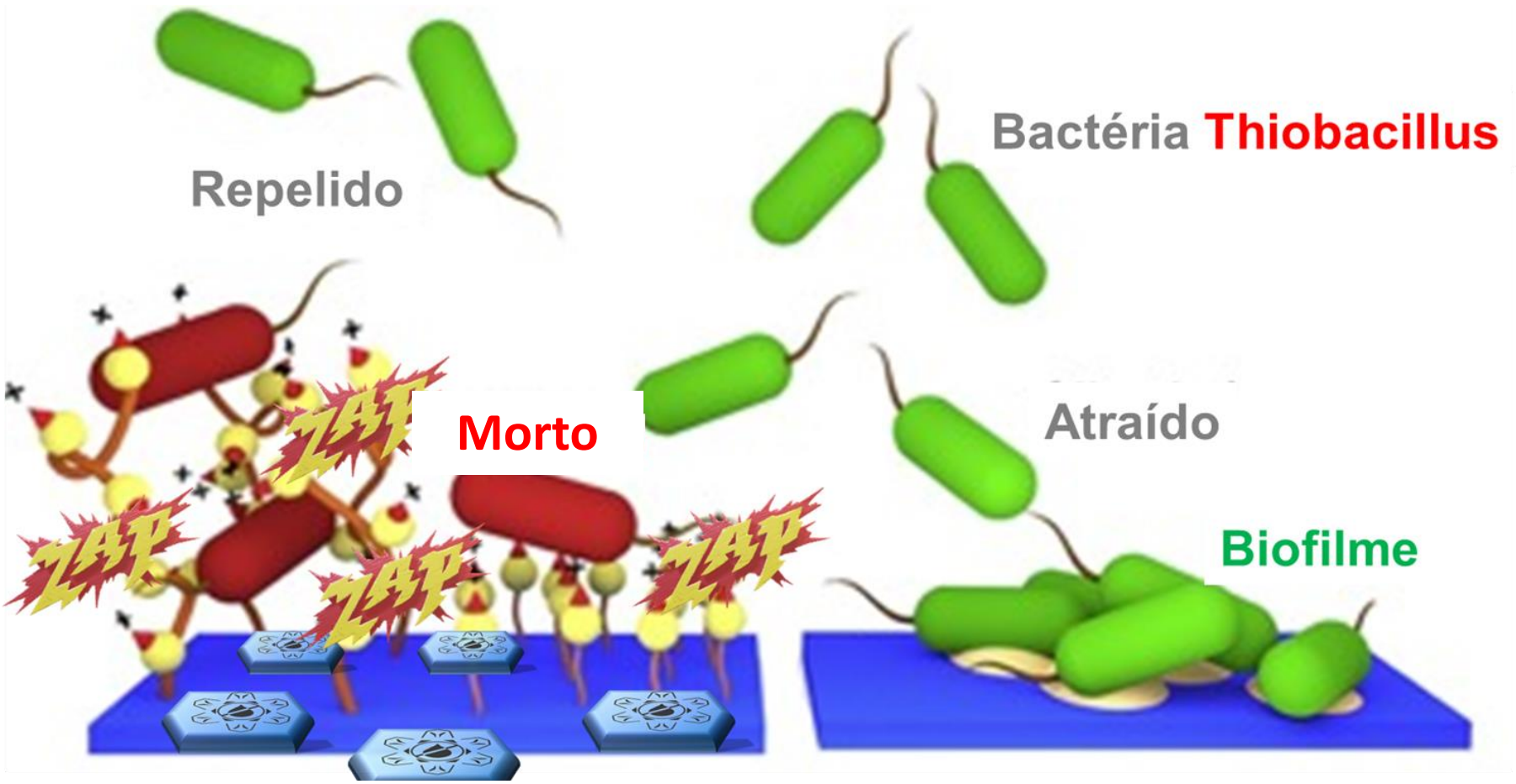
Biodeterioração do Concreto

Mantenha o nível de pH de concreto acima de pH 5

Matar bactérias com **aditivo antimicrobiano**



Proteção de longo prazo contra a biodeterioração



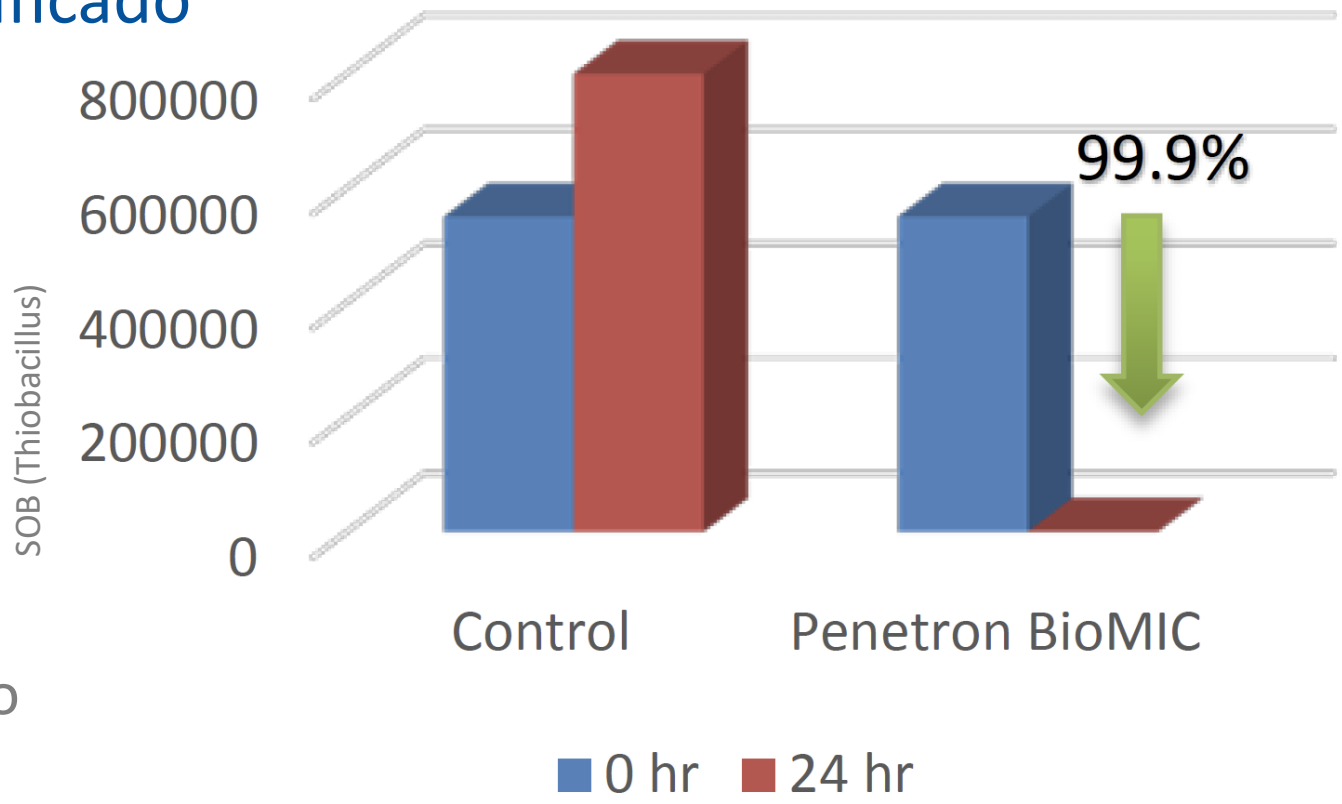
Concreto com BioMIC
(destruição eletrofísica)

Concreto Padrão

Métodos de ensaio ISO 22196 modificado

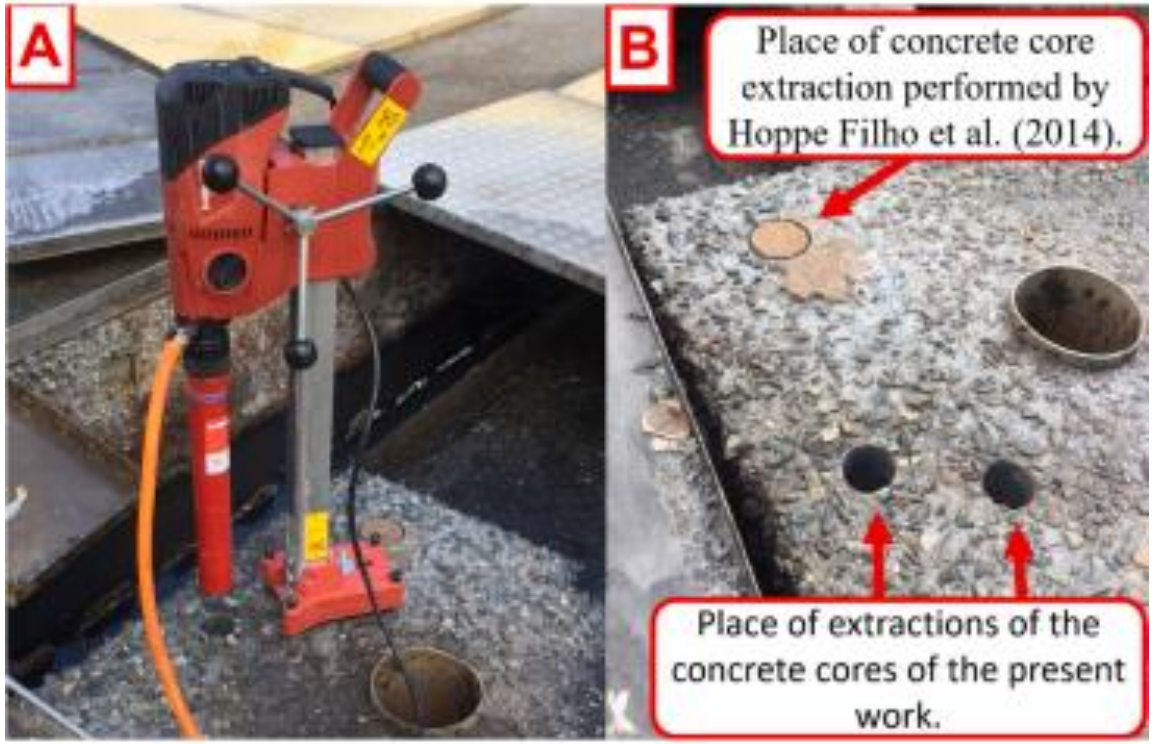
Verificando a eficácia antimicrobiana do BioMIC contra bactérias Thiobacillus.

