ARGAMASSAS COM ELEVADA RESISTÊNCIA QUÍMICA

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA EVITAR A DEGRADAÇÃO PRECOCE DE SISTEMAS DE SANEAMENTO

PROJETO **MORTAR4SEWAGE**
(POCI-01-0247-FEDER-039829)

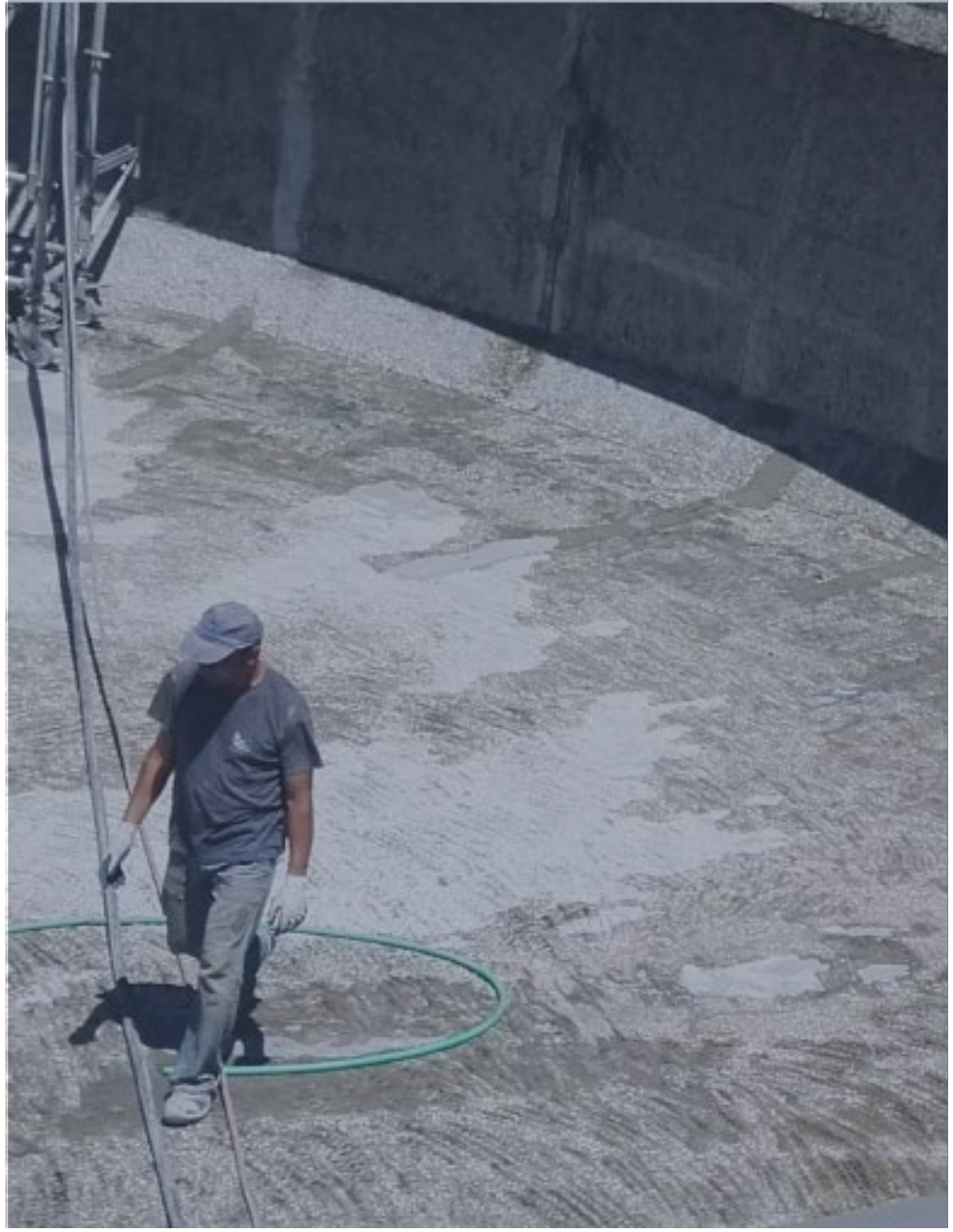
MAPEI

itecons

COMPETE 2020

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



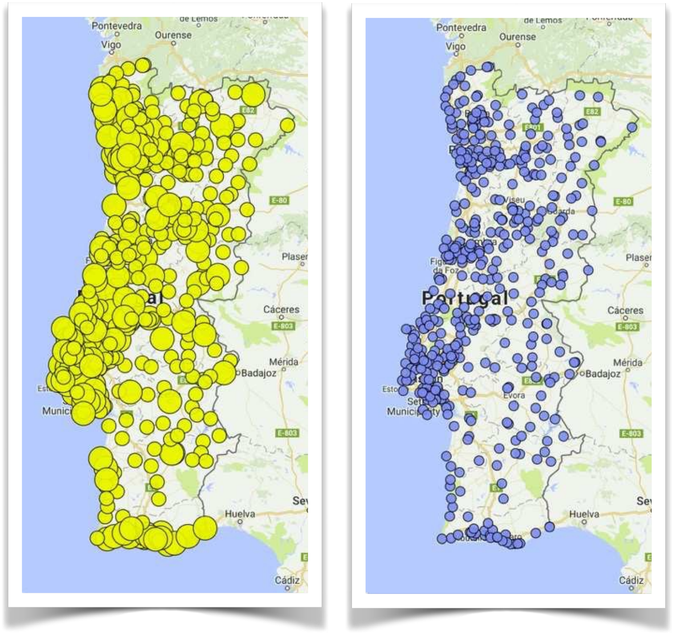
CONTEÚDOS

1. **Desafios para evitar a degradação precoce de sistemas de saneamento**
   - Enquadramento
   - Principais causas da degradação dos sistemas de saneamento
     - Corrosão devido ao ataque do ácido sulfúrico
     - Expansão devido ao ataque dos sulfatos
   - Como avaliar a resistência química de um sistema?
     - Ensaios in situ *vs.* Ensaios laboratoriais
2. **Contributos do projeto Mortar4Sewage**
   - Motivação
   - Principais objetivos
   - Estratégia de investigação
   - Condições e requisitos de ensaio da DIN 19573
   - Resistência à compressão residual e grau de corrosão (pH0 e pH1)
   - Avaliação do ataque por sulfatos
   - Avaliação por ATR-FTIR e SEM-EDS
3. **Exemplos práticos de reabilitação**
   - Produtos cimentícios *vs.* produtos poliméricos
   - Caixas de visita, estações elevatórias, etc.

DESAFIOS PARA EVITAR A DEGRADAÇÃO PRECOCE DOS SISTEMAS DE SANEAMENTO

ENQUADRAMENTO

- Os sistemas de saneamento são essenciais ao normal funcionamento dos aglomerados urbanos. Contudo, as águas residuais que circulam no interior destes sistemas contém substâncias que, por ação biológica, originam ácidos responsáveis pela degradação precoce dos revestimentos interiores.



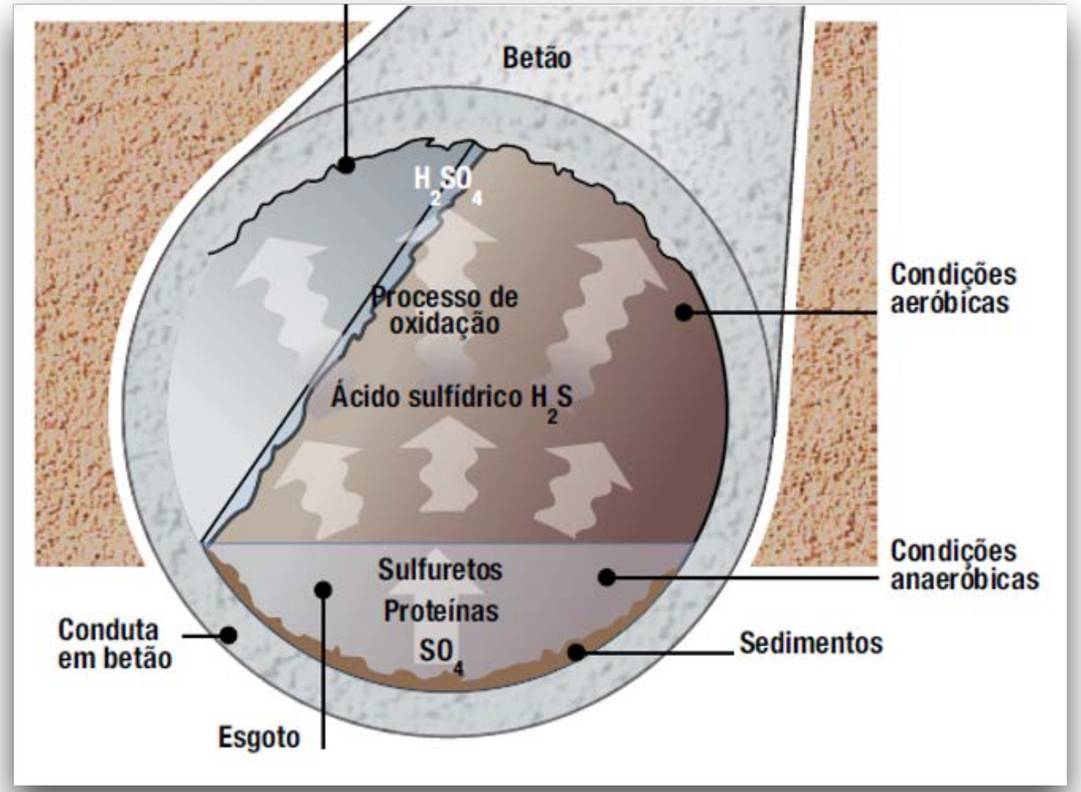
Distribuição geográfica de aglomerações de águas residuais urbanas (figura da esquerda) e respetivas estações de tratamento com mais de 2 000 habitantes equivalentes (figura da direita) no território nacional.

(Adaptado de European Commission Urban Waste Water Website: Portugal. Disponível em URL: http://uwwtd.oieau.fr/Portugal/).