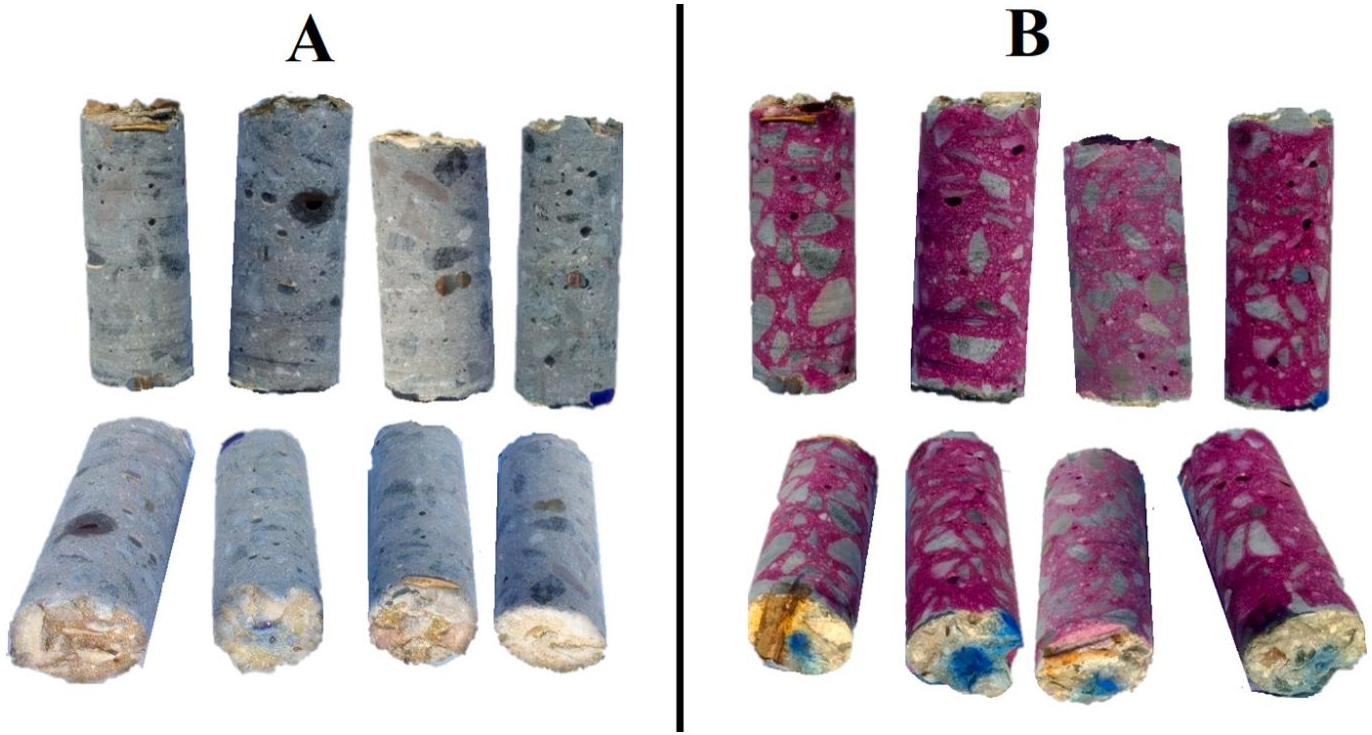
1. Amostras de concreto foram envelhecidas para reduzir o pH superficial, criando condições adequadas para o crescimento bacteriano.
2. Os testes começaram quando baixa o pH para 6,5 (+/- 0.5)
3. Amostras inoculadas com T. novellus foram incubadas por 24 horas.
4. Superfícies da amostra foram testadas.



Eliminou 99,9% das bactérias Thiobacillus produtoras de ácido

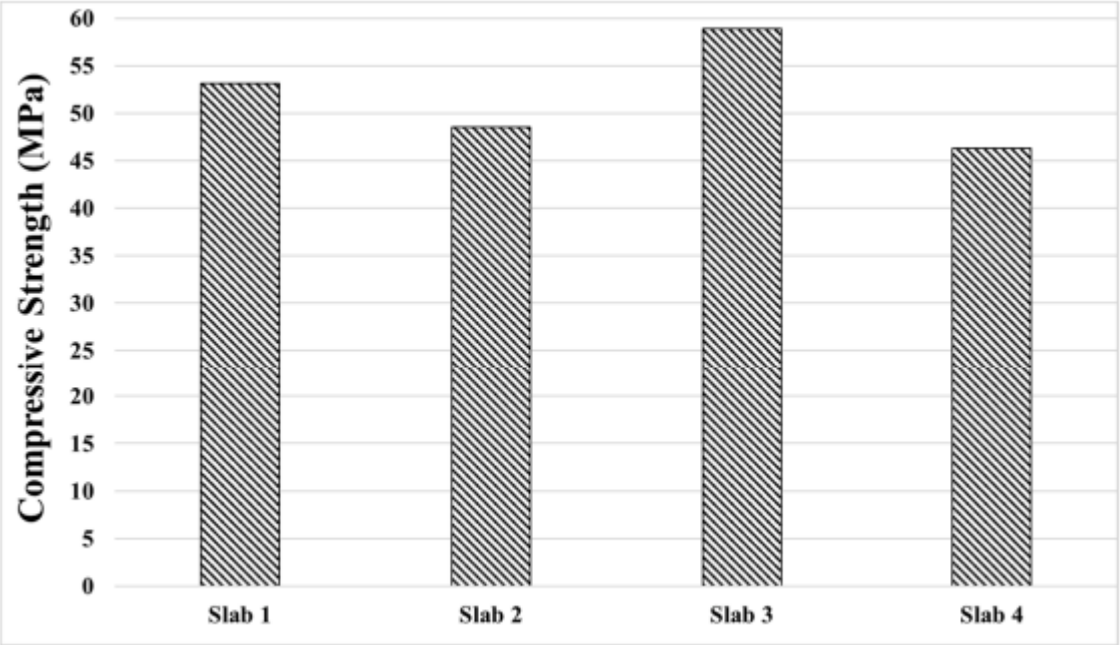
Mecanismo e proposta de reabilitação

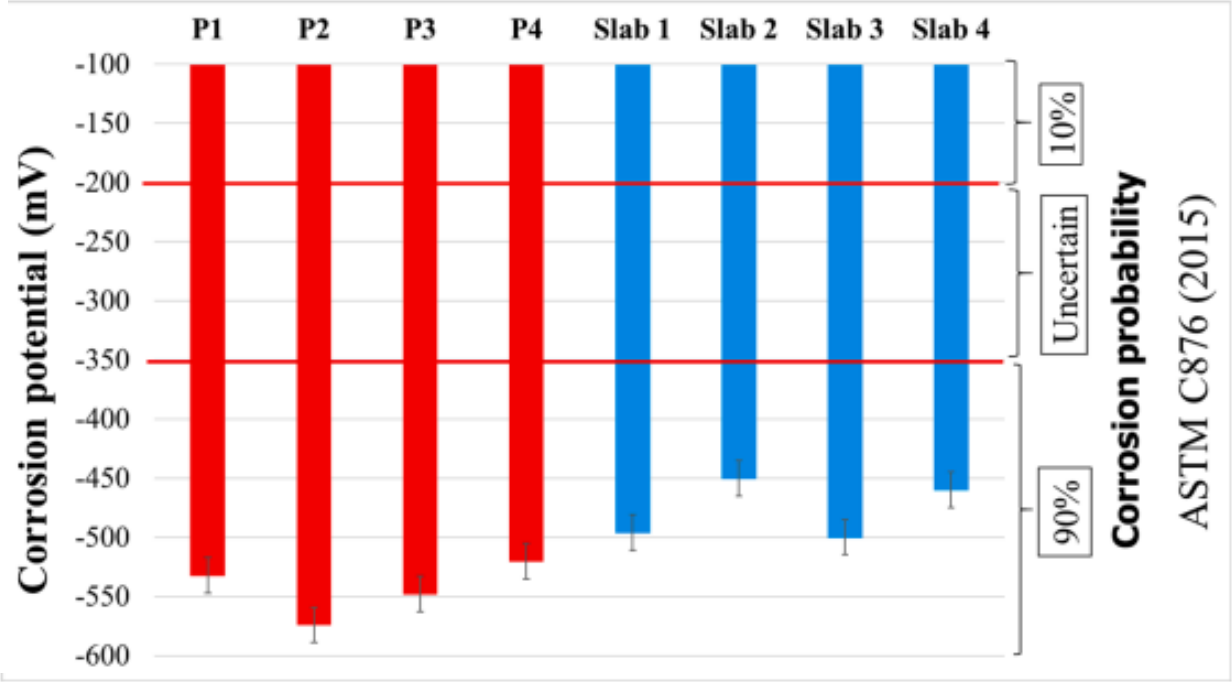




(Godinho e Medeiros, 2021)

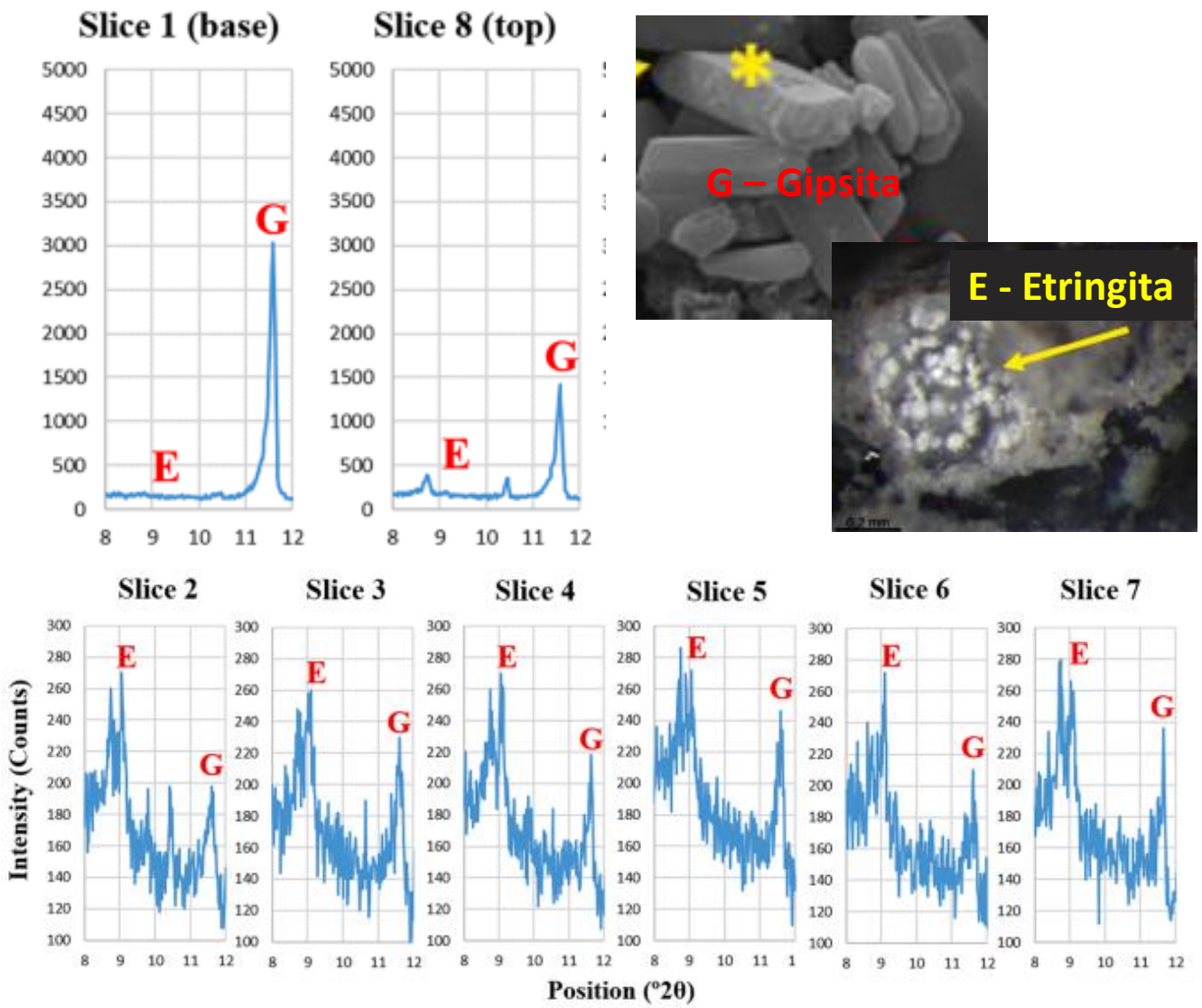
Mecanismo e proposta de reabilitação

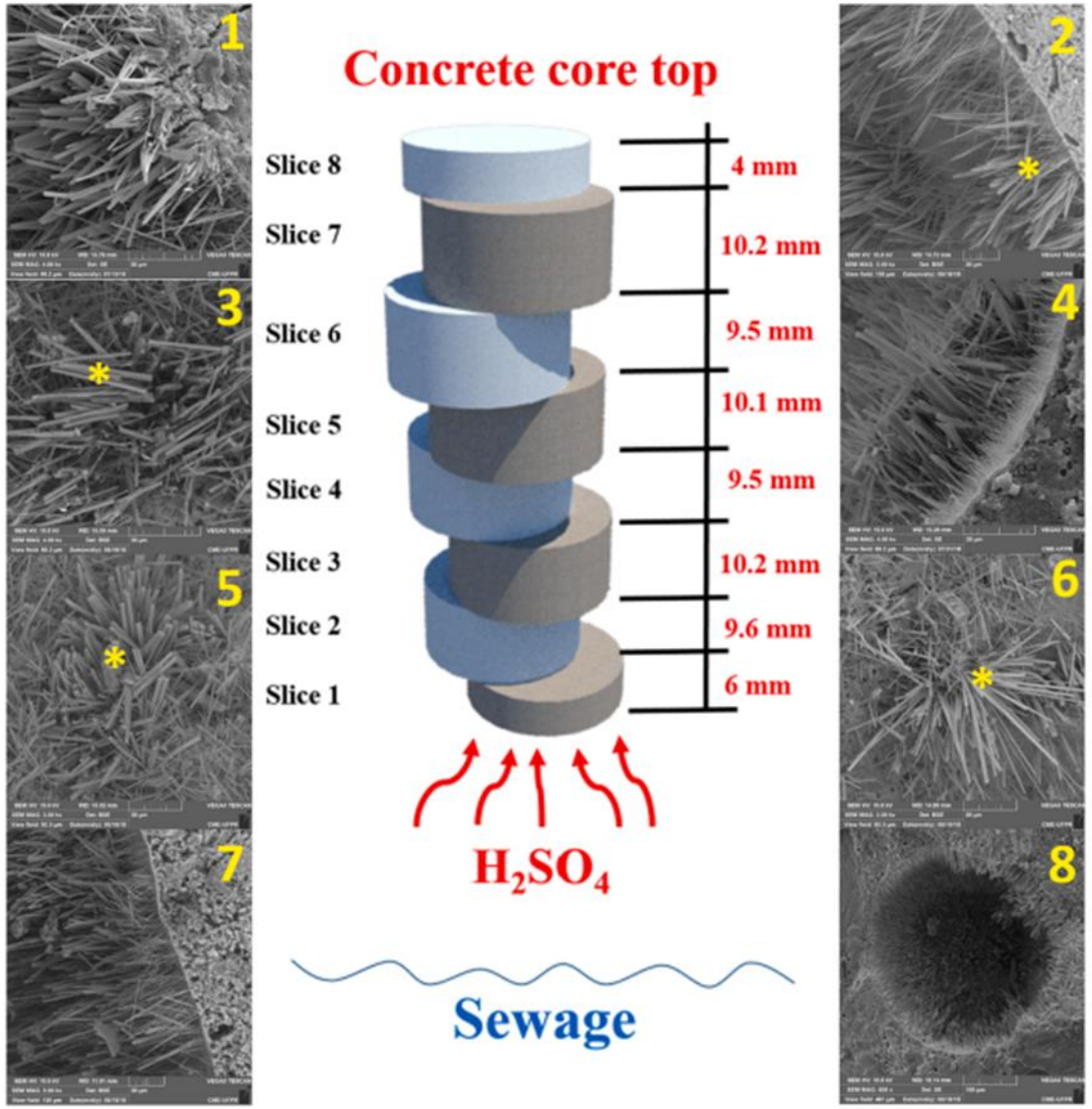




(Godinho e Medeiros, 2021)

Mecanismo e proposta de reabilitação





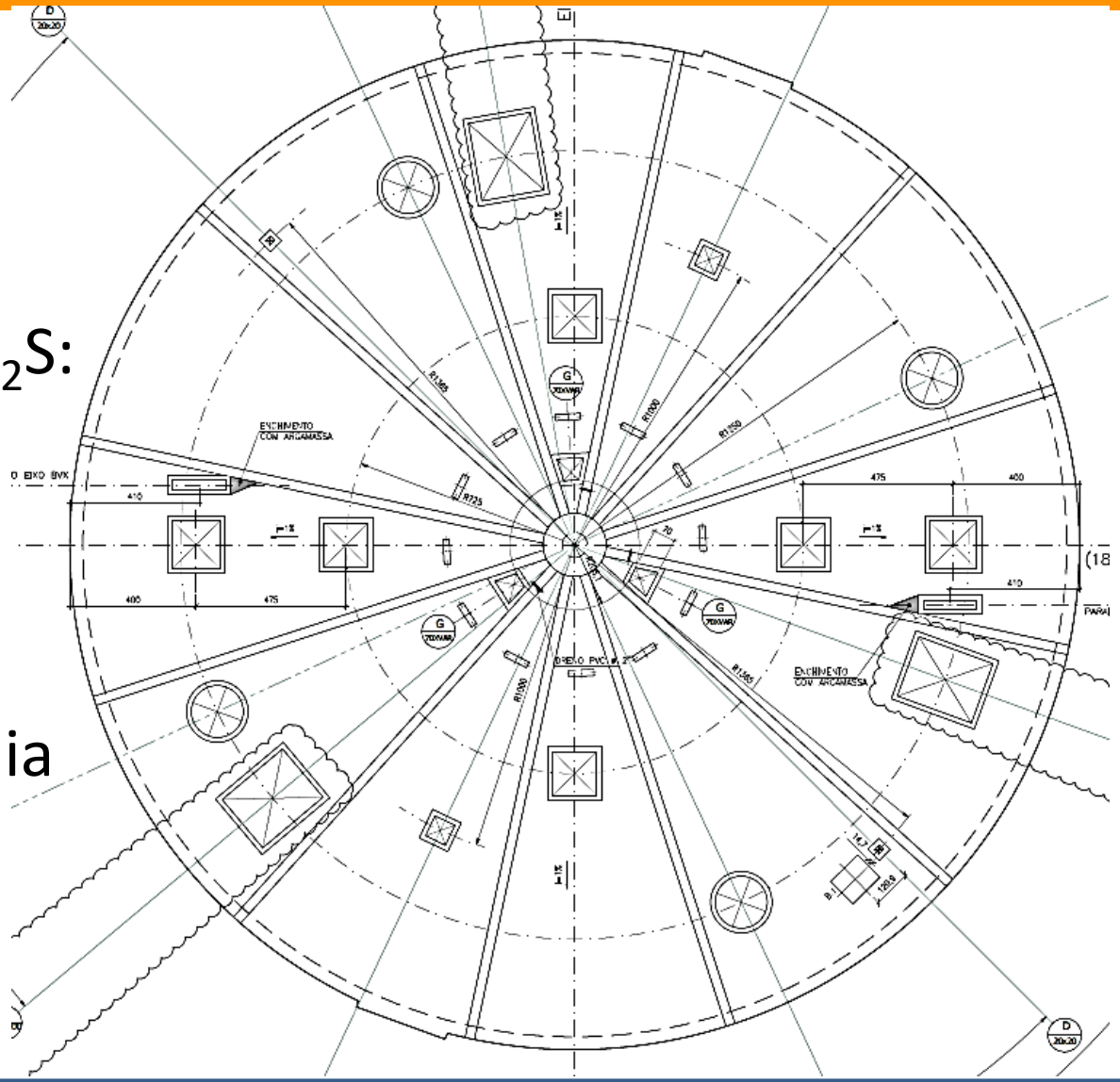
(Godinho e Medeiros, 2021)