PRINCIPAIS CAUSAS DA DEGRADAÇÃO DOS SISTEMAS DE SANEAMENTO

- **Corrosão devido ao ataque do ácido sulfúrico**
- **Expansão devido ao ataque dos sulfatos**
- **Infiltrações em fissuras provocadas por excessos de carga e pressão**

A corrosão produzida pelo ataque químico caracteriza-se, geralmente, pelo desgaste da superfície e pelo aumento da porosidade, com um agravamento progressivo ao longo do tempo



Esquema simplificado do mecanismo de formação do ácido sulfúrico



CORROSÃO DEVIDO AO ATAQUE DO ÁCIDO SULFÚRICO

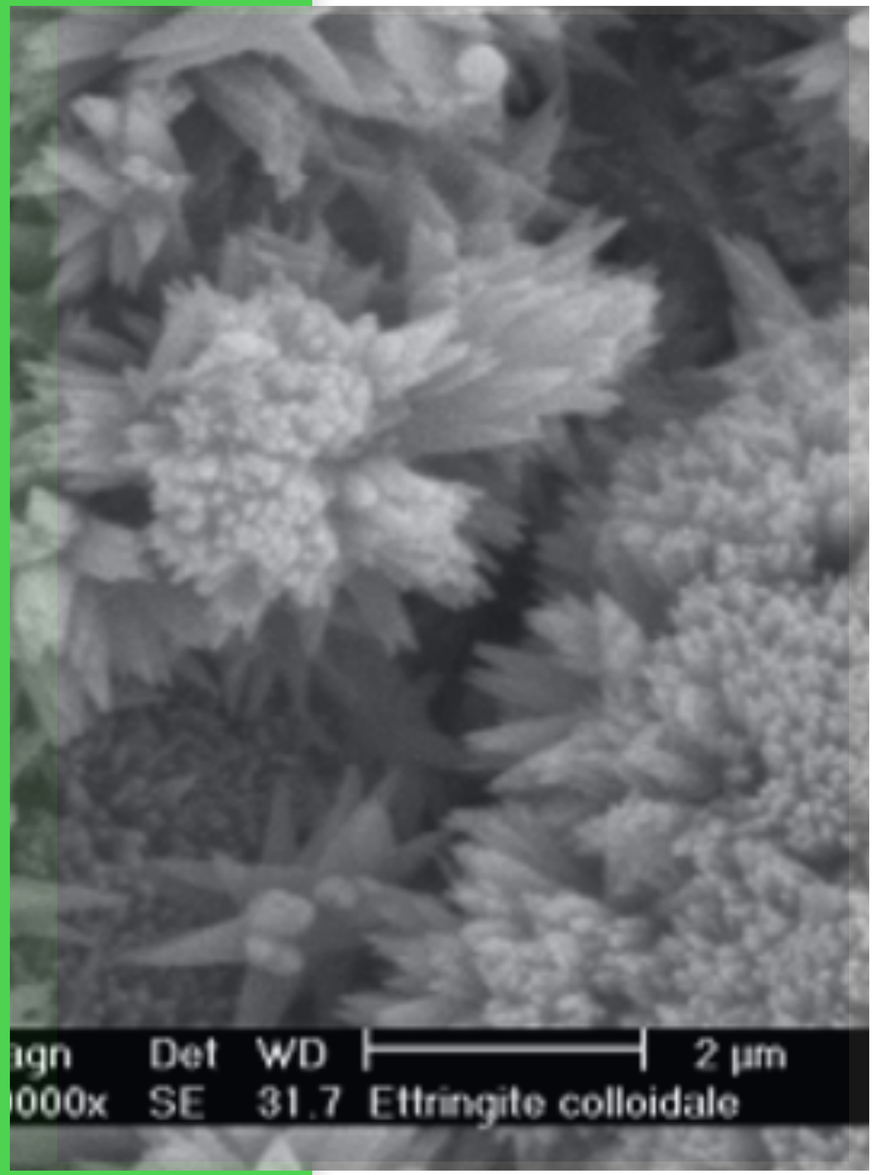
$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

$$3CaO.Al_2O_3.12H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 14H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$$

$$CaO.SiO_2.2H_2O + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + Si(OH)_4 + H_2O$$

A partir da ação redutora de bactérias anaeróbicas (e.g. Desulfovibrio, Desulfobacter e Desulforomonas) sobre compostos de enxofre presentes nas águas residuais forma-se gás sulfídrico (H_2S).

De seguida, devido à ação de bactérias aeróbicas (e.g. Thiobacillus thiooxidans e Thiobacillus concretivorus) ocorre a oxidação do H_2S em ácido sulfúrico (H_2SO_4).



EXPANSÃO DEVIDO AO ATAQUE POR SULFATOS

$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4.10H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH + 8H_2O$

$2CaO.Al_2O_3.12H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 14H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$

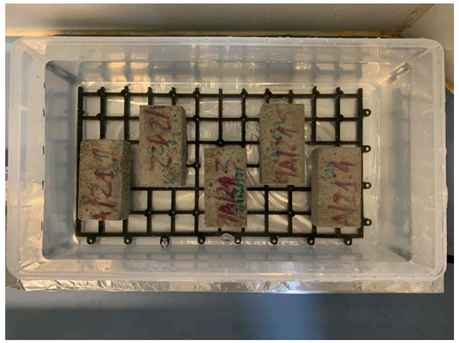
$2(3CaO.Al_2O_3.12H_2O) + 3(Na_2SO_4.10H_2O) \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O + 2Al(OH)_3 + 6\ NaOH + 17H_2O$



Efeitos provocados por fenómenos de expansão

COMO AVALIAR A RESISTÊNCIA QUÍMICA?

Ensaios *in situ* *vs.* **Ensaios laboratoriais**









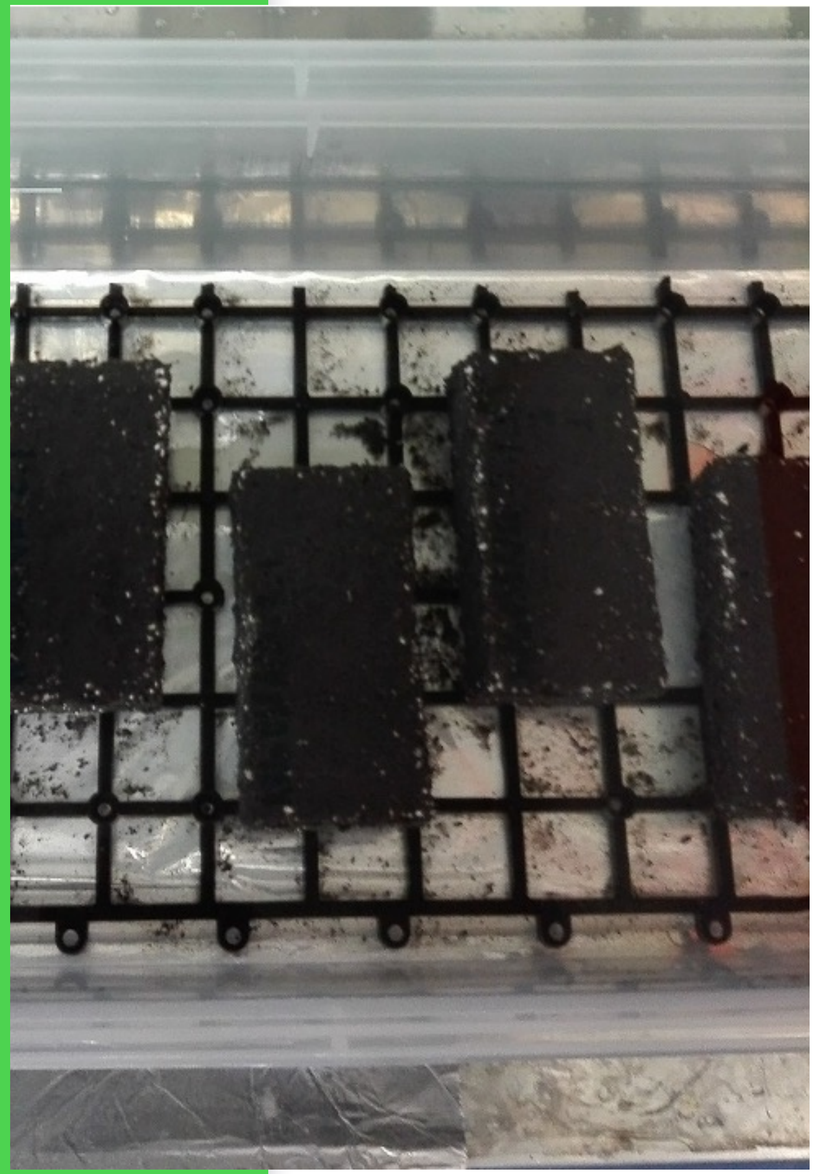


ENSAIOS *IN SITU*

Permitem estudar de forma real o processo de corrosão provocado pelo ácido sulfúrico biogénico; Em geral, os provetes são colocados em órgãos de saneamento com elevada agressividade química

Principais desvantagens/limitações:

- São ensaios muito demorados, podendo as alterações dos provetes ter que ser seguidas durante anos
- Os resultados são muito dependentes das condições químicas específicas do órgão de saneamento durante o tempo do ensaio
- Não é fácil estabelecer uma comparação com resultados obtidos em diferentes locais ou em diferentes momentos temporais



ENSAIOS LABORATORIAIS

Permitem simular a resistência química de provetes perante ambientes de diferente agressividade ambiental, de uma forma simplificada e reprodutível num curto período de tempo; Em geral, são levados a cabo com soluções de sulfato e/ou soluções de ácido sulfúrico

Principals desvantagens/Limitações:

- Escassez de métodos de ensaio validados
- Falta de regulamentação e a normalização aplicáveis



CONTRIBUTOS DO PROJETO

MORTAR4SEWAGE

POCI-01-0247-FEDER-039829



MOTIVAÇÃO

- Limitado conhecimento existente sobre soluções de argamassa para construção e reabilitação de sistemas de saneamento
- Escassez de normas e regulamentos que definam as características dos revestimentos a utilizar em sistemas de saneamento
- Falta de métodos validados que permitam avaliar o desempenho e comparar diferentes tipos de revestimento
- Elevada oportunidade de mercado face ao número de sistemas e órgãos de saneamento existentes com necessidades de reabilitação

PRINCIPAIS OBJETIVOS

01

Identificar fatores críticos inerentes ao desenvolvimento de patologias em soluções de revestimento interior de sistemas de saneamento resultantes do ataque químico

02

Definir metodologias de ensaio que permitam recriar em laboratório condições ambientais propensas ao desenvolvimento das mesmas patologias

03

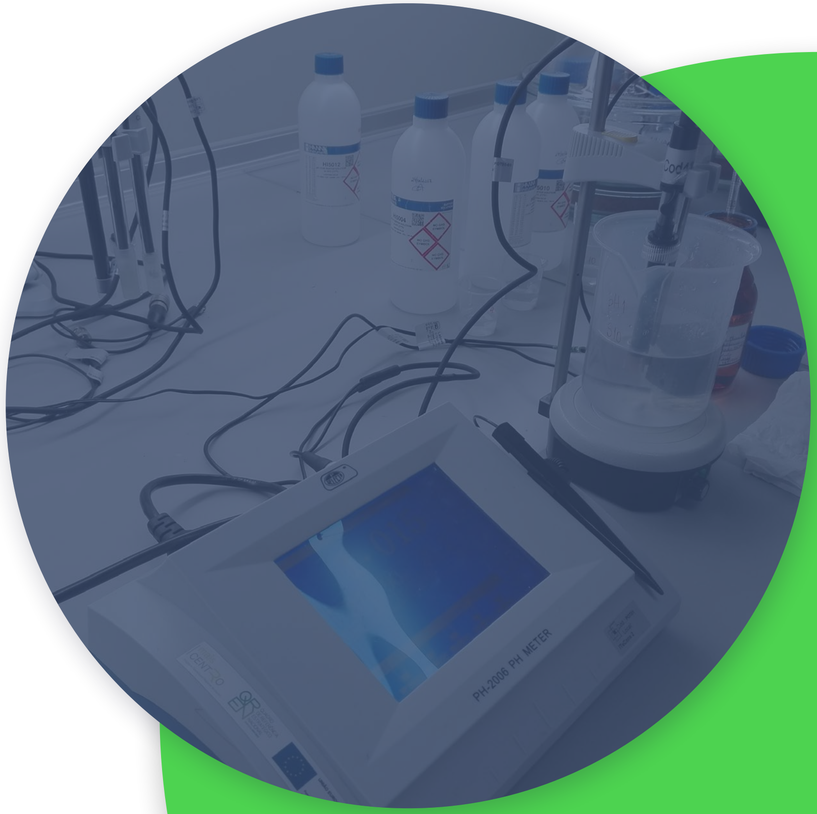
Desenvolver um novo segmento de argamassas de revestimento com elevada resistência química, destinado à construção e reabilitação de sistemas de saneamento

04

Validar o desempenho das novas argamassas no que respeita à sua resistência química e às especificações técnicas próprias deste tipo de produtos

ESTRATÉGIA DE INVESTIGAÇÃO

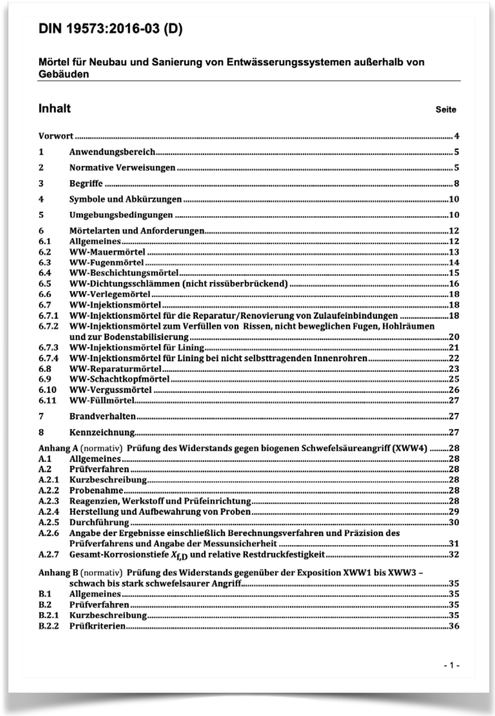
- Sistematização do estado da arte e definição de exigências funcionais
- Definição e validação de metodologias para avaliação da resistência química de novas formulações
- Desenvolvimento e caracterização das novas argamassas de revestimento
- Analise das condições de fabrico das novas argamassas desenvolvidas
- Validação do desempenho dos novos produtos em condições laboratoriais e reais



DIN 19573 - ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO ÁCIDO SULFÚRICO

A norma DIN 19573 foi disponibilizado pelo comité de normas alemão, com vista à avaliação da resistência química de argamassas para construção e reabilitação de infraestruturas de saneamento; Esta norma estabelece classes de resistência em função de um conjunto de testes e requisitos.

Classe de resistência à corrosão	Descrição
XWW4	Corrosão a ácido sulfúrico biogénico
XWW3	Corrosão a ácido sulfúrico forte
XWW2	Corrosão a ácido sulfúrico média
XWW1	Corrosão a ácido sulfúrico fraca



DIN 19573:2016-03 (D)

Mörtel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden

Inhalt Seite

Vorwort ... 4
1 Anwendungsbereich ... 5
2 Normative Verweisungen ... 5
3 Begriffe ... 8
4 Symbole und Abkürzungen ... 10
5 Umgebungsbedingungen ... 10
6 Mörtelarten und Anforderungen ... 12
6.1 Allgemeines ... 12
6.2 WW-Mauermörtel ... 13
6.3 WW-Fugenmörtel ... 14
6.4 WW-Beschichtungsmörtel ... 15
6.5 WW-Dichtungsschlämmen (nicht rissüberbrückend) ... 16
6.6 WW-Verlegemörtel ... 18
6.7 WW-Injektionsmörtel ... 18
6.7.1 WW-Injektionsmörtel für die Reparatur/Renovierung von Zulaufeinbindungen ... 18
6.7.2 WW-Injektionsmörtel zum Verfüllen von Rissen, nicht beweglichen Fugen, Hohlräumen und zur Bodenstabilisierung ... 20
6.7.3 WW-Injektionsmörtel für Lining ... 21
6.7.4 WW-Injektionsmörtel für Lining bei nicht selbsttragenden Innenrohren ... 22
6.8 WW-Reparaturmörtel ... 23
6.9 WW-Schachtkopfmörtel ... 25
6.10 WW-Vergussmörtel ... 26
6.11 WW-Füllmörtel ... 27
7 Brandverhalten ... 27
8 Kennzeichnung ... 27
Anhang A (normativ) Prüfung des Widerstands gegen biogenen Schwefelsäureangriff (XWW4) ... 28
A.1 Allgemeines ... 28
A.2 Prüfverfahren ... 28
A.2.1 Kurzbeschreibung ... 28
A.2.2 Probenahme ... 28
A.2.3 Reagenzien, Werkstoff und Prüfeinrichtung ... 28
A.2.4 Herstellung und Aufbewahrung von Proben ... 29
A.2.5 Durchführung ... 30
A.2.6 Angabe der Ergebnisse einschließlich Berechnungsverfahren und Präzision des Prüfverfahrens und Angabe der Messunsicherheit ... 31
A.2.7 Gesamt-Korrosionstiefe X_{ED} und relative Restdruckfestigkeit ... 32
Anhang B (normativ) Prüfung des Widerstands gegenüber der Exposition XWW1 bis XWW3 – schwach bis stark schwefelsaurer Angriff ... 35
B.1 Allgemeines ... 35
B.2 Prüfverfahren ... 35
B.2.1 Kurzbeschreibung ... 35
B.2.2 Prüfkriterien ... 36

- 1 -

CONDIÇÕES DE ENSAIO DA DIN 19573 - CLASSE XWW4

- 5 Provetes da argamassa (80 mm x 40 mm x 40 mm) são imersos em soluções de ácido sulfúrico a pH 0 (durante 14 dias) e a pH 1 (durante 70 dias)

- Razão área de superfície/volume de solução ácida = 20 m-1 (agitação moderada e contínua)

- 5 Provetes de argamassa (80 mm x 40 mm x 40 mm) obtidos a partir dos mesmos prismas são armazenados em água pelos mesmos períodos de tempo

- A compressão residual relativa e o grau de corrosão residual são calculados a partir das resistências à compressão dos provetes imersos em água e em ácido