Proteção com Penetron Admix, Penetron BioMIC e Penetron ARC

promon engenharia

Concentração de H_2S:
2.000 ppm

Temperatura Média
de 50 °C



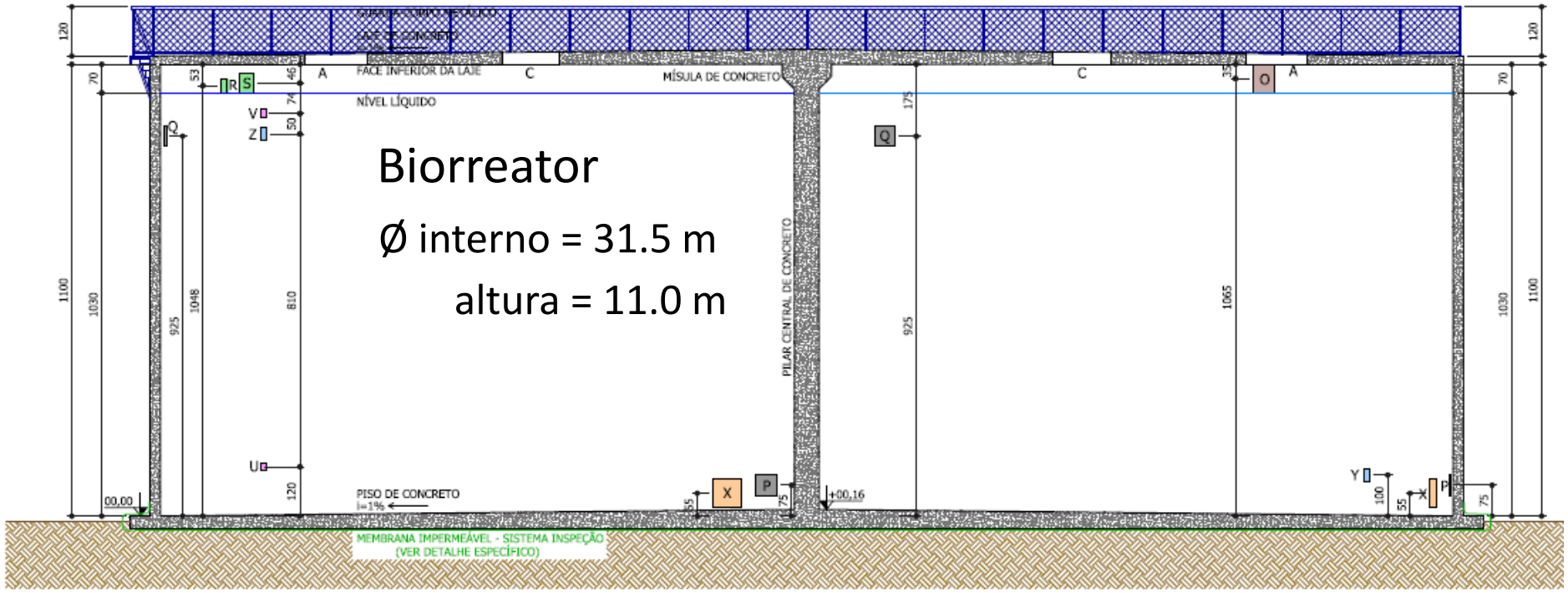
PENETRON
TOTAL CONCRETE PROTECTION

Proteção com Penetron Admix, Penetron BioMIC e Penetron ARC

promon engenharia

ESSAS ESTRUTURAS DEVEM SER EXECUTADAS COM fck=40MPa COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE POR CRISTALIZAÇÃO INTEGRAL AO CONCRETO TIPO "PENETRON ADMIX" OU EQUIVALENTE, COM TAXA DE DOSAGEM DE 1% EM RELAÇÃO À MASSA DE CIMENTO, SEGUINDO RIGOROSAMENTE AS INSTRUÇÕES DO FABRICANTE.

Vigas invertidas para prevenir confinamento de H_2S



PENETRON
TOTAL CONCRETE PROTECTION

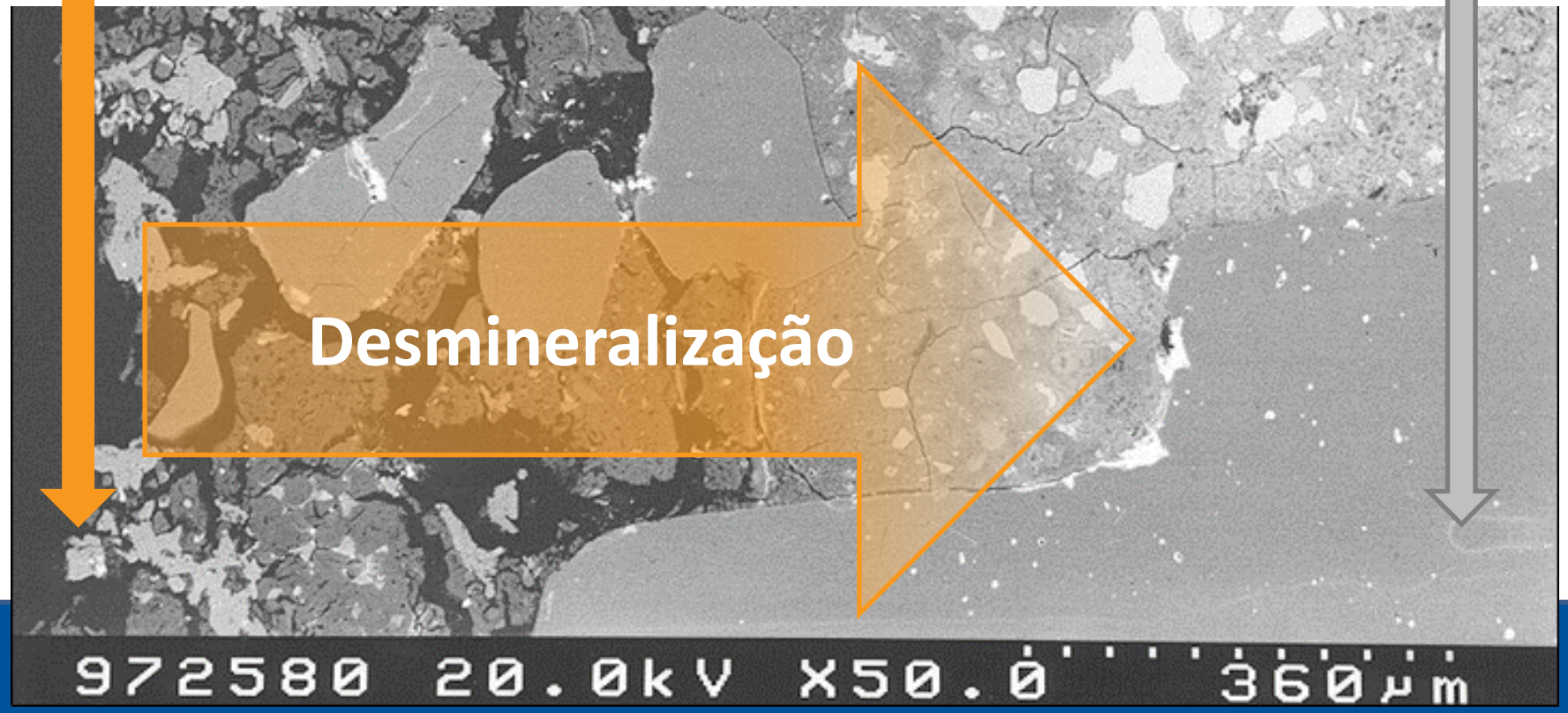
Biodeterioração do Concreto

Ácido sulfúrico biogênico

H_2SO_4

Concreto de 40 MPa (pH 12.5)