REQUISITOS DE ENSAIO DA DIN 19573 - CLASSE XWW4

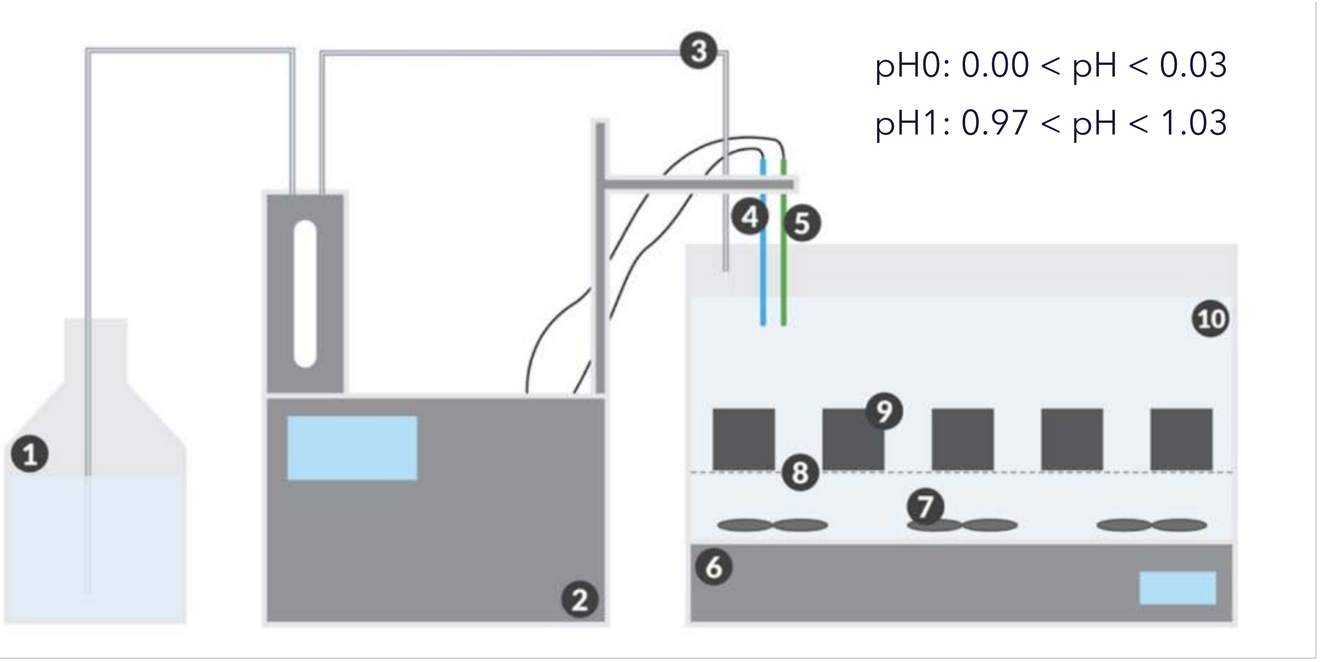
Parâmetro	Método de cálculo	Requisitos
Resistência à compressão residual relativa	$\frac{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em ácido}}{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em água}} \times 100$	> 55% (pH0) > 75% (pH1)
Grau de corrosão residual	$0{,}5 \times d_0 \left\lvert 1 - \sqrt{\frac{F_{D,ácido}}{F_{D,água}}} \right\rvert$	< 5,2 mm (pH0) < 2,7 mm (pH1)

d_0= dimensão da aresta da secção inicial (mm)

$F_{D,ácido}$ = carga de rotura após imersão do provete em ácido (kN)

$F_{D,água}$ = carga de rotura após imersão do provete em água (kN)

MONTAGEM EXPERIMENTAL DE ACORDO A DIN 19573

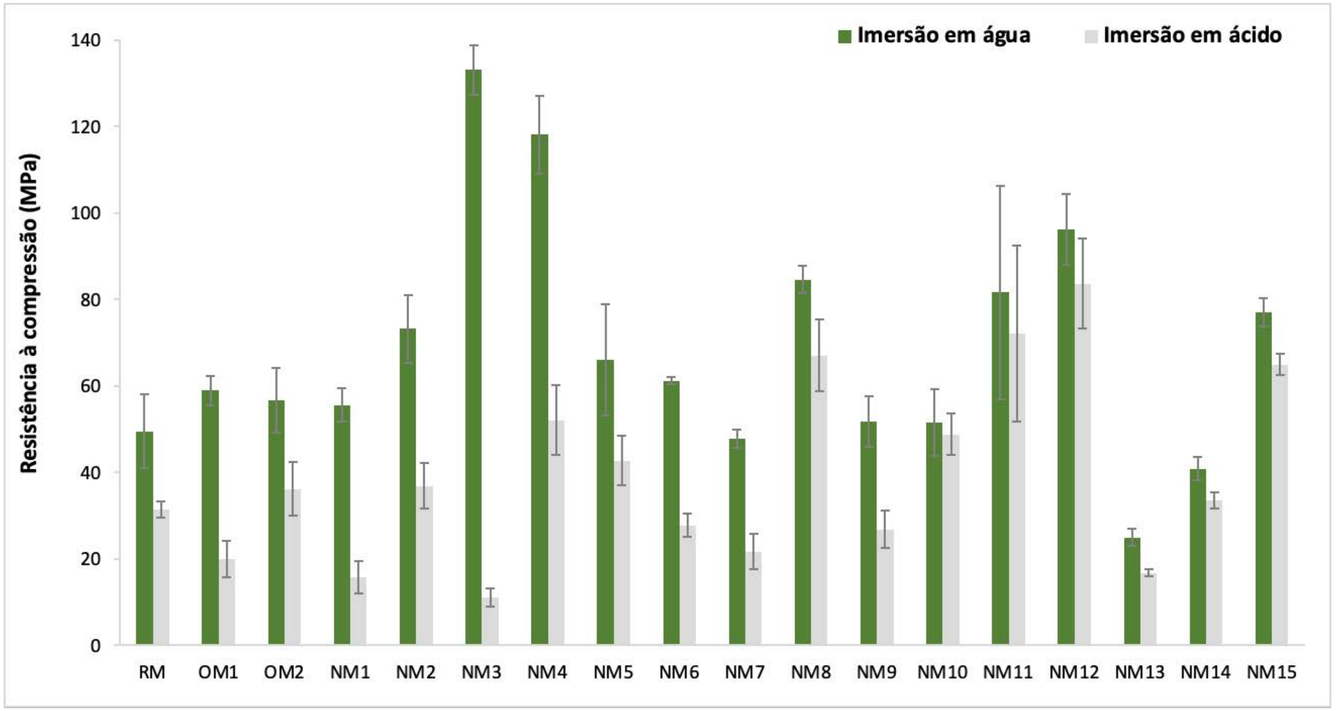


1) Recipiente com H_2SO_4
2) Titulador automático
3) Dispensador de H_2SO_4
4) Elétrodo de pH
5) Sonda de temperatura
6) Placa de agitação
7) Agitadores magnéticos
8) Grelhas
9) Provetes
10) Recipiente para solução de ensaio

Montagem experimental concebida para avaliar a resistência química das novas formulações de argamassas por exposição ao ácido sulfúrico a pH0 e pH1de acordo com as condições estabelecidas pela DIN 19573

RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH0 (14 DIAS)

Resultados da resistência à compressão

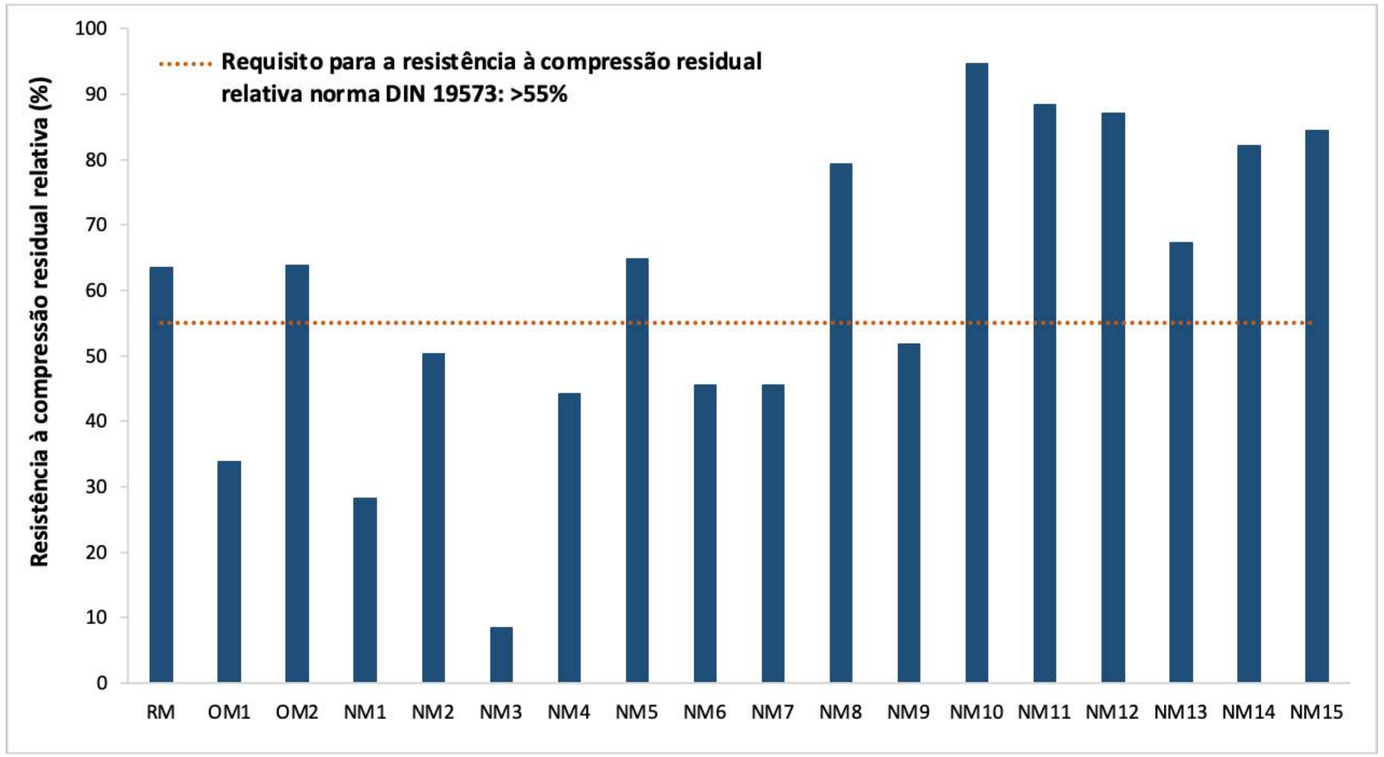


As argamassas NM8, NM10, NM11, NM12, NM14 e NM15 são as que apresentam menor diferença relativa entre os valores de resistência à compressão obtidos após imersão em ácido e em água



RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH0 (14 DIAS)