$Ca(OH)_2$



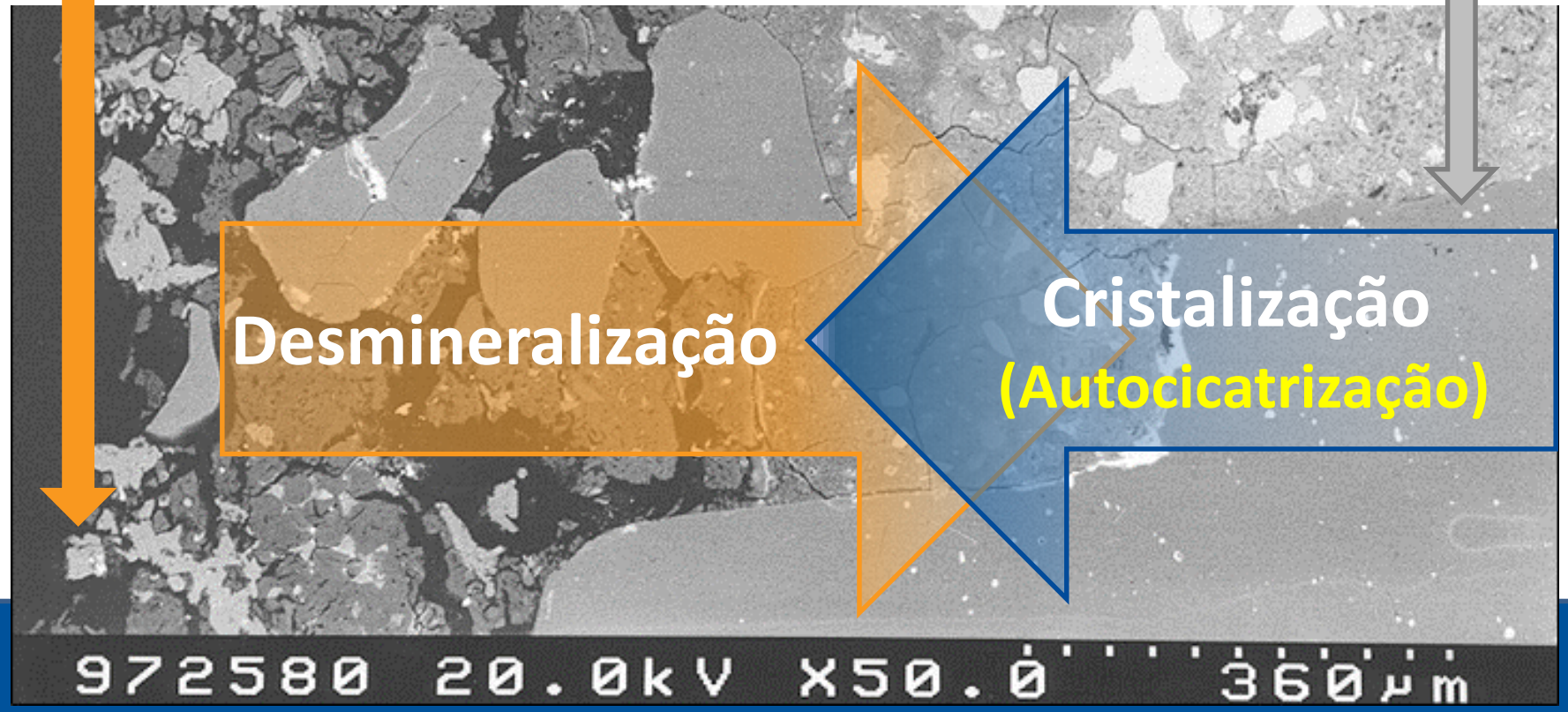
Biodeterioração do Concreto

Ácido sulfúrico biogênico

H_2SO_4

Concrete de 40 MPa

$Ca(OH)_2$



Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico

Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico

Biofilme Anaeróbico vs. Aeróbico

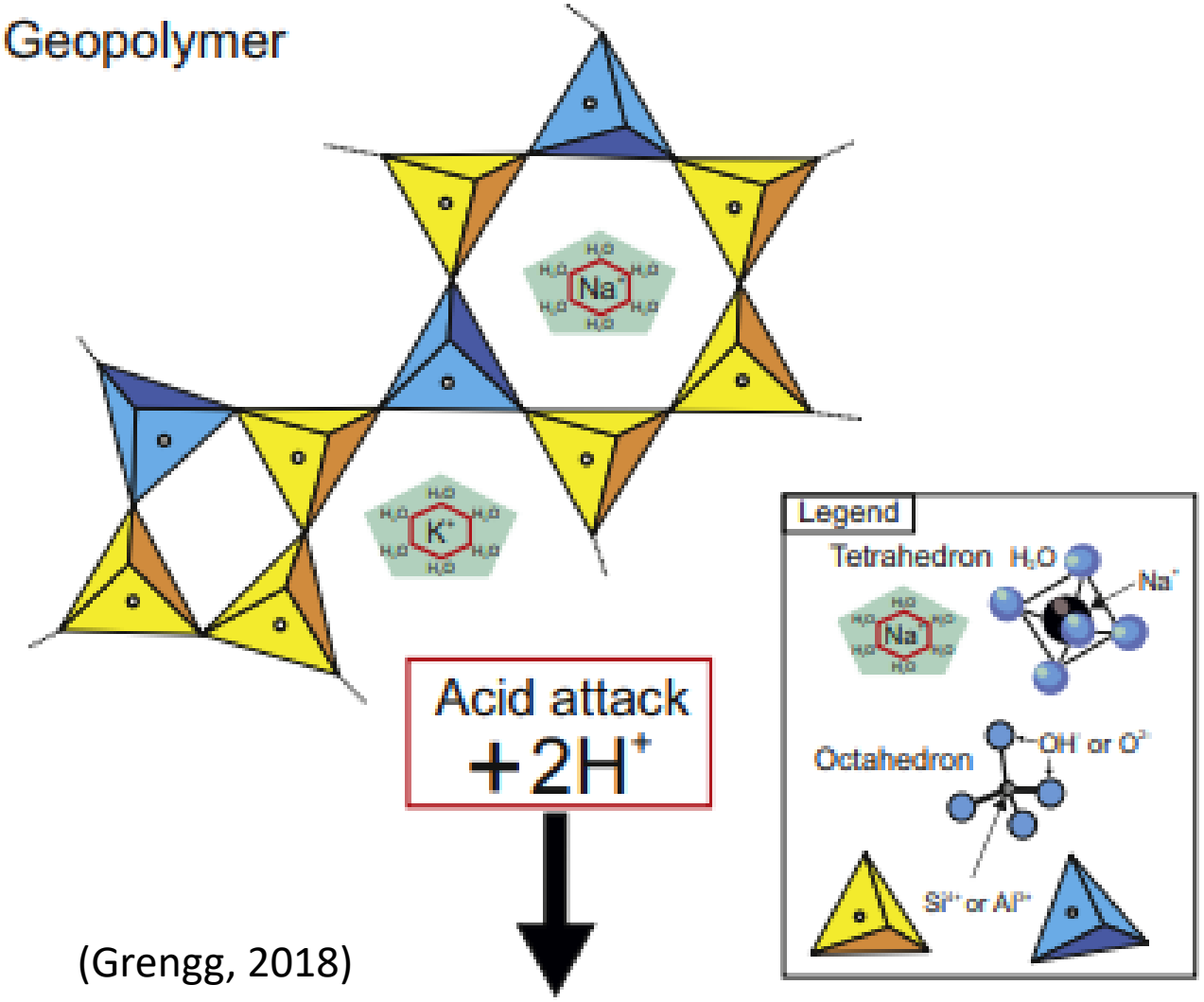
Geopolimero ARC – Aplicação por spray

Penetron ARC - Benefícios da aplicação

1 **Aplicação simples**
(aplicação simples por spray)

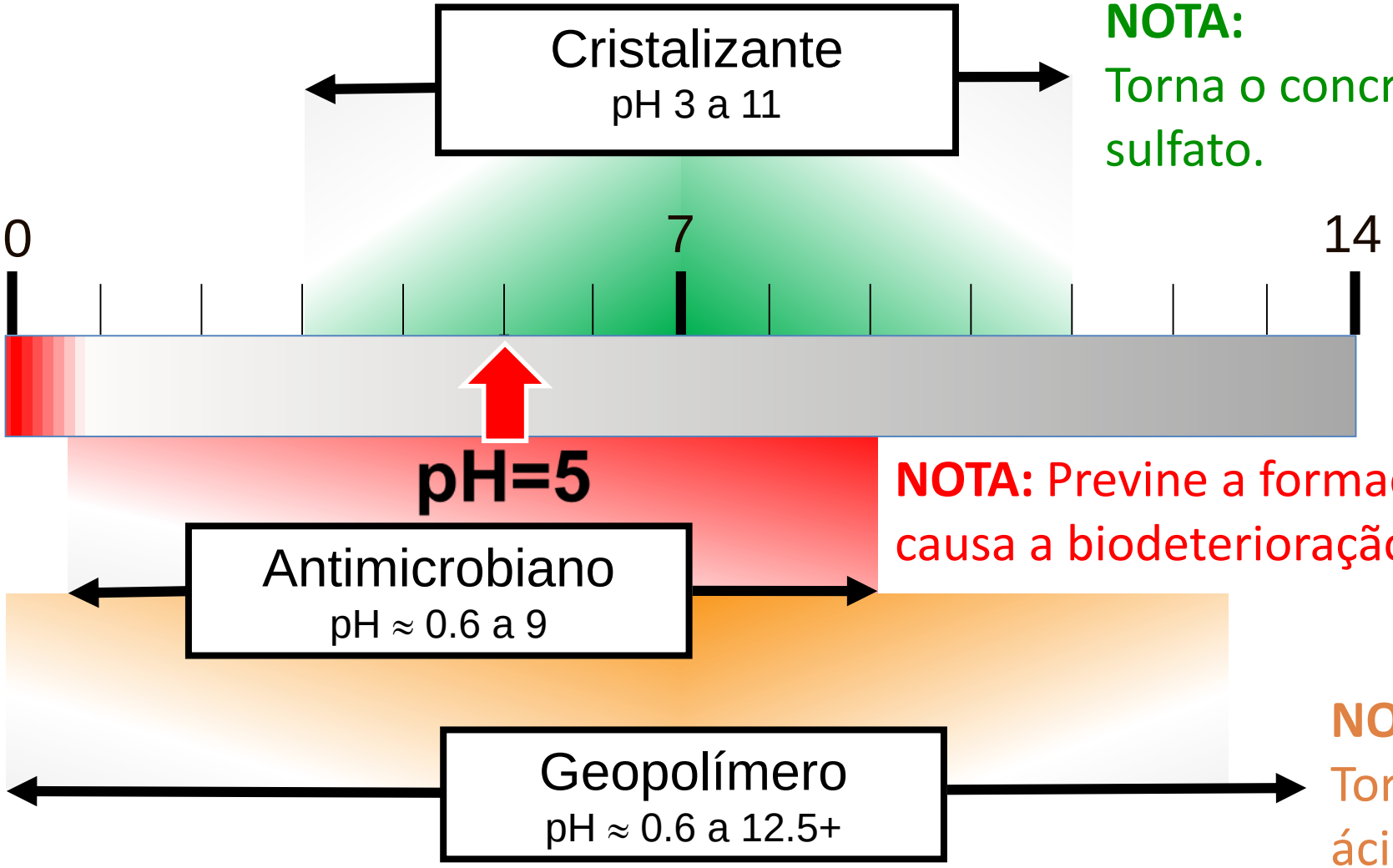
2 **Equipamentos de baixo custo**
(comparados com sistemas de PU)