Resultados de resistência à compressão residual relativa

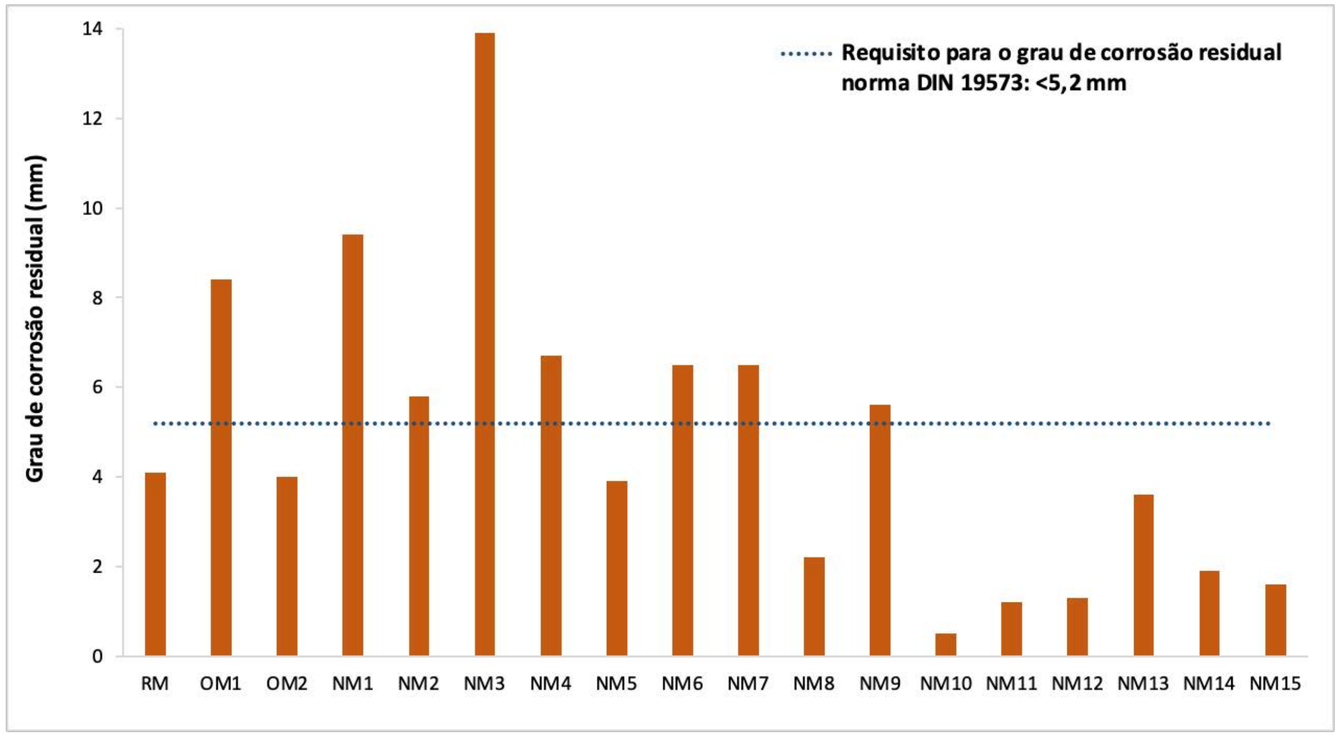


8 das novas argamassas cumprem o requisito da DIN 19573 (XWW4)

$$\frac{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em ácido}}{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em água}} \times 100$$

RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH0 (14 DIAS)

Resultados do grau de corrosão residual

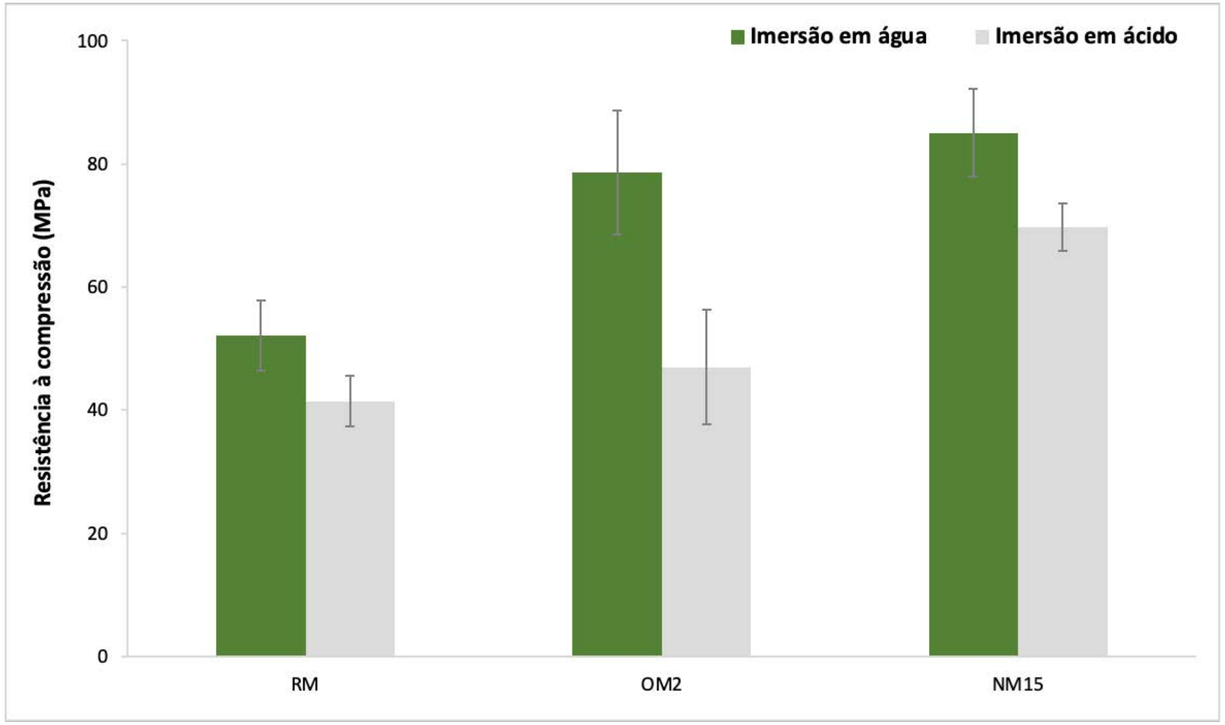


$$0{,}5 \times d_0 \left| 1 - \sqrt{\frac{F_{D,ácido}}{F_{D,água}}} \right|$$

8 das novas argamassas cumprem o requisito da DIN 19573 (XWW4)

RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH1 (70 DIAS)

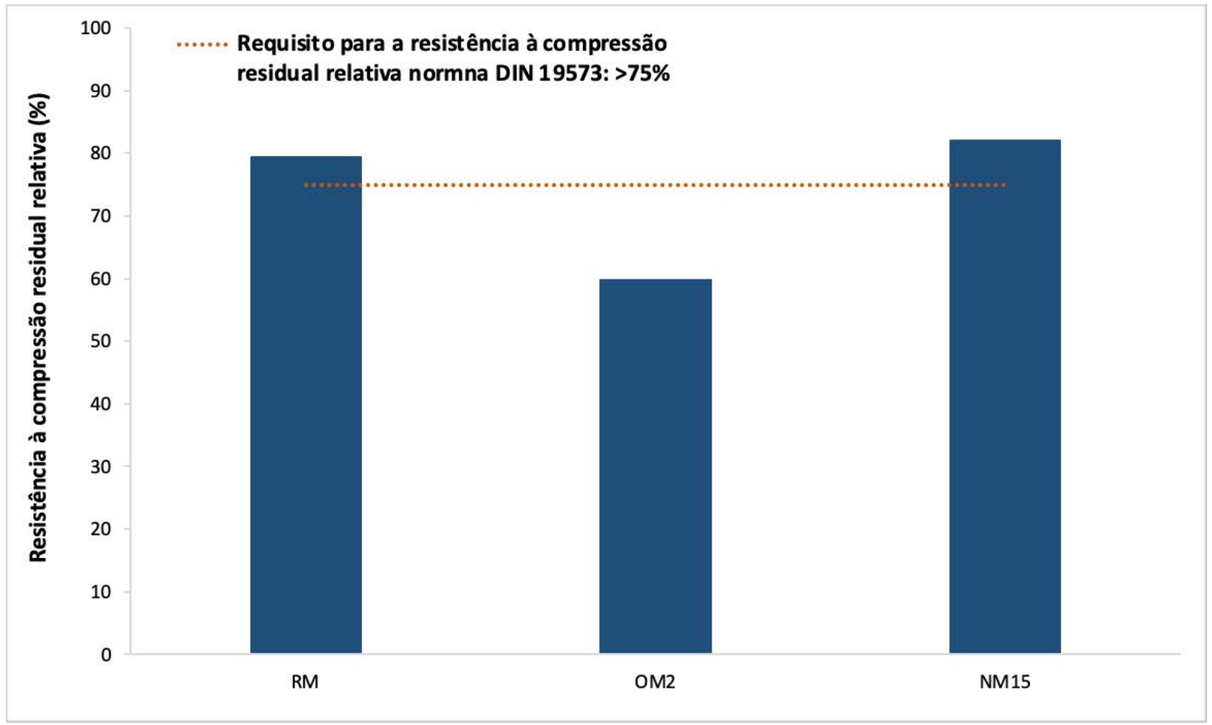
Resultados da resistência à compressão



A argamassa selecionada (NM15) apresenta valores de resistência à compressão após imersão em água e em ácido mais elevados do que argamassa de referência (RM)

RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH1 (70 DIAS)