3 **Ecologicamente correto**
(Requisitos menos rigorosos de EPI)



(Grengg, 2018)

Faixa de Proteção

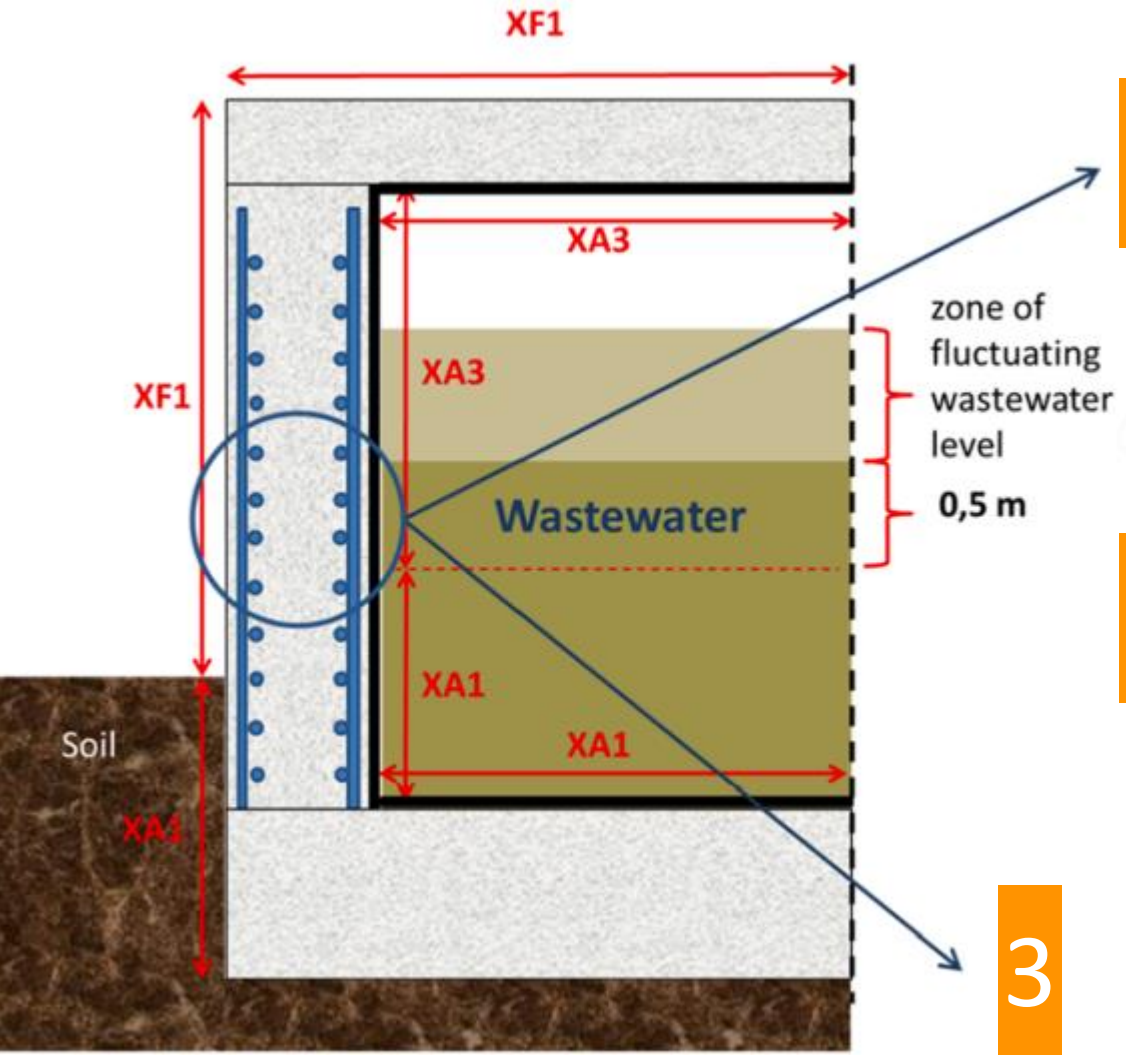


NOTA:
Torna o concreto resistente ao sulfato.

NOTA: Previne a formação de ácido sulfúrico que causa a biodeterioração (MIC).

NOTA:
Torna o concreto resistente ao ácido e ao sulfato.

Considerações finais (De Belie, 2004) (Woyciechowski, 2021)



1

Concreto fck ≥ 35 MPa (Relação a/c ≤ 0,4)

Cimento RS + EAF + agregado **calcáreo**

Aditivo cristalizante + aditivo antimicrobiano

Arquitetura em vigas "invertidas"

Armadura em aço Proteção anódica

2

Argamassa de reparo fck ≥ 40 Mpa

Cimento RS ou cimento aluminoso

Hidrojateamento de alta pressão 8.000 psi (500 bar)

Ponte de aderência com aditivo antimicrobiano

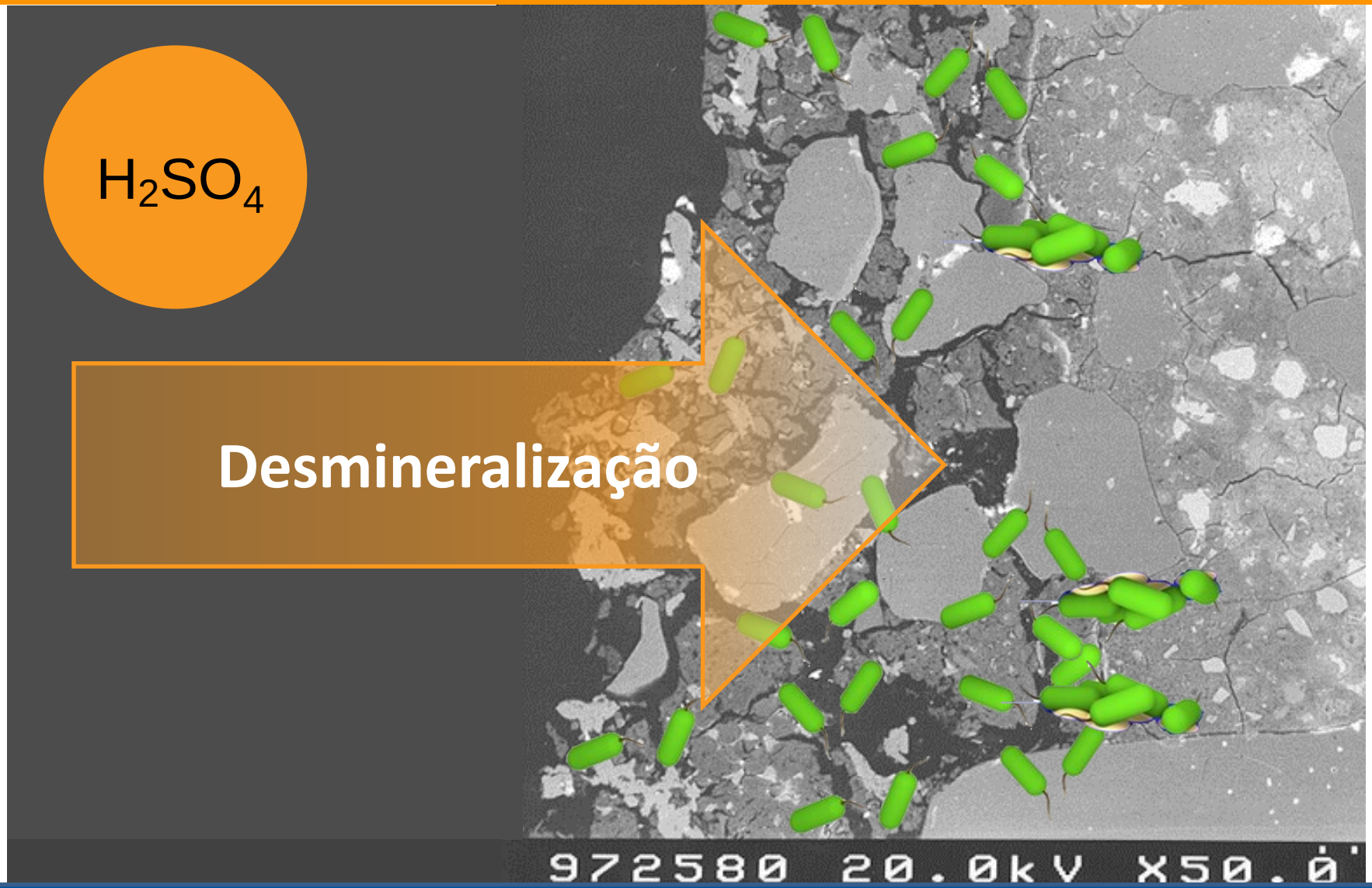
3

Revestimento antiácido (1mm de espessura)