Resultados de resistência à compressão residual relativa

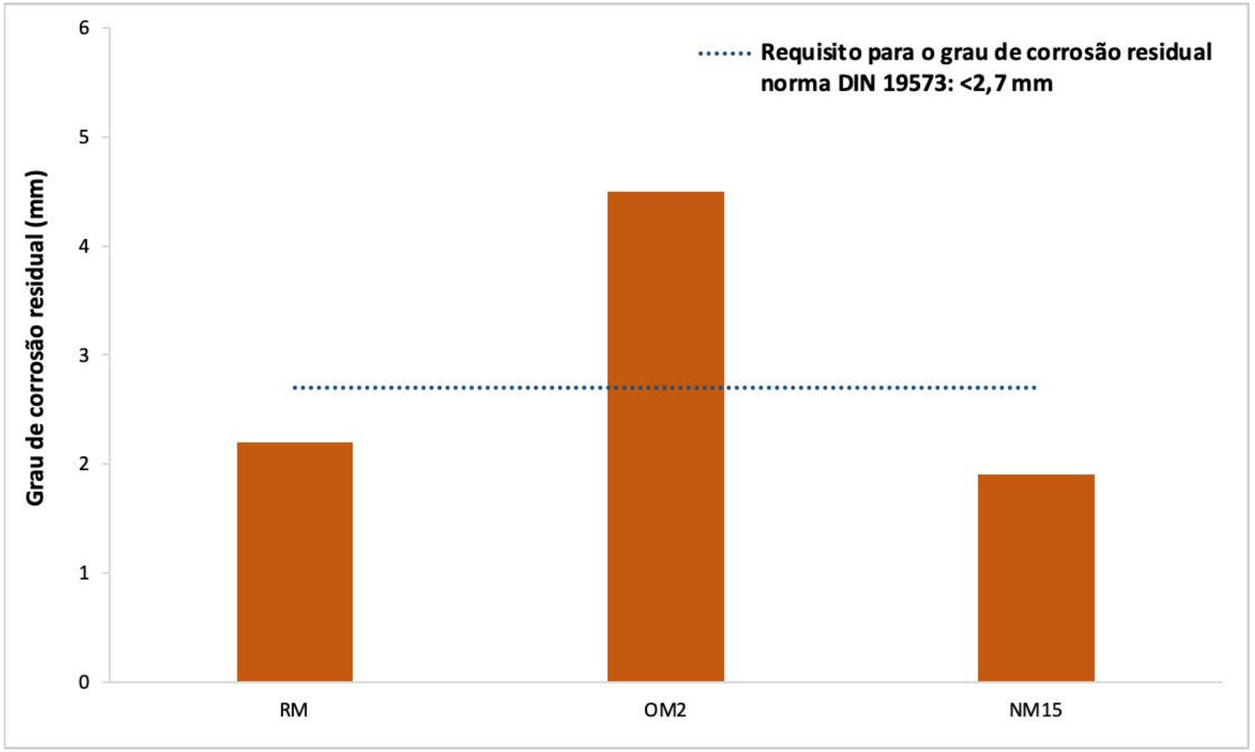


A argamassa selecionada (NM15) cumpre o requisito da DIN 19573 (XWW4)

$$\frac{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em ácido}}{\text{Resistência à compressão } \textit{após imersão em água}} \times 100$$

RESISTÊNCIA AO H_2SO_4 pH1 (70 DIAS)

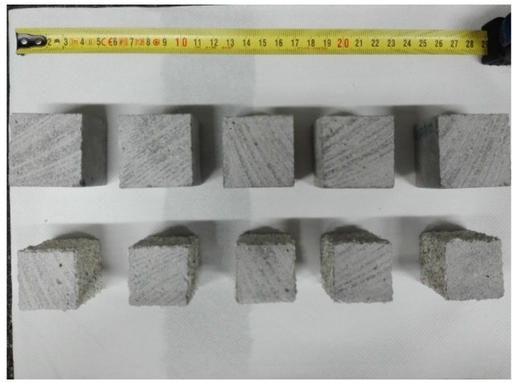
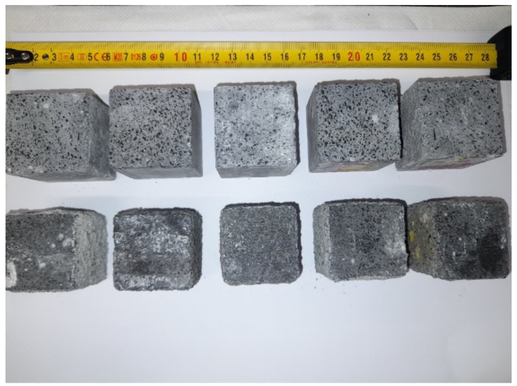
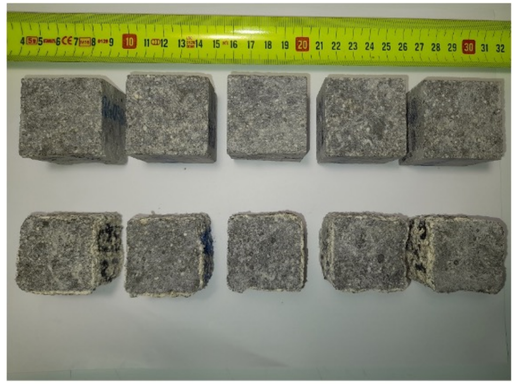
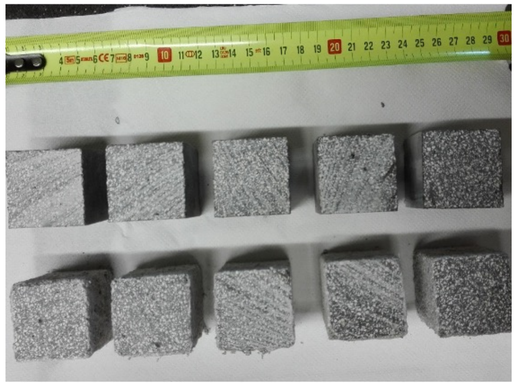
Resultados do grau de corrosão residual



$$0{,}5 \times d_0 \left| 1 - \sqrt{\frac{F_{D,ácido}}{F_{D,água}}} \right|$$

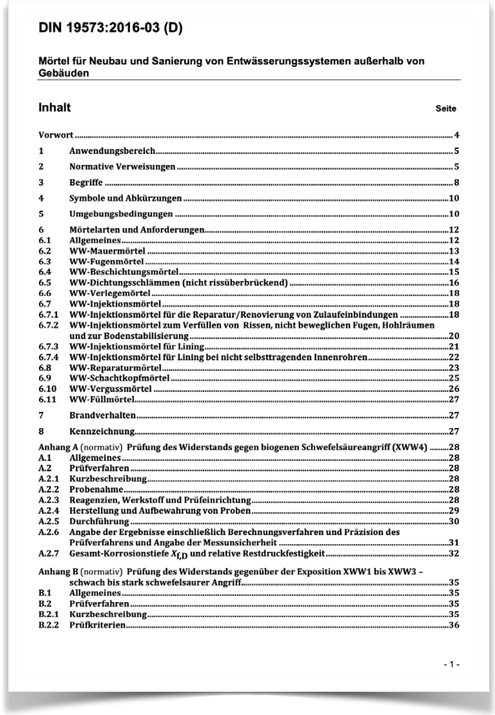
A argamassa selecionada (NM15) cumpre o requisito da DIN 19573 (XWW4)

INSPEÇÃO VISUAL NA SECÇÃO DE CORTE

	Argamassa de referência (RM)	Argamassa convencional (OM2)	Argamassa selecionada (NM15)
pH0 (14 dias)			
pH1 (70 dias)			

DIN 19573 - ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO ATAQUE POR SULFATOS

- Preparação de 12 provetes (160 mm x 40 mm x 10 mm) com pinos de medição (Ø 10 mm) em cada topo
- Manutenção dos provetes no molde por 48 h (20 °C / HR >95%)
- Medição inicial dos provetes com paquímetro (Lg)
- Armazenamento em solução de $Ca(OH)_2$ saturada, durante 14 dias, a (20 ± 1) °C
- Medição dos provetes no comparador digital (L0)
- Armazenamento em solução de Na2SO4 e de Ca(OH)2 durante 91 dias
- Medições dos provetes no comparador digital aos 7, 14, 28, 56 e 91 dias
- Armazenamento em solução de Na_2SO_4 e de $Ca(OH)_2$ durante 91 dias:
- Medição inicial dos provetes com paquímetro (Lg)



DIN 19573:2016-03 (D)

Mörtel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden

Inhalt Seite

Vorwort ... 4
1 Anwendungsbereich ... 5
2 Normative Verweisungen ... 5
3 Begriffe ... 8
4 Symbole und Abkürzungen ... 10
5 Umgebungsbedingungen ... 10
6 Mörtelarten und Anforderungen ... 12
6.1 Allgemeines ... 12
6.2 WW-Mauermörtel ... 13
6.3 WW-Fugenmörtel ... 14
6.4 WW-Beschichtungsmörtel ... 15
6.5 WW-Dichtungsschlämmen (nicht rissüberbrückend) ... 16
6.6 WW-Verlegemörtel ... 18
6.7 WW-Injektionsmörtel ... 18
6.7.1 WW-Injektionsmörtel für die Reparatur/Renovierung von Zulaufeinbindungen ... 18
6.7.2 WW-Injektionsmörtel zum Verfüllen von Rissen, nicht beweglichen Fugen, Hohlräumen und zur Bodenstabilisierung ... 20
6.7.3 WW-Injektionsmörtel für Lining ... 21
6.7.4 WW-Injektionsmörtel für Lining bei nicht selbsttragenden Innenrohren ... 22
6.8 WW-Reparaturmörtel ... 23
6.9 WW-Schachtkopfmörtel ... 25
6.10 WW-Vergussmörtel ... 26
6.11 WW-Füllmörtel ... 27
7 Brandverhalten ... 27
8 Kennzeichnung ... 27
Anhang A (normativ) Prüfung des Widerstands gegen biogenen Schwefelsäureangriff (XWW4) ... 28
A.1 Allgemeines ... 28
A.2 Prüfverfahren ... 28
A.2.1 Kurzbeschreibung ... 28
A.2.2 Probenahme ... 28
A.2.3 Reagenzien, Werkstoff und Prüfeinrichtung ... 28
A.2.4 Herstellung und Aufbewahrung von Proben ... 29
A.2.5 Durchführung ... 30
A.2.6 Angabe der Ergebnisse einschließlich Berechnungsverfahren und Präzision des Prüfverfahrens und Angabe der Messunsicherheit ... 31
A.2.7 Gesamt-Korrosionstiefe X_{fD} und relative Restdruckfestigkeit ... 32
Anhang B (normativ) Prüfung des Widerstands gegenüber der Exposition XWW1 bis XWW3 – schwach bis stark schwefelsaurer Angriff ... 35
B.1 Allgemeines ... 35
B.2 Prüfverfahren ... 35
B.2.1 Kurzbeschreibung ... 35
B.2.2 Prüfkriterien ... 36