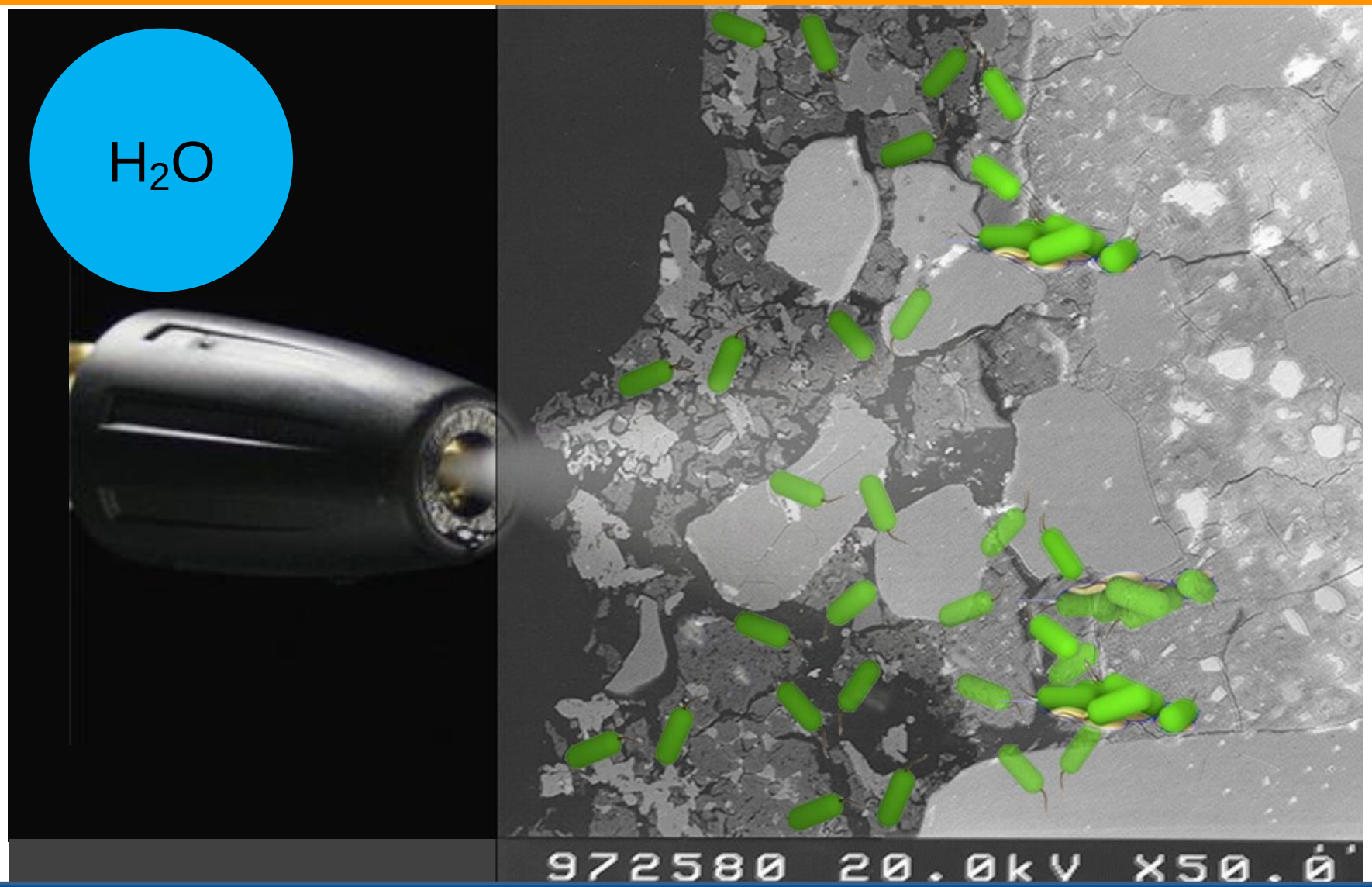
solução ácido sulfúrico 20%, abrasão < 3.000 mg

Sistema de reparo

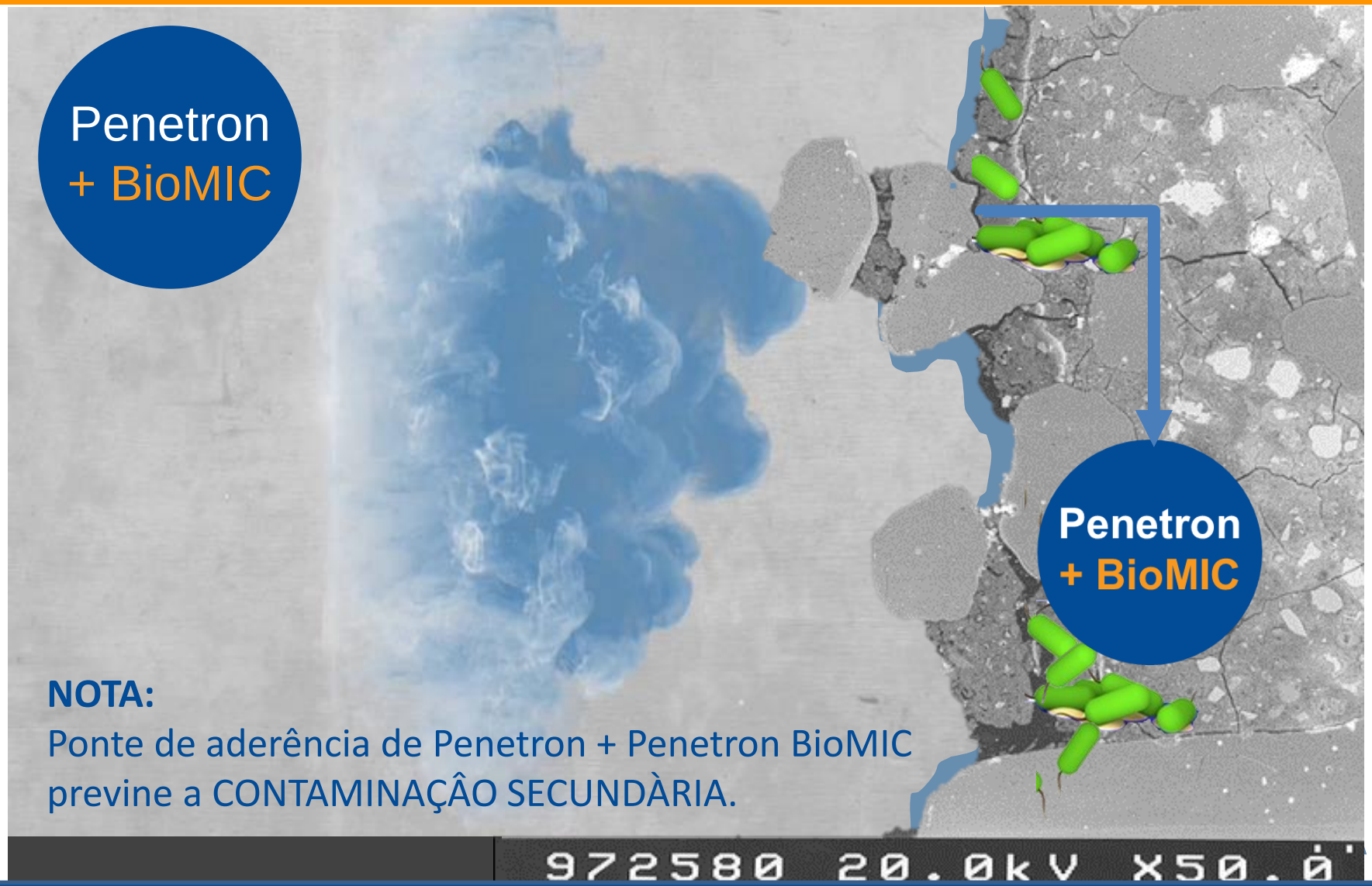
Biodeterioração do Concreto



Passo 1: Remoção do Concreto desmineralizado

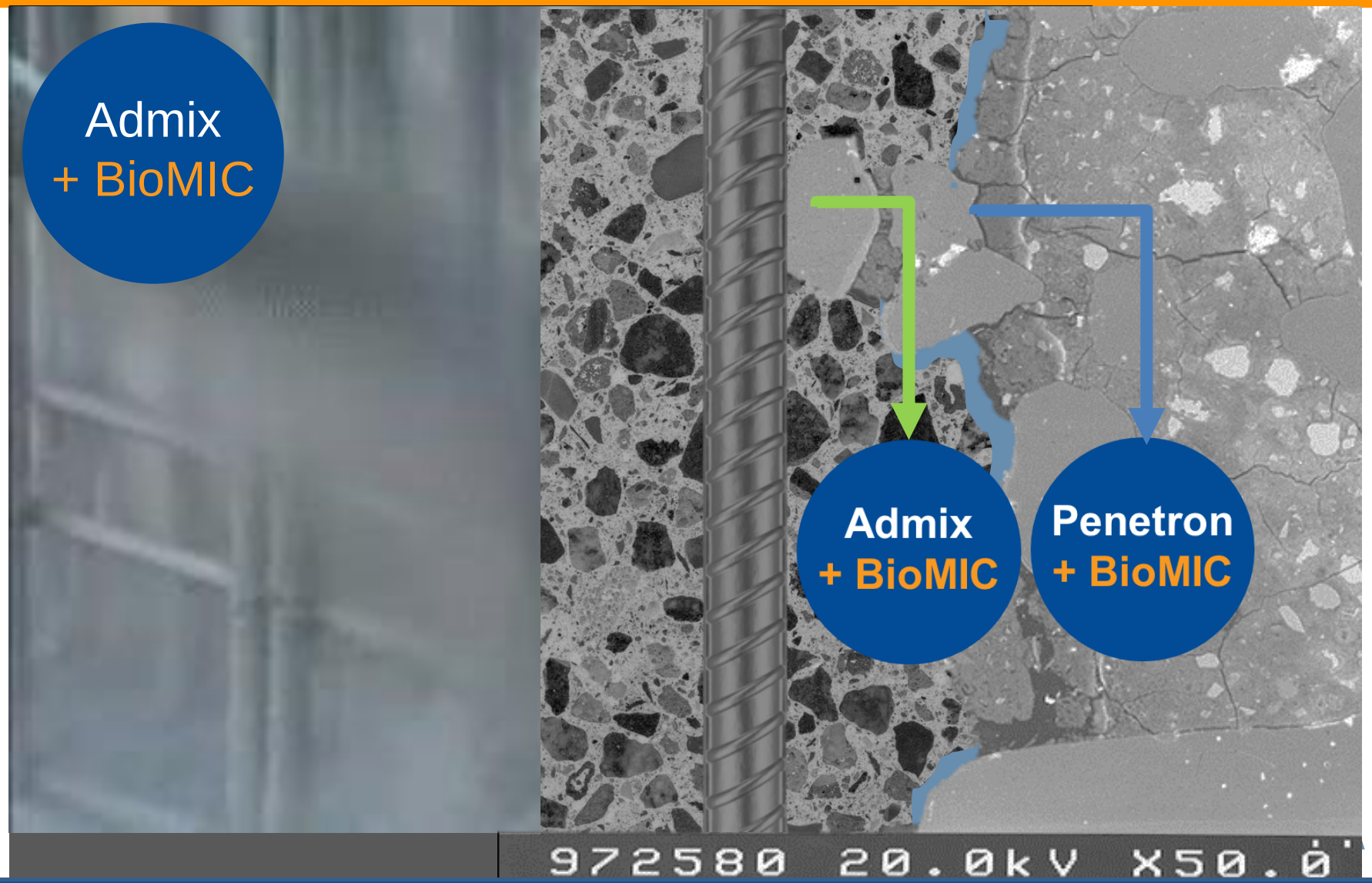


Passo 2: Aplicação do **ponte antimicrobiano**



NOTA:
Ponte de aderência de Penetron + Penetron BioMIC previne a CONTAMINAÇÂO SECUNDÀRIA.

Passo 3: Concreto projetado

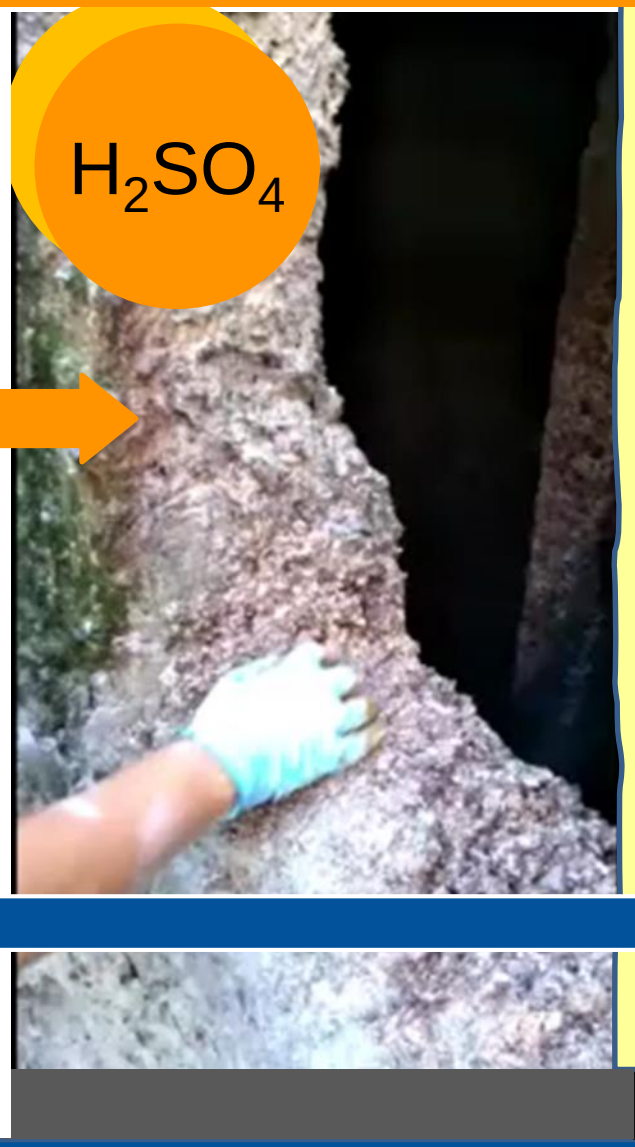


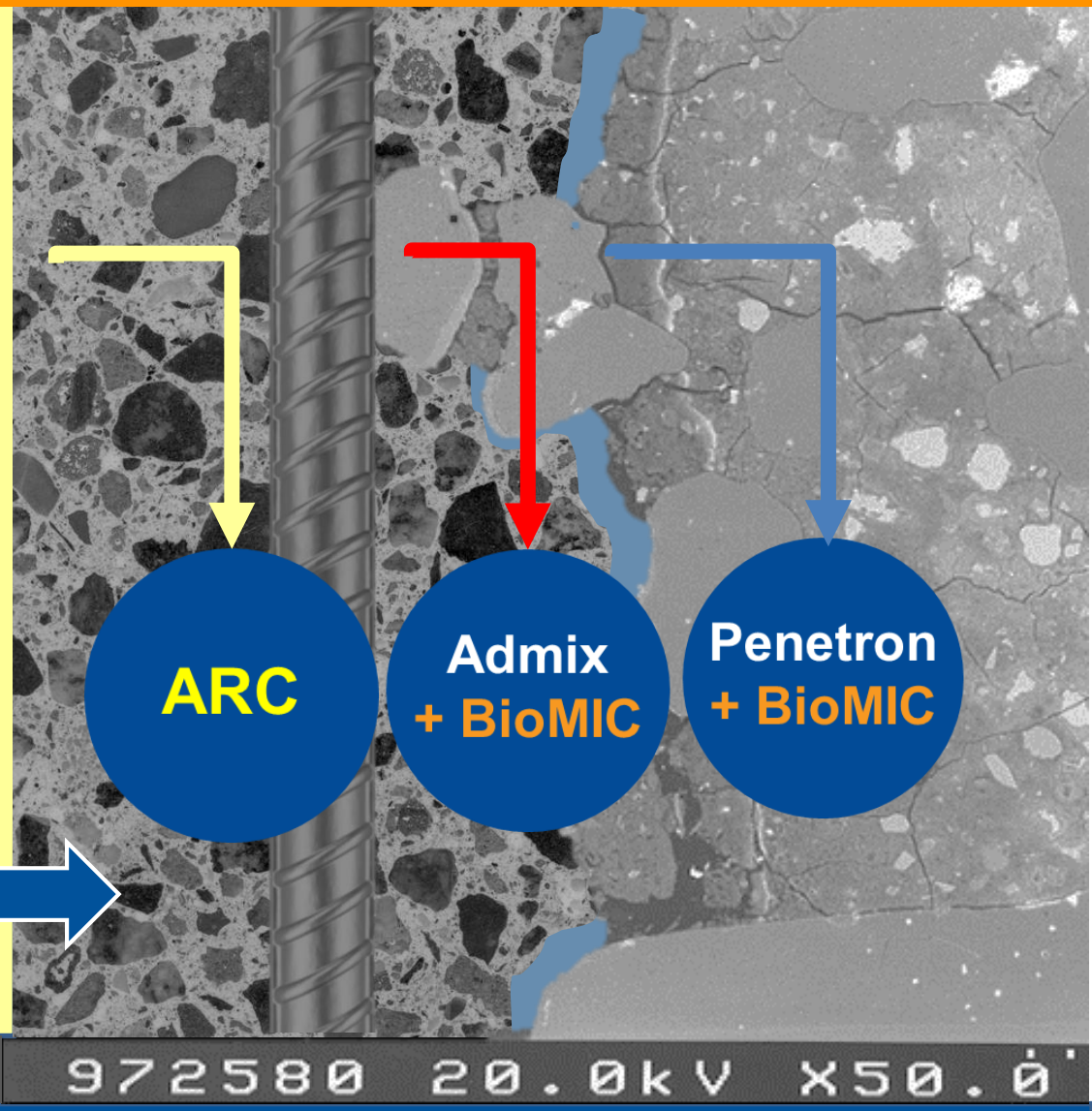
Passo 4: Geopolímero ARC

Proteção MIC: Reparo completo do Penetron

Biodeterioração

Reparo de concreto protegido contra biodeterioração





Muito obrigado pelo seu tempo

Sinta-se livre para entrar em contato conosco se você precisar de alguma ajuda.

etakagi@penetron.com
etakagi@ita.br
www.penetron.com.br

PENETRON®
TOTAL CONCRETE PROTECTION