- 1 -

Requisito da DIN 19753 (Classe XWW4): Δε ≤ 0,8 mm/m

AVALIAÇÃO DO ATAQUE POR SULFATOS

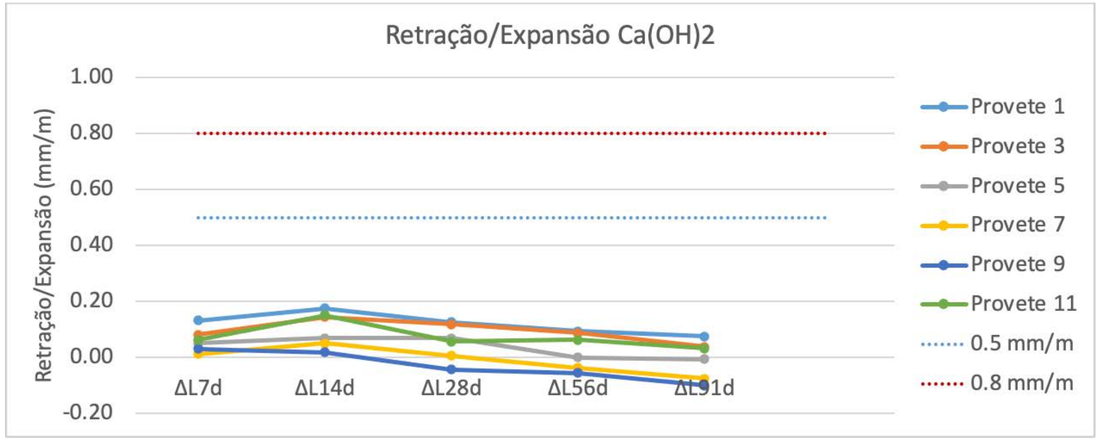
Resultados da retração/expansão

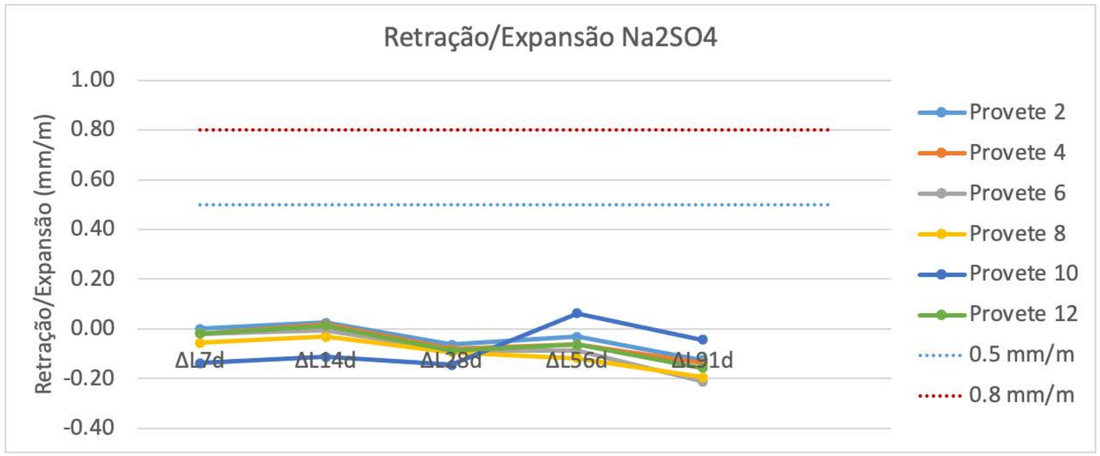
		Retração/expansão (mm/m)						
Solução	Provete	ΔL_{7d}	ΔL_{14d}	ΔL_{28d}	ΔL_{56d}	ΔL_{91d}	ΔL_{91d} valor	Observação de fissuras
$Ca(OH)_2$	19	0,13	0,18	0,13	0,09	0,08	-0,01	Não
	21	0,08	0,14	0,12	0,09	0,04		Não
	23	0,05	0,07	0,07	0,00	-0,01		Não
	25	0,01	0,05	0,01	-0,04	-0,07		Não
	27	0,03	0,02	-0,04	-0,06	-0,10		Não
	29	0,06	0,15	0,06	0,06	0,03		Não
Na_2SO_4	20	0,00	0,02	-0,06	-0,03	-0,12	-0,14	Não
	22	-0,02	0,02	-0,08	-0,06	-0,14		Não
	24	-0,02	-0,01	-0,09	-0,09	-0,21		Não
	26	-0,06	-0,03	-0,09	-0,12	-0,19		Não
	28	-0,14	-0,11	-0,14	0,06	-0,04		Não
	30	-0,02	0,01	-0,09	-0,06	-0,16		Não



Requisito da DIN 19753 (Classe XWW4): Δε ≤ 0,8 mm/m

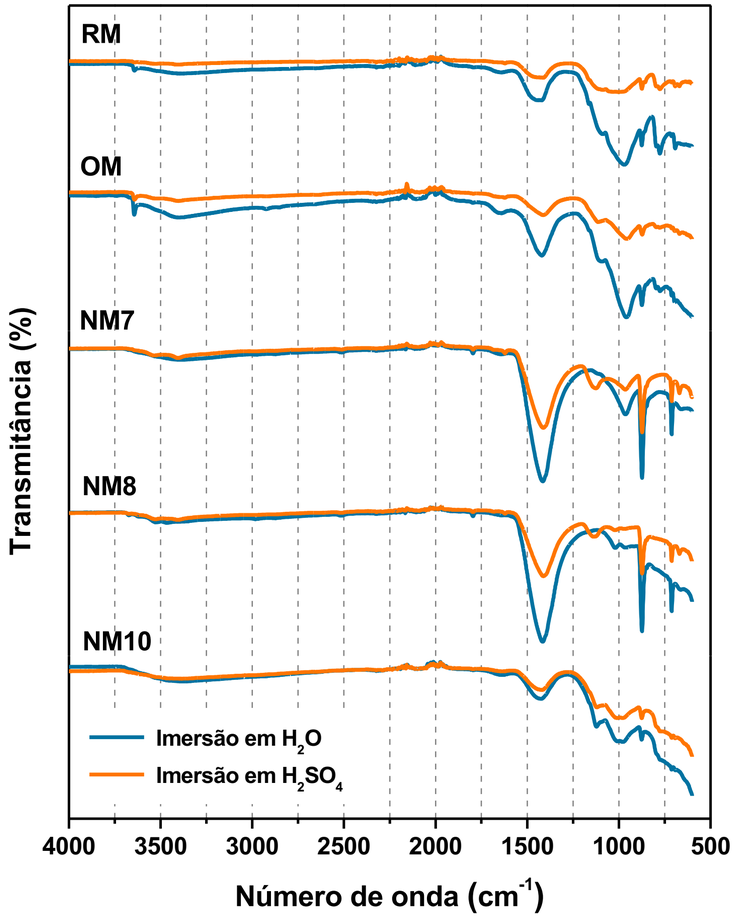
AVALIAÇÃO DO ATAQUE POR SULFATOS







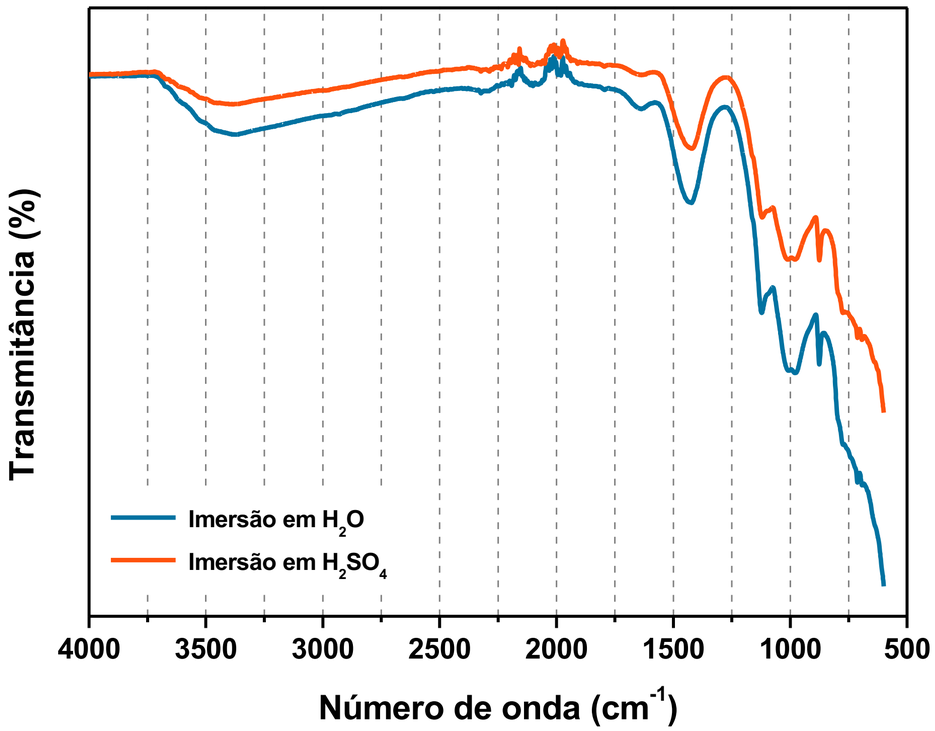
AVALIAÇÃO POR ATR-FTIR



O efeito do ácido sulfúrico na microestrutura de novas argamassas (NM) foi comparado com o de uma argamassa de referência (RM) e uma argamassa convencional (OM)

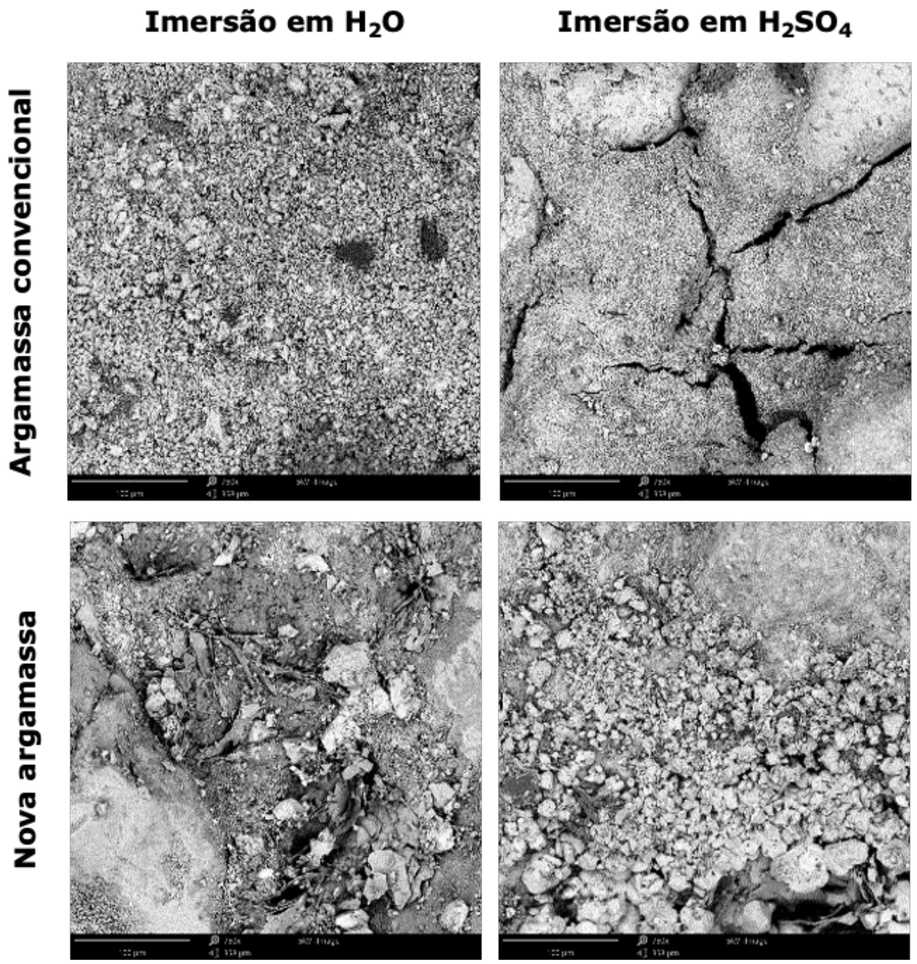
A argamassa NM10 apresenta espetros muito idênticos, sugerindo que a microestrutura da argamassa se mantém mesmo após imersão em ácido

AVALIAÇÃO POR ATR-FTIR



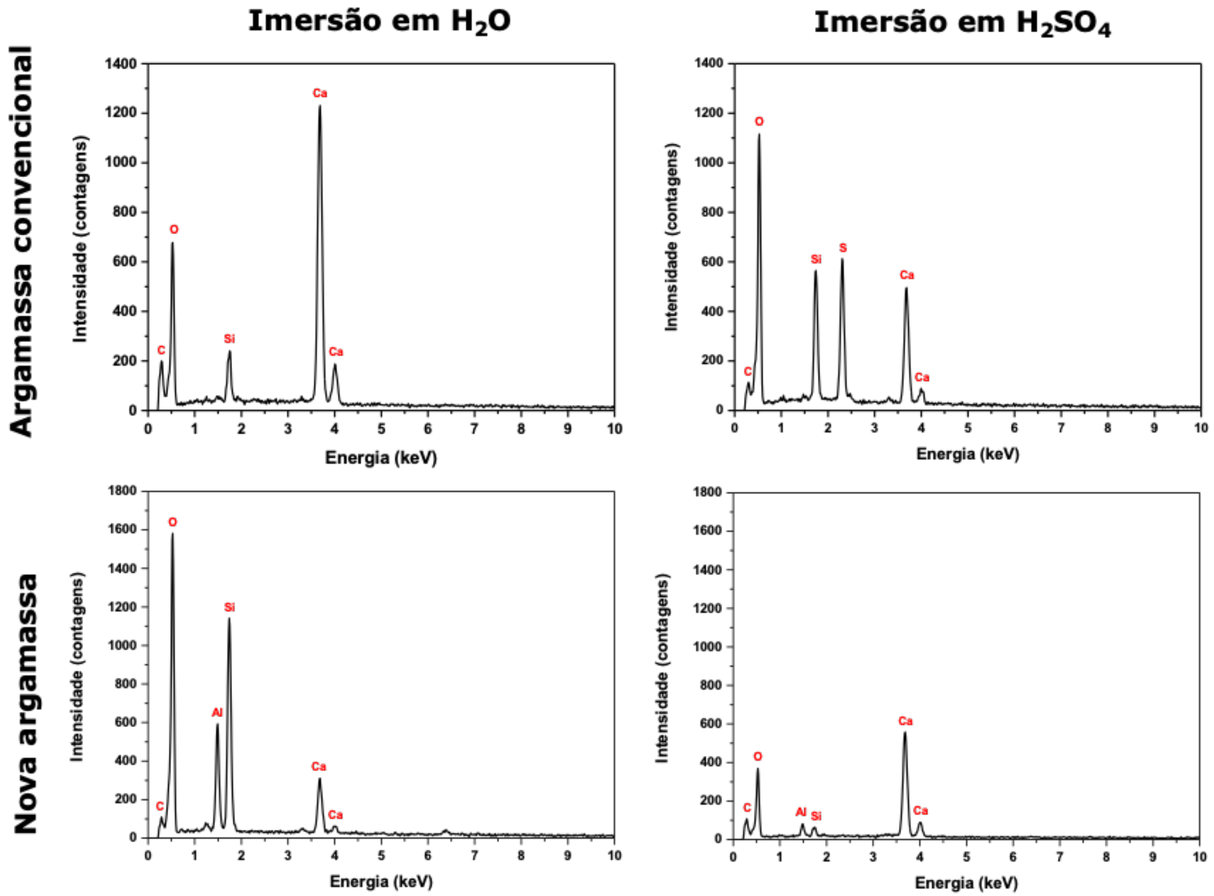
A microestrutura da nova argamassa foi mantida mesmo após o ataque do ácido sulfúrico, sinónimo de uma elevada resistência química

AVALIAÇÃO POR SEM-EDS



Na nova argamassa não foram observadas microfissuras, nem outros indícios de degradação significativos após a exposição ao ácido, ao contrário da argamassa convencional.

AVALIAÇÃO POR SEM-EDS



Na composição elementar da superfície da nova argamassa, após imersão em ácido, não foi detetada a presença enxofre (S), característico do ataque por ácido sulfúrico, ao contrário da argamassa convencional.

EXEMPLOS PRÁTICOS DE REABILITACÃO

PRODUTOS CIMENTÍCIOS

- Adequados para aplicação em ambientes muito húmidos
- Relevante na reabilitação estrutural
- Baixas emissões de COV durante a aplicação
- Fácil aplicação
- Reduzido custo
- Resistência ao ataque químico variável

A seleção de argamassas com elevada resistência ao ataque químico é fundamental em sistemas de saneamento e órgãos caracterizados por uma elevada agressividade ambiental

PRODUTOS POLIMÉRICOS



Não adequados para aplicação em ambientes muito húmidos



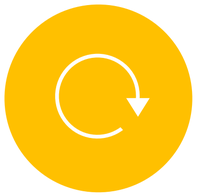
Pouco relevante na reabilitação estrutural



Elevadas emissões de COV durante a aplicação



Risco de incompatibilidade com o suporte



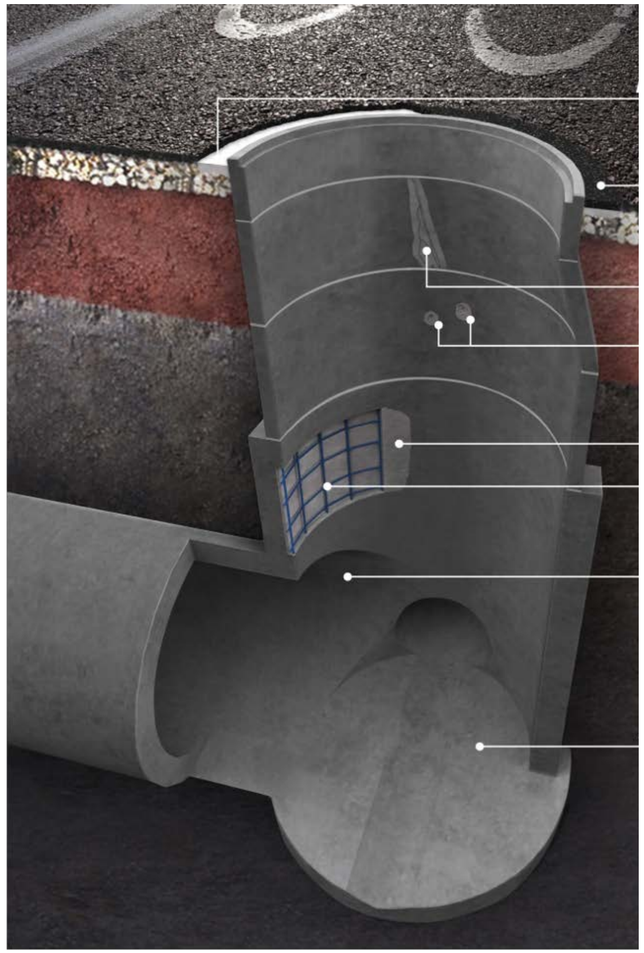
Elevado custo



Elevada resistência ao ataque químico

A aplicação de revestimentos poliméricos em ambientes húmidos pode falhar se não for garantida total continuidade do revestimento.

REABILITAÇÃO DE CAIXAS DE VISITA



A caixa de visita é um elemento fundamental no controlo do risco de poluição

Estudos demonstram que mais de 50% das entradas de água são atribuídas a patologias das caixas de visita

As caixas de visita deviam garantir estanquicidade no seu corpo e nas ligações entre todos os elementos constituintes, e durabilidade em ambientes agressivos







REABILITAÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS



Preparação do suporte (e.g. remoção do betão deteriorado, hidro-demolição, garantir rugosidade da superfície, humedecimento da base)

Tratamento de armaduras danificadas e corroídas

Aplicação do sistema de revestimento













MORTAR4SEWAGE
(POCI-01-0247-FEDER-039829)

WWW.ITECONS.UC.PT/PROJECTS/MORTAR4SEWAGE

MAPEI
itecons
COMPETE 2020
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional