

PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

CAPÍTULOS

1.	Introdução na Patologia das construções	3
2.	Características e qualidade do concreto	9
3.	O uso de aditivos na qualidade do concreto	21
4.	Agressividade do meio ambiente	33
5.	Trincas e fissuras	53
6.	Impermeabilidade nas construções	69
7.	Eflorescências	79
8.	Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito	85
9.	Diagnóstico das Patologias e Ensaio de avaliação	105
10.	Materiais utilizados em reparos	131
11.	Procedimentos de execução de reparos no concreto	151
12.	Reforços de estruturas de concreto	171
13.	Desenvolvimentos recentes no Projeto de Estruturas de Concreto Armado para Longo Serviço, Visto de uma Perspectiva de Corrosão	183
14.	Selantes para uso em construções	197
15.	Vernizes e hidrofugantes para concreto e alvenaria aparente	217

1. Introdução na Patologia das Construções

1. Introdução na Patologia das Construções

As obras de construção civil continuam sendo apropriadas para as utilizações e exigências para que foram projetadas. O suporte das cargas imposta no projeto devem ser sempre avaliadas, pois a construção pode ao longo do tempo apresentar sérios problemas de manutenção.

Inspecionar, avaliar e diagnosticar as patologias da construção são tarefas que devem ser realizadas sistematicamente e periodicamente, de modo a que os resultados e as ações de manutenções devem cumprir efetivamente a reabilitação da construção, sempre que for necessária.

Dentre dos diferentes parâmetros que contribuem para a degradação das construções são decorrentes de inúmeros fatores, como variações de temperatura, reações químicas, vibrações, erosão, e, um dos mais sérios, o fenômeno da corrosão das armaduras do concreto armado, que ocupa um importantíssimo fenômeno patológico, contribuindo de sobremaneira para a degradação da construção.

Os sintomas da corrosão e as causas da corrosão não são habitualmente conhecidos e seu conhecimento se torna necessário para a adoção de métodos e procedimentos de correção bem definidos, de modo a que as intervenções sejam eficazes.

Devido às complexas naturezas dos efeitos ambientais sobre as estruturas e sua conseqüente reposta, a verdadeira melhora de desempenho da edificação não pode ser alcançada somente pela melhoria das características dos materiais utilizados, mas também na técnica de execução, da melhora dos projetos arquitetônicos e estruturais, dos procedimentos de fiscalização e manutenção, incluindo a manutenção preventiva.

Alguns conceitos de patologia são fundamentais para os engenheiros e muito se assemelham a padrões médicos, inclusive na adoção de certos nomes e conceitos, conforme citados muitas vezes por patologistas de renome nacional e internacional, como Antônio Carmona, L.A. e Roberto Bauer, Paulo Helene, Dirceu F. de Almeida, Manuel F. Cánovas, Aleida Carruyo, dentre outros.

Conceitos

Patologia: É a ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças. No caso do concreto, a patologia significa o estudo das anomalias relacionadas à deterioração do concreto na estrutura.

Pathos = doença Logos = estudo

Terapia: É a ciência que estuda a escolha e administração dos meios de curar as doenças e da natureza dos remédios.

Therapeia = método de curar, tratar.

Profilaxia: É a ciência que estuda as medidas necessárias à prevenção das enfermidades.

Prophylaxis = prevenção

Sintoma: É a manifestação patológica detectável por uma série de métodos e análises.

Falha: É um descuido ou erro, uma atividade imprevista ou acidental que se traduz em um defeito ou dano.

Origem: É a etapa do processo construtivo (planejamento/concepção, projeto, fabricação de materiais etc) em que ocorreu o problema.

Diagnóstico: É o entendimento do problema (sintoma, mecanismo, causa e origem).

Correção: É a metodologia para a eliminação dos defeitos causados pelos problemas patológicos.

Recuperação: É a correção dos problemas patológicos.

Reforço: Aumento da capacidade de resistência de um elemento, estrutura ou fundação em relação ao projeto original, devido à alteração de utilização, degradação ou falha que reduziram ou não atendem a sua capacidade resistente inicial.

Reconstrução: É o refazimento de um elemento, estrutura ou fundação em razão de, mesmo que este recebesse uma ação corretiva, não atenderia mais a um desempenho mínimo aceitável ou, de um custo dado que a intervenção corretiva seja maior que o custo de sua reconstrução.

Classificação dos reparos: Está associado à escolha dos materiais e definição dos métodos de reparo, isto é, da terapia, que pode ser classificado em:

- Reparos rasos, localizados ou generalizados, de 5 mm a 30 mm de profundidade;
- Reparos semiprofundos, de 31 mm a 60 mm de profundidade;
- Reparos profundos, de 61 mm a 300 mm de profundidade; tratamento de fissuras.

Na pesquisa abaixo, podem-se exemplificar as principais causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto. A somatória em alguns casos não implica em 100 % pelo fato de alguns autores considerarem mais de uma causa resultante de um problema.

Causas dos Problemas Patológicos em Estruturas de Concreto

Fontes de Pesquisa	Causas dos Problemas Patológicos em Estruturas de Concreto			
	Concepção e projeto	Materiais	Execução	Utilização e outras
Edward Grunau	44%	18%	28%	10%
D.E.Allen (Canadá)	55%	⇐ 49% ⇒		
C.S.T.C. (Bélgica)	46%	15%	22%	17%
C.E.B. Boletim 157	50%	⇐ 40% ⇒		10%
FAAP – Verçoza (Brasil)	18%	6%	52%	24%
B.R.E.A.S. (Reino Unido)	58%	12%	35%	11%
Bureau Securitas	⇐ 88% ⇒			12%
E.N.R. (USA)	9%	6%	75%	10%
S.I.A. (Suíça)	46%		44%	10%
Dov Kaminetzky	51%	⇐ 40% ⇒		16%
Jean Blénot (França)	35%		65%	
L.E.M.I.T. (Venezuela)	19%	5%	57%	

Fonte: Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto- Vicente C.M Souza e Thomaz Ripper

Em outras pesquisas realizadas em diversos países, o projeto de uma edificação é responsável pela maior parte das falhas patológicas de construção, como demonstra a tabela abaixo:

Origem das falhas em edificação em diversos países

País e período de pesquisa						
Origem das falhas	Bélgica	Bélgica	Grã-Bretanha	República Fed. Alemã	Dinamarca	Romênia
	1974/1975 (%)	1976/1977 (%)	1970/1977 (%)	1970/1977 (%)	1972/1977 (%)	1971/1977 (%)
Projeto	49	46	39	37	36	37
Execução	22	22	29	30	22	19
Defeitos dos Materiais	15	15	11	14	25	22
Erros de Utilização	09	08	10	11	09	11
Diversos	05	09	01	08	08	11

Fonte: Impermeabilização de coberturas: Flavio Augusto Picchi

Também verificamos que a natureza dos problemas está na sua maior parte relacionada com a presença de umidade, como explícito abaixo:

Natureza das falhas em diversos países

Natureza das falhas	Bélgica	Grã-Bretanha	Suíça
Umidade	27	53	10
Deslocamento	16	14	28
Fissuração	12	17	27
Instalações	12	-	17
Diversos	33	16	18

Fonte: Impermeabilização de coberturas: Flavio Augusto Picchi

Todos os profissionais relacionados com a execução e utilização das edificações devem ter um conhecimento mínimo dos processos mais importantes de degradação, assim como dos elementos causadores. No caso específico, o que se busca é a obtenção da durabilidade da edificação, sendo necessário à tomada de decisões corretas e no momento adequado.

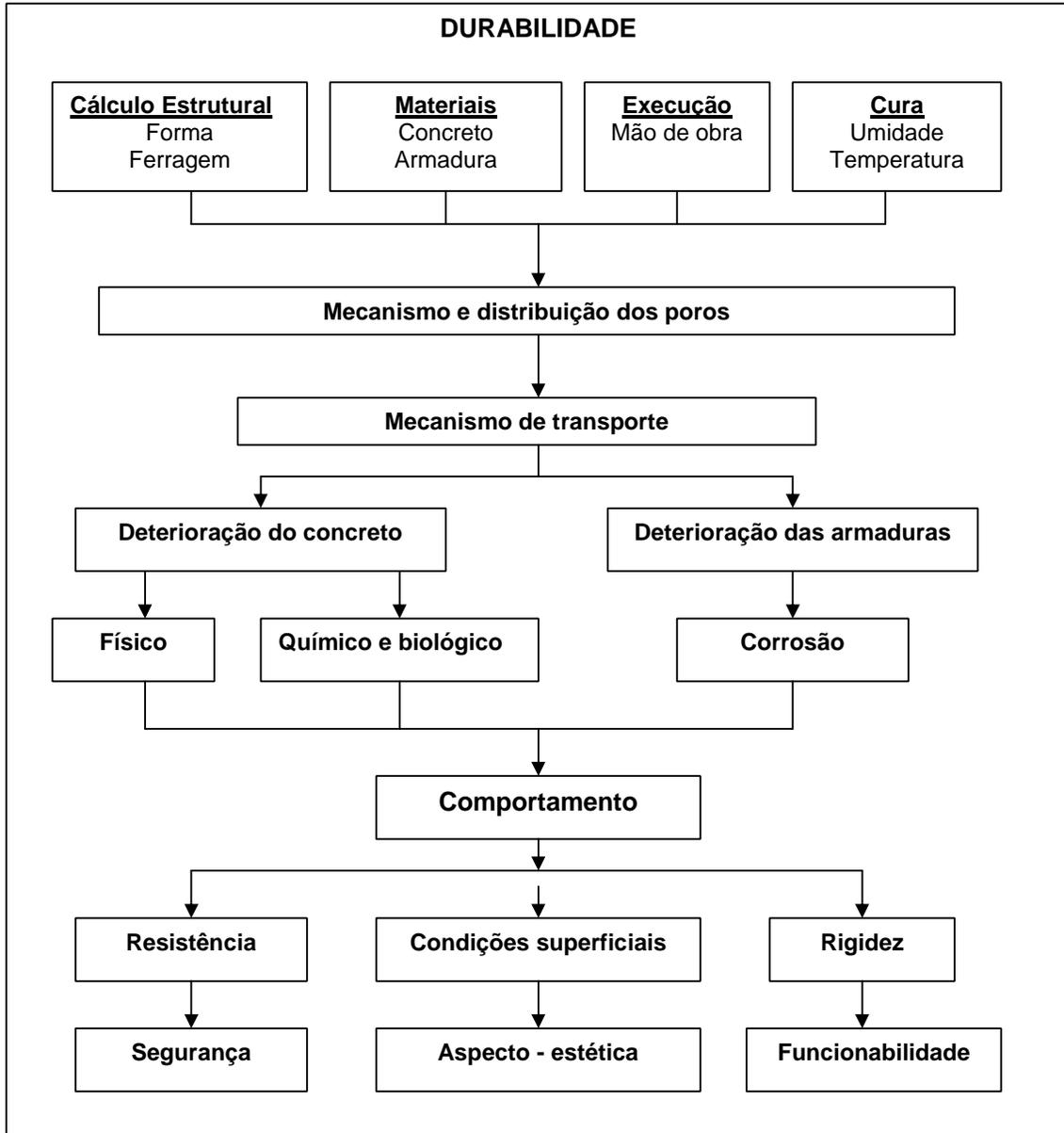
A presença de umidade é o principal fator dos diferentes tipos de degradação, exceção ao dano mecânico. O transporte da água através do concreto vem do tipo, tamanho e distribuição dos poros e das fissuras (micro e macro fissuras). Assim, o controle da penetração de água na construção deve sempre ser avaliada.

O tipo, e velocidade dos processos de degradação do concreto (físicos, químicos e biológicos) e das armaduras ativas e passivas (corrosão) determinam a resistência e rigidez dos materiais. Também, as condições superficiais da estrutura influem nestes e em outros fatores de segurança, durabilidade, funcionalidade e no aspecto da estrutura.

O que se busca realmente é em assegurar um comportamento satisfatório durante um

período de vida útil suficientemente longo.

No gráfico abaixo se pode verificar a manutenção ao longo do tempo delimitando a vida útil da estrutura a partir de uma boa qualidade de construção inicial e das repetidas reparações.



2. Características e qualidade do concreto

2. Características e qualidade do concreto

O concreto é um material composto basicamente por cimento, agregados miúdos e graúdos, água, podendo conter outros elementos importantes como aditivos e adições.

Uma grande parte dos problemas de patologia são causados pelas características destes materiais, quer pela suas qualidades, como também pelo seu manuseio. A patologia portanto está relacionada a estes materiais.

Uma adequada escolha do traço do concreto e as fases de concretagem são essenciais para garantir a qualidade e durabilidade da estrutura de concreto.

A planificação de uma concretagem é essencial também para o bom desempenho e durabilidade do concreto.

a) Compacidade do concreto

A compacidade do concreto é a propriedade mais importante do mesmo para resistir à penetração dos meios agressivos externos, minimizando significativamente a proteção das armaduras, a penetração dos agentes agressivos, como a carbonatação, o cloreto e sulfatos, que são os elementos agressivos mais importantes e comuns.

A compacidade do concreto é expressa pela quantidade de matéria sólida contida em um determinado volume, ou a relação entre o volume sólido e o volume aparente total.

A compacidade é função principalmente da qualidade e quantidade dos materiais e da adequada proporção entre os mesmos. No entanto, a compacidade também pode ser afetada pelo transporte ou vibração inadequados, que causam a segregação do concreto.

b) Endurecimento do concreto

Normalmente, o controle de endurecimento do concreto compreenderá os seguintes pontos:

- Assegurar um processo adequado de endurecimento, de maneira a evitar fissuras precoces.
- Segurança frente às distribuições de temperatura que se desprende durante o endurecimento do concreto, que possam acarretar em movimentos diferenciais durante a expansão térmica do concreto e que podem causar fissuras precoces.
- A cura do concreto, muitas vezes desprezada, é muito importante para a qualidade do concreto. No entanto, devem-se evitar mudanças drásticas de temperatura, como também que haja uma secagem prematura do concreto.
- Eventual temperatura muito baixa durante a concretagem ($< 7\text{ }^{\circ}\text{C}$) pode acarretar na inibição das reações químicas de endurecimento do cimento e ao mesmo tempo, permitir a evaporação da água de mistura. No inverno, devido às baixas taxas de umidade relativa do ar do ambiente, a evaporação da água pode ocorrer com razoável intensidade, resultando na ausência de água para reação química do

cimento, resultando em um concreto de baixa resistência. Deve-se portanto assegurar que o concreto esteja maturado por pelo menos 15 a 20 horas, antes de submetê-lo a temperaturas mais baixas.

c) Processo de endurecimento

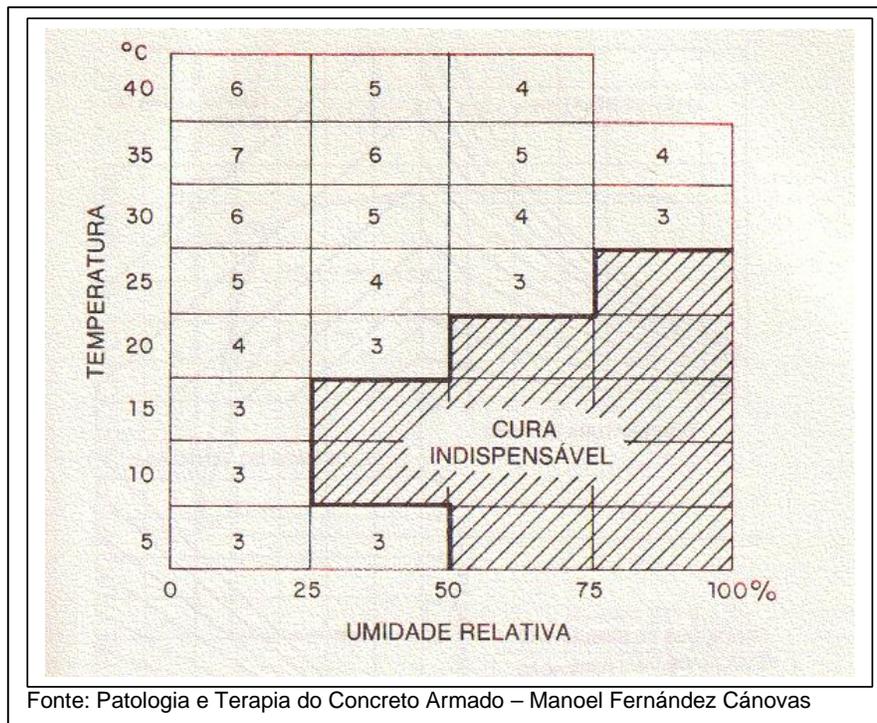
- A velocidade de endurecimento se deve em grande parte a temperatura do concreto. Se a temperatura sobe, o endurecimento se acelera e vice-versa. A 35°C a velocidade de endurecimento é aproximadamente duas vezes mais rápida que a 20°C. Entretanto, a 10°C, a velocidade de endurecimento será a metade da velocidade à temperatura de 20°C.
- Durante o endurecimento, o concreto gera calor. Em caso de hidratação completa de um kg de cimento, desenvolve-se aproximadamente 400-5—kJ de calor. Em uma dosagem típica de concreto, isto levará a um aumento de temperatura aproximadamente de 60-80°C no caso deste concreto não perder calor para o meio ambiente.
- A distribuição da temperatura na massa do concreto será dada pelo equilíbrio entre o calor gerado na hidratação com o meio circundante. Em estruturas com paredes grossas os em estruturas altamente isoladas de troca de calor alcançarão conseqüentemente a elevada temperatura, que não se dissiparão facilmente.

d) Cura

O vento e a temperatura acarretam na evaporação rápida da água de mistura do concreto. Um dos objetivos da cura do concreto é de assegurar que o concreto não seja submetido a tensões que originem fissuras devido a diferenças térmicas e retração de secagem. Outro objetivo é garantir que o concreto não seque e assegurar que a reação do cimento e água ocorra em toda a seção transversal e que a resistência corresponda à dosagem do concreto. A água livre do concreto é um pré-requisito importante para conseguir a resistência e densidade desejada. A água do concreto se evapora através da superfície úmida e dura até a reação do cimento, cerca de 10 – 12 horas. Após este período, o movimento da água se dá por difusão, que é um processo muito lento. Portanto, é muito importante impedir a secagem do concreto durante as primeiras 24 horas. A continuidade da cura por mais dias, repõe a perda de água por evaporação.

A falta de cura do concreto faz com que a primeira camada do mesmo perca a água de hidratação, tornando-a fraca, de baixa resistência à abrasão, porosa e permeável aos agentes agressivos.

A tabela abaixo mostra uma tabela orientativa do tempo mínimo de cura de um concreto, em função da temperatura e umidade. O tempo de cura varia também em função do tipo de cimento e da velocidade do vento.

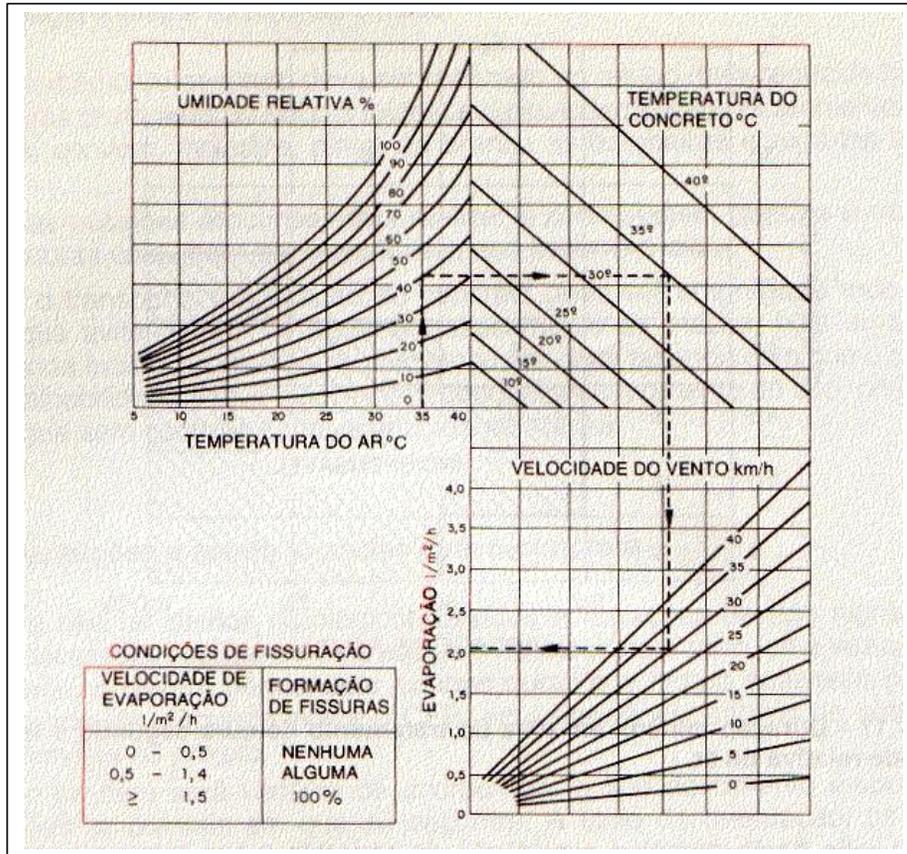


Um dado importante a ser observado é:

- A evaporação da água mais rápida que o aumento da resistência, a retração ocorrerá e a fissuração será factível.
- Se o ressecamento é grande, que aumenta na medida do vento mais seco e temperatura elevada, é possível que não haja água residual suficiente para a hidratação do cimento, com o que haverá perda de resistência, principalmente na região da superfície superior do concreto, tornando-a degradável e de menor resistência. Este fato acarreta também baixa resistência à abrasão em pisos industriais.
- Em temperaturas muito baixas e clima seco, a hidratação muito lenta do cimento e a rápida evaporação da água, são fatores de perda de resistência que provoca baixa resistência, inclusive resistência superficial do concreto à abrasão de pisos e pavimentos.

No ábaco abaixo, por exemplo, se temos uma temperatura ambiente de 35°C, com uma umidade relativa de 40%, temperatura do concreto de 35°C, velocidade do vento de 30 km/h, a evaporação da água será de 2 l/m²/h, o que equivale à probabilidade de 100% de ocorrência de fissuras, exigindo portanto uma cura eficaz.

O aparecimento de fissuras superficiais são prováveis a partir da velocidade do vento superior a 1 l/m²/h. A partir de 1,5l/m²/h, a probabilidade de surgir fissuras é de 100%.



Influência da velocidade do ar e da temperatura do concreto sobre a evaporação da água do concreto

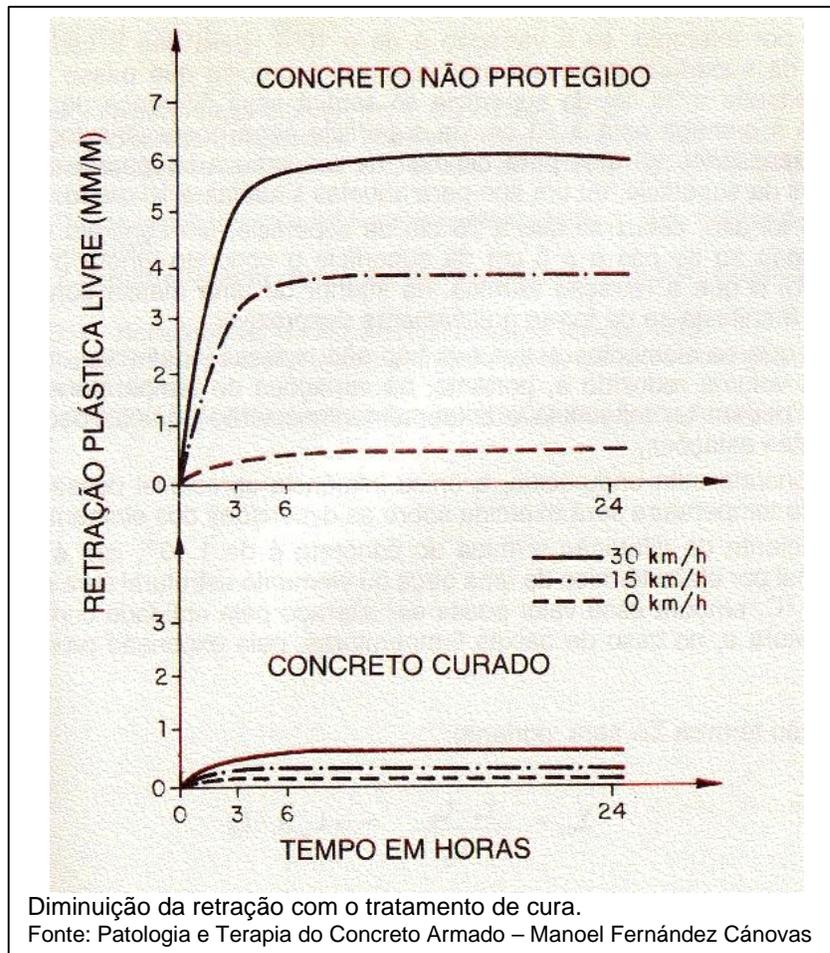
Fonte: Patologia e Terapia do Concreto Armado – Manoel Fernández Cánovas

A cura do concreto deve ser efetuada até que o mesmo atinja a 70% da prevista em projeto.

A cura de um concreto pode ser efetuada de várias formas:

- Sacos de anagem permanentemente úmidos
- Emprego de líquido de cura, produtos de baixa permeabilidade a água e ao vapor de água, que pulverizados sobre o concreto formam uma película plástica. A qualidade varia, desde os menos eficientes, base parafina até os de melhor qualidade, base de neoprene e outros polímeros.
- Lençóis plásticos estendidos sobre o concreto, com lâmina de água constantemente colocada no seu interior.

No gráfico abaixo, pode se observar a importância da cura na retração do concreto, onde se pode observar uma drástica redução da retração do concreto quando se executa uma boa cura.



e) Cobrimento das armaduras

A proteção que o concreto confere às armaduras dependerá do grau de impermeabilidade do concreto, que por conseguinte será dada por sua compacidade.

A espessura desta capa de concreto é importante para garantir a proteção das armaduras frente aos agentes agressivos, dependendo das condições de exposição deste concreto. Deve-se adotar o cobrimento mínimo previsto na NBR 6118. Algumas normas recomendam que em exposição a agentes agressivos, este concreto deve possuir alto teor de cimento, baixo fator água/cimento e espessuras superiores a 5 cm.

É necessário considerar que as espessuras sejam o mínimo recomendável, já que por ser uma zona desprovida de armadura, pode ser afetada por fissuração. Deve-se também considerar o papel das fissuras, já estas podem reduzir a eficiência da capa protetora contra a ação de agentes agressivos.

Os recobrimentos mínimos das armaduras devem ser como indicado abaixo:

Local	Espessura de recobrimento
Concreto a ser revestido com argamassa, com espessura mínima de 1 cm	
• Lajes no interior de edifícios	0,5 cm
• Lages e muros ao ar livre	1,5 cm
• Vigas e pilares no interior de edifícios	1,5 cm
• Vigas e pilares ao ar livre	2 cm
Concreto aparente	
• No interior de edifícios	2,0 cm
• Ao ar livre	2,5 cm
Concreto em contato com o solo	3 cm

f) Os aditivos e adições

São materiais que ajudam a conferir determinadas propriedades ao concreto, quer na fase de preparação, como também no seu endurecimento e características finais. Praticamente não se consegue na prática dosar um concreto de qualidade sem o uso de aditivos.

g) Agressividade do meio ambiente

O estudo das características mínimas de qualidade do concreto está relacionado com o meio ambiente a que o mesmo estará exposto. As tabelas anexas dão uma referência das características mínimas necessárias ao concreto.

Tipo de exposição		Condições ambientais
1		Ambiente seco: <ul style="list-style-type: none"> • Interior de edificações. • Exterior de edifícios não expostos ao vento e intempéries ou água. • Zonas com UR altas durante curtos períodos de tempo ao ano (ex: > 60% durante menos de 3 meses ao ano).
2	a	Ambiente úmido, sem gelo: <ul style="list-style-type: none"> • Interior de edifícios onde a umidade é alta. • Elementos exteriores expostos ao vento e intempéries (sem gelo). • Elementos em solos não agressivos e/ou água e gelo.
	b	Ambiente úmido com gelo: <ul style="list-style-type: none"> • Elementos exteriores expostos ao vento e às intempéries, ou solos não agressivos e/ou água e gelo.
3		Ambiente úmido com gelo e agentes de degelo: <ul style="list-style-type: none"> • Elementos exteriores expostos ao vento e intempéries, ou solos não agressivos e/ou água e gelo e produtos químicos de degelo.
4	a	Ambiente de água do mar: <ul style="list-style-type: none"> • Elementos na zona de maré ou submergidos em água do mar, com uma parte exposta ao ar. • Elementos em ar saturado de sal (áreas costeiras).
	b	Ambiente de água do mar com gelo: <ul style="list-style-type: none"> • Elementos na zona de maré ou submergidos em água do mar, com uma parte exposta ao ar. • Elementos em ar saturado de sal (áreas costeiras).
5*	a	Ambiente químico ligeiramente agressivo (gás, sólido ou líquido).
	b	Ambiente químico moderadamente agressivo (gás, sólido ou líquido).
	c	Ambiente químico de alta agressividade (gás, sólido ou líquido).

* Os tipos 5 podem se apresentar isolados ou combinados com os tipos anteriores

Requisitos		Tipos de exposição segundo a tabela								
		1	2 ^a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c (1)
Classe e tipo segundo ISSO 4102	Concreto massa	Ⓣ _c 12/15	Ⓣ _c 20/25	Ⓣ _c 20/25	Ⓣ _c 20/25	Ⓣ _c 25/30	Ⓣ _c 25/30	Ⓣ _c 25/30	Ⓣ _c 25/30	Ⓣ _c 30/35
	Concreto armado	Ⓣ _c 16/20								
	Concreto protendido	Ⓣ _c 20/20								
Relação a/c (2)	Concreto massa		0,70	0,55	0,55	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
	Concreto armado	0,65	0,60							
	Concreto protendido	0,60	0,60							
Cimento/m ³ Agregado entre 16 e 32 mm	Concreto massa	150	180	180	180	300	300	300	300	300
	Concreto armado	270	300	300	300					
	Concreto protendido	300	300	300	300					
% de ar incorporado para Ø máximo de areia (3)	32 mm			Se há risco de saturação do concreto	4	Se há risco de saturação do concreto				
	16 mm				5					
	8 mm				6					
Penetração de água em mm				50	50	30	30	50	30	50
Requisitos adicionais para as areias				Resistente ao gelo	Resistente ao gelo		Resistente ao gelo			
Requisitos adicionais ao cimento resistente a sulfatos										Água c/ > 400mg/kg ou Solo c/ > de 3000 mg/kg de SO ₄ ²⁻ (4)

Observações:

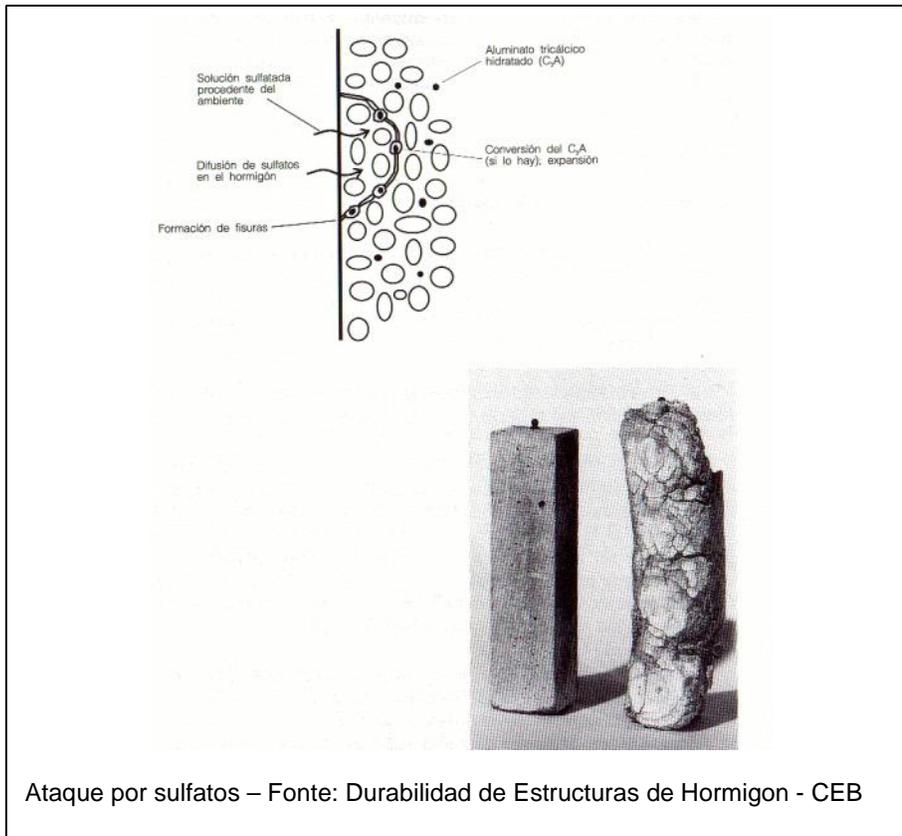
- (1) Proteger o concreto com pintura contra o contato direto com os meios agressivos.
- (2) Pode se considerar adições de componentes ativos no cimento.
- (3) Com fator de afastamento de ar incluído = 0,20.
- (4) Verificar norma de cimento resistente a sulfatos.

Grau de ataque	Tipo de exposição			
	Ataque Débil	Ataque moderado	Ataque forte	Ataque muito forte
Água				
• Valor de pH	5,5 – 6.5	4,5 – 5,5	4,0 – 4,5	< 4,0
• CO ₂ agressivo mg CO ₂ / l	15 – 30	30 – 60	60 – 100	> 100
• Íon amônio Mg NH ₄ ⁺ / l	15 – 30	30 – 60	60 – 100	> 100
• Ion magnésio mg Mg ²⁺ / l	100- 300	300 – 1500	1500 – 3000	> 3000
• Ion sulfato mg SO ₄ ²⁻ / l	200 – 600	600 - 3000	3000 - 6000	> 6000
Solo				
• Grau de acidez, segundo Baumann-Gully	> 20	Não ocorre na prática	Não ocorre na prática	Não ocorre na prática
• Íon sulfato	2000 – 6000	6000 - 12000	12000	Não ocorre na prática

Classe de agressividade	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
I	fraca	Insignificante
II	média	Pequeno
III	forte	grande
IV	muito forte	elevado

Classe de agressividade	pH	CO mg/l	Amônia NH ₄ ⁺ mg/l	Magnésio Mg ²⁺ mg/l	Sulfato SO ₄ ²⁻ mg/l	Sólidos dissolvidos mg/l
I	> 6	< 20	< 100	< 150	< 400	> 150
II	5,9 – 5,0	20 – 30	100 – 150	150 – 250	400 – 700	50 – 150
III	5,0 – 4,5	30 – 100	150 – 250	250 – 500	700 – 1.500	< 50
IV	< 4,5	> 100	> 250	> 500	> 1.500	< 50

Classe de agressividade	Macroclima	Microclima	Gás carbônico, CO ₂ , no ambiente (%)	Cloretos, Cl ⁻ (mg/l)
I	rural	UR ^(*) ≤ 60 % interiores secos	≤ 0,3	≤ 200
II	urbano	60 % ≤ UR ≤ 95 % U.R. = 100 % (submersa)	≤ 0,3	< 500
III	marinho ou industrial	65 % ≤ UR ≤ 100 % (variável) interiores úmidos	≥ 0,3	> 500
IV	pólos industriais	de indústria com agentes agressivos	≥ 0,3	> 500



3.O uso de aditivos na qualidade do concreto

3. O uso de aditivos na durabilidade do concreto

3.1 Generalidades

Os aditivos podem ser considerados hoje como o quarto elemento de um concreto ou argamassa. São produtos adicionados em pequenas quantidades ao concreto, modificando algumas de suas propriedades, no estado fresco ou endurecido, melhorando a trabalhabilidade, as características mecânicas e químicas, durabilidade, economia e qualidade.

A utilização dos aditivos remonta desde a idade dos romanos, que utilizavam sebo, leite de cabra, clara de ovo, etc., mas a sua evolução nos nossos tempos, surgiu após a invenção do cimento Portland:

- 1850 – cimento Portland
- 1855 – gesso (primeiro aditivo)
- 1900 – aceleradores – Ca Cl_2
- 1900 – retardadores – açúcares
- 1935 – plastificantes – lignofulfonados
- 1945 – incorporadores de ar
- 1960 – anticongelantes
- 1970 – superplastificantes (melamina)
- 1990 - hiperplastificantes (policarboxilatos – reodinâmicos)

3.2 Tipos de aditivos

Segundo a norma NBR 11768, os aditivos são classificados segundo suas finalidades:

Tipo	Finalidade	Aplicações principais
P Plastificantes	Mantida a quantidade de água de amassamento, proporciona o aumento do índice de consistência do concreto ou permite a redução de no mínimo 6% da quantidade de água a ser lançada.	Concreto estrutural Concreto de alto desempenho
SP Superplastificantes	Mantida a quantidade de água de amassamento, proporciona o aumento do índice de consistência do concreto ou permite a redução de no mínimo 6% da quantidade de água a ser lançada.	Concreto estrutural Concreto de alto desempenho
R Retardador	Aumenta os tempos de início e fim de pega dos concretos.	Concretos pré-misturados Concretagem em grandes volumes
A Acelerador	Diminui os tempos de início e fim de pega dos concretos, bem como acelera o desenvolvimento de suas resistências iniciais. Para concreto armado, devem ser isentos de cloretos.	Concretos simples Concretagem submersa Concretagem de lastro Concreto projetado
IAR Incorporador de ar	Incorporam pequenas bolhas de ar ao concreto.	Concreto massa Concreto sujeito a ciclos de gelo/desgelo
FL Sílica ativa	Partículas ultrafinas de sílica em suspensão, que pela sua reatividade, otimizam propriedades do concreto.	Concreto de alto desempenho Concreto resistente a ambientes agressivos e à abrasão Estruturas esbeltas Concreto projetado
PA Plastificante acelerador	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e acelerador.	
PR Plastificante retardador	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardador	
SPA Superplastificante acelerador	Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.	
SPR Superplastificante retardador	Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador.	

Outros aditivos

Expansor	Provoca a expansão de 1% a 2% do concreto, mediante a formação de gases.
Impermeabilizante	Formam compostos, notadamente com a reação com o hidróxido de cálcio do cimento, repelindo a água.
Inibidores de corrosão	Solução de nitrito de cálcio ou éster & aminas, inibem o ataque de cloretos.
Inibidores de reação álcali agregados	Produto à base de lítio, inibe a reação álcali-agregado.
Fungicida	Produto à base de sulfato de cobre ou pentaclorofenol, impede a formação de fungos e algas no concreto endurecido.
Injeções	Fluidificante para injeção de cimento em bainhas de protensão e trincas.
Controle de hidratação do cimento	Controlam a hidratação do cimento, permitindo a inibição das reações de hidratação por até 72 horas.
Anticongelante	Evita o congelamento da água de mistura do concreto, durante a concretagem em dias muito frios.
Redutor de ar incorporado	Aumenta a viscosidade e coesão da mistura.

3.3 Características gerais dos aditivos de última geração

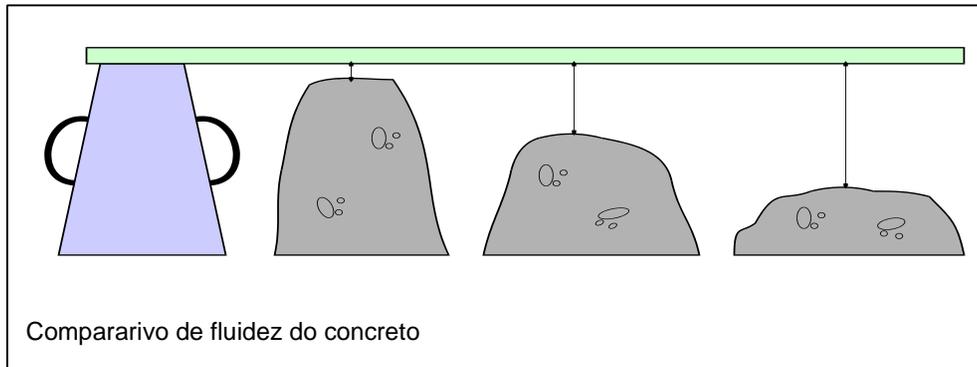
Atualmente, os aditivos possuem características importantes, para conferir propriedades ideais ao concreto e às argamassas, tornando-se um componente indispensável para garantir a qualidade dos concretos e argamassas.

Além das características básicas dos aditivos, conforme tabela acima, os aditivos são muito importantes para a melhoria da qualidade do concreto endurecido, como por exemplo, na sua baixa porosidade, que evita ou impede a penetração de agentes agressivos.

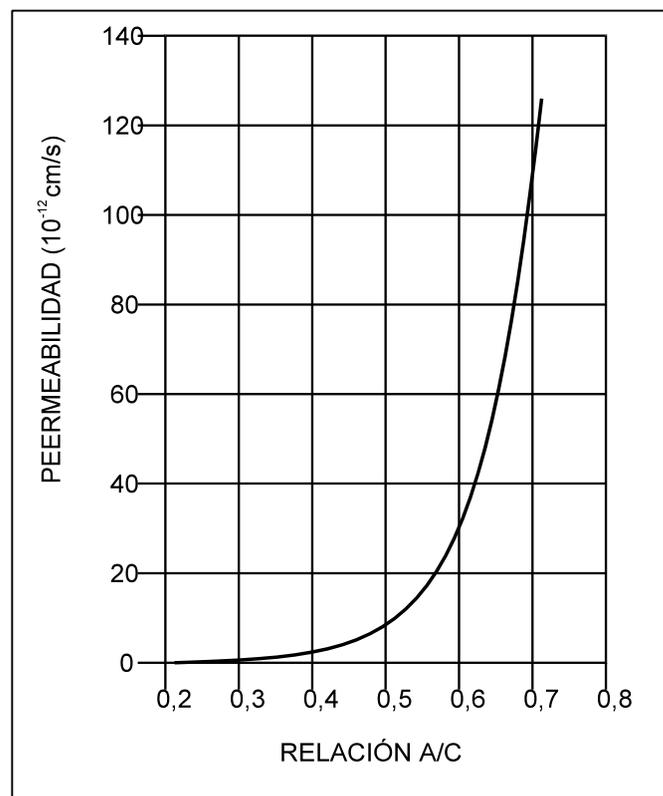
O cimento necessita da água para promover sua hidratação. A quantidade mínima de água para a hidratação do cimento é por volta de 25% a 30% do seu peso, ou fator água/cimento = 0,25 a 0,30. Com esta pequena quantidade de água, o concreto não se torna trabalhável, isto é o concreto é praticamente seco, ou com slump menor que 1, impossível de se moldar nas formas.

Quando aumentamos a relação água/cimento, para valores em torno de 0,55 a 0,65, tornamos o concreto mais trabalhável. No entanto, tornamos os mesmos mais porosos e permeáveis devido à evaporação da água excedente. O excesso de água, também provoca maior retração volumétrica do concreto, gerando trincas de retração.

Dentro deste aspecto, os aditivos são muito importantes, pois melhoram a trabalhabilidade do concreto, sem a adição de grandes quantidades de água.



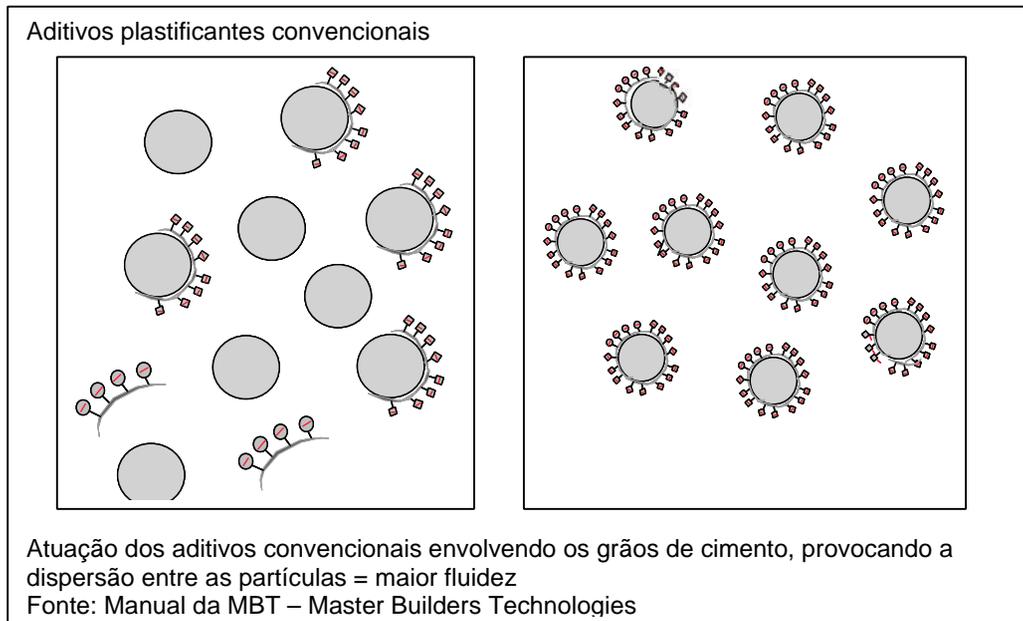
Quanto maior o fator água/cimento, maior é a permeabilidade a água do concreto, conforme vemos abaixo.



Conforme podemos verificar, quanto menor a quantidade de água e melhor slump, melhor a trabalhabilidade e qualidade do concreto.

Os aditivos que mais melhoram a fluidez do concreto com redução substancial da água de amassamento do concreto são os aditivos à base de poliacarboxilatos, surgidos na década de 90.

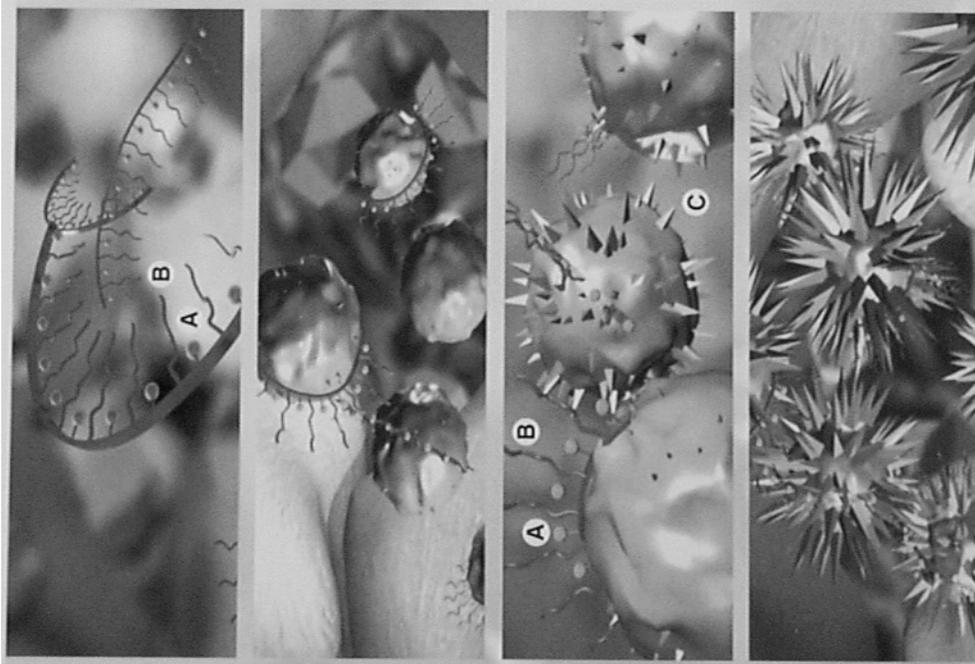
Ao contrário dos aditivos à base de melamina, que possuem vida curta, os aditivos à base de éter policarboxílicos proporcionam elevada fluidez por maior período, podendo chegar até 4 horas, dependendo da dosagem.



Os aditivos superplastificantes convencionais, à base de sulfonatos, melamina ou naftalenos são baseados em polímeros que são absorvidos pelas partículas de cimento e se acumulam na superfície do cimento no início da mistura do concreto. Os grupos sulfônicos da cadeia dos polímeros aumentam a carga negativa da superfície das partículas de cimento e dispersam estas por repulsão eletrostática. Este mecanismo eletrostático causa a dispersão da pasta de cimento, e a consequência positiva é que se requer menos água na mistura para se obter uma determinada consistência do concreto.

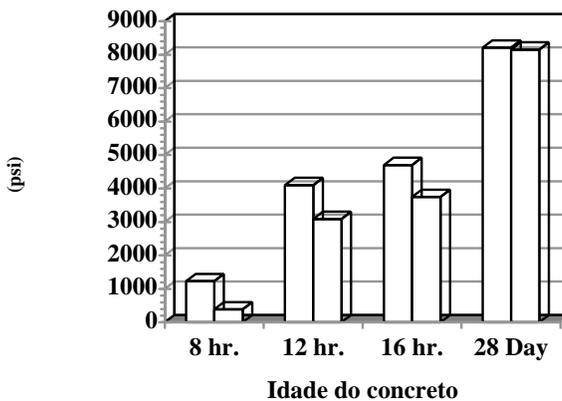
Os aditivos de nova geração à base de éter carboxílico são polímeros com largas cadeias laterais. No início do processo de mistura, inicia-se o mecanismo de dispersão eletrostática, conforme os aditivos convencionais, porém, as cadeias laterais unidas à estrutura polimérica geram uma energia que estabiliza a capacidade de refração e dispersão das partículas de cimento. Com este processo, obtém-se um concreto fluído com uma grande redução da quantidade de água e um ganho de resistência nas primeiras idades.

Aditivos superplastificantes à base de éter policarboxílicos

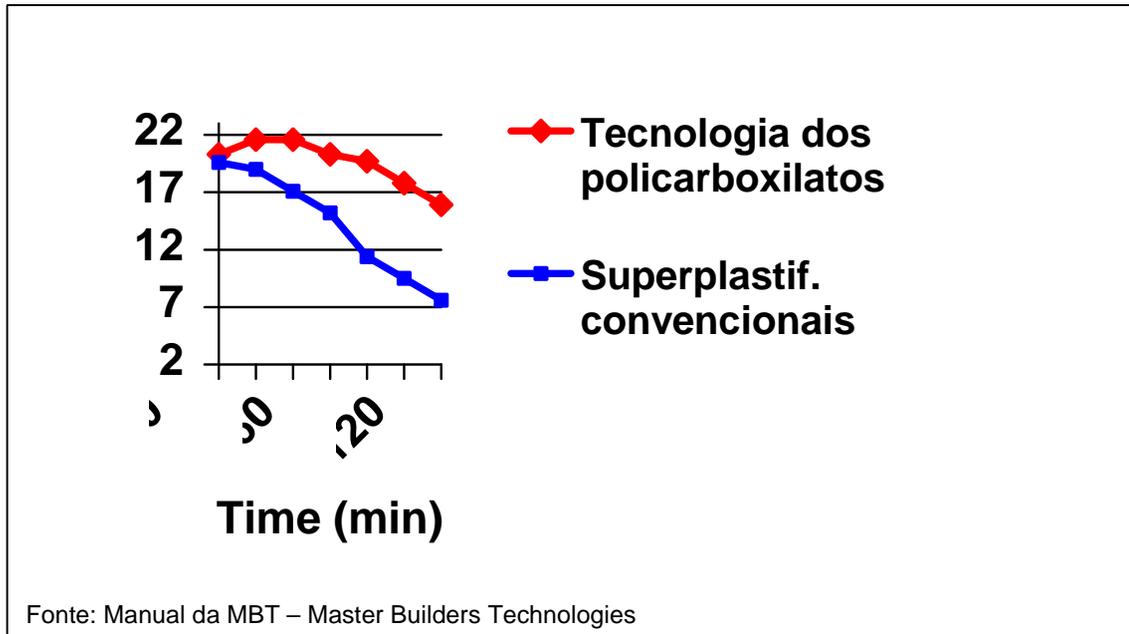


Atuação dos aditivos de última geração – policarboxilatos, de moléculas mais longas, envolvendo os grãos de cimento, provocando a dispersão e repulsão eletrostática entre as partículas = maior fluidez e tempo de trabalhabilidade.
 Fonte: Manual da MBT – Master Builders Technologies

No diagrama abaixo pode ser verificado o ganho de resistência inicial mais elevado do concreto aditivado com éter carboxílico, comparado com os aditivo à base de melamina.



Fonte: Manual da MBT – Master Builders Technologies



3.4 Concreto auto-adensável

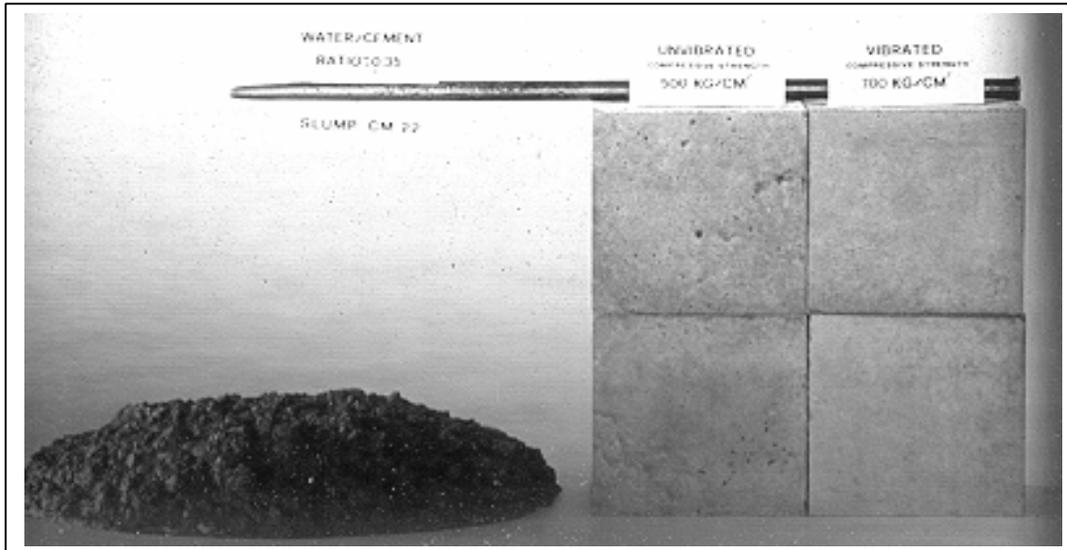
A última tecnologia que vem sendo adotada nos países mais avançados é o dos concretos auto-adensáveis, que são concretos de elevada fluidez, que dispensam a utilização de vibradores. Também são chamados de concretos reodinâmicos.

- Alta fluidez.
- Sem segregação nem exsudação.
- Auto-compactável.
- Baixa relação A/C.
- Permite concretagem em áreas com grande taxa de armaduras e em lugares confinados ou difíceis de acessar com vibradores.

Os aditivos de melhor desempenho para concreto autoadensável são os tipos éter carboxilatos.



Elevado abatimento do concreto autoadensável.



3.4 Recomendações finais

- **Redutores de água**
 - Em caso de superdosagem, verificar o peso das amostras, pois este indicará se houve incorporação de ar, que poderá afetar as resistências.
 - Se houver retardamento de pega, evitar que o concreto perca água, regando abundantemente, por exemplo. Controlar a evolução das resistências. Normalmente o concreto endurece mais lentamente, mas alcança maiores resistências em longo prazo.
 - Manter limpos os depósitos. Embora estes produtos contenham conservantes adequados, em certas ocasiões podem ocorrer fermentações, se o depósito estiver sujo e em climas quentes. As fermentações não alteram a qualidade do adjuvante em curto prazo, mas podem produzir espumas que podem afetar os dosadores.
- **Superplastificantes**
 - Elegar um superplastificante adequado ao concreto previsto.
 - Misturar o aditivo com 60 a 70% da água de amassamento já introduzida, por forma a garantir uma boa homogeneidade.
 - Sempre que se utilize dosagem superior às indicadas pelo fabricante, deve ser realizado ensaio prévio.
 - Embora os aditivos, pela sua composição, não tenham grandes problemas de conservação, é aconselhável manter os depósitos limpos.
 - Na generalidade, os superplastificantes são compatíveis com a maioria dos aditivos; contudo, podem ocorrer alguns problemas com os incorporadores de ar.
 - A utilização conjunta de plastificantes e superplastificantes, proporcionam um efeito plastificante muito elevado.
- **Retardadores**
 - São aplicadas as recomendações gerais mencionadas para os aditivos.

- Prever descidas e aumentos de temperatura que podem modificar o comportamento do concreto.
 - Ensaiar previamente o aditivo com o cimento previsto, para comprovar o efeito retardante. A reatividade do cimento é também importante para decidir a dosagem mais adequada.
 - Os retardadores podem combinar-se facilmente com aditivos redutores de água, mas deve-se ter em conta que estes podem apresentar um efeito retardante, por si mesmos.
- **Aceleradores**
 - Verificar se o aditivo contém cloro na sua composição, quando se tratar de concreto armado, pois provoca corrosão das armaduras.
 - Utilizar a dosagem mínima de acelerador, introduzindo um superplastificante que permita uma notável redução da relação A/C.
 - Ter em conta a real temperatura da obra.
 - Os aceleradores podem combinar-se com redutores de água que não tenham efeito retardador.
- **Incorporadores de ar**
 - Escolher o incorporador de ar e a sua dosagem mediante ensaios, nos quais sejam controlados o ar incorporado e as resistências mecânicas.
 - Manter constantes a intensidade e o tempo de mistura.
 - Efetuar um controle da incorporação de ar e das resistências.
 - Evitar superdosagens e misturas excessivas.
- **Espumantes**
 - Juntar o aditivo à argamassa pré-misturada, com consistência seca ou plástica.
 - Utilizar preferencialmente agregados naturais rolados. As britas apresentam cantos que rompem as bolhas de ar à medida que se formam. Este efeito limita a estabilidade da espuma gerada.
 - Manter constante a intensidade e o tempo de mistura.
- **Impermeabilizantes**
 - São aplicadas as recomendações gerais mencionadas para os aditivos.
 - Não pensar que o aditivo consegue por si só um concreto impermeável.
 - Dar especial atenção à composição do concreto.
 - Verificar se a colocação em obra é a mais correta, e que permita uma boa compactação.
 - Evitar as juntas frias, colocando juntas hidro-expansivas.
- **Hidrofugantes**
 - São aplicadas as recomendações gerais mencionadas para os aditivos.
 - Rever as dosagens a utilizar.
 - Controlar as resistências mecânicas e a repulsão de água obtida.
- **Concreto bombeável**
 - Controlar a alteração de consistência, e comprovar a trabalhabilidade e bombabilidade.
 - Reduzem ligeiramente a consistência, o que deve ser devido à combinação com um plastificante.
 - Evitar superdosagens e utilizar a dosagem ótima.

- **Concreto projetado**
 - Tomar medidas de segurança necessárias, tanto no armazenamento como no manuseamento dos produtos alcalinos (pH > 12).
 - Procurar utilizar aditivos não alcalinos (álcali free).
 - Recordar que o uso de um redutor de água permite reduzir a relação água/cimento e melhorar as resistências iniciais e finais.

- **Recomendações finais**
 - Eleger o aditivo segundo o recomendado na ficha técnica.
 - Ler detalhadamente as informações técnicas do produto.
 - Determinar a dosagem e realizar ensaios prévios.
 - Efetuar o controle de qualidade, ou pelo menos registrar o número do lote.
 - Garantir um bom sistema de dosagem e mistura.
 - Prever as temperaturas de inverno e proteger os tubos do dosador.
 - Consultar o fabricante sobre qualquer dúvida na utilização do produto.
 - Manter a limpo o depósito.

Bibliografia desta seção: Juan Fernando Matias – MBT Master Builders Technologies

4. Agressividade do meio ambiente

4. Corrosão das Armaduras

4.1 Generalidades

A corrosão das armaduras é uma das principais manifestações patológicas, responsáveis por enormes prejuízos.

Como material de construção denso e resistente, se pensa que o concreto armado tem uma duração ilimitada. No entanto, atualmente se constata um número crescente de estruturas prematuramente deterioradas por corrosão das armaduras de reforço.

A corrosão das armaduras é uma área claramente interdisciplinária, onde a química, eletroquímica e cinética tem papel fundamental.

A displicência na execução do concreto armado tem se demonstrado na principal causa do início precoce da corrosão das armaduras, principalmente pelos seguintes fatos:

- recobrimento das armaduras abaixo dos valores recomendados pelas normas da ABNT.
- concreto executado com elevado fator água/cimento, acarretando elevada porosidade do concreto e fissuras de retração.
- ausência ou deficiência de cura do concreto, propiciando a ocorrência de fissuras, porosidade excessiva, diminuição da resistência, etc.
- segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem, erros de traço, lançamento e vibração incorretos, formas inadequadas, etc.

O concreto proporciona às armaduras uma dupla proteção.

- Uma barreira física que separa o aço do contato direto com o meio ambiente que contém elementos agressivos ao aço;
- Capa passivadora formada meio alcalino do concreto

A capa passivadora é formada pela solução aquosa, constituída principalmente por íons OH^- , que proporciona elevada alcalinidade do concreto ($\text{pH} > 12.5$). Inicialmente pensava-se que o hidróxido de cálcio produzido durante a hidratação do cimento era o principal elemento para originar a elevada alcalinidade do concreto. No entanto, demonstrou-se posteriormente que a solução aquosa contida nos poros apresenta pH entre 13 a 14, devido aos hidróxidos de cálcio e potássio, já que o íon cálcio praticamente desaparece da dissolução quando o cimento processa sua hidratação.

A elevada alcalinidade e a presença de oxigênio forma em torno do aço uma capa passiva de óxidos muito aderentes, compacto e invisível, que preserva o aço da corrosão, quando o concreto seja de boa qualidade e não mude suas características físico-química por ação do meio ambiente.

Por outro lado, em ausência de oxigênio, o aço oxida-se muito lentamente, sem causar problemas de corrosão, como o caso de estruturas submersas, onde o concreto não se encontra gretado.

A corrosão das armaduras do concreto consiste na oxidação destrutiva do aço, pelo meio que o envolve.

4.2 Mecanismo da corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras pode-se originar por uma ação química ou eletroquímica, resultando numa modificação do aço de forma contínua, até que todo o aço se transforme em ferrugem.

A corrosão eletroquímica do aço do concreto resulta da falta de uniformidade do aço (diferentes tipos, soldas, elementos ativos sobre a superfície do aço, assim como também a heterogeneidade química e física do concreto que envolve a armadura. Ainda que a potencialidade para a corrosão do aço pode existir devido à falta de uniformidade do aço, a corrosão normalmente é prevenida pela formação de uma película de óxidos de ferro passivante já citada. No entanto, quando as condições de utilização e ataque do meio ambiente sobre o concreto armado ocorrem, se produz a perda da capa passivante, desencadeando uma tríplice consequência:

- O aço diminui sua seção, e se converte completamente em óxidos;
- O concreto pode fissurar ou delaminar-se devido às pressões de expansão dos óxidos;
- A aderência da armadura diminui ou desaparece.

O processo de corrosão pode ser subdividido em dois tipos:

a) Corrosão química:

Também denominada oxidação, é provocada por uma reação gás-metal, isto é, pelo ar atmosférico e o aço, formando compostos de óxido de ferro (Fe_2O_3). Este tipo de corrosão é muito lento e não provoca deterioração substancial das armaduras. Como exemplo, o aço estocado no canteiro de obra, aguardando sua utilização sofre este tipo de corrosão.

b) Corrosão eletroquímica ou eletrolítica

Também denominada corrosão catódica ou simplesmente corrosão, ocorre em meio aquoso é o principal e mais sério processo de corrosão encontrado na construção civil.

Neste processo de corrosão, a armadura se transforma em óxidos e hidróxidos de ferro, de cor avermelhada, pulverulenta e porosa, denominada ferrugem.

A corrosão eletroquímica

Para ocorrer a corrosão eletrolítica, devem interagir as seguintes condições:

⇒ Presença de um eletrólito

A presença de sais dissolvidos do cimento, como o hidróxido de cálcio (CaOH_2) ou a presença do anidrido carbônico (CO_2), que sempre contém pequenas quantidades de ácido carbônico, podem funcionar como eletrólito.

Quantidades pequenas de íons cloreto (Cl^-), íons sulfatos (S^{--}), dióxido de carbono (CO_2), nitritos (NO_3^-), gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_4^+), óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3), fuligem, etc., aumentam potencialmente a ação do eletrólito e, conseqüentemente, o fenômeno da corrosão. Isto explica que a velocidade da corrosão em regiões industriais, orlas marítimas, poluídas, etc. são mais elevadas, devido a maior concentração de elementos agressivos.

⇒ Diferença de potencial

Qualquer diferença de potencial entre dois pontos da armadura, causada por diferença de umidade, concentração salina, aeração ou por tensão diferenciada na armadura pode criar uma corrente elétrica entre dois pontos. As partes que possuem um potencial menor se convertem em ânodo e as que possuem um potencial maior se convertem em cátodo.

⇒ Presença de oxigênio

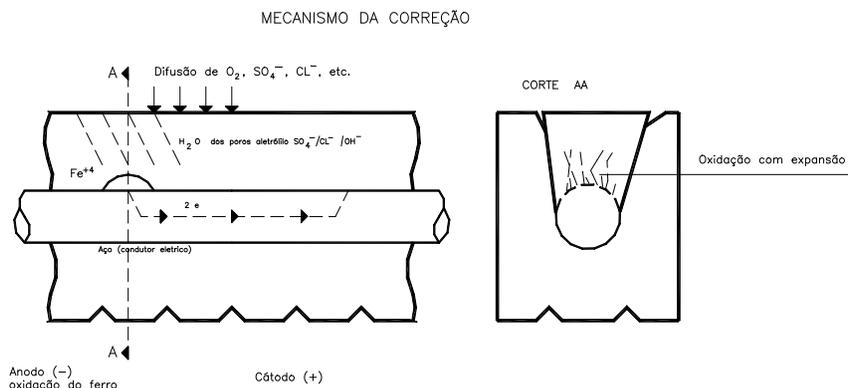
A presença de oxigênio é necessária para a formação de óxidos de ferro. No processo de corrosão eletroquímica, o ferro se separa do aço na região anódica, formando íons ferrosos puros (Fe^{++}), que se transformam em óxido de ferro com a ação do oxigênio dissolvido na água.

Os fenômenos de corrosão são expansivos e geram tensões que podem provocar fissuras no concreto, principalmente os de baixo cobrimento de armadura, aumentando a entrada e saída de água, sais e vapores agressivos, elevando exponencialmente a velocidade da corrosão.

A armadura submetida à tensão sofre corrosão mais acentuada das que se encontram em condições normais.

Quando a ação eletrolítica é formada em regiões pontuais (micro pilhas), pode ocorrer

corrosão localizada e não generalizada, formando pequenas gretas, cicatrizes por fendas pequenas na armadura, que pode se tornar bastante intensa e perigosa.

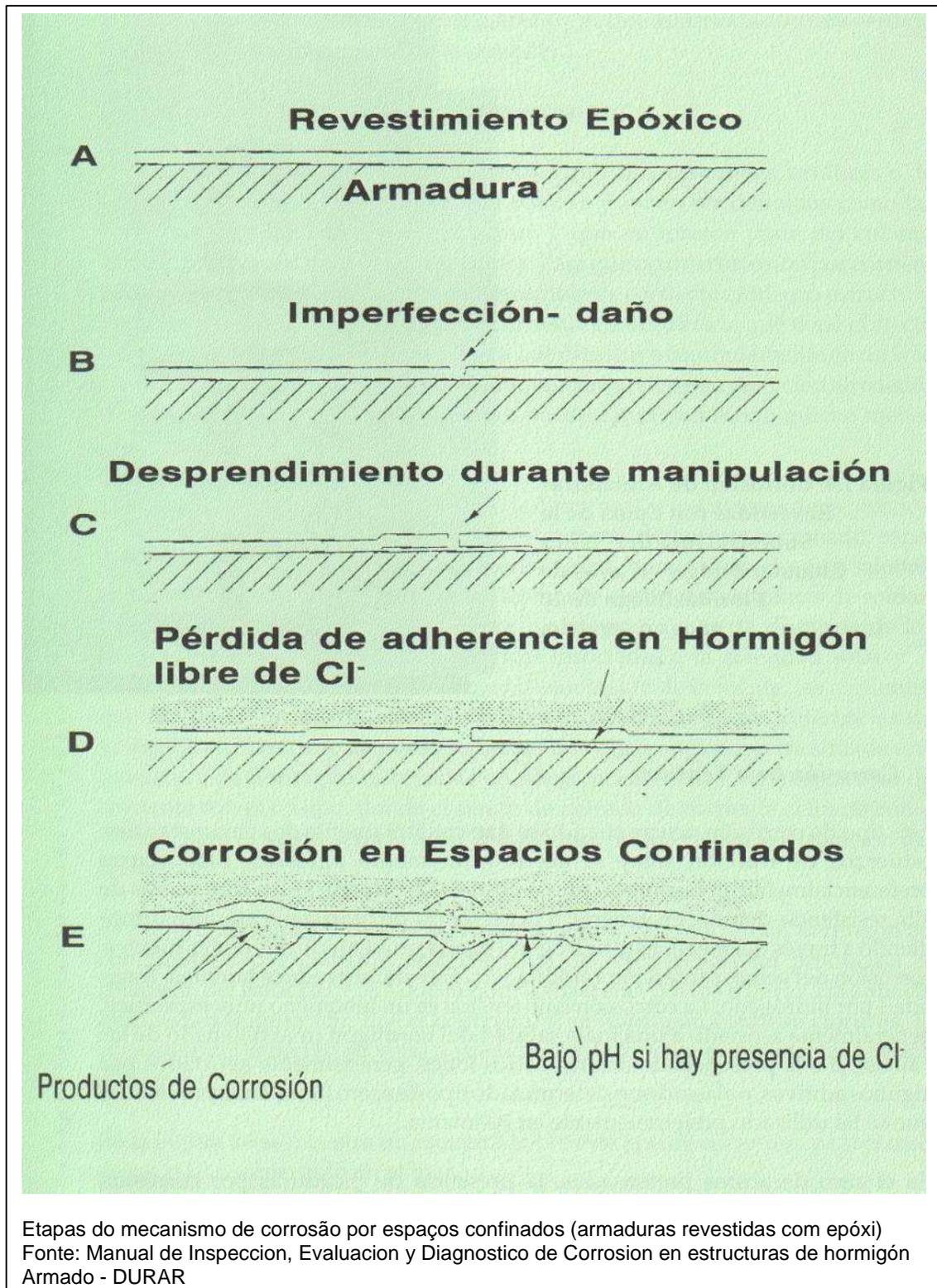


c) Corrosão em espaços confinados

A corrosão em espaços confinados pode ocorrer quando sobre a superfície do aço existe um espaço suficiente resguardado que evita o acesso contínuo de oxigênio, podendo criar zonas diferenciais de oxigênio que induzem à corrosão.

Existem várias condições para esta corrosão, como por exemplo a injeção de fissuras com resina epóxi, quando o meio agressivo já chegou à armadura, sendo esta região onde se acelera pela falta de acesso do oxigênio. Outra forma de ocorrer esta corrosão é o da execução de um revestimento do aço com epóxi, quando a sua adesão ao aço está deteriorada. Se, adicionalmente, há presença de cloretos, estes podem se acumular entre o revestimento e o aço. O pH dentro deste espaço diminui e o processo de corrosão vai se agravando o processo autocatalítico, similar a corrosão por "pit", com a qual se origina uma maior perda de aderência. A deterioração da aderência entre o aço e o recobrimento pode ocorrer por dano mecânico ou por processos eletroquímicos, que podem ocorrer no concreto ainda antes que os íons de cloretos penetrem no concreto.

A figura abaixo mostra a série de ocorrências para a corrosão das armaduras revestidas com epóxi, sujeitas a condições muito corrosivas.



d) Corrosão sob tensão

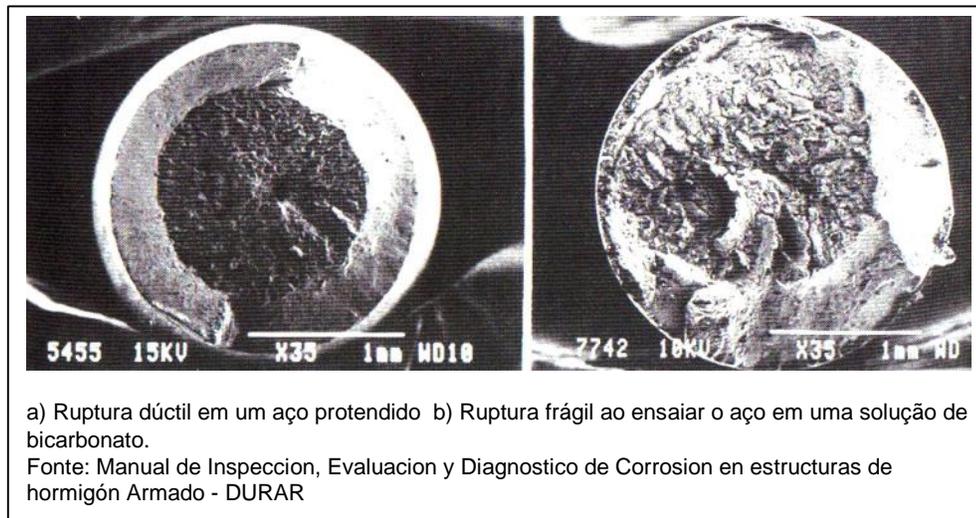
Este tipo de corrosão ocorre em presença de duas circunstâncias conjuntas:

- esforços de tração
- meio agressivo

Este efeito ocorre preferencialmente em concreto protendido, onde se utiliza aço de alta resistência, devido, em geral, a presença de hidrogênio atômico difundido através do metal. Este hidrogênio pode estar presente de diferentes fontes, como corrosão do aço, proteção catódica, etc. A corrosão sob tensão é um fenômeno muito específico, geralmente associado a concreto de baixa qualidade, (mau preenchimento das bainhas, ou a presença de cloretos nos aditivos de concreto).

Nos concretos protendidos, a presença de “pits” de corrosão, causadas por íons de cloretos, podem induzir ao aço a corrosão por tensão.

A única maneira de se confirmar a fragilidade do hidrogênio ou a corrosão sob tensão é mediante a observação microscópica da superfície fraturada do aço. Este dano é considerado catastrófico, já que é associado a uma perda de ductibilidade e fratura do aço.



e) Corrosão por correntes de interferência

As correntes de interferência, chamadas também como erráticas ou de fuga, pode ser definido como as correntes que fluem em uma estrutura e que não formam parte do circuito elétrico ou célula eletrolítica. Para que ocorra a corrosão por correntes de interferência deve existir um intercâmbio de corrente entre o aço e um meio eletrolítico. A corrente contínua é a que tem um efeito mais pronunciado, já que flui continuamente em um único sentido. Ao contrário, a corrente alternada, que inverte sua direção, ao redor de uma centena de vezes por segundo, pode causar um efeito muito menos pronunciado.

As fontes mais comuns deste tipo de corrente são: sistemas de proteção catódica operando nas cercanias de estruturas de concreto armado, especialmente em meios de muito baixa resistividade, como em água salobra, sistemas com potência elétrica, como os trens elétricos, metrô, máquinas de soldar, onde a estrutura conectada à terra se encontra a certa distância dos eletrodos de solda; correntes telúricas (associadas a atividade solar e ao campo magnético da terra).

Independente da fonte, as correntes que fluem em um meio eletrolítico, são manifestações de diferenças de voltagem. Se no entorno destes gradientes de voltagens, se encontra situada uma estrutura de concreto armado, pode existir um intercâmbio de corrente com o mesmo, donde o ponto de entrada da corrente atuaria como cátodo, e a saída seria a zona anódica que poderia causar a dissolução do metal, corroendo-o.

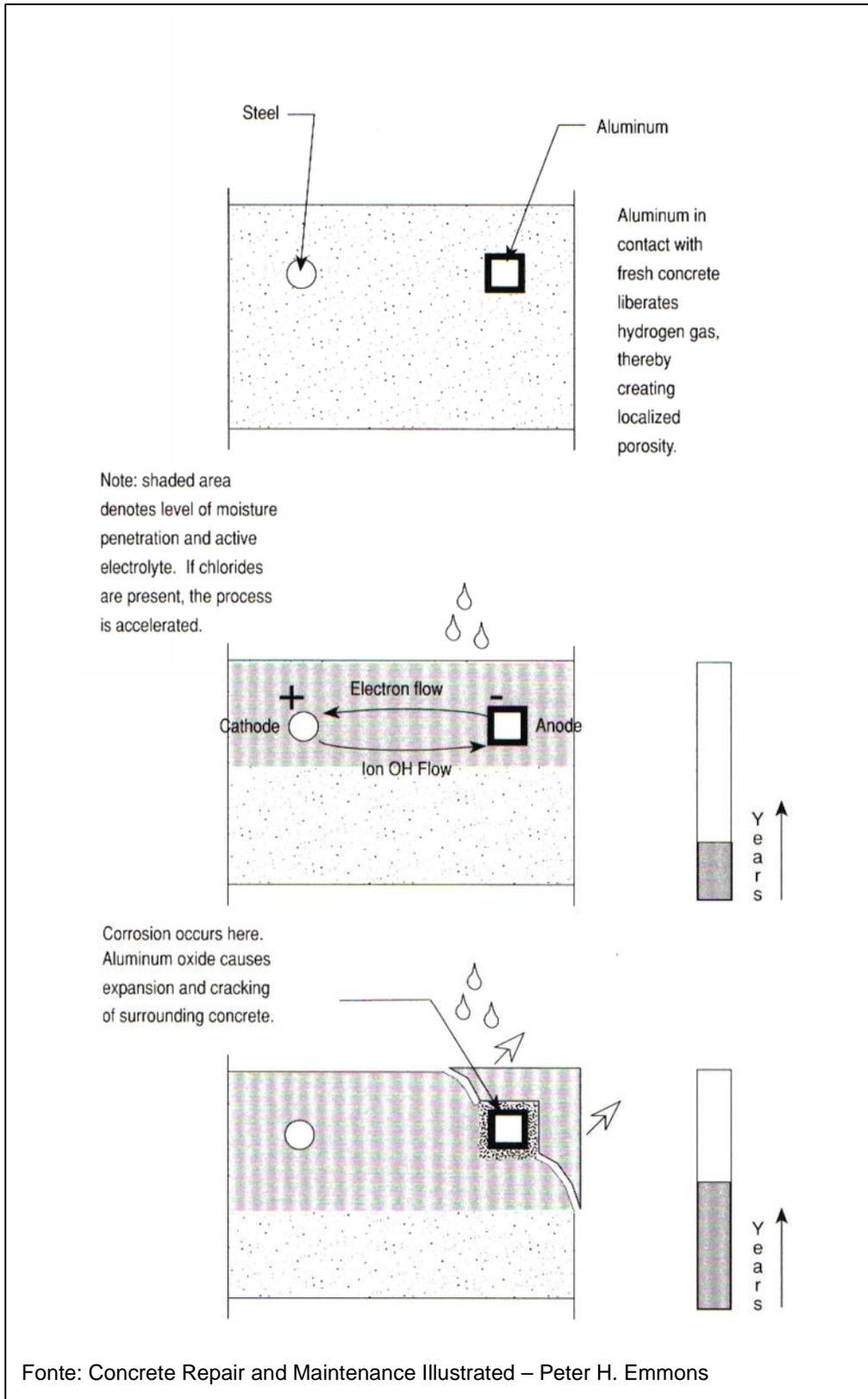
É importante salientar que se o aço se encontra passivado em um concreto não contaminado por cloretos, esta corrente de interferência não produz corrosão, já que se poderia manter-se passivo ou levar à zona de imunidade. Ao contrário, se o concreto contém cloretos, a corrosão do aço de tornaria acelerado drasticamente pelo efeito destas correntes.

f) Corrosão uniforme generalizada

A corrosão uniforme é o resultado de uma perda generalizada da película passiva, resultante da carbonatação do concreto ou a quantidade excessiva de íons cloretos. Também pode ocorrer por efeito de “lixiviação” de componentes alcalinos do concreto, devido à percolação de águas puras ou ligeiramente ácidas.

g) Corrosão galvânica

Este tipo de corrosão pode-se dar quando existem dois metais diferentes no meio eletrolítico. No aço do concreto, esta situação se dará cada vez que em alguma zona se danifique, ou não se forma uma capa passivadora característica. Esta zona atuará como um ânodo, frete ao restante do material, onde permanece a passivação, o qual atuará como cátodo. Também se poderia apresentar quando o aço se encontra em contato com outros condutores mais nobres.

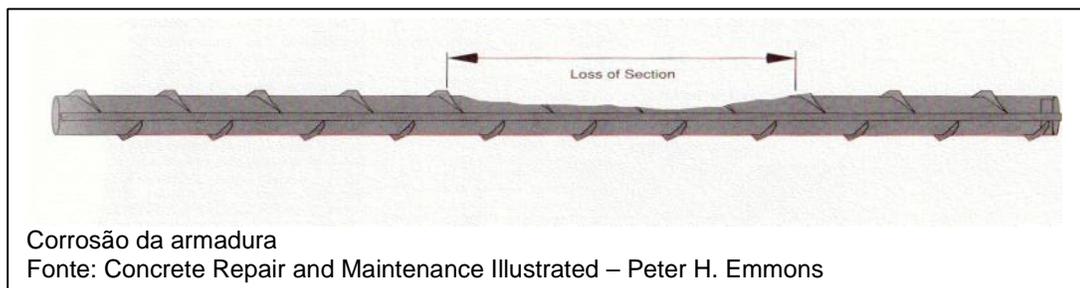


h) Corrosão por cloretos

A corrosão por ação dos cloretos ocorre pela dissolução da capa passivadora de corrosão, pelo ingresso de através do meio externo de íons cloretos no concreto ou no caso de contaminação da massa do concreto, como por exemplo, através da água, aditivos aceleradores inadequados ou areia do mar.

A ação de íons de cloretos forma uma célula de corrosão onde existe uma capa passiva intacta, atuando como cátodo, no qual se produz oxigênio e uma pequena área onde se perdeu a capa passivadora, atuando como ânodo, na qual se produz a corrosão. As corrosões por cloreto são autocatalíticas, e se generalizam em contínuo crescimento.

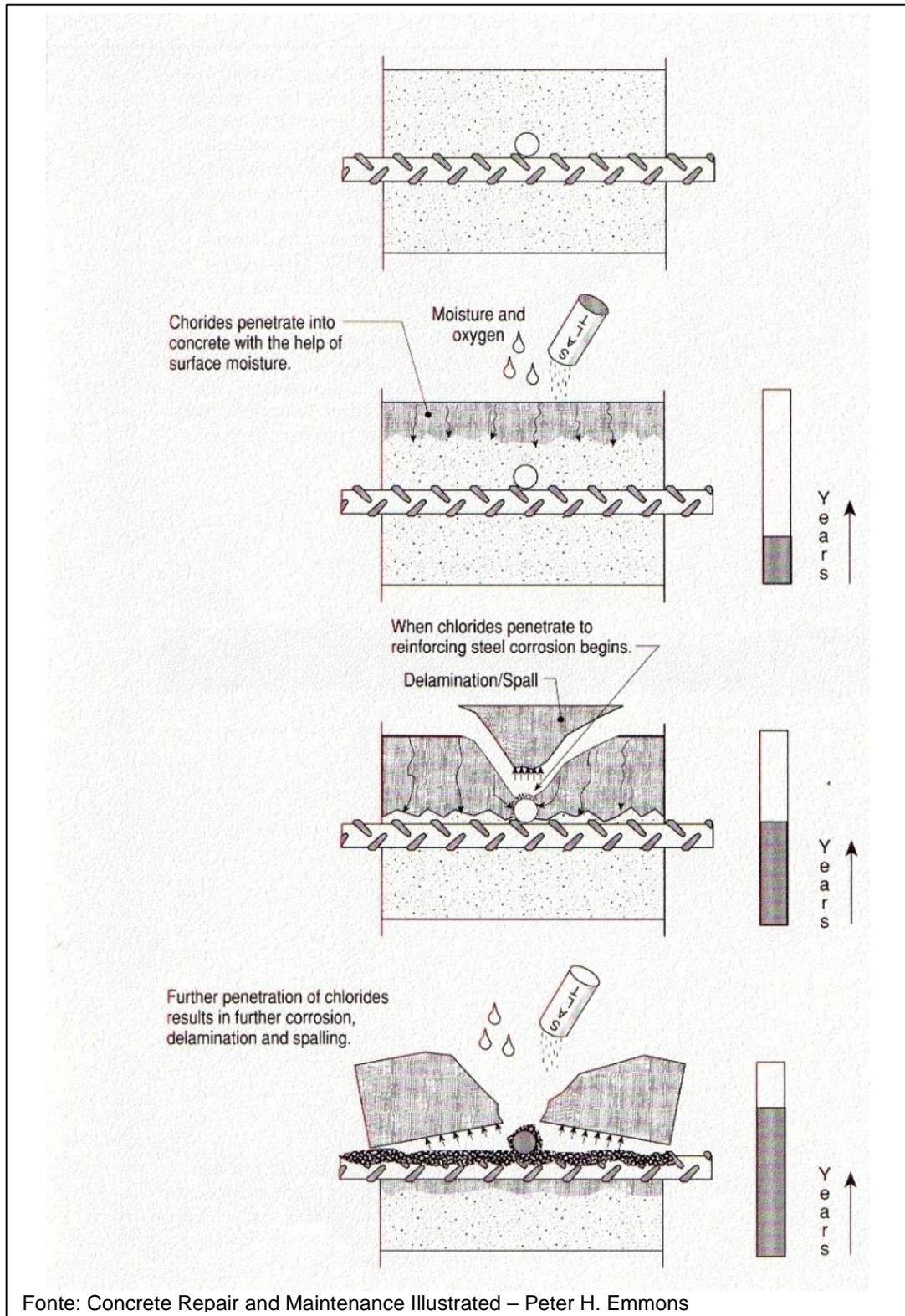
No ânodo se produzem ácido, devido aos íons de cloretos favorecerem a hidrólise do Fe na água, para se formar H^+ e Cl^- livres. Ocorre a redução do pH localmente e os íons cloretos permanecem no meio para seguir intervindo no processo de corrosão, agravando o problema.



Os cloretos destroem de forma pontual a capa passivadora, podendo produzir uma ruptura pontual do aço. Em ambiente marítimo, o cloreto pode penetrar pela rede de poros. O concreto também pode ser contaminado com cloretos através de aditivos aceleradores, água contaminada, ambiente industrial (papel, celulose, fertilizantes, etc.), dentre outros.



As normas de forma geral limitam o teor de cloretos no concreto fresco.



4.3 Fatores que afetam e desencadeiam a corrosão das armaduras ou concreto

Um conjunto de circunstâncias pode afetar e desencadear a despassivação do aço do concreto. Já foi mencionado que a baixa alcalinidade do concreto desencadeia o processo corrosivo.

Existem vários fatores que afetam, desencadeiam ou produzem ambos os efeitos no processo de corrosão das armaduras, como a dosagem de cimento no concreto, a sua compacidade e homogeneidade, como também a espessura do recobrimento da armadura, o estado superficial da armadura e a umidade ambiental. Também são importantes como fatores, os ninhos e falhas de concretagem junto às armaduras, altas tensões mecânicas, correntes erráticas ou de interferência, contato galvânico entre os metais, íons despassivantes (Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, etc.), CO_2 atmosférico ou qualquer outro líquido que neutraliza a alcalinidade, lixiviação por águas brandas, e as fissuras.

a) Dosagem do concreto

Os concretos homogêneos, compactos, resistentes e pouco porosos garantem importantes funções de proteção ao aço, tanto como barreira física, como uma capa passivante alcalina que mantém a armadura protegida.

A baixa porosidade da massa do concreto impede a penetração dos agentes agressivos. Assim, sendo, deve se ter em conta a necessidade de se executar uma dosagem de concreto que garanta a máxima compacidade e, por conseguinte sua durabilidade, tomando as seguintes precauções:

- Efetuar um estudo de granulometria, de forma que se garanta uma boa curva de agregados e menor volume de vazios.
- Utilizar a menor quantidade de água possível, para diminuir a porosidade e resistência final, substituindo o excedente de água por aditivos redutores de água.
- Procurar adotar a menor relação água/cimento, que também poderá ser melhorada com a utilização de aditivos.
- Garantir uma boa hidratação do cimento, com uma cura adequada, diminuindo a quantidade de poros do concreto endurecido.
- As características dos agregados utilizados no concreto têm influência na sua qualidade final.
- A ação positiva de certas adições ao concreto, como escórias de atividade pozzolânica, microssílica ou inibidores de corrosão, tem grande influência na durabilidade do concreto armado.

b) Compacidade e homogeneidade

A compacidade do concreto é a propriedade mais importante do mesmo nos efeitos de sua resistência à penetração dos agentes agressivos. Ela é inversamente proporcional à porosidade, minimizando a carbonatação e o ataque de agentes agressivos.

A compacidade é expressa pela quantidade de matéria sólida por unidade de volume, ou a relação entre o volume sólido e o volume total.

A compacidade é função principalmente da quantidade, qualidade e proporção entre os componentes do concreto.

A compacidade pode ser comprometida por uma mistura, transporte e compactação inadequados, já que isto afeta a homogeneidade.

A homogeneidade está relacionada diretamente na mistura, transporte, colocação, compactação e cura.

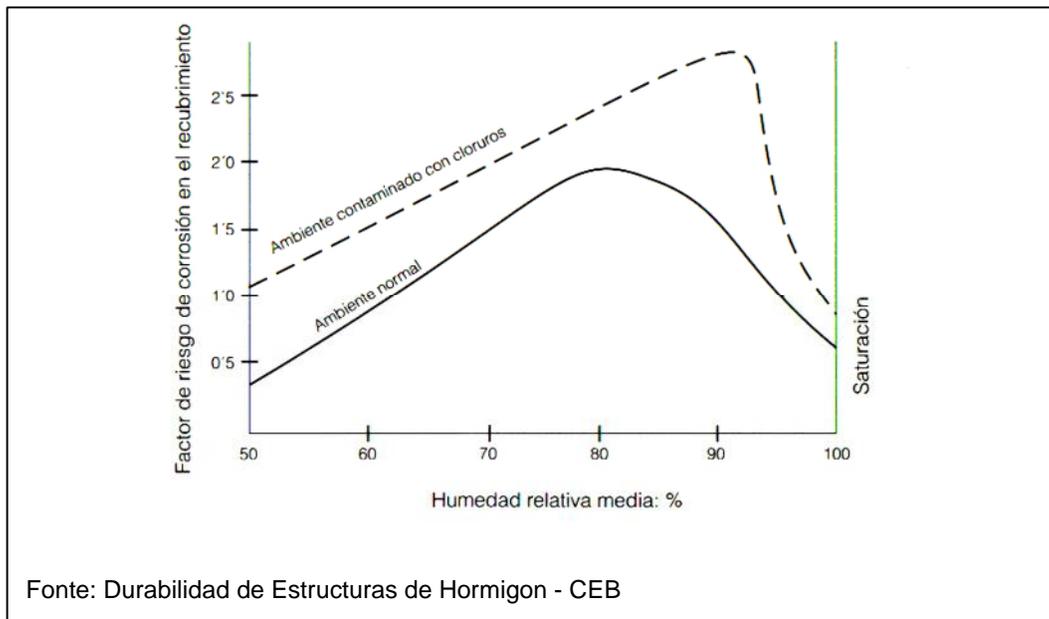
c) Espessura de recobrimento

Conforme vimos no capítulo 2, a espessura da capa de cobrimento das armaduras é importante para garantir sua proteção, desde que não se apresente porosa e com fissuras. Existem normas nacionais e internacionais que regulamentam a espessura mínima requerida para cobrimento das armaduras, segundo a utilização deste concreto, desde em áreas internas, como nas áreas mais agressivas.

d) Umidade ambiental

A presença de umidade é imprescindível para a ocorrência das reações de oxidação das armaduras, pois intervém no processo catódico de redução do oxigênio. Além disto, é necessária para a mobilidade dos íons no processo eletrólito.

Em um concreto seco, a resistividade elétrica é tão elevada que impede que a corrosão se produza. Por outro lado, quanto maior é a quantidade de água no concreto, menor será o valor de resistividade elétrica e mais elevada poderá ser, a princípio a velocidade de corrosão.



e) Oxigênio

Não é possível o processo de corrosão sem a mínima quantidade de oxigênio junto às armaduras.

Quando um concreto é denso e o ambiente exterior tem valores médios de umidade, os poros estão completamente saturados de água a partir de 3 a 4 cm do seu exterior. Isto dificulta a presença do oxigênio, que necessita diluir-se na água antes de alcançar as armaduras. Se existem armaduras despassivadas e com pouco cobrimento de concreto, o contato com o oxigênio é mais fácil e a corrosão pode ser mais elevada.

f) Temperatura

A temperatura tem um duplo papel nos processos de degradação. Por um lado, o aumento da temperatura atua na mobilidade das moléculas, facilitando o transporte de substâncias. Por outro lado, a diminuição da temperatura pode dar lugar à condensações. Além disto, a quantidade absoluta de vapor está diretamente relacionada à temperatura ambiente.

É importante destacar que os 3 fatores- umidade, oxigênio e temperatura- tem efeitos contrapostos e portanto não é fácil prever a evolução da corrosão. Por exemplo, uma maior umidade facilita a corrosão, mas também impede a maior presença de oxigênio. Uma temperatura mais elevada acelera a corrosão, mas diminui a condensação.

g) Estado superficial do aço

A oxidação superficial da armadura não causa efeito significativo no processo de corrosão, mas podem estar contaminados com cloretos.

A corrosão superficial do aço, não aderida, deve ser eliminada, pois interfere na sua aderência ao concreto (importante no concreto protendido) e na criação e aderência da capa passivadora.

h) Tensões mecânicas no aço

O aço pode estar submetido a tensões entre 60% a 80% do seu limite elástico. Estas elevadas tensões não representam perigo se o mesmo está isento de imperfeições e de óxidos superficiais, e se o concreto que o envolve é de boa qualidade.

Em concreto onde a carbonatação alcança o aço tensionado, ou com presença de íons despassivantes (SCN^- , $S^{=}$, Cl^-).

O risco de uma corrosão sob tensão existe. Este tipo de corrosão se caracteriza por incubar microfissuras não visíveis a olho nu, que se propagam com relativa rapidez ao interior da armadura. Alcançada uma perda de seção crítica, a armadura se rompe de uma forma frágil, como mostra a figura abaixo, donde se pode verificar uma maior redução de seção, em comparação com a quase nula que se detecta em uma ruptura frágil. A única forma de se detectar este tipo de ruptura é mediante a estudos microscópicos das superfícies fraturadas.

i) Correntes erráticas ou de interferências

As correntes elétricas que abandonam os circuitos naturais, para circularem nas armaduras, têm efeitos importantes para acelerar a corrosão já iniciada por outros fatores.

É importante este efeito em estruturas enterradas ou submersas, que são os lugares potencialmente factíveis para que existam correntes capazes de acelerar a corrosão das armaduras, podendo chegar a danos catastróficos.

j) Contato galvânico

O contato das armaduras com outros metais podem ocasionar sua corrosão. Devem ser evitados os contatos das armaduras com outros metais, que podem polarizar até potenciais mais anódicos. Em geral o contato aço-aço inoxidável ou aço-cobre não produzem corrosão. O contato com zinco ou alumínio pode ser benéfico pois induzem a uma certa proteção catódica da armadura.

k) Íons despassivantes

Dos íons despassivantes, os cloretos são os que mais afetam a armadura. O íon sulfatos intervém na degradação do concreto, com o qual pode permitir que a armadura se exponha ao meio ambiente, procedendo-se à corrosão.

A tabela abaixo indica os valores críticos de cloro em concreto armado.

País	Norma	Limite máximo de Cl ⁻	Referido a
USA	ACI 318	≤ a 0,15% em ambiente de Cl ⁻	cimento
USA	ACI 318	≤ a 0,3% em ambiente normal	cimento
USA	ACI 318	≤ a 1% em ambiente seco	cimento
Inglaterra	CP-110	≤ a 0,35%	cimento
Austrália	AS 3600	≤ a 0,22%	cimento
Noruega	NS 3474	≤ a 0,6%	cimento
Espanha	EH 91	≤ a 0,4%	cimento
Europa	Eurocódigo 2	≤ a 0,22%	cimento
Japão	JSCE-SP 2	≤ a 0,6 kg/m ³	concreto
Brasil	NBR 6118	≤ a 0,05%	água

As divergências de valores estão também relacionadas à composições distintas de cimento e do aço, como também dos distintos materiais potencialmente contaminantes.

Sulfatos

O íon sulfato (SO_4^{-2}) pode estar presente nas águas industriais residuais, em forma de solução diluída de ácido sulfúrico, nas águas do subsolo, nos esgotos, etc.

O sulfato pode degradar o cimento, reagindo com o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formando o gesso, que por conseguinte reage com o aluminato de cálcio do cimento (C_3A), formando sulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). Esta reação é expansiva, gerando elevadas tensões internas, que fissuram o concreto.



I) Ataque ácido

A velocidade de reação dos ácidos com o concreto é determinada tanto pela agressividade do ácido presente, como pela solubilidade do sal cálcico formado. Quanto menos solúvel é o sal, maior é o efeito passivante. Quanto mais solúvel é o sal formado, maior a velocidade de reação e dissolução para o interior do concreto.

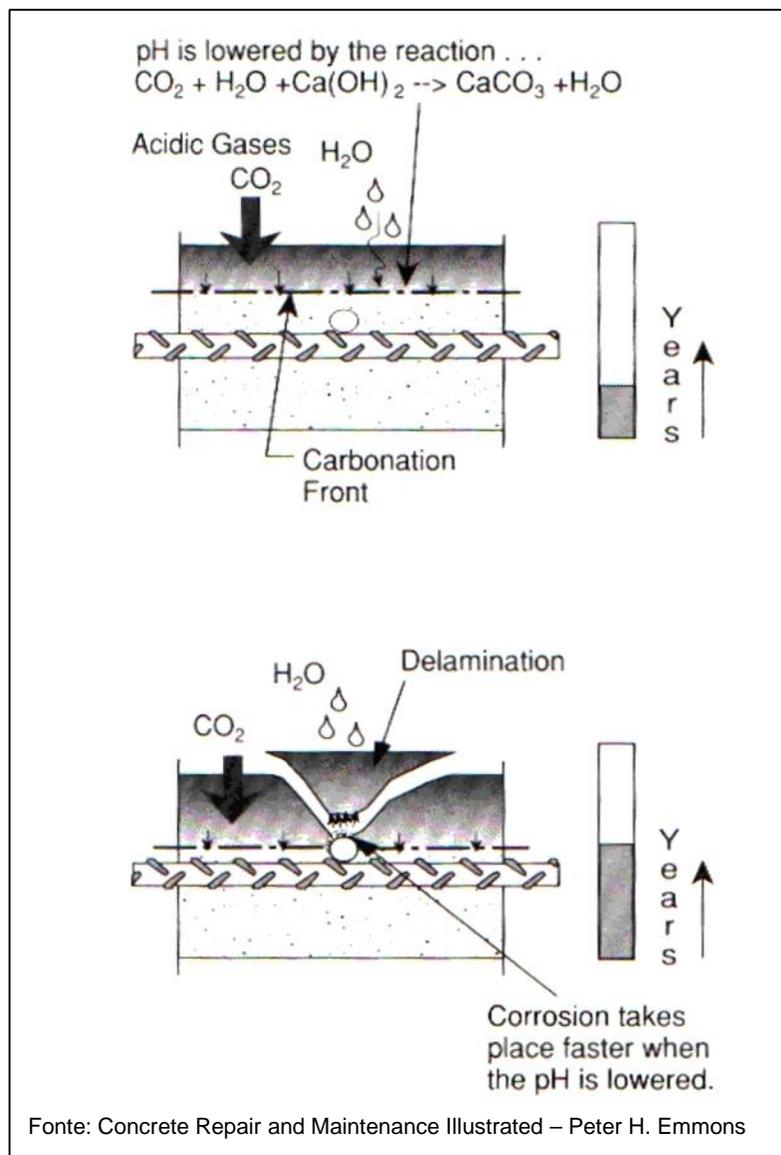


m) Carbonatação

A reação do dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera com os componentes alcalinos do concreto, como o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, reduzem o pH do concreto e que dá lugar à aparição da frente de carbonatação, visível com o ensaio de fenofaleína.

A velocidade de carbonatação está associada à porosidade do concreto, a umidade do concreto, à temperatura e a umidade relativa do ar. No concreto seco, o CO_2 não pode reagir. No concreto saturado, sua penetração é muito lenta. No concreto com os poros parcialmente cheios de água (50% a 80%), é quando se dá a maior velocidade de carbonatação.

Uma vez que o concreto está carbonatado na região das armaduras, a despassivação da armadura ocorre, dando lugar à corrosão da mesma.



n) Álcali-sílica

Alguns agregados contêm sílica ativa, que reagem com os álcalis contidos no cimento, formando um gel álcali-sílica. No caso de ter suficiente água, esta reação pode provocar uma expansão destrutiva. O processo se inicia com pequenas fissuras irregulares geradas pela tensão expansiva da reação.

**o) Lixiviação por águas puras**

As águas puras, livres ou com pouco conteúdo de sais, como as de condensação industrial, degelo glacial, neve, chuva, algumas pantanosas ou de grandes profundidades atacam o concreto, dissolvendo o cálcio e outros sais como os aluminatos, silicatos e ferritos hidratados, diminuindo rapidamente a alcalinidade do concreto.

p) Íons despassivantes

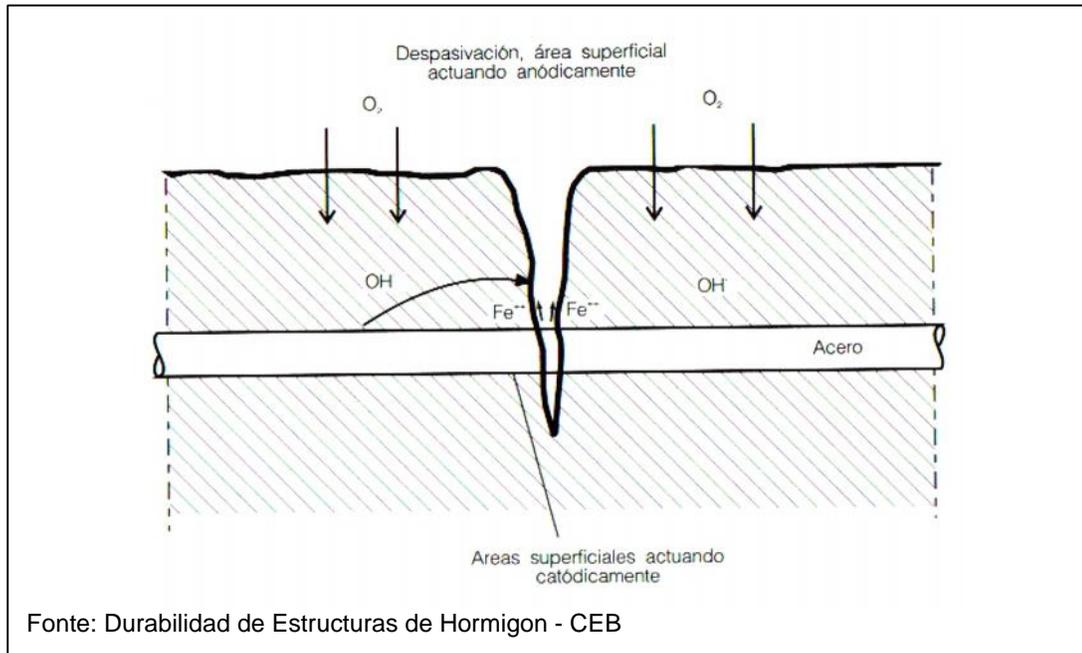
As discontinuidades do concreto causadas por ninhos ou falhas nas regiões das armaduras, submetidas à umidade, acarretam na corrosão das armaduras, que estão desprotegidas e sem capa passivadora.

q) Fissuras

As fissuras transversais ou ao longo das armaduras são em princípio um caminho rápido para a chegada dos agentes agressivos.

A incidência e velocidade de corrosão das armaduras em zonas fissuradas estão relacionadas a:

- Agressividade do meio ambiente
- Qualidade do concreto
- Cobrimento da armadura
- Abertura da fissura



5. Trincas e fissuras

5. Trincas e fissuras

5.1 Causas da fissuração

A fissuração ocorre sempre que a deformação à tração a que o concreto está submetido excede sua própria resistência. A capacidade de deformação à tração do concreto varia com a idade e velocidade de aplicação da deformação.

Há vários mecanismos básicos que podem originar deformações no concreto:

a) Movimentos gerados no interior do concreto

Normalmente estes efeitos só causam tensões se o movimento do concreto são restringidos. Estas restrições podem ser locais (ex: armaduras) ou gerais (vínculos da estrutura) Exemplos: retração de secagem, expansão ou contração térmica, deformação plástica, etc.

b) Expansão de materiais no interior do concreto

É o caso da corrosão das armaduras, que se expandem. Gerando tração no concreto.

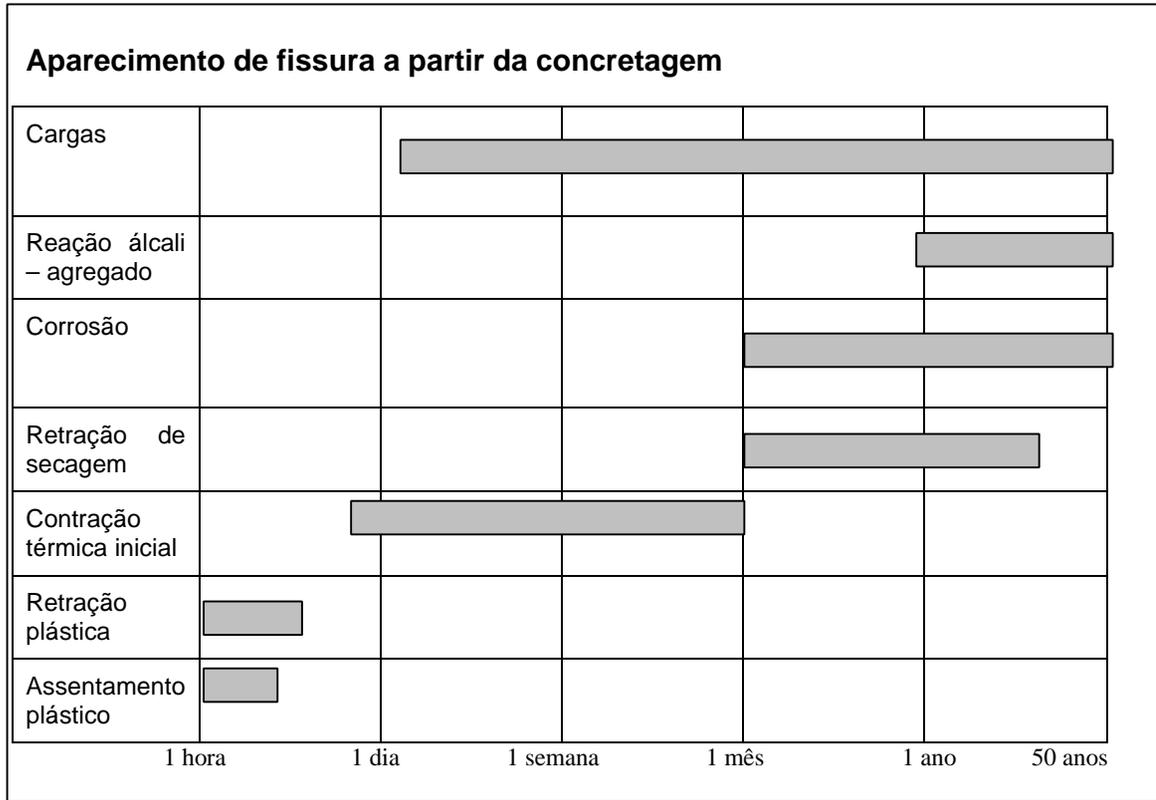
c) Condições externas impostas

Acarretadas da ação de cargas ou deformações impostas pela própria estrutura, como por exemplo: recalques diferenciais.

Na figura abaixo, se resumem as possíveis causas da fissuração.

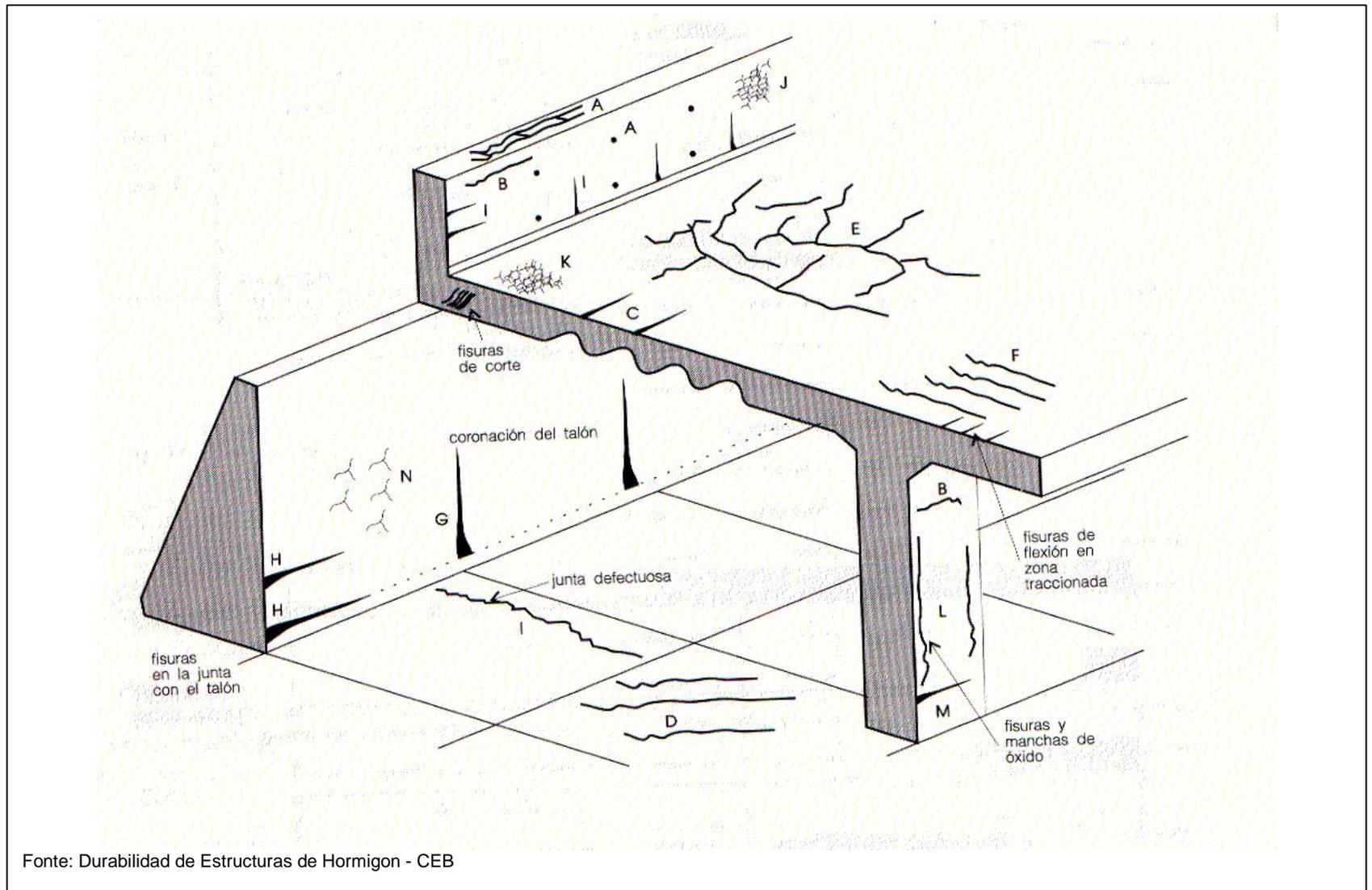
		Resfriamento precoce
Antes do endurecimento	Plásticas	Retração plástica Assentamento plástico
	Movimento durante a execução	Movimento do concreto fresco Movimento da sub base
Depois do Endurecimento	Físicas	Areias com retração Retração de secagem Perda De água
	Químicas	Corrosão do aço Reação álcali - agregado Carbonatação do cimento
	Térmicas	Gelo x degelo Variações térmicas Contração térmica precoce
	Estruturais	Sobrecarga Fluência Cargas de cálculo

Na figura abaixo, se resumem algumas indicações sobre a idade em que podem aparecer fissuras originárias por alguma das causas.



Tipo de fissura	Posição na figura	Sub divisão	Local mais usual	Causa primária	Causa Secundária	Soluções	Idade da aparição	Ver detalhe
Assentamento Plástico	A	Sobre a armadura	Bordas	Exudação do concreto	Secagem rápida do concreto	Reduzir exudação (incorporar ar) revibrar	De 10 minutos a 3 horas	3.1
	B	Arco	Parte superior dos pilares					
	C	Mudança de espessura	Lajes aligeradas					
Retração plástica	D	Diagonal	Pavimentos e placas	Secagem rápida	Baixa velocidade de exudação	Melhorar cura nas primeiras horas	De 30 minutos a 3 horas	3.1
	E	Aleatória	Lajes					
	F	Sobre a armadura	Lajes					
Origem térmica	G	Coesão externa	Muro espesso	Excesso de calor de hidratação	Esfriamento rápido	Reduzir calor ou isolar	1 dia a 4 semanas	3.1 anexo 1
	H	Coesão interna	Placas espessas	Altos gradientes de temperatura				
Retração de longo prazo	I		Placas delgadas e muros	Juntas ineficazes	Retração excessiva Cura ineficaz	Reduzir fator água / cimento Melhorar cura	Várias semanas ou meses	3.1
Acabamento	J		Concreto aparente	Fôrma impermeável	Misturas ricas Cura pobre	Melhorar a cura e o acabamento	1 a 7 dias ou Muito mais tarde	3.1
	K		Placas	Excesso de alisamento				
Corrosão de armadura	L	Natural	Suporte e vigas	Falta de cobertura da armadura	Qualidade do concreto	Eliminar causas	Mais de 2 anos	6.2
	M	Cloreto de cálcio	Concreto	Excesso de cloreto				
Reação álcali agregado	N		Locais úmidos	Agregados reativos + cimento com alto teor de álcalis		Eliminar causas	Mais de 5 anos	4.4

Classificação de fissuras intrínsecas (Concrete Society) Informe Técnico n. 22 do Concrete Society "Fissuras Estruturais do Concreto"



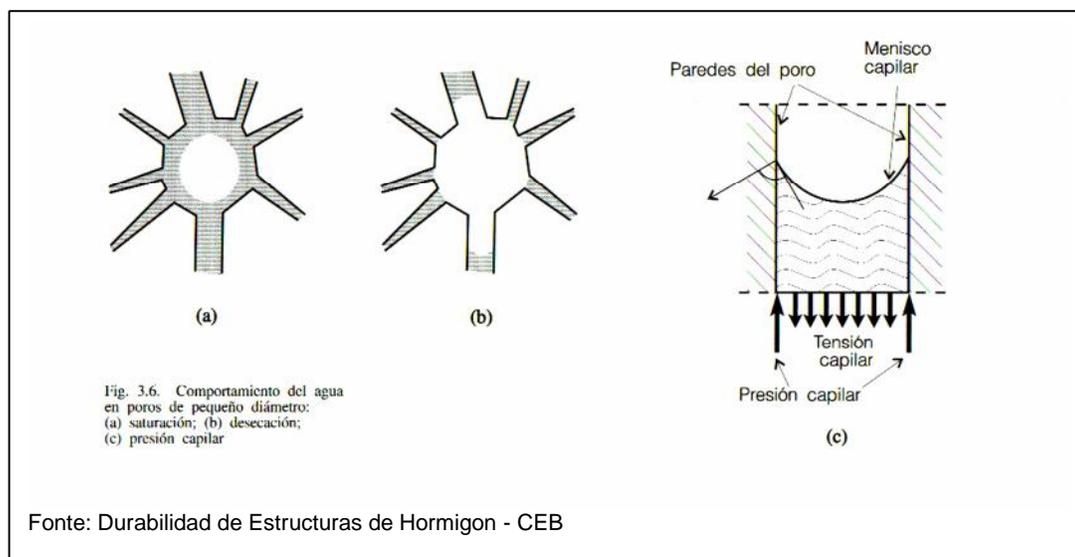
O concreto “jovem” é particularmente propício a fissurar, conforme figura abaixo. Dentro da fase de transição entre concreto fresco e concreto endurecido “jovem”, é um período crítico, que começa poucas horas depois da concretagem (cerca de 2 a 16 horas), já em que neste período as resistências à tração e a deformabilidade do concreto são muito baixas.

5.2 Tipos de fissuras

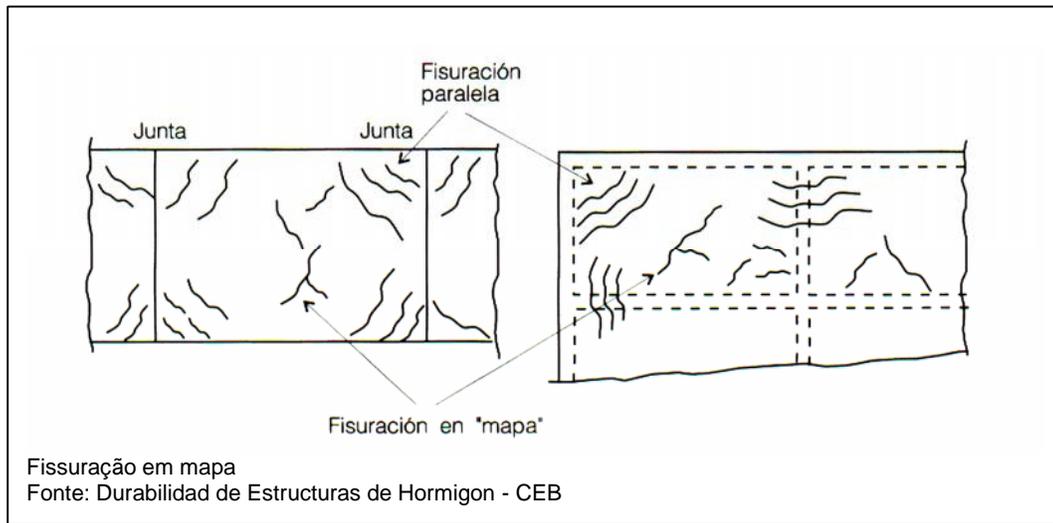
5.2.1. Fissuração por retração plástica e por assentamento plástico

Há 2 tipos de fissuração plástica: por retração plástica, a qual habitualmente ocorre em lajes e por assentamento plástico que pode ocorrer nas bordas das peças de concreto.

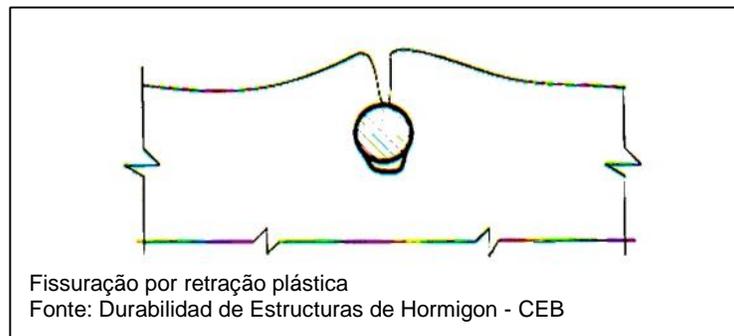
A fissuração por retração plástica é característica de concreto fresco, causado pela tensão capilar da água nos poros do concreto. Ocorrem nas primeiras 2 a 4 horas depois da mistura do concreto, pouco depois do desaparecimento do brilho da pasta úmida. Sua causa ocorre quando a perda d'água por evaporação supera a quantidade de água de exudação, ativando forças capilares na água dos poros.



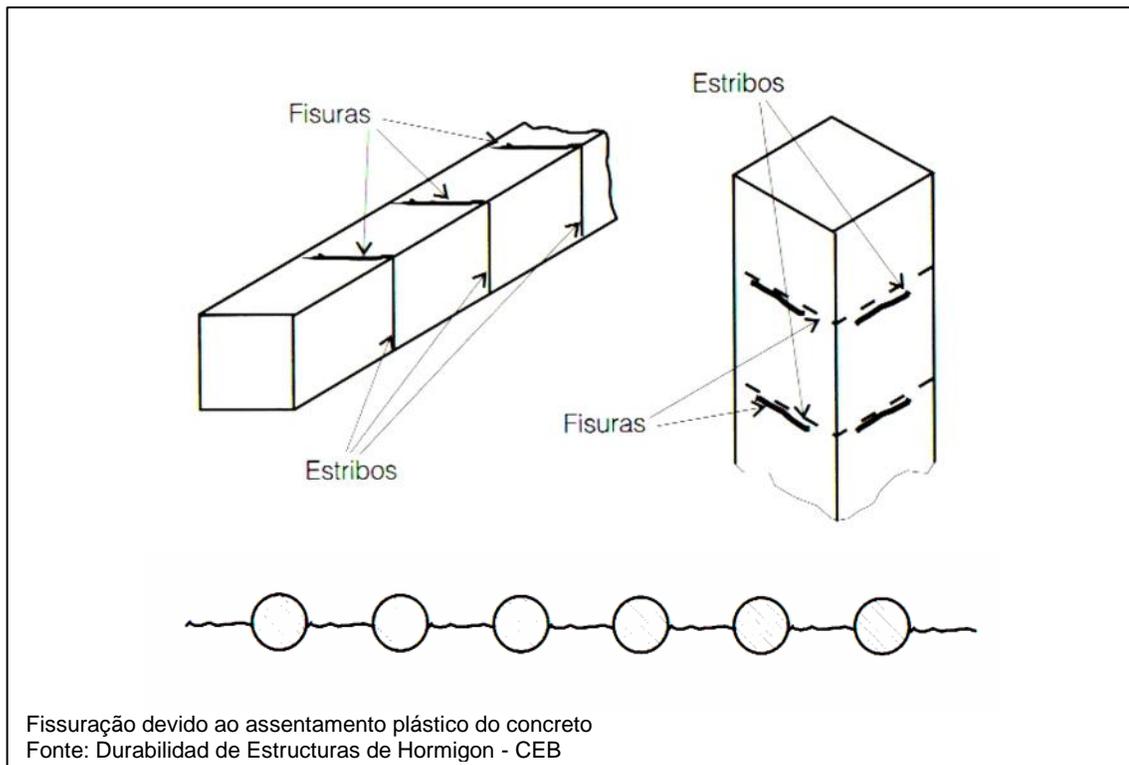
Ocorrem nas zonas próximas a superfícies horizontais. São paralelas entre si, distanciadas entre 0,20 a 1 metro, formando ângulos aproximados de 45° com as quinas.



Outra ocorrência de fissuração por retração plástica ocorre ao longo das armaduras, devido a exudação da água e perda de volume do concreto.



Merece atenção especial a fissuração horizontal por assentamento plástico, que pode ocorrer quando há pouca separação entre as armaduras. Estas fissuras causam delaminação do cobrimento de concreto sobre as armaduras. Quando coincide com outros mecanismos de deterioração, como ciclo gelo / degelo ou corrosão das armaduras, corre-se o risco de desprendimento repentino e imprevisto da maior parte do cobrimento do concreto e conseqüente risco de ruptura estrutural.

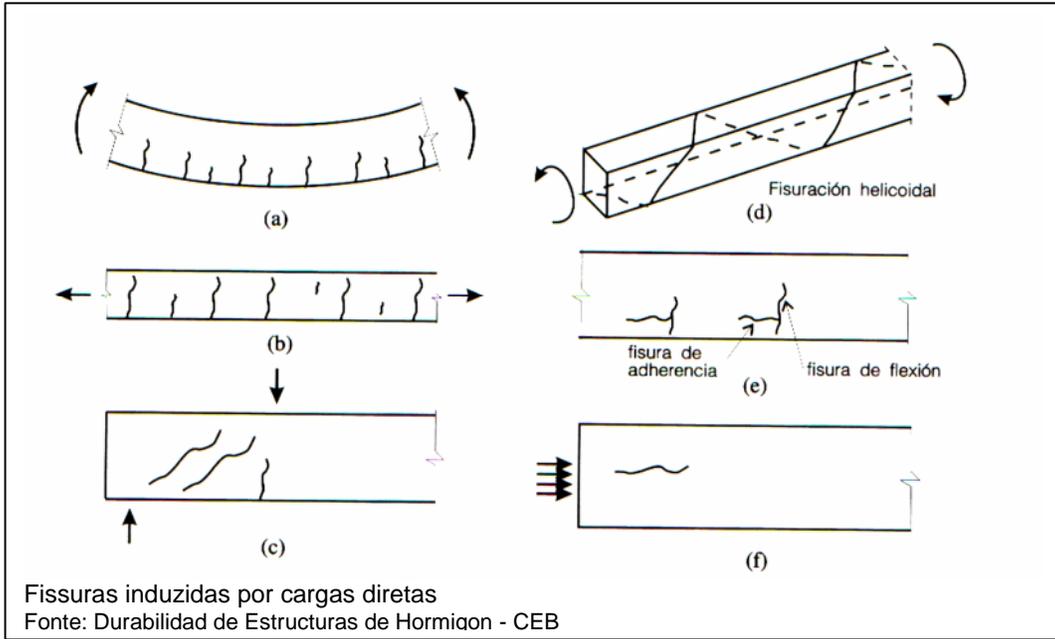


5.2.2 Fissuração por cargas diretas

São causadas por esforços produzidos por cargas aplicadas (flexão, cortante, torção, etc.).

Devem se destacar os seguintes pontos:

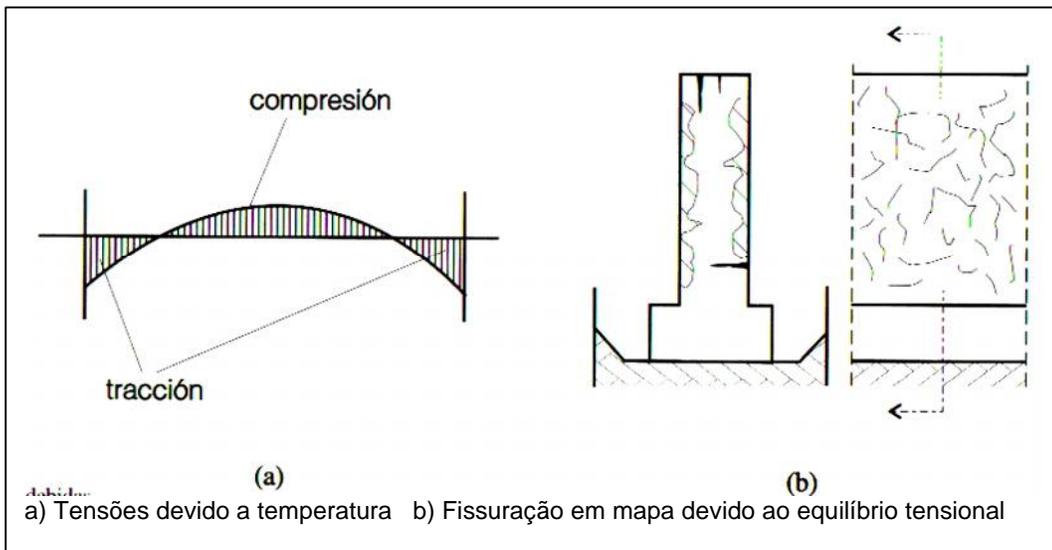
- Quando a fissura ocorre mais ou menos paralelamente à direção esperada da tensão principal de tração, é provável que sejam fissuras pequenas (menor que 0,5mm) devido às cargas de serviço, normalmente quando a armadura atua no limite de escoamento.
- Enquanto nos ensaios de laboratório pode-se obter um grande número de fissuras com pouca separação entre si, na prática isto não deve ocorrer, pois as cargas de serviço reais raramente são bastante elevadas para gerar um grande número de fissuras.
- Quando as larguras das fissuras devido às cargas são grandes, indica quase sempre que tenha sido incorreto o cálculo estrutural, posicionamento das armaduras ou o cálculo das cargas atuantes.



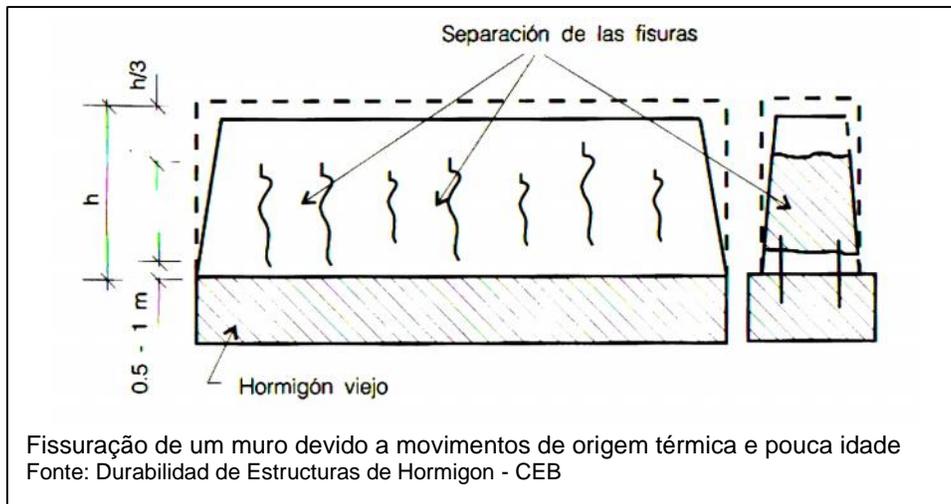
5.2.3 Fissuração causada por deformações impostas

São causados por deformações impostas, como variação térmica, recalques, etc. Sua característica comum é que as tensões e conseqüente fissuração aparecem onde a estrutura ou elementos da mesma se opõe aos movimentos impostos. Quanto maior é a coesão das estruturas, mais elevadas serão as tensões e mais largas e profundas serão as fissuras.

As diferenças térmicas são causas frequentes deste tipo de fissuração. Também podem ocorrer devido ao resfriamento rápido do concreto de grandes volumes, devido ao elevado calor de hidratação do cimento.



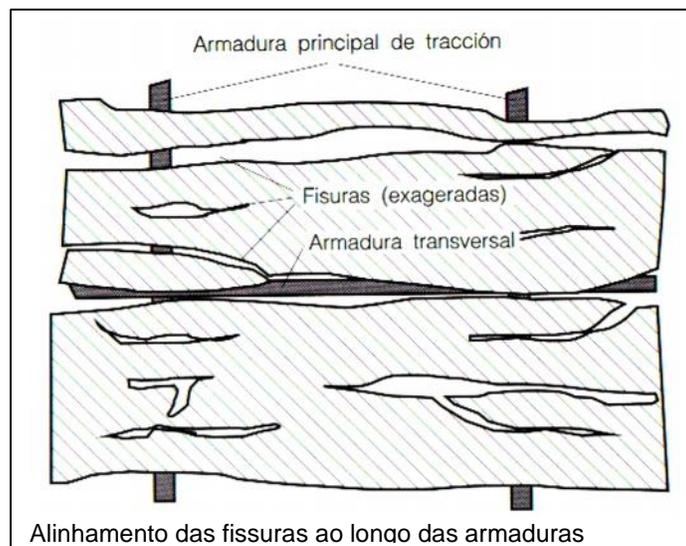
Estas fissuras são sempre superficiais, de poucos mm ou cm de profundidade, tipo “fissuração de mapa”. Tendem a não serem visíveis quando da redução da temperatura, sendo no entanto visíveis quando se umedece a superfície do concreto.



5.2.4 Fissuras alinhadas com as armaduras

A importância da fissuração em relação à durabilidade e capacidade de resposta durante a vida útil da estrutura, dependem fundamentalmente da fissura seguir ou não longitudinalmente a direção das armaduras. São especialmente importantes devido à corrosão das armaduras, aderência das armaduras e resistências frente aos esforços cortantes com o desenvolvimento da fissura longitudinal.

As fissuras causadas por esforços de tração ou flexão derivados das cargas diretas, ou por deformações impostas, costumam ser perpendiculares às armaduras principais. No entanto, a existência de armaduras transversais às principais, podem fazer com que as fissuras se alinhem com estas últimas.



As fissuras plásticas podem ocasionalmente alinhar-se com as armaduras. As fissuras por assentamento plástico são normalmente na direção das armaduras.

O risco de ocorrência de fissuração ao longo das armaduras é alto, em particular para as armaduras transversais e, especialmente, nos casos que se tem um recobrimento de concreto menor nas armaduras secundárias do que nas principais, tal como nos estribos de vigas.

5.3 Causas principais de fissuração

5.3.1 Geometria da estrutura

Mudanças bruscas de geometria provocam assentamentos plásticos que conduzem à fissuração ou induzem contrações locais de tensões. Exemplos: lajes nervuradas e alveolares.

O número das fissuras e suas dimensões dependem do grau de coesão estrutural. Tanto interna como externa. A coesão interna, por exemplo, entre partes finas e grossas de uma mesma seção, ou entre o interior e a superfície de uma seção, vem influir nas diferenças de temperaturas produzidas durante as primeiras fases de endurecimento do concreto, durante o uso e pela disposição das armaduras.

5.3.2 Disposição das armaduras

A armadura pode ocasionar o início da fissuração, seja por transmitir cargas concentradas no concreto, seja por originar uma influência desfavorável sobre a colocação em obra e o assentamento do concreto

Podem ocorrer em regiões com cargas concentradas em regiões de pequeno raio, nos pontos de corte das armaduras, em rebaixos, em regiões de elevada tensão de aderência, nos pontos de ancoragem de protensão, etc.

O posicionamento das armaduras é fator decisivo para assegurar uma boa compactação do concreto, tanto no seu recobrimento quanto na separação das mesmas, especialmente em zonas fortemente armadas, como nas proximidades dos pilares e fundações e nos cruzamentos de vigas, pilares e lajes.

5.3.3 Composição do concreto

A dosagem do concreto influi principalmente sobre as fissuras causadas por deformações plásticas e assentamento plástico, fenômenos que dependem da exudação do concreto.

A seleção cuidadosa da granulometria dos agregados, a utilização de aditivos plastificantes reduzem a ocorrência de fissuração por assentamento plástico.

5.3.4 Execução e cura do concreto

A qualidade de mão de obra associada ao processo de execução tem uma influência decisiva sobre a homogeneidade e uniformidade do concreto moldado em obra, assim como do correto posicionamento das armaduras. A espessura do cobrimento das armaduras, assim como a qualidade do concreto, a baixa permeabilidade, são parâmetros básicos a respeito da resistência da estrutura frente à agressividade do meio ambiente.

A fissuração que surge durante o processo de concretagem e do período inicial do endurecimento do concreto pode ser a principal causa de uma posterior aceleração dos processos de deterioração, quando estes dependem da água e outras substâncias agressivas (CO₂, ácidos, sulfatos, etc.) que penetram ao interior do concreto a partir da superfície do mesmo.

5.3.5 Gelo e degelo

Quando a água se congela no interior dos poros dos materiais de construção, apresenta um crescimento volumétrico de 9%. Havendo saturação dos poros do concreto, e não havendo espaço para a expansão do congelamento, podem surgir tensões que causam a fissuração do concreto.

O descongelamento do concreto pode provocar uma importante queda de temperatura superficial do concreto (salto térmico). A diferença de temperatura entre a parte interna e externa do concreto dão lugar a um estado de tensões internas capazes de produzir fissuras nas camadas superficiais do concreto.

Os agregados mais permeáveis absorvem a água e se expandem durante o congelamento e destroem a pasta de cimento endurecido. Os sintomas típicos de tais processos são os desprendimentos locais a partir das partículas de maior tamanho.

A utilização de aditivo incorporador de ar podem melhorar a resistência do concreto frente ao ciclo gelo / degelo. Outros parâmetros importantes são a relação água/cimento e o teor de cimento.

6. Impermeabilidade das construções

6. Impermeabilidade das construções

6.1. Introdução

A impermeabilização na construção civil tem como objetivo impedir a passagem indesejável de água, fluído e vapores, podendo contê-los ou dirigi-los para o local que se deseja.

A importância da impermeabilização, além de permitir a habitabilidade e funcionalidade da construção civil, é relevada no objetivo de proteger a edificação de inúmeros problemas patológicos que poderão surgir com infiltração de água, integradas ao oxigênio e outros componentes agressivos da atmosfera (gases poluentes, chuva ácida, ozônio), já que uma grande quantidade de materiais constituintes da construção civil sofre um processo de deterioração e degradação, quando em presença dos meios agressivos da atmosfera.

Têm-se verificado com frequência que a impermeabilização não é analisada com a devida importância por parte de alguns engenheiros, construtores, arquitetos, projetistas e impermeabilizadores. Como consequência, a infiltração de água acarreta uma série de consequências patológicas como corrosão de armaduras, eflorescência, degradação do concreto e argamassa, empolamento e bolhas em tintas, curtos circuitos etc., gerando altos custos de manutenção e recuperação.

Para se ter uma idéia do montante dos gastos de recuperação e manutenção de obras, existem estimativas que superam 2,5% do PIB, algo em torno de US\$ 12 bilhões de dólares anuais. Em muitos casos a origem é devido à ausência ou inadequada impermeabilização.

O custo de uma impermeabilização na construção civil é estimado em 1% a 3% do custo total de uma obra. No entanto, a não funcionalidade da mesma poderá gerar custos de re-impermeabilização que superam 5% a 10% do custo da obra, já que muitas vezes as re-impermeabilizações envolvem quebras de piso cerâmico, granito, argamassas etc., sem levar em consideração custos de problemas patológicos mais importantes e outros transtornos ocasionados, como depreciação de valor patrimonial, manchas em veículos e utensílios, utilização normal da área impermeabilizada, etc.

Portanto, é de suma importância o estudo adequado da impermeabilização de forma a utilizarmos todos os recursos técnicos disponíveis para executá-la da melhor forma possível.

6.2. Tecnologia da Impermeabilização

O desempenho adequado da impermeabilização é obtido com a interação de vários componentes, diretamente relacionados entre si, pois a falha de um deles pode prejudicar o desempenho e a durabilidade da impermeabilização. Os principais componentes são:

a) Projeto de impermeabilização

O projeto de impermeabilização deve fazer parte integrante dos projetos de uma edificação, como hidráulica, elétrica, cálculo estrutural, arquitetura, paisagismo, fôrmas etc., pois a impermeabilização necessita ser estudada e compatibilizada com todos os componentes de uma construção, de forma a não sofrer nem ocasionar interferências.

O projeto de impermeabilização tem como função elaborar, analisar, planificar, detalhar, discriminar e adotar todas as metodologias objetivando o bom comportamento da impermeabilização, compatibilizando os possíveis sistemas impermeabilizantes a serem adotados com a concepção da edificação.

Uma grande parte dos insucessos de uma impermeabilização podem ser atribuídas à ausência ou erros na elaboração de um projeto de impermeabilização.

Por muitas vezes uma obra é iniciada, utilizando um conjunto de projetos construtivos incompletos. Chegada à etapa da impermeabilização, percebe-se uma série de interferências que dificultam a sua execução, tais como: tubulações passando rente às lajes e paredes, cotas finais que impedem a execução de caimentos, ralos de diâmetro reduzido, falta de altura adequada para arremates dos rodapés, caixilhos montados impedindo arremates adequados, execução de enchimentos, etc. Nestes casos, para um bom desempenho e segurança da impermeabilização, são necessários demolições, abertura de rasgos em alvenarias, retirada de caixilhos, etc., que acabam por aumentar o custo da construção. As adaptações que muitas vezes o aplicador é levado a fazer, acabam por acarretar problemas a médio ou longo prazo.

Outras vezes, encontra-se especificação de sistemas de impermeabilização inadequados, que não vão atender às necessidades de desempenho exigidas pela obra. Simplesmente é aberto um catálogo de fabricante e especifica-se qualquer material, sem analisar suas propriedades e performance. Também é comum a especificação dirigida por um fabricante ou aplicador de impermeabilização, que, embora na maioria das vezes tenham experiência, em alguns casos objetivam unicamente a finalidade comercial. No entanto, existem fabricantes sérios que produzem produtos de qualidade, que possuem software técnico, que são de grande auxílio no assessoramento para a execução de um bom projeto.

Deve-se sempre lembrar que para a execução de um bom projeto, é necessário boa experiência ou assessoramento por profissional competente.

O projeto de impermeabilização, obviamente deve indicar as regiões que necessitem de estanqueidade a percolação de fluidos, bem como indicar os sistemas mais apropriados para garantir a impermeabilidade.

O projeto deve ser elaborado por especialista em impermeabilização, que deverá colher informações básicas e contatos com os demais projetistas, como o arquiteto, o calculista, paisagista, projetista elétrico e hidráulico, etc., já que as modificações que porventura vierem a ser necessárias, logicamente necessitam ser discutidas e transmitidas a todos os planejadores, de forma a possibilitar a compatibilização de todos os projetos.

Ao se iniciar um projeto, deve-se efetuar a análise dos projetos básicos da obra,

procurando evidenciar as áreas que necessitam de impermeabilização. Neste ponto, inicia-se um estudo preliminar dos sistemas adequados para a execução da impermeabilização. Elabora-se a seguir o anteprojeto, avaliando mais detidamente as interferências que haverão de surgir com os detalhes de acabamento, instalações elétricas, hidráulicas, equipamentos, etc., finalizando o estudo com a elaboração do projeto definitivo.

O Procedimento para elaboração de projetos de impermeabilização é previsto na Norma da ABNT - NBR 9575.

b) Qualidade de materiais e sistema de impermeabilização

Materiais impermeabilizantes são basicamente produtos com propriedades de impedir a passagem d'água ou fluídos, sob forma líquida ou vapor.

Existem umas séries de produtos que atendem a esta definição básica e simples. No entanto, ao escolhermos um material impermeabilizante e o sistema por ele formado para se impermeabilizar uma edificação, deve-se levar em conta uma série de propriedades e requisitos relativos ao seu comportamento frente às condições impostas pela área a ser impermeabilizada.

Existem no Brasil diversos produtos impermeabilizantes, de qualidade e desempenho variáveis, de diversas origens e métodos de aplicação, normalizados ou não, que deverão ter suas características profundamente estudadas para se escolher um adequado sistema de impermeabilização.

Como exemplo, existem produtos cancerígenos utilizados em impermeabilização de reservatórios, produtos que sofrem degradação química do meio a que estão expostos, produtos de baixa resistência à água, baixa resistência a cargas atuantes, não suportam baixas ou altas temperaturas, dificuldade ou impossibilidade de aplicação em determinados locais ou situações, baixa resistência mecânica, a fadiga, durabilidade, etc.

Deve-se sempre procurar conhecer todos os parâmetros técnicos e esforços mecânicos envolvidos para a escolha adequada do sistema impermeabilizante.

A complexidade na escolha dos sistemas impermeabilizantes para uma determinada necessidade está diretamente relacionado ao conhecimento das propriedades dos impermeabilizantes e das exigências e condições específicas da local que se deseja impermeabilizar. Portanto, quanto mais se conhece das propriedades dos sistemas impermeabilizantes e do local que se deseja impermeabilizar, mais acertadas será a escolha. Assim sendo, é descrita abaixo algumas características dos principais materiais impermeabilizantes utilizados no Brasil.

Existem diversas normas NBR 9689 que orientam a escolha de sistemas de impermeabilização.

c) Qualidade da execução da impermeabilização

Por melhor que seja o material ou o sistema de impermeabilização, de nada adianta se o mesmo é aplicado por pessoa ou empresa não habilitada na execução da impermeabilização.

Deve-se sempre recorrer a equipes especializadas na aplicação dos materiais impermeabilizantes. A mesma deverá ter conhecimento do projeto de impermeabilização; ser recomendado pelo fabricante do material; que possua equipe técnica e suporte financeiro compatível com o porte da obra; que ofereça garantia dos serviços executados etc.

d) Qualidade da construção da edificação

A impermeabilização deve sempre ser executada sobre um substrato adequado, de forma a não sofrer interferências que comprometam seu desempenho, tais como: regularização mal executada, fissuração do substrato, utilização de materiais inadequados na área impermeabilizada, (como tijolos furados, enchimentos com entulho, passagem inadequada de tubulações elétricas e hidráulicas), falhas de concretagem, baixo cobrimento de armadura, sujeira, resíduos de desmoldantes, ralos e tubulações mal chumbados, detalhes construtivos que dificultam a impermeabilização etc.

Quando a impermeabilização é aplicada num substrato inadequado, a mesma acaba por sofrer as consequências destes defeitos, que ao longo do tempo certamente acarretarão patologias construtivas.

e) Fiscalização

O rigoroso controle da execução da impermeabilização é fundamental para seu desempenho, devendo esta fiscalização ser feita não somente pela empresa aplicadora mas também, pelo engenheiro responsável pela obra, pelo projetista ou entidade fiscalizadora designada para a finalidade.

Deve-se sempre obedecer ao detalhamento do projeto de impermeabilização e estudar os possíveis problemas durante o transcorrer da obra, verificando se a preparação da estrutura para receber a impermeabilização está sendo bem executada, se o material aplicado está dentro das especificações no que tange a qualidade, características técnicas, espessura, consumo, tempo de secagem, sobreposição, arremates, testes de estanqueidade, método de aplicação, proteções, etc.

f) Preservação da Impermeabilização

Deve-se impedir que a impermeabilização aplicada seja danificada por terceiros, ainda que involuntariamente, por ocasião da colocação de pregos, luminárias, pára-raios, antenas coletivas, playground, equipamentos, pisos e revestimentos etc.

Considerar a possibilidade de ocorrência destes fatos quando da execução do projeto. Caso isto não seja possível, providenciar a compatibilização em época oportuna, evitando adotar as soluções paliativas.

Deve-se também comunicar ao usuário da edificação dos cuidados em preservar a impermeabilização, evitando danos provocados por manutenção de jardim, desentupimento de ralos, reparos hidráulicos, reformas, chumbamento de equipamentos, antenas, etc. Assim sendo, incluir na documentação a ser entregue para o proprietário da obra um capítulo sobre os cuidados com a impermeabilização.

Existem uma série de produtos que atendem a esta definição básica e simples. No entanto, ao escolhermos um material impermeabilizante e o sistema por ele formado para se impermeabilizar uma edificação, deve-se levar em conta uma série de propriedades e requisitos relativos ao seu comportamento frente às condições impostas pela área a ser impermeabilizada, como por exemplo:

- a) impermeabilidade
- água em forma líquida
 - água sob forma de vapor
 - resistência a pressão hidrostática
 - absorção d'água
- b) resistência
- tração
 - compressão
 - alongamento
 - deformação residual
 - aderência ao suporte
 - fadiga
 - funcionamento estático
 - funcionamento dinâmico
 - rasgamento
 - grau e tipo de fissuração da estrutura
 - degradação a agentes químicos
 - abrasão
- c) térmica
- altas temperaturas
 - baixas temperaturas
 - ciclos térmicos
 - estabilidade térmica dimensional
 - flexibilidade a baixas temperaturas
- d) flexibilidade
- flexível
 - semiflexível
 - rígido
 - grau de flexibilização
 - deformabilidade
 - elasticidade/plasticidade
- e) método de aplicação
- pré-fabricado
 - moldado in loco
 - aplicação a quente
 - aplicação a frio
 - base água ou solventes
- f) proteção
- auto protegido
 - requer proteção
 - resistente ao intemperismo
 - proteção térmica

- g) substrato
- aderido ao
 - não aderido ao
 - requer berço amortecedor
 - presença de umidade no
 - resistência do
 - rugosidade do
 - composição do
- h) formas do substrato
- baixa inclinação
 - alta inclinação
 - planas/ abobadadas/ cilíndricas/ esféricas/ côncavas/ complexas
- i) durabilidade
- estabilidade ao longo do tempo
 - vida útil
 - necessidade de conservação periódica
- j) outras considerações
- grau de especialização na aplicação
 - exequibilidade
 - custo
 - rapidez na aplicação
 - fatores de risco e exigências de segurança
 - armazenamento
 - normalização na ABNT
 - exigências de EPI
 - toxicidade
 - restrições de utilização

A complexidade na escolha de um sistema impermeabilizantes para uma determinada necessidade está diretamente relacionado ao conhecimento das propriedades dos impermeabilizantes e das exigências e condições específicas da local que se deseja impermeabilizar. Portanto, quanto mais se conhece das propriedades dos sistemas impermeabilizantes e do local que se deseja impermeabilizar, mais acertada será a escolha. Assim sendo, são descritas abaixo algumas características dos principais materiais impermeabilizantes utilizados no Brasil.

A norma NBR 9689 editada em dezembro de 1986 dá uma descrição e classificação sucinta dos materiais e sistemas de impermeabilização.

7. Eflorescências

7. Eflorescências

7.1 Introdução

A eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície das alvenarias, concretos ou argamassas, etc., como resultado da sua exposição à água de infiltrações ou intempéries.

É considerado um dano, por alterar a aparência do elemento onde se deposita. Há casos em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. A modificação no aspecto visual é intensa onde há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre os quais se deposita, por exemplo, a formação branca do carbonato de cálcio sobre tijolo vermelho.

Quimicamente a eflorescência é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água de chuva ou do solo estes sais são dissolvidos e migram para a superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos.

7.2 Tipos de eflorescência

Na tabela abaixo, são indicados os sais mais comuns em eflorescências, sua solubilidade em água, bem como a fonte provável para seu aparecimento.

Composição química	Solubilidade em água	Fonte provável
carbonato de cálcio	pouco solúvel	⇒ carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento ⇒ cal não carbonatada
carbonato de magnésio	pouco solúvel	⇒ carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento ⇒ cal não carbonatada
carbonato de potássio	muito solúvel	⇒ carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
carbonato de sódio	muito solúvel	⇒ carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
hidróxido de cálcio	Solúvel	⇒ cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de cálcio desidratado	Parcialmente solúvel	⇒ hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
sulfato de magnésio	Solúvel	⇒ tijolo ⇒ água de amassamento
sulfato de cálcio	Parcialmente solúvel	⇒ tijolo ⇒ água de amassamento
sulfato de potássio	muito solúvel	⇒ tijolo ⇒ água de amassamento ⇒ cimento
sulfato de sódio	muito solúvel	⇒ tijolo ⇒ água de amassamento ⇒ cimento
cloreto de cálcio	muito solúvel	⇒ água de amassamento
cloreto de magnésio	muito solúvel	⇒ água de amassamento
Nitrato de magnésio	muito solúvel	⇒ solo adubado ou contaminado
Nitrato de sódio	muito solúvel	⇒ solo adubado ou contaminado
Nitrato de amônio	muito solúvel	⇒ solo adubado ou contaminado

Fonte: Roberto Bauer

Fatores que contribuem para a formação de eflorescências:

Devem agir em conjunto:

- teor de sais solúveis
- pressão hidrostática para proporcionar a migração para a superfície
- presença de água

Fatores externos que contribuem:

- quantidade de água
- tempo de contato
- elevação da temperatura
- porosidade dos componentes

Nota importante:

É frequente a ocorrência de eflorescências em revestimentos de pedras ou cerâmicas porosas ou no rejuntamento de revestimentos pouco ou não porosos de pisos e paredes em contato com água de chuva, molhagem ou umidade. Este fato ocorre devido ao elevado teor de hidróxidos, notadamente de cálcio, encontrados no tipo de cimento utilizado na argamassa da execução da proteção mecânica da impermeabilização e no assentamento dos próprios revestimentos. A água, ao permear pelos revestimentos e/ou seus rejuntas e trincas, dissolve os hidróxidos do cimento, tornando-se alcalina. Ao encontrar condições de aflorar por percolação ou evaporação, ocorre a formação das eflorescências.

Geralmente estas eflorescências não implicam em maiores problemas, a não ser pelo efeito estético. A ocorrência de eflorescências na interface da pintura e substrato, pode atacar os componentes das tintas e provocar seu descolamento.

Os casos mais comuns são:

- *escadas,*
- *piscinas,*
- *fachadas ou acabamentos verticais de granito, cerâmicas, pastilhas, etc.,*
- *alvenarias aparentes, com ocorrência de eflorescências também originárias de seus compostos,*
- *pisos em contato com solos úmidos,*
- *pingadeiras,*
- *arremates de caixilhos,*
- *pingadeiras,*
- *trincas nas fachadas com pinturas*

O cimento recomendado para o assentamento de revestimentos em áreas molhadas é o CP-IV, cuja atividade pozolânica consome o hidróxido de cálcio na fase de hidratação. Em algumas regiões do Brasil existe dificuldade em se encontrar o CP IV; neste caso a alternativa é utilizar o CP III, que possui baixo teor de hidróxido de cálcio.

7.2 - Argamassas de revestimento

Podem ser observadas nas edificações diversas patologias prejudiciais ao aspecto estético, como por exemplo:

- manchas de umidade, com desenvolvimento de bolor,
- eflorescências na superfície da tinta ou na interface tinta/reboco,
- pintura descolada
- pintura parcialmente ou totalmente descolada
- argamassa de revestimento descolada da alvenaria, em placas ou por desagregação completa,
- fissuras e trincas de conformações variadas,
- vesículas com descolamento da pintura,
- reboco com empolamento,

8. Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito

8. Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito

8.1. Introdução

Os revestimentos da fachada devem apresentar as propriedades para os fins a que se destinam, que é a proteção e vedação da edificação contra a ação de agentes externos agressivos, quanto ao efeito estético e de valorização patrimonial, compatíveis com a nobreza e custo elevado do material.

Os revestimentos das fachadas em muitas ocasiões não são devidamente planejados, quer pela elaboração de um projeto específico, com o detalhamento das interferências, propriedades dos materiais, normalizações pertinentes, juntas de dilatação, tolerâncias e controles, metodologia de execução, conciliação com outros elementos integrantes da fachada, bem como da execução deficiente e sem atender e respeitar as características reológicas dos materiais componentes da edificação e dos elementos constituintes da fachada. Aliado a isto, observa-se falhas devido ao controle deficiente, na seleção e recebimento de materiais, na preparação da argamassa de assentamento, na execução dos serviços de assentamento e acabamento final.

Como resultado final, obteve-se um revestimento de baixa qualidade e de desempenho insatisfatório, que leva a crer não ter condições de atender à elevada durabilidade e impermeabilidade, que é inerente a este tipo de revestimento.

A durabilidade do material de revestimento das fachadas é assegurado pelas características próprias deste material, historicamente comprovadas por diversas aplicações de conhecimento da humanidade. No entanto, a sua durabilidade como elemento principal de uma fachada está intimamente ligada a qualidade do material, sua forma de aplicação, em um conjunto de procedimentos executivos e dos componentes que vão compor o sistema. A compatibilidade de todos os elementos do sistema é fator preponderante desta durabilidade.

Conforme a Dra. Eleana Patta Flain, com mestrado em Tecnologia de Produção de Revestimentos de Fachadas de Edifícios com Placas Pétreas, referenciando trabalhos do Dr. Lucas e Dra. Selmo, o revestimento deve ser considerado inseparável de seu suporte, sendo que as funções do conjunto suporte-revestimento poderão ser exercidas com maior intensidade por uma ou outra parte. Há funções que podem ser exclusivas do suporte, como por exemplo: a estabilidade, a resistência mecânica, segurança contra o risco de intrusões humanas ou animais, e a de conforto higrotérmico. No entanto, as funções de proteção do substrato, de regularidade superficial, de higiene, de conforto tátil e de conforto visual que contribuem para a estética do acabamento final do edifício, são funções exclusivas do revestimento. São função do conjunto suporte-revestimento a estanqueidade à água e aos gases, o isolamento termo-acústico, a segurança ao fogo, a resistência aos choques e atrito e a durabilidade.

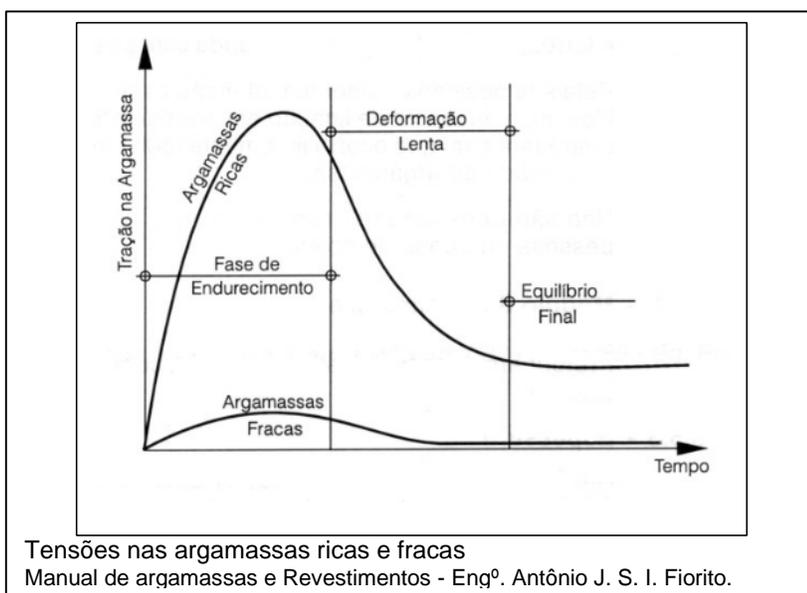
As falhas de execução de uma fachada no seu conjunto podem estar comprometidas e as consequências patológicas observadas tendem a aumentar, interferindo diretamente na durabilidade, impermeabilidade, nos riscos de quedas acidentais de placas e nos custos de manutenção.

Apresentamos abaixo as patologias mais comuns encontradas nas construções do Brasil

8.2. Descolamento de revestimentos de granito e cerâmica

O assentamento das peças de granito e de cerâmica (de elevado peso e baixa rugosidade superficial no dorso - interface de aderência), submete ao material de assentamento (argamassa de cimento e areia, argamassas colantes) altas exigências de desempenho, pois submete o elemento de aderência a altos esforços cortantes e cargas de arrancamento.

Por outro lado, as argamassas de cimento utilizadas no assentamento do revestimento têm sua resistência intimamente ligada ao teor de aglomerante, que por ser necessariamente rico para as condições impostas pelo peso do revestimento, provoca tensões de retração elevadas, cujo alívio é restringido pela aderência ao substrato e às placas de revestimento. Pela baixa deformabilidade das argamassas ricas, as tensões tendem a provocar sua fissuração e/ou seu desprendimento do substrato ou da placa de granito.



Para o alívio destas tensões, somadas a outras tensões impostas ao revestimento, à argamassa de assentamento, ao substrato de alvenaria ou concreto, à estrutura de concreto armado, às interfaces entre materiais de propriedades distintas, como variações térmicas, variação de umidade, deformações lentas, variação de cargas e esforços, deformações pela ação do vento e todas as leis da física aplicáveis ao caso, aliadas às características reológicas dos materiais, obrigatoriamente exige a criação de juntas de alívio de tensões, que em muitas ocasiões **são esquecidas pelos construtores.**

As restrições impostas pela ausência de juntas, geram esforços de magnitude extremamente elevadas, impossíveis de serem absorvidas pelos materiais integrantes da fachada, que são rígidos, levando a acarretar diversas patologias, principalmente

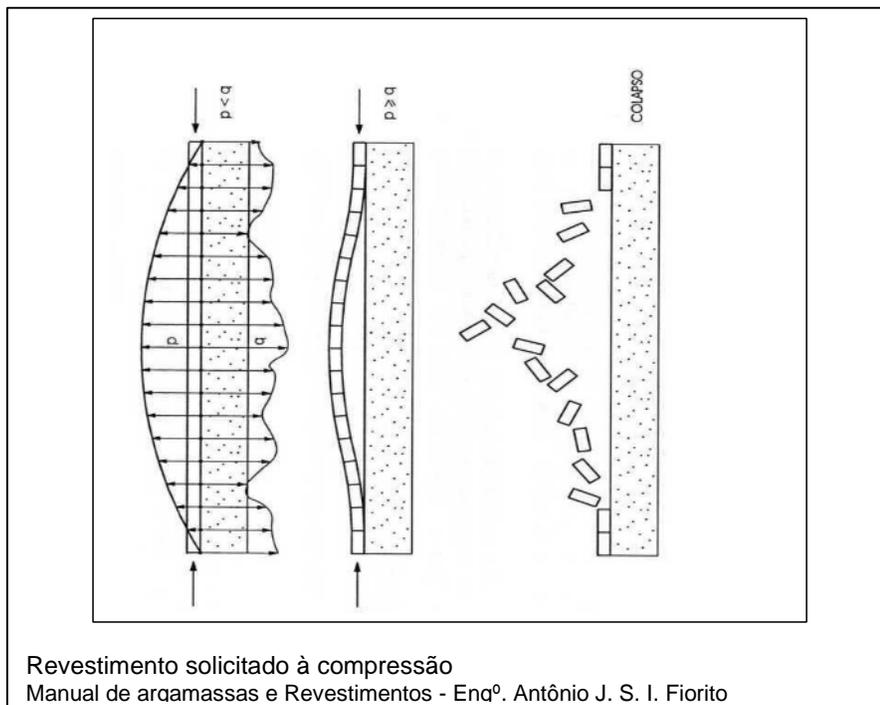
ao descolamento das placas de revestimento, cuja aderência à argamassa do substrato não é elevada. Caso a aderência das placas fosse suficientemente elevada, maior do que a resistência do revestimento de granito ou cerâmica, estes últimos é que seriam rompidos, tais as magnitudes dos esforços envolvidos.

As camadas do revestimento de granito ou cerâmica, argamassa de assentamento e o substrato, foram previstas para estarem intimamente ligadas entre si. Estando ligadas entre se, a deformação de qualquer uma delas devido a causas endógenas ou esforços externos, resultará em esforços atuando em cada camada.

Estas tensões causam deformações, como as abaixo relacionadas:

- retração da argamassa que liga os elementos das alvenarias.
- retração excessiva da argamassa de assentamento do revestimento, de traço rico, elevado fator água/cimento e em alguns casos excessivamente espessa.
- deformação lenta do concreto da estrutura.
- deformação dos pilares e vigas sobre os revestimentos verticais.
- recalque de fundações.
- deformações originárias de variação de umidade do ar atuando nas argamassas já endurecidas.
- deformações originárias por infiltração de água pelas fachadas.
- dilatação higroscópica dos revestimentos de granito e cerâmica.
- dilatação térmica por variação da temperatura.
- dilatação térmica por insolação.

A combinação destes efeitos, com maior ou menor magnitude certamente acarreta a formação de tensões permanentes e variáveis no revestimento e na sua ligação ao suporte, acabando por romper estas ligações, pela fadiga ou magnitude das tensões.



As causas citadas são complementadas forçosamente por falhas de mão de obra, pelo nível de controle tecnológico e pela fiscalização.

A inexistência de juntas de alívio de tensões no revestimento, com o assentamento das peças com junta seca (peças encostadas uma às outras), ou rejuntadas com argamassa rígida, obviamente acarretam no desprendimento das placas de revestimento da fachada.

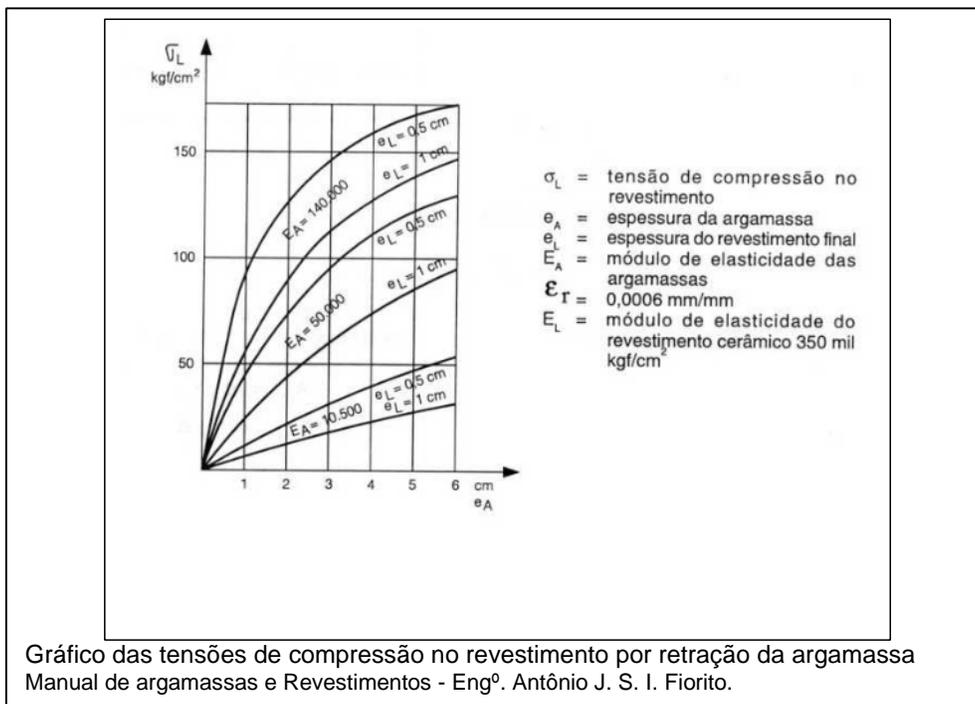
As formações das tensões iniciam quando do assentamento com a argamassa.

Ao utilizarmos uma argamassa para o assentamento de um revestimento, temos com o endurecimento da argamassa uma diminuição do volume, pela evaporação da água, como devido às reações de hidratação.

A retração por secagem de uma argamassa é da ordem de 0,00060 mm/mm, praticamente igual nos mais diversos traços.

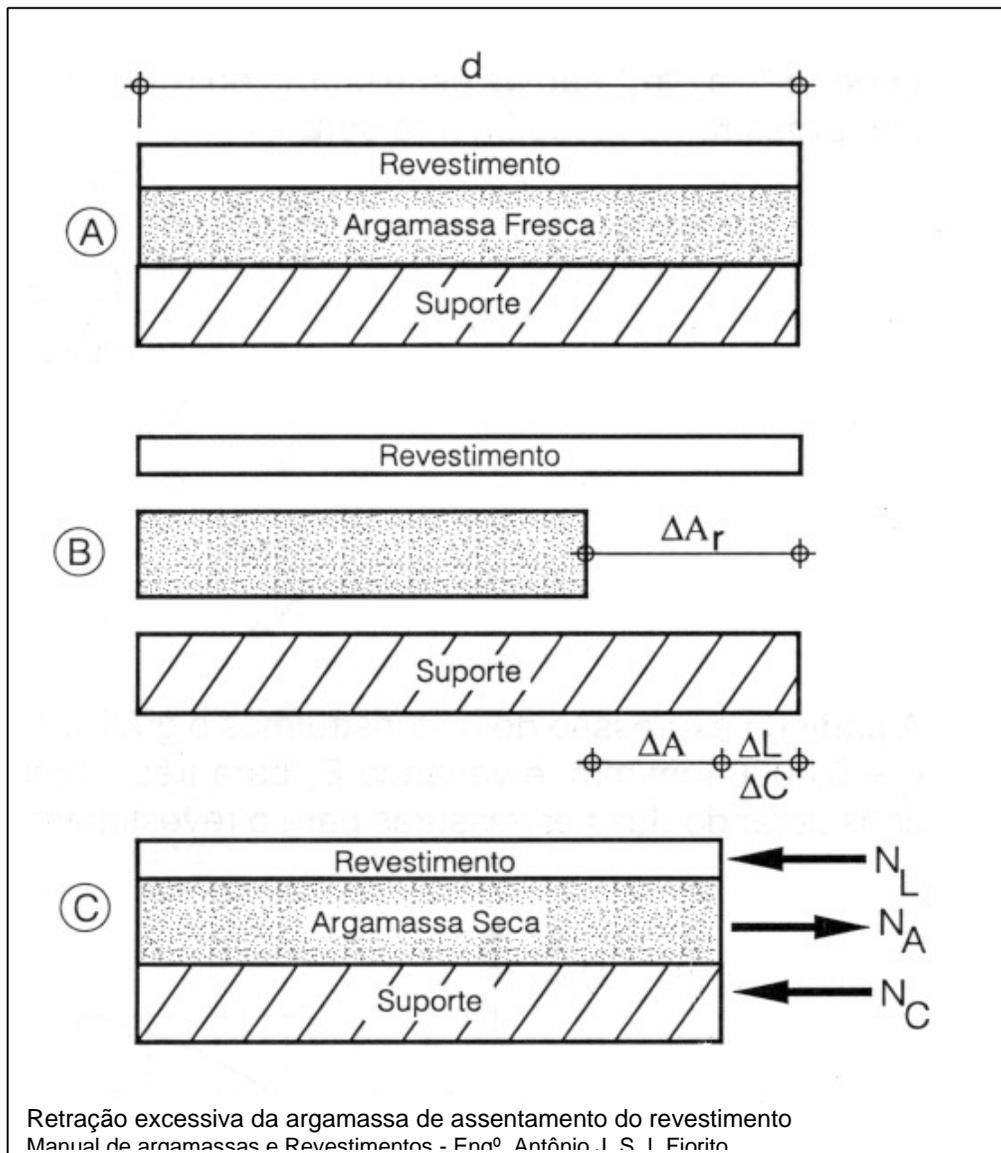
No entanto os módulos de elasticidade variam em função do traço adotado, de acordo com estudos do Eng.º Antônio J.S.I.Fiorito, publicado no Manual de Argamassas e Revestimentos, como vemos a seguir:

Composição da argamassa	Módulo de elasticidade E_a	Retração aos 28 dias (o/oo)
Rica (ex: 1:3)	140.000 kgf/cm ²	0,607
Média (ex: 1:5)	50.000 kgf/cm ²	0,649
Fracas (ex: 1:3:12)	10.500 kgf/cm ²	0,642



- As argamassas muito ricas, de elevado módulo de elasticidade, deformam-se menos e as tensões de tração permanecem elevadas e são da ordem de 9 a 12 vezes mais elevadas que aquelas de traço mais fraco e portanto mais elásticas
- Nas argamassas ricas, há forte influência na retração e conseqüentemente mais sujeitas a tensões de tração, que causarão trincas e possíveis descolamentos de sua camada suporte ou no revestimento, na medida que a espessura da argamassa cresce.

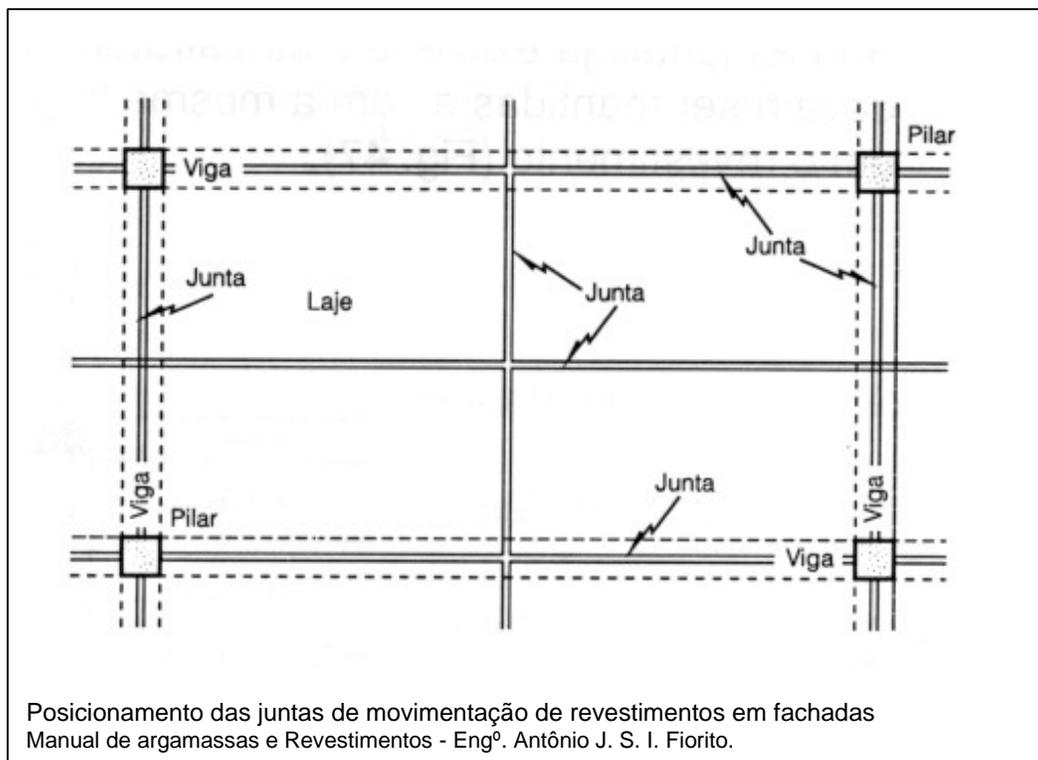
Na medida que a argamassa de assentamento seca, retrai-se, irão aparecendo tensões crescentes nelas e nas camadas subjacentes. Tais tensões, de tração na argamassa, farão com que ela sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem, bem maiores do que quando endurecida, uma vez que o módulo de elasticidade é inferior ao valor final.



As citadas juntas para o alívio de tensões dos materiais de revestimentos de paredes externas já são objeto de Normas Técnicas, como podemos demonstrar:

- NBR 8.214 - Assentamento de azulejos, editada em outubro de 1983,
- NBR 13.755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas de cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento, editada em dezembro de 1996,
- NBR 13.707 - Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha - Procedimento, editada em julho de 1996
- NBR 13.708/96 - Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha - Procedimento, editada em julho de 1996

Embora algumas destas normas poderiam não estar em vigor na época da execução do revestimento das fachadas, entendemos que não podem ser objeto de exclusão de responsabilidades, pois a necessidade de criação de juntas de expansão e contração dos materiais é por demais conhecido na engenharia.



8.3. Juntas de construção

A necessidade da criação das juntas, espaço regular entre duas peças de materiais idênticos ou distintos, é subdividida pelas normas segundo seus objetivos, como sendo:

Juntas de assentamento: espaço regular entre duas peças de revestimentos adjacentes.

Juntas de movimentação: espaço regular cuja função é subdividir o revestimento, para aliviar as tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento.

Juntas de dessolidarização: espaço regular cuja função é separar o revestimento para aliviar as tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento.

Junta estrutural: espaço regular cuja função é aliviar tensões provocadas pela movimentação da estrutura de concreto.

Para a utilização de revestimentos cerâmicos, conforme trabalho sobre Descolamentos em revestimentos Cerâmicos - Análises e Recomendações, apresentado pelo Eng. Roberto Bauer no 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia - 16 e 17/08/95, a Sociedade Francesa de Cerâmica recomenda a execução em revestimentos externos, de juntas de movimentação, no máximo a cada 6 metros e 32 m².

As especificações Americanas para Cerâmica indicam para revestimentos externos juntas de 12 mm a cada 5 metros, no máximo, as quais devem ser executadas até a argamassa de emboço.

Ainda conforme Roberto Bauer, trabalhos australianos sugerem a execução de juntas de movimentação com abertura superior a 12 mm, a cada 6 metros, de forma a absorver todas as expansões e deformações diferenciais. As juntas deverão ser executadas de modo que o efeito diferencial dos movimentos da estrutura e alvenaria, no revestimento, seja minimizado.

A NBR 8214 - Assentamento de azulejos, recomenda para assentamento de azulejos a criação de juntas de movimentação, longitudinais e/ou transversais, em paredes externas com área igual ou maior que 24 m², ou sempre que a extensão for maior que 6 metros, devendo-se a mesma aprofundar-se até a superfície da parede, devendo as juntas serem preenchidas com material deformável, sendo em seguida vedada com selante flexível.

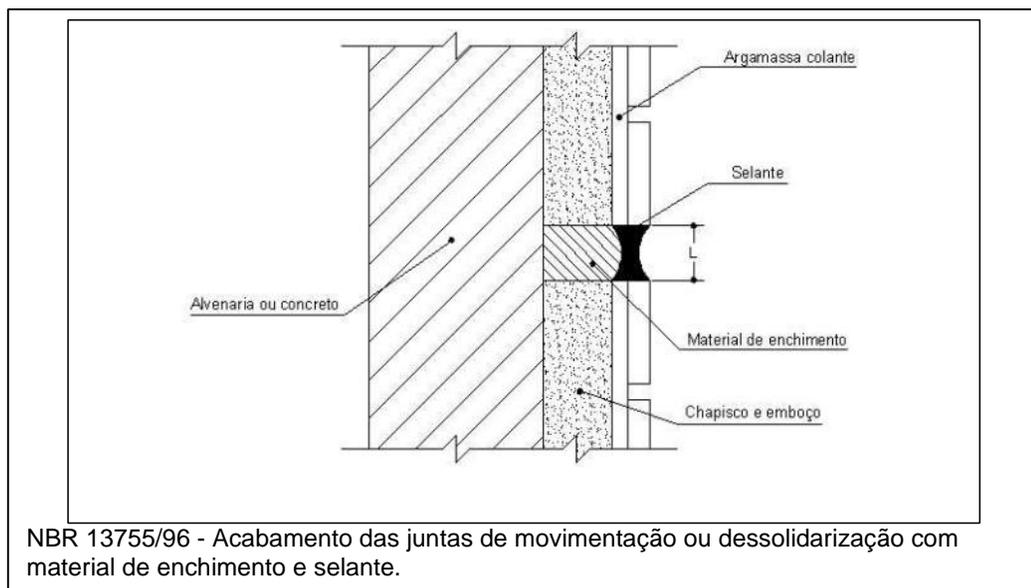
A NBR 13.755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas, recomenda:

- a execução de juntas horizontais de movimentação e de dessolidarização espaçadas no máximo a cada 3 metros ou a cada pé-direito, na região do encunhamento da alvenaria, bem como a execução de juntas verticais de movimentação espaçadas a cada 6 metros.
- a execução de juntas de dessolidarização nos cantos verticais, nas mudanças de direção do plano de revestimento, no encontro da área revestida com pisos e

forros, colunas e vigas, ou com outros tipos de revestimentos, bem como onde houver mudança de materiais que compõe a estrutura suporte de concreto para alvenaria.

- que a largura destas juntas deve ser dimensionadas em função das movimentações previstas para a parede e para o revestimento, e em função da deformabilidade admissível do selante, respeitado o coeficiente de forma (largura/profundidade da junta), que deve ser especificado pelo fabricante do selante.
- que as juntas de assentamento das placas do revestimento devem manter espaçamento ou juntas entre elas para preencher as seguintes funções:
 - ⇒ compensar a variação de bitola, facilitando o alinhamento;
 - ⇒ atender a estética, harmonizando o tamanho das placas e as dimensões do pano a revestir com a largura das juntas;
 - ⇒ oferecer o relativo poder de acomodação às movimentações da base e da placa cerâmica;
 - ⇒ facilitar o perfeito preenchimento, garantindo a completa vedação da junta;
 - ⇒ facilitar a troca de placas cerâmicas.

Nota: A dimensão mínima das juntas de assentamento pode ser de 5 mm, desde que esta largura e a elasticidade do material de rejuntamento atendam, pelo menos, as deformações devidas à variação térmica a que está submetido o revestimento, mais aquela devida à expansão por umidade das placas cerâmicas.



A NBR 13.707 - Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha recomenda:

- 4.2.4- Para os revestimentos de exteriores, no cálculo das deformações relativas entre o suporte e o revestimento, devidas à dilatação térmica diferencial, deve-se considerar uma diferença de temperatura de 50 °C.
- 5.2.3- Nos revestimentos de exteriores, com altura entre 3 m e 15 m em relação ao piso adjacente, é indicado o uso de grampos fixados em telas, preferencialmente eletrosoldadas, ancoradas convenientemente no suporte. Acima de 15 m de altura, recomenda-se fixação por dispositivos metálicos, de acordo com 5.1.
- 5.2.4- Nos revestimentos de interiores, as placas podem encostar-se uma às outras (junta seca). Nos revestimentos de exteriores, devem ser previstas juntas entre as placas e/ou juntas de dilatação verticais e horizontais.
- 5.2.6- O espaço entre a face posterior da placa e o suporte a ser preenchido com argamassa deve ser de 1 cm a 3 cm. O preenchimento deve ser feito com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, em volume. A consistência da argamassa deve ser compatível com o processo de lançamento, de modo que todo o espaço entre o suporte e a placa seja preenchido. Deve-se utilizar a mínima quantidade de água, a fim de assegurar máxima resistência de aderência e mínima retração.
- 5.3.2- As juntas entre placas devem ser suficientes para absorverem as movimentações tanto do suporte como do revestimento. Cabe ao projetista verificar, em cada caso, a necessidade de juntas de dilatação no revestimento.
- Devem ser previstas juntas de dilatação nos encontros das placas com quaisquer elementos distintos que se projetem no plano do revestimento ou para além deste.

A criação destas juntas está relacionada principalmente quanto às causas relacionadas abaixo:

a) Variações térmicas

Os componentes da construção civil estão sujeitas a variações térmicas diárias e sazonais, que provocam sua variação dimensional.

Estes movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os materiais, gerando tensões que podem provocar descolamentos, trincas ou fissuras.

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as suas propriedades físicas e com a intensidade das variações da temperatura.

A magnitude das tensões envolvidas é relacionada aos seguintes fatores:

- intensidade de movimentação
- grau de restrição imposta pelos vínculos
- capacidade de deformação do material.

Considerando que a restrição imposta ao revestimento pela ausência de juntas é elevada e estão relacionadas à intensidade de da variação térmica da deformação térmica das peças de revestimento, as deformações térmicas das placas de revestimento podem ser calculadas, a partir de ensaios de deformação térmica do material.

Considerando-se o coeficiente de dilatação térmica do granito Verde Ubatuba é de aproximadamente 0,0088 mm/m/°C (αt) e adotando-se o diferencial de temperatura (Δt) de 50 °C (item 4.2.4 da NBR 13707), temos uma deformação térmica do granito de 0,44 mm/m. Supondo-se como no caso em questão a existência de vãos com assentamento de granito superiores a 30 metros (L), teríamos variação de dimensões superiores a 13 mm.

$$\Delta l = \alpha t \cdot \Delta t \cdot L = 0,0088 \cdot 50 \cdot 30 = 13,2 \text{ mm}$$

As trincas, fissuras ou o descolamento dos revestimentos de origem térmica podem surgir também por movimentações diferenciadas entre:

- distintos materiais
- componentes de um mesmo material
- distintas partes de um mesmo material.

Nas condições normais, a principal fonte de calor que atua sobre os componentes de uma construção é o sol. A amplitude e a variação térmica de um material, está relacionado a:

- intensidade da radiação
 - ⇒ direta
 - ⇒ difusa
- propriedades do material
 - ⇒ absorvância
 - ⇒ emitância
 - ⇒ condutância térmica superficial
 - ⇒ calor específico
 - ⇒ massa específica
 - ⇒ coeficiente de condutibilidade térmica

A temperatura da superfície do material exposto à fonte de radiação solar pode ser estimada a partir da temperatura do ar e da cor da superfície do granito, podendo-se

analisar a intensidade das movimentações em função dos limites extremos de temperatura a que está submetido o material e em função do seu coeficiente de dilatação térmica linear, que pode ser calculado a partir dos ensaios. As tensões desenvolvidas no material poderão ser estimadas com base no módulo de deformação e nas condições de vínculos que restringem sua movimentação, podendo, analogamente, verificar o efeito de sua deformação sobre os componentes vizinhos.

Por ora, podemos estimar o valor da temperatura junto à superfície das peças de granito, que são variáveis segundo a cor.

⇒ coeficiente de absorção da superfície de revestimento escuro, estimado em $\alpha = 0,9$

⇒ coeficiente de absorção da superfície de revestimento claro, estimado em $\alpha = 0,4$

Adotando-se como valores aproximados da radiação solar médio no Brasil em torno de $I_g = 686 \text{ W/m}^2$, temperatura ambiente máxima de 30°C , temos:

$$T_{\text{sol}} - a_r = T_{\text{ar ext.}} + \alpha \cdot I_g \cdot R_{\text{se}}$$

$$R_{\text{se}} = 0,05 \text{ m}^2\text{C/W} \text{ (índice para superfícies verticais)}$$

Revestimento escuro

$$T_{\text{sol ar}} = 30^\circ\text{C} + 0,9 \cdot 686 \text{ W/m}^2 \cdot 0,05 \text{ m}^2\text{C/W} = \mathbf{60,87^\circ\text{C}}$$

Revestimento claro

$$T_{\text{sol ar}} = 30^\circ\text{C} + 0,4 \cdot 686 \text{ W/m}^2 \cdot 0,05 \text{ m}^2\text{C/W} = \mathbf{43,72^\circ\text{C}}$$

Verifica-se que as tensões geradas no revestimento escuro são sensivelmente superiores ao revestimento claro, fato possível de ser constatado, quando se sente o ardor do calor ao colocar a mão espalmada por não mais de 3 segundos sobre o revestimento escuro de uma fachada, submetido à insolação das 16:00 horas, onde a sensação térmica do substrato muito quente é perfeitamente identificado.

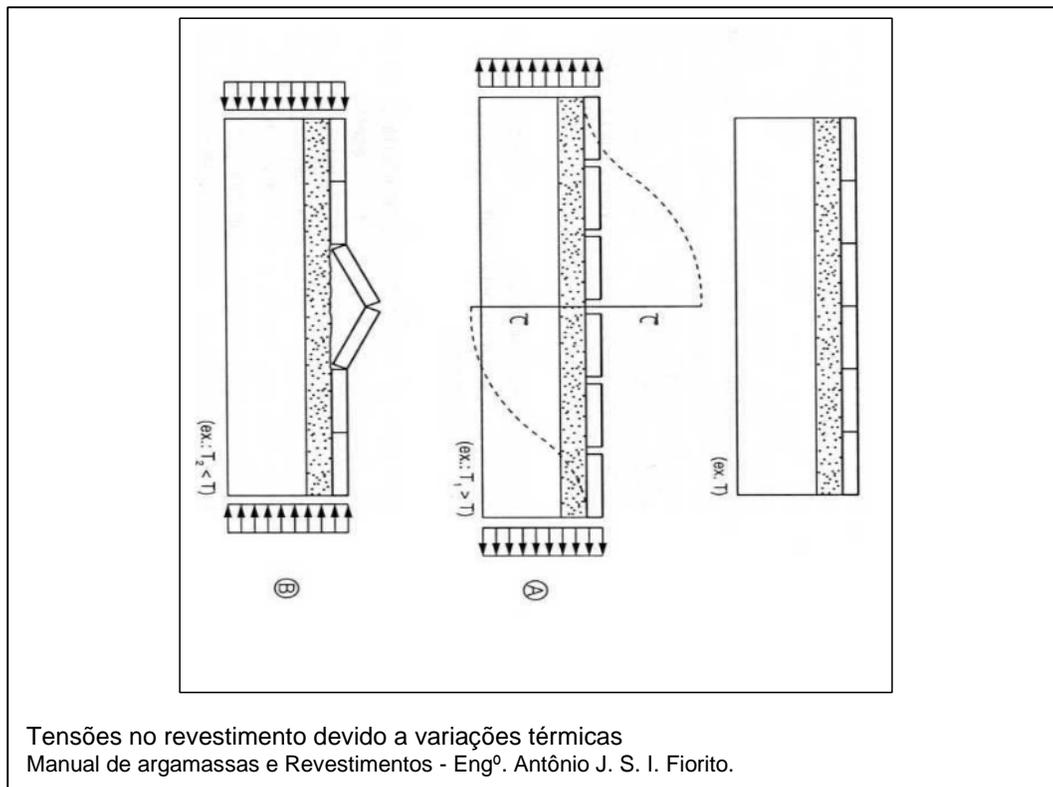
As lesões verificadas em obras sob efeito das movimentações diferenciadas assumem diversas situações e intensidade, como exemplo:

- descolamento de revestimentos de seu substrato.
- destacamento das argamassas de seu substrato.
- destacamentos entre alvenarias e estruturas.

- fissuras ou trincas inclinadas em paredes com vinculo em pilares e vigas expostos ou não à insolação.
- fissuras ou trincas regularmente espaçadas em alvenarias ou concreto com grandes vãos sem juntas.
- fissuras ou trincas horizontais em alvenarias apoiadas em lajes submetidas a forte insolação.

As movimentações térmicas diferenciadas entre os componentes de um sistema, como por exemplo entre as pedras de granito e a argamassa de assentamento também estão relacionadas à diferença de temperatura entre a face exposta à insolação e a face à sombra.

Além destes efeitos térmicos citados, existem tensões em decorrência de choques térmicos devido a mudanças bruscas de temperatura, cujos efeitos de retração diferenciada entre a argamassa de assentamento e os revestimentos estão relacionados ao coeficiente de condutibilidade térmica, resistência à tração, módulo de deformação e coeficiente de dilatação dos materiais.



b) Teor de umidade dos materiais

Os rejuntamentos das peças de revestimento em muitas ocasiões não apresentam estanqueidade necessária para evitar a infiltração de água, devido a sua baixa impermeabilidade, falhas de execução, bem como da expulsão do material do rejunte ocasionado pela expansão térmica das placas de revestimento, das pequenas ou quase nulas juntas entre placas ou pela rigidez do material de rejuntamento.

Além da ocorrência de eflorescências que serão posteriormente avaliadas, a alteração da umidade no substrato de argamassa de assentamento, que é porosa, acarretam variações dimensionais. Este efeito é conhecido como dilatação higroscópica. O aumento da umidade da argamassa de assentamento provoca expansão; inversamente, a diminuição da umidade provoca a contração do material.

Havendo vínculos que restringem a movimentação, aliado a intensidade da movimentação e do módulo de deformação do material, são desenvolvidas tensões que podem provocar o descolamento do revestimento de granito ou a ocorrência de fissuras, de forma semelhante às provocadas pela variação térmica.

As variações do teor de umidade provocam movimentações de dois tipos:

⇒ **Irreversíveis:** Ocorrem geralmente logo após a confecção do material e são originadas devido à perda ou ganho de umidade até que o material atinja a umidade higroscópica de equilíbrio.

⇒ **Reversíveis:** Ocorrem por variação de umidade do material ao longo do tempo, limitado a um certo período em que o material estar os limites seco ou saturado.

A maior ou menor porosidade do revestimento de granito e do material de rejuntamento, bem como das trincas e falhas de rejuntamento estão relacionadas à quantidade de água de infiltração.

Assim sendo, todas as metodologias de revestimentos de acabamento de fachadas de edifícios, quer seja o mais simples revestimento de argamassa, dos executados com cerâmicas, como também dos revestimentos de placas de rocha devem ter como preocupação à execução de procedimentos que venham a aliviar as tensões passíveis de ocorrer, como as citadas neste trabalho.

Assim sendo é de suma importância à adoção de juntas de dilatação para o alívio das tensões do revestimento das fachadas.

RECOMENDAÇÕES NA ESCOLHA DOS PRODUTOS	
Selantes	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de selantes à base de poliuretano alifático, com plastificação interna e baixo teor de cargas são largamente utilizados mundialmente para promover a estanqueidade das juntas de revestimento de fachadas, com vantagens sobre os silicões, pois apresentam maior aderência, não mancham os revestimentos e apresenta maior resistência ao intemperismo, notadamente à ação dos raios ultravioletas do sol. • A utilização de selantes à base de silicone pode acarretar manchas no revestimento. Recomenda-se a utilização de silicões com cura neutra (não acética). • <u>Cuidado com silicões e poliuretano de baixa qualidade, com elevado teor de cargas e plastificantes externos, que migram para o revestimento, causando manchas e ressecamento do selante.</u>
Adesivos para argamassas	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de adesivos para argamassas à base de polímeros de SBR ou acrílicos são excelentes para serem incorporados às argamassas de cimento e areia ou argamassas colantes, proporcionando menor módulo de elasticidade, maior aderência e plasticidade às argamassas, como também menor permeabilidade. • Adesivos à base de PVA não devem ser utilizados em argamassas que ficarão expostas à umidade, submetida a cura úmida ou submersa em água, pois a mesma sofre degradação reemulsificação e saponificação. O PVA (acetato de polivinila) reage com o hidróxido de cálcio presente no cimento, dissociando-se em ácido acético e álcool polivinílico. A saponificação ao longo do tempo do aditivo à base de PVA não está relatada neste trabalho, embora haja muitas evidências em outros trabalhos já publicados em congressos internacionais. • Os aditivos com polímeros acrílicos e de SBR comportam-se satisfatoriamente nos ensaios, tanto em cura úmida como em meio ambiente, concluindo-se que são adequados para aditivização de argamassas. Os aditivos de base acrílica proporcionam maior aderência, quando comparado com os de SBR. • Deve-se verificar o teor de sólidos dos materiais de mercado, pois alguns produtos de mercado apresentam apenas 6% de resina, enganando o consumidor. Recomenda-se a utilização de adesivos com teor de sólidos entre 15 % a 20 %
Fibras	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de fibras de poliéster ou poliamida nas argamassas de revestimento proporciona melhor coesão, menor fissuração por retração plástica, maior ductibilidade após fissuração, bem como na redução da permeabilidade das argamassas de fachada.
Rejuntas	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de argamassas de rejuntamento aditivadas com polímeros acrílicos garantem maior impermeabilidade, aderência e plasticidade aos rejuntas, evitando a ocorrência de patologias descritas acima.
Argamassas flexíveis	<ul style="list-style-type: none"> • A melhor solução para evitar trincas no revestimento é a utilização de argamassas flexibilizadas com polímeros, que proporcionam maior aderência, flexibilidade e impermeabilidade aos revestimentos.

8.4. Manchas e eflorescências

Um dos problemas observados nas fachadas é o aparecimento de manchas e eflorescências. Estas manchas e eflorescências podem estar relacionadas aos seguintes problemas:

- infiltração de água através das falhas ou da porosidade do rejuntamento
- lavagem da fachada com solução de ácido muriático
- excesso de água de amassamento da argamassa
- presença de impurezas nas areias, tais como óxidos e hidróxidos de ferro

A eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície dos revestimentos, alvenarias, concreto, argamassas, etc., como resultado da sua exposição a água de infiltrações ou intempéries.

É considerado um dano, por alterar a aparência do elemento onde se deposita.

Há casos em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. A modificação no aspecto visual pode ser intensa, onde há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre os quais se deposita, por exemplo, a formação branca do carbonato de cálcio sobre granito escuro.

Quimicamente a eflorescência é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água de chuva ou do solo estes sais são dissolvidos e migram para a superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos.

Na tabela abaixo, são indicados os sais mais comuns em eflorescências, sua solubilidade em água, bem como a fonte provável para seu aparecimento.

Fatores que contribuem para a formação de eflorescências:

Devem agir em conjunto:

- teor de sais solúveis
- pressão hidrostática para proporcionar a migração para a superfície
- presença de água

Fatores externos que contribuem:

- quantidade de água
- tempo de contato
- elevação da temperatura
- porosidade dos componentes

Composição química	Solubilidade e em água	Fonte provável
Carbonato de cálcio	Pouco solúvel	carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento cal não carbonatada
Carbonato de magnésio	Pouco solúvel	carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento cal não carbonatada
Carbonato de potássio	Muito solúvel	carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Carbonato de sódio	Muito solúvel	carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Hidróxido de cálcio	solúvel	cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de cálcio desidratado	parcialmente solúvel	hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de magnésio	solúvel	tijolo água de amassamento
Sulfato de cálcio	parcialmente solúvel	tijolo água de amassamento
Sulfato de potássio	Muito solúvel	tijolo água de amassamento cimento
Sulfato de sódio	Muito solúvel	tijolo água de amassamento cimento
Cloreto de cálcio	Muito solúvel	água de amassamento
Cloreto de magnésio	Muito solúvel	água de amassamento
Nitrato de magnésio	Muito solúvel	solo adubado ou contaminado
Nitrato de sódio	Muito solúvel	solo adubado ou contaminado
Nitrato de amônio	Muito solúvel	solo adubado ou contaminado

Fonte: Roberto Bauer

É frequente a ocorrência de eflorescências em revestimentos de pedras ou cerâmicas porosas ou no rejuntamento de revestimentos pouco ou não porosos de pisos e paredes em contato com água de chuva, molhagem ou umidade. Este fato ocorre devido ao elevado teor de hidróxidos, notadamente de cálcio, encontrados no tipo de cimento utilizado na argamassa da execução da proteção mecânica da impermeabilização e no assentamento dos próprios revestimentos. A água, ao permear pelos revestimentos e/ou seus rejuntos e trincas, dissolve os hidróxidos do cimento, tornando-se alcalina. Ao encontrar condições de aflorar por percolação ou

evaporação, ocorre a formação das eflorescências.

O cimento recomendado para o assentamento de revestimentos em áreas molhadas é o CP-IV, cuja atividade pozolânica consome o hidróxido de cálcio na fase de hidratação. Em algumas regiões do Brasil existe dificuldade em se encontrar o CP IV; neste caso a alternativa é utilizar o CP III, que possui baixo teor de hidróxido de cálcio.

8.5. Argamassas de revestimentos

O revestimento de fachada constituído de argamassa com acabamento em pintura apresentam trincas, que além de comprometer a estética, acarretam infiltrações e danos na pintura do interior da edificação.

A ocorrência destas trincas podem estar relacionadas a:

- não hidratação completa da cal
- preparo inadequado da argamassa
- argamassas ricas em cimento
- falta de aderência da argamassa à base
- elevada espessura do revestimento
- ausência de juntas de trabalho
- problemas de encunhamento de alvenarias
- ausência de juntas de trabalho

Poderão ser observadas ao longo prazo na edificação diversas patologias prejudiciais ao aspecto estético, como por exemplo:

- Eflorescências: São manchas esbranquiçadas que surgem na pintura provocada pela lixiviação dos sais solúveis das argamassas e alvenarias.

Os principais sais solúveis presentes na alvenaria e argamassa de revestimentos, como os carbonatos (cálcio, magnésio, potássio, sódio), hidróxidos de cálcio, sulfatos (cálcio, magnésio, potássio, sódio), cloretos (cálcio, magnésio) e nitratos (potássio, sódio, amônio).

- Desagregamento: Caracteriza-se pela destruição da pintura que se esfarela, destacando-se da superfície, podendo destacar com parte do reboco. Normalmente é causado pela reação química dos sais lixiviados pela ação da água que atacam as tintas ou os adesivos de revestimentos.
- Saponificação: Manifesta-se pelo aparecimento de manchas na superfície pintada, frequentemente provocando o descascamento ou degradação das pinturas, notadamente nas tintas do tipo PVA, de menor resistência. A saponificação também ocorre devido a alta alcalinidade do substrato, que pode ter se manifestado pela eflorescência dos sais altamente alcalinos.
- Bolhas: Manifesta-se com maior ocorrência nas pinturas impermeáveis, devido à dificuldade de evaporação da água de infiltração, ou da formação de vapores devido à variação térmica.

- Bolor: A absorção ou presença de umidade nas tintas, notadamente dos tipos PVA, em função das resinas e aditivos da formulação (espessantes, plastificantes, etc.), proporcionam condições adequadas para o surgimento e crescimento de colônias de fungos e bactérias, notadamente em ambientes pouco ventilados e iluminados.
- Descascamento: É provocado pela reação dos sais das eflorescências lixiviados até a interface das pinturas, prejudicando sua aderência.

Também diretamente relacionada ao traço utilizado, as argamassas ricas em aglomerantes e com espessuras superiores a 2 cm apresentam retração elevada, gerando tensões de cisalhamento, entre a interface da argamassa e a alvenaria ou concreto de substrato.

A contaminação da argamassa com materiais argilosos acarreta uma maior expansão, característica intrínseca dos materiais argilosos. Argilas expansivas, como as do tipo montinorilonita, apresentam forte expansão por umidade.

A perda de aderência também está relacionada à perda da água de hidratação das partículas do cimento, quer pela fuga através da sucção de água pela alvenaria e concreto de suporte não previamente hidratados, pela ação do vento, como pelo efeito térmico provocado pelas placas de granito escuro, imediatamente colocadas sobre a argamassa de assentamento.

A argamassa com elevado fator água/cimento sofre elevada retração, devido ao excedente de água, ocorrendo retração relacionada com a perda de volume por evaporação do excedente de água, além da perda de resistência devido ao excesso da água de amassamento. Nas condições de utilização de argamassa é recomendado a utilização de aditivos plastificantes redutores de água, para minimizar este efeito de retração.

A retração das argamassas (perda de volume) acarreta tensões nas interfaces onde a mesma está aderida, podendo por si só apresentar descolamento nestas interfaces ou planos de aderência.

A NBR 7200, de fevereiro de 1982 - Revestimento de paredes e tetos com argamassas - Material, preparo, aplicação e manutenção - recomenda que a espessura máxima admitida para argamassas de emboço deve entre 20 a 25 mm de espessura. No programa de execução é recomendado um especial cuidado a ser dispensado aos detalhes da construção, aos materiais que devem ser usados, aos meios especiais utilizados para garantir a aderência, tais como a aplicação de telas ou outros dispositivos a serem fixados à base, quando esta não merecer confiança quanto à aderência e à proteção da superfície onde haja incidência de infiltração.

9. Diagnóstico das Patologias

9. Diagnóstico das Patologias

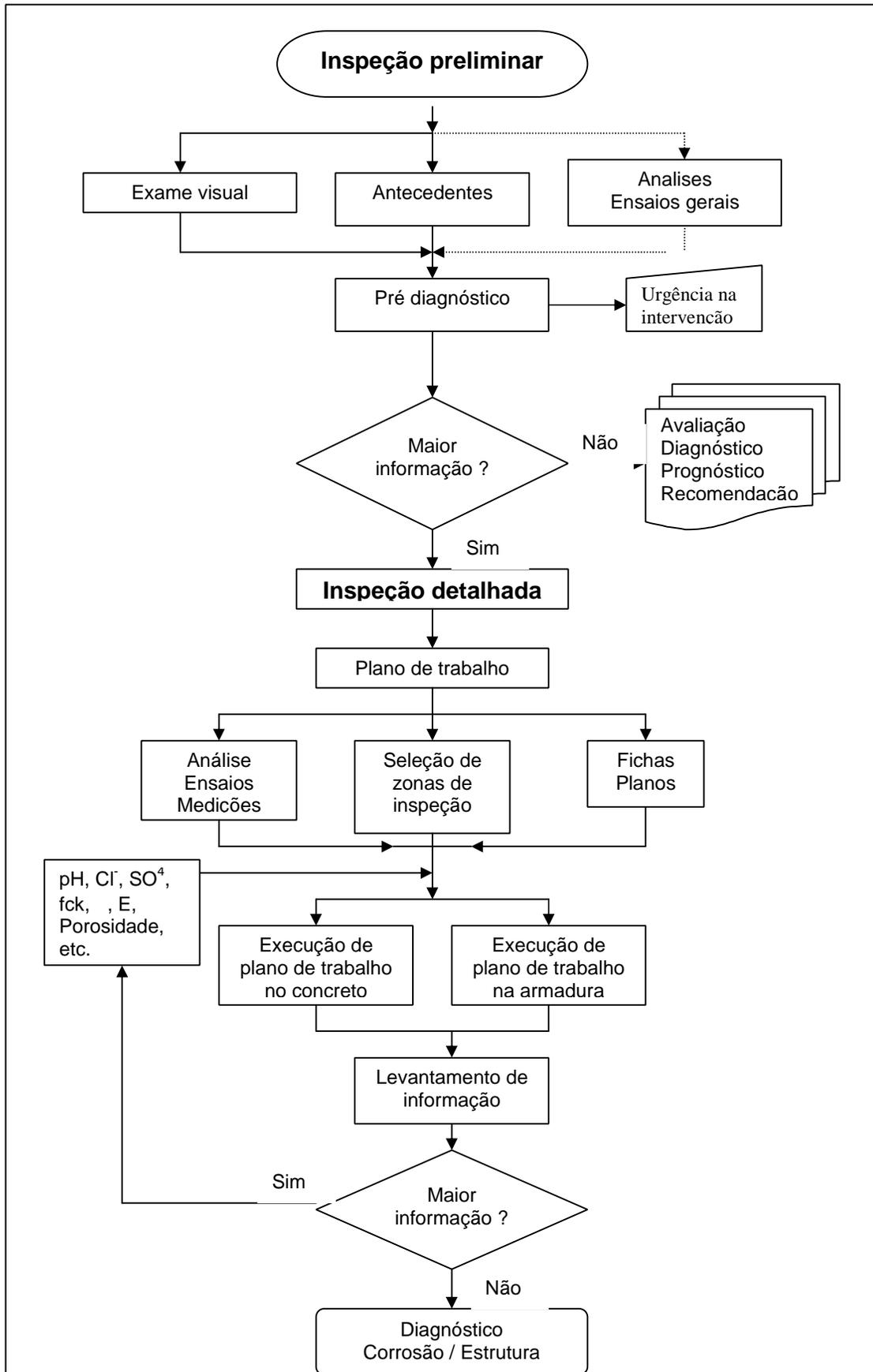
9.1 Introdução

O conhecimento das diferentes manifestações patológicas é um ponto fundamental para o diagnóstico correto, como também para a adoção das terapias adequadas. Muitas vezes as causas dos problemas não são facilmente detectadas, ou então estão associadas a outras patologias que podem induzir a um diagnóstico errado ou impreciso.

Os procedimentos relacionados com a inspeção de uma estrutura podem implicar em um trabalho simples em alguns casos, como também podem necessitar de um trabalho investigativo complexo, dependendo da magnitude e natureza do problema.

Em termos gerais, as seguintes etapas correspondem a uma inspeção:

- a) Elaboração de uma ficha de antecedentes, da estrutura e do meio ambiente, baseado em documentação existente e visita a obra.
- b) Exame visual geral da estrutura.
- c) Levantamento dos danos.
- d) Seleção das regiões para exame visual mais detalhado e possivelmente da retirada de amostras.
- e) Seleção das técnicas de ensaio, medições, análises mais acuradas, etc.
- f) Seleção de regiões para a realização de ensaios, medições, análises físico-químicas no concreto, nas armaduras e no meio ambiente circundante.
- g) Execução de medições, ensaios, e análises físico-químicos.



9.2 Inspeção

Dependendo do tipo e magnitude da informação que se quer obter, pode-se adotar uma Inspeção Preliminar e Inspeção Detalhada.

9.2.1 Inspeção preliminar

Com base nas informações obtidas através desta etapa, é possível determinar a natureza e origem do problema, como também de servir como base para um estudo mais detalhado.

a) Ficha de avaliação de antecedentes da estrutura e do meio.

Estrutura: Se deve procurar buscar a maior informação possível sobre a estrutura, como a idade ou tempo de serviço, natureza e procedência dos materiais constituintes do concreto, dosificação e resistência característica do concreto, qualidade e características de construção, idade de início dos problemas, diagnósticos e reparações anteriores, níveis de tensão de trabalho da estrutura, eventuais mudanças de uso da estrutura, etc

Formulário 1	
FICHA DE DESCRIÇÃO E ANTECEDENTES DA ESTRUTURA	
Página 1	
1. Dados gerais da estrutura	
1.1 Tipo de Estrutura	Descrição básica dos componentes
Edificação	_____
Indústria	_____
Ponte	_____
Muro de Contenção	_____
Tanque de Armazenamento	_____
Outro _____	_____
1.2 Data de construção da estrutura: _____	
1.3 Uso geral da estrutura: _____	
1.4 Croquis da geometria, coordenadas, orientação e direção do vento indicando o meio de exposição:	

2. Dados específicos da estrutura	
2.1. Propriedades dos materiais	
Tipo de cimento: _____	Tipo de Água: _____
Natureza dos agregados: _____	
2.2. Projeto de concreto:	
Resistência característica à compressão: _____	
Dosagem de cimento: _____	Dosagem de agregados: _____
Relação água/cimento: _____	Uso de aditivos: _____
2.3 Propriedades dos materiais	
Na obra _____	Pré-fabricado _____
Concreto reforçado _____	Protendido _____
Tecnologia de fabricação em obra: _____	
Método de compactação: _____	
Método de cura: _____	
Formulário do Livro DURAR – Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión em Estruturas de Hormigón Armado - Cytec	

FICHA DE DESCRIÇÃO E ANTECEDENTES DA ESTRUTURA

Página
2

3. Histórico de Vida em Serviço da Estrutura

3.1 Data início de utilização: _____

3.2 Resistência do concreto à compressão na obra: _____

3.3 Anomalias observadas durante a construção: _____

3.3 Anomalias anteriormente detectadas:

3.4 Ensaio e manutenção.

Resultados da prova de carga: _____

Inspeções rotineiras: _____

Ensaio específicos: _____

Tipos de manutenção: _____

4. Reparações.

5. Informação adicional.

Data: _____ Elaborado por: _____

Meio ambiente: Informações que permitam caracterizar sua agressividade. É fundamental assinalar a forma de interação entre o meio e a estrutura afetada; neste sentido, posteriormente corresponderá ao critério e experiência do avaliador em determinar e qualificar a intensidade desta interação, como por exemplo dos seus efeitos sobre a estrutura. Deve-se indicar principalmente as questões indicadas no formulário 2.

Tipo de atmosfera: Urbana, rural, marinha, industrial ou a combinação entre algumas delas. Estimar a possível presença de contaminantes, ciclos de temperatura, umidade relativa e ventos atmosféricos e locais.

Tipos de água: Naturais, salobras, doces, subterrâneas, potável, esgoto industrial ou doméstico, sua composição química e eventual contaminação.

Natureza do solo: Natural, aterro, ácido, alcalino, resistividade elétrica, características.

Presença de correntes erráticas: avaliação da existência e possível contaminação.

Agentes químicos: Presença de contaminações industriais, esgoto, etc.

Formulário 2			
FICHA DE DESCRIÇÃO DO MEIO			
1. Agentes físico-químicos em contato com a estrutura.			
<input type="checkbox"/> Atmosfera	<input type="checkbox"/> Água	<input type="checkbox"/> Solo	<input type="checkbox"/> Outro meio
<input type="checkbox"/> rural <input type="checkbox"/> urbana <input type="checkbox"/> marinha <input type="checkbox"/> industrial	<input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> doce <input type="checkbox"/> salobra <input type="checkbox"/> doméstica <input type="checkbox"/> potável <input type="checkbox"/> residual <input type="checkbox"/> industrial	<input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> aterro	<input type="checkbox"/> alta temperatura <input type="checkbox"/> agentes químicos <input type="checkbox"/> correntes de interferência <input type="checkbox"/> atmosfera específica
2. Propriedades físicas e químicas do meio			
<input type="checkbox"/> Atmosfera*	<input type="checkbox"/> Água	<input type="checkbox"/> Solo	
<input type="checkbox"/> umidade relativa: _____	<input type="checkbox"/> cloretos: _____	<input type="checkbox"/> cloretos: _____	
<input type="checkbox"/> temperatura: _____	<input type="checkbox"/> sulfatos: _____	<input type="checkbox"/> sulfatos: _____	
<input type="checkbox"/> regime de ventos: _____	<input type="checkbox"/> pH: _____	<input type="checkbox"/> pH: _____	
	<input type="checkbox"/> temperatura: _____	<input type="checkbox"/> potencial redox: _____	
		<input type="checkbox"/> resistividade elétrica: _____	
		<input type="checkbox"/> umidade: _____	
		<input type="checkbox"/> nível freático:	
* Se for possível, obter dados meteorológicos médios			

b) Exame geral visual da estrutura

Este processo deve permitir determinar se o problema se apresenta por igual ou apresenta causas localizadas. Deve-se realizar um exame diferenciado dos elementos, registrando os sinais aparentes de corrosão (manchas, extensão, grau de degradação, etc.), fissuras (localização, direção, dimensão, etc.), regiões de desprendimento de concreto com/sem exposição da armadura, degradação do concreto, assim como qualquer outra anomalia.

A tabela abaixo , proposta pela ACI apresenta um exemplo de como se pode realizar a classificação dos danos na estrutura.

A elaboração de um registro fotográfico amplo é muito importante.

O formulário 3 mostra uma possível forma de apresentação simultânea dos danos localizados em um croqui da estrutura e a respectiva foto do local.

INSPEÇÃO VISUAL GERAL DA ESTRUTURA

Página 1

Tipo de estrutura: _____ Idade: _____
Localização: _____ Ambiente: _____
Orientação: _____ Data da inspeção: __/__/__

a) Descrição dos danos e localização na estrutura:

Croqui da estrutura com levantamento dos danos gerais.

b) Registro fotográfico

<p>c) Extensão e gravidade dos danos:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	<p>Página 2</p>																								
<p>d) ensaios mínimos a realizar:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Ensaio</th> <th style="width: 30%;">Local</th> <th style="width: 30%;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Determinação de cloretos ou sulfatos</td> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Profundidade de carbonatação</td> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Espessura de recobrimento</td> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> <tr> <td><hr/></td> <td><hr/></td> </tr> </tbody> </table>		Ensaio	Local	Resultado	Determinação de cloretos ou sulfatos	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	Profundidade de carbonatação	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	Espessura de recobrimento	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Ensaio	Local	Resultado																							
Determinação de cloretos ou sulfatos	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
Profundidade de carbonatação	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
Espessura de recobrimento	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
	<hr/>	<hr/>																							
<p>e) Prognósticos:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																									

9.2.2 Inspeção detalhada

A partir da inspeção preliminar, pode ser necessária uma inspeção mais criteriosa, donde deverão ser abordado o que segue:

- Fichas, croquis e planos de levantamento de danos.
- Plano de amostras.
- Tabela de tipificação dos danos.
- Técnicas de ensaio / medição / análises adequadas.
- Regiões onde deverão ser realizados ensaios.
- Planificação de materiais e equipamentos.

Uma vez conhecida a estrutura, através da inspeção, ensaios, etc, deve-se separar as patologias da estrutura.

A classificação das patologias tem o objetivo de orientar as causas e origem dos problemas. Exemplo:

- Diferenciar as regiões com distintas exigências estruturais / mecânicas.
- Identificar as características originais do concreto.
- Diferenciar as distintas regiões submetidas a distintos meios agressivos.
- Estabelecer os graus de deterioração da estrutura ou seus elementos.

Deve-se também selecionar:

- Técnicas e regiões de ensaio, medições e análises.
- Plano de utilização de materiais e equipamentos.
- Plano de execução da inspeção detalhada.
- Ensaios a realizar.
 - Concreto
 - Resistividade
 - Esclerometria
 - Ultra-som
 - Profundidade de carbonatação
 - Concentração de cloretos
 - Resistência à compressão
 - Porosidade

- Armadura
 - Localização e espessura de recobrimento
 - Perda de diâmetro e seu limite elástico
 - Medição de potenciais
 - Medição da velocidade de corrosão.

A tabela abaixo mostra as técnicas mais comuns de avaliação:

Ensaio	Capacidade de detecção	Aplicação	Vantagens	Limitações
Medição de resistividade	Quantitativa	Presença de Cl ⁻	Permite pré selecionar áreas com potencialidade corrosiva. Medida rápida	Interpretação complexa dos resultados. Disponibilidade do equipamento. Concreto carbonatado.
Medição de potencial	Quantitativa	Qualquer estrutura	Permite pré selecionar áreas com potencialidade corrosiva. Medida rápida.	Interpretação complexa dos resultados.
Medição de velocidade de corrosão	Quantitativa	Qualquer estrutura	Permite avaliar a perda de seção da armadura.	Interpretação. Disponibilidade do equipamento e sua sofisticação.
Medição da resistência à compressão e volume de vazios	Quantitativa	Qualquer estrutura		Ensaio destrutivo dependendo do método
Profundidade de carbonatação	Quantitativa	Estrutura com qualidade do concreto baixa		Ensaio destrutivo
Perfil de cloretos	Quantitativa	Qualquer estrutura		Ensaio destrutivo. Interpretação complexa. Apoio estatístico

9.3 Métodos de Ensaio Físico-Químicos do concreto

9.3.1 Retirada de testemunhos

Deve-se definir os locais e os tipos de testemunhos a ser retirado da estrutura. Os tipos de testemunhos estão condicionados aos tipos de ensaios a serem realizados, de acordo com o Manual de Inspeção, Avaliação e Diagnóstico de Corrosão em Estruturas de concreto Armado-DURAR.

Concreto

Destina-se a avaliar a resistência do concreto, módulo de deformação, permeabilidade ou absorção de água, determinação de cloretos e sulfatos, carbonatação, reconstituição do traço do concreto, Depois de retiradas, as amostras deverão ser cuidadosamente acondicionadas, dependendo das exigências dos ensaios.

Para a retirada de corpo de prova para ensaio de resistência, procura-se manter a relação altura/diâmetro igual a 2. Caso não seja possível a retirada de corpos de prova com estas medidas, adota-se a tabela de conversão abaixo:

Relação altura/diâmetro h/d	Fator de correção (multiplicar o resultado por)		
	ASTM C42-77	BS 1881-70	UNE 7242
2,00	1,00	1,00	1,00
1,75	0,98	0,98	0,98
1,50	0,96	0,96	0,96
1,25	0,93	0,94	0,94
1,00	0,87	0,92	0,85

Armadura

Destina-se a princípio para avaliar a resistência do aço, já que a profundidade de corrosão é possível através da avaliação visual.

Tipo de aço	Tensão de escoamento f_{yk} (MPa)
CA-25	250
CA-50	500
CA-60	600

9.3.2 Fissuras

Fissuras ativas ou passivas:

Determina-se utilizando extensômetros, dos tipos mecânicos, óticos, elétricos, hidráulicos, acústicos, dentre outros.. É uma avaliação importante, pois altera a forma de reparo da área, pois as fissuras ativas ou dinâmicas não devem receber injeção de epóxi, devendo ser calafetadas com selantes.

Uma forma mais simples, porém sem nenhuma precisão nem caracterização técnica da amplitude de movimentação da fissura é o da colagem com epóxi de uma tira de vidro transversal à fissura. Ocorrendo movimentação da fissura, a tendência é o da fissuração da placa de vidro.

Dimensões da fissura

O tamanho da abertura da fissura pode ser executada a partir de 0,1 mm com uma régua denominada fissurômetro, com um conta fio (medidor ótico utilizado na indústria têxtil) ou com fissurômetro ótico, mais preciso.

9.3.3 Profundidade de carbonatação

O ensaio de profundidade de carbonatação permite avaliar o avanço da carbonatação do concreto.

Com a carbonatação, há a redução do pH inicial do concreto (pH entre 12 a 14) provocada pela reação do CO₂ do meio com os álcalis do cimento (hidróxidos de cálcio, sódio e potássio), formando carbonatos e diminuindo o pH do concreto.

Utiliza-se como sistema indicador a fenoftaleína (1 g de fenoftaleína + 49 g de álcool + 50 g de água) ou timolftaleína (1 g de timolftaleína + 99 g de água).

A solução de timolftaleína tem tonalidade azul escuro (roxo) em contato com os álcalis do concreto e vai tornando-se azul claro na faixa de pH entre 10 e 9,2 , ficando transparente a partir deste pH.

A solução de fenolftaleína tem tonalidade vermelho escuro (carmim) em contato com os álcalis do concreto e vai tornando-se róseo na faixa de pH em torno de 9, ficando transparente a partir deste pH.

Inicialmente, faz-se uma abertura no concreto até expor a armadura. Aplica-se em forma de spray a solução de fenoftaleína ou timolftaleína. Aguarda-se até cerca de 15 minutos (não mais de 20 minutos) e faz-se a leitura da profundidade de carbonatação (medida da zona incolor), a partir da superfície do concreto.

Este ensaio é simples e econômico, podendo ser executado em várias partes da estrutura de concreto, para se determinar o estágio e velocidade de carbonatação da estrutura.

		Valores de pH																	
Timolftaleína																			
Fenolftaleína																			
		≤14	≤13	≤12	≤11	≤10	≤9	≤8	≤7	≤6	≤5	≤4	≤3	≤2	≤1				

Na tabela abaixo mostra os constituintes do concreto relacionados com o ensaio:

PH	Constituintes
Acima de 13	Alcalinidade cáustica ou hidróxica (OH ⁻) Carbonato alcalino (CO ₃ ⁼)
Entre 12 e 11	Nada de bicarbonato (HCO ₃ ⁻) Nada de dióxido de carbono (CO ₂)
Entre 9 e 8	Presença de carbonato (CO ₃ ⁼) e bicarbonato (HCO ₃ ⁻) Nada de dióxido de carbono livre e alcalinidade cáustica
Entre 5,5 e 8	Presença de bicarbonato (HCO ₃ ⁻) e dióxido de carbono livre (CO ₂) Nada de carbonato (CO ₃ ⁼)
Abaixo de 5,5	Ácidos minerais (H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃)

9.3.4 Resistividade elétrica

A resistividade elétrica é uma propriedade de cada material e corresponde ao oposto da condutividade. Sua medida é em ohm-cm ou ohm-m. O ensaio pode ser feito a partir de amostras extraídas para testes em laboratório ou "in loco". Dependem em grande parte do grau de saturação dos poros do concreto e em menor parte do grau de hidratação da pasta de cimento e da presença de sais dissolvidos. É também função de variáveis como: tipo de cimento, adições orgânicas, a relação água/cimento, a porosidade da estrutura, etc.

Não existe acordo entre os especialistas sobre o limite de resistividade elétrica na relação do potencial de corrosão da armadura. No entanto é aceito como critério geral a tabela abaixo:

Grau de risco	Resistividade elétrica
Pouco risco	$\rho > 200 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$
Risco moderado	$200 > \rho > 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$
Alto risco	$\rho > 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$

9.3.5 Ultra-som

Este ensaio não destrutivo tem o objetivo de verificar:

- ✓ a homogeneidade (qualidade e uniformidade) do concreto
- ✓ Detectar falhas internas (ninhas e vazios) profundidade de fissuras, etc.
- ✓ Monitorar as variações das propriedades do concreto.

O ensaio mede o pulso eletrônico relacionado à distância percorrida ao longo do tempo.

9.3.6 Métodos de determinação de resistência

Abaixo, relacionamos outros métodos de medida de resistência do concreto, de acordo com o extraído da apostila do Eng^o Antonio Carmona Filho (PhD).

Resistência mecânica

O conhecimento da resistência do concreto ajuda a avaliar a qualidade da estrutura de concreto.

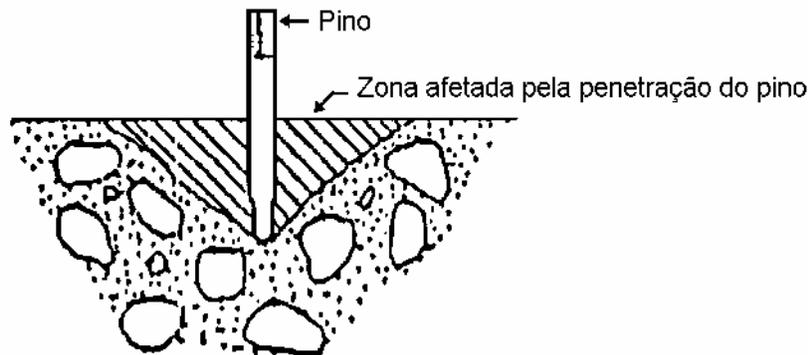
A resistência mecânica poderá ser determinada no laboratório utilizando-se corpos-de-prova cilíndricos extraídos da estrutura, ou poderá ser avaliada in loco, particularmente através de ensaios não-destrutivos como a esclerometria ou a ultra-sonometria (medida da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais).

Resistência do concreto à penetração de pinos

O ensaio consiste em medir a profundidade em que um pino de aço padronizado consegue penetrar no concreto depois de ter sido lançado com uma determinada energia cinética. Este ensaio pode ser executado de acordo com a ASTM C 803-82 Penetration Resistance of Hardened Concrete (Resistência de Penetração do Concreto Endurecido).

O equipamento utilizado é uma pistola finca-pinos (pistola de Windsor), cartucho de disparo e pino metálico. O pino penetra no concreto até que toda sua energia cinética inicial seja absorvida em parte pelo atrito entre o concreto e o pino e em parte pelo esmagamento e fissuração do concreto.

Com a fratura do concreto, há a provável formação de um cone (Figura), que é responsável pela absorção da maior parte da energia cinética. A fratura atravessa a matriz de argamassa e agregado graúdo, sendo por esta razão que a natureza do agregado afeta consideravelmente os resultados.



Penetração do pino

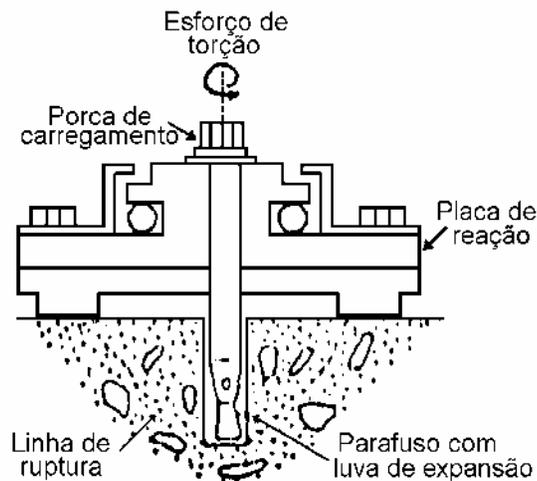
O ensaio é útil na avaliação da homogeneidade global do concreto na estrutura pela determinação das resistências relativas nos concretos das diferentes peças estruturais.

Resistência do concreto ao arrancamento

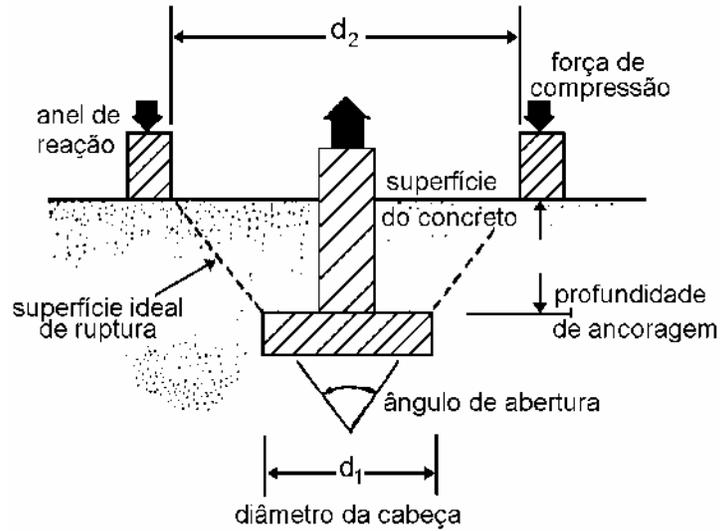
O ensaio consiste em medir a carga última necessária para a extração de uma peça metálica inserida no concreto.

Existe uma variedade de equipamentos e formas de aplicação das cargas, podendo-se citar:

- Teste da fratura interna, conhecido comercialmente como CAPO-TEST, em que é utilizado um torquímetro para medir a carga necessária à extração de um parafuso com luva de expansão, que se dilata à medida que a carga é aplicada.
- LOK-TEST, comumente utilizado nos Estados Unidos e Canadá, em que o esforço é aplicado por meio de um macaco hidráulico e medido em um dinamômetro, sendo que a peça metálica extraída do concreto apresenta uma “cabeça” na extremidade embutida. Este ensaio é normalizado pela ASTM C 900 Pullout Strength of Hardened Concrete (Resistência ao Arrancamento do Concreto Endurecido).



CAPO-TEST

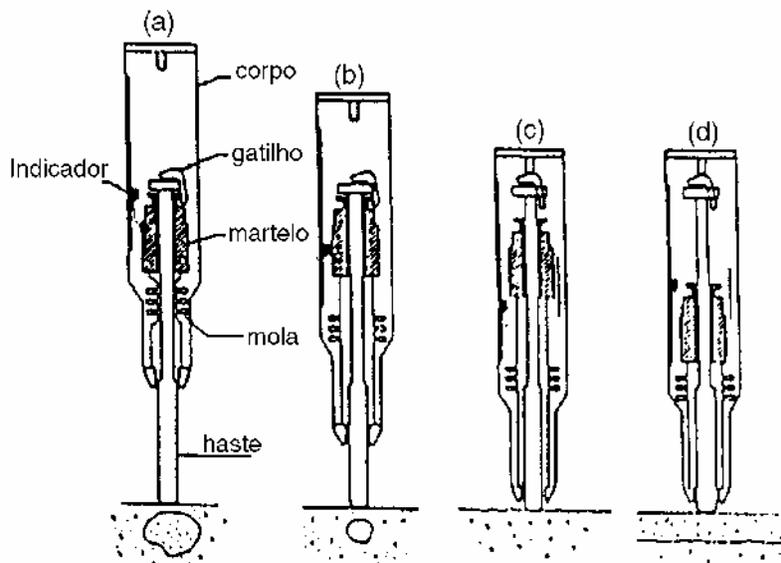


LOK-TEST

Esclerometria

O ensaio baseia-se na hipótese de que existe uma estreita correlação entre a resistência ao choque (dureza superficial) e a resistência à compressão do material, sempre que não houver alterações na superfície desse material. O equipamento utilizado é o esclerômetro de reflexão ou de Schimdt.

Este ensaio é uma das técnicas mais difundidas em todo o mundo para a avaliação da homogeneidade do concreto, e pode ser realizado de acordo com a NBR 7584/82 Concreto endurecido. Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Método de ensaio.



Esclerômetro de Schimdt

O ensaio consiste em promover um impacto na superfície do concreto através de uma massa chocante impulsionada por uma mola, transferindo essa energia através de uma haste rígida. A energia de impacto não absorvida pelo concreto é registrada pelo aparelho e representa um índice de reflexão.

A esclerometria é particularmente interessante quando correlacionada com os resultados do ensaio destrutivo de resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos extraídos da estrutura de concreto.

Dado que a dureza do concreto é influenciada pelo tipo de agregado utilizado e considerando que concretos com mesma dureza superficial podem ter resistências muito diferentes, vê-se que a esclerometria deve ser utilizada com cautela senão erros poderão ser cometidos.

Outros fatores que afetam os resultados do ensaio:

- **espessura carbonatada:** o concreto apresenta um maior endurecimento na superfície que no interior devido a carbonatação superficial;
- **saturação ou umidade da superfície:** concretos de mesma resistência podem apresentar índice esclerométrico distinto segundo a superfície esteja ou não úmida;
- **dano superficial ou interfacial:** quando a superfície do concreto está menos resistente em virtude de um ataque químico ou pela falta de aderência entre o agregado e matriz de cimento, que pode ser observada na forma de desprendimento do agregado graúdo da matriz de pasta de cimento no momento da ruptura do concreto;
- **tipo de cimento:** concretos de cimento Portland pozolânico bem curados apresentam maior dureza;
- **condições de cura:** quanto mais eficiente a cura, maior a dureza superficial.

9.3.7 Determinação de cloretos

Determina o teor de cloretos total e livre no interior do concreto em diferentes níveis de profundidade, que permitem o cálculo dado coeficiente de difusão aparente e a velocidade de penetração.

Os cloretos livres são os solúveis em água que representam um risco para a armadura.

Os cloretos combinados são aqueles que reagiram com constituintes do cimento, principalmente com o aluminato tricálcico.

Cloretos totais é a somatória dos dois valores acima.

As normas utilizadas para a determinação de cloretos são a ASTM C 1152 (cloretos totais) e ASTM C-1411 (cloretos solúveis).

9.3.8 Porosidade

Tem o objetivo de determinar a absorção capilar e a porosidade do concreto e argamassa.

Porosidade: Entende-se como os espaços vazios em consequência da evaporação da água excedente da mistura e o ar incorporado durante a mistura, transporte e adensamento.

Poros de gel: São de menor tamanho e correspondem aos espaços intersticiais do gel de cimento.

Poros capilares: Quando estão interconectados e abertos, são as causas principais da permeabilidade da pasta de cimento, assim como da vulnerabilidade à ação dos agentes externos.

Poros de ar: São geralmente bolhas de ar envolvidas na massa de concreto, normalmente introduzidas através de aditivos de concreto. Podem beneficiar o concreto, principalmente quanto ao ciclo gelo/degelo.

Métodos de ensaios:

NBR 9779 - Determinação da absorção de água por capilaridade / Ascensão capilar

Avaliação

Para espessura de cobrimento de 30 mm em ambientes severos, recomendam-se concretos com absorção capilar $S \leq 3 \text{ mm} / h^{1/2}$ ($5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$).

Em meios menos severos pode ser até $6 \text{ mm}/h^{1/2}$ ($10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$) NBR 9779.

Se a espessura de cobrimento aumentar, a absorção capilar pode modificar-se proporcionalmente.

NBR 9778 – Determinação da Absorção de Água por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica

Avaliação

$\leq 10\%$ indica um concreto de boa qualidade e compacidade.

de 10% a 15% indica um concreto de qualidade moderada.

$\geq 15\%$ indica um concreto de durabilidade inadequada.

9.3.9 Posição e profundidade da armadura

O método localiza a posição e profundidade das armaduras.

Utiliza-se como equipamento de ensaio o pacômetro, composto de um eletroímã, cuja agulha é sensibilizada em presença de metais. O sistema não é preciso para concretos com elevada taxa de armadura.

9.3.10 Potencial de corrosão

As medidas de potencial informam sobre a probabilidade de corrosão do aço.

O método adotado é o prescrito na ASTM C 876

A tabela abaixo dá uma referência sobre os valores potenciais e os riscos de corrosão do aço.

Condição do aço	Potencial Elétrico	Observações	Risco de dano
Estado passivo	+ 0,200 a – 0,200	Ausência de Cl ⁻ PH > 12,5 H ₂ O elevada	Desprezível
Corrosão localizada	- 0,200 a – 0,600	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O elevada	Alto
Corrosão uniforme	- 0,150 a – 0,600	Carbonatado O ₂ , H ₂ O elevado	Moderado a alto
	+ 0,200 a – 0,150	Carbonatado O ₂ , H ₂ O seco	Baixo
	- 0,400 a – 0,600	Cl ⁻ elevado Carbonatado ou H ₂ O elevada	Alto
Corrosão uniforme	< - 0,600	Cl ⁻ elevado H ₂ O elevada Sem O ₂	Desprezível

9.3.11 Velocidade de corrosão

Determina a velocidade com a qual a armadura perde a seção por corrosão.

São utilizados potenciômetros e galvanômetros capazes de medir a resistência a polarização que se relaciona com a corrente.

9.3.12 Prova de carga

Método que consiste em carregar a estrutura com a carga determinada em projeto.

Normalmente é utilizada para o caso de estruturas novas ou reconstruídas com suspeitas quanto ao seu comportamento, ou em estruturas antigas onde não se

conhece informação suficiente, ou ainda quando se tem suspeitas de sua capacidade de suportar as cargas previstas.

De acordo com Manuel Fernández Cánovas, podemos classificar as provas de carga segundo o seguinte critério:

- a) De acordo com a grandeza da carga
 - ✓ Carga básica
 - ✓ Carga aumentada
 - ✓ Carga extraordinária

- b) De acordo com as características da carga
 - ✓ Estática
 - ✓ Dinâmica

- c) De acordo com a duração do teste
 - ✓ Curta duração
 - ✓ Longa duração

9.3.13 Outros métodos

Existem outros métodos de ensaio, como radiografia e métodos nucleares, que são muito complexos e caros, só utilizados em condições muito especiais.

Ensaios mais comuns de avaliação de corrosão das armaduras				
Ensaio	Capacidade de detecção	Aplicação	Vantagens	Limitações
Medição de resistividade	Qualitativa	Problemas por presença de Cl ⁻	Permite selecionar áreas com potencial de corrosão	Interpretação complexa. Concreto carbonatado. Disponibilidade do equipamento
Medições de potencial	Qualitativa	Qualquer estrutura	Permite selecionar áreas com potencial de corrosão. Medida rápida	Interpretação complexa dos resultados.
Medição da velocidade de corrosão	Quantitativa	Qualquer estrutura	Permite, uma vez conhecido o tipo de corrosão, avaliar a perda de seção da armadura.	Interpretação. Disponibilidade de equipamento adequado que permita a compensação da saída ôhmica.
Medição da resistência à compressão e volume de vazios	Quantitativa	Qualquer estrutura	Avalia a qualidade do concreto, em conjunto com a resistência e volume de vazios ou fator <i>a/c</i>	Ensaio destrutivo
Determinação da profundidade de carbonatação	Quantitativa	Estruturas de concreto com baixa ou média qualidade	Prova sensível, que permite identificar facilmente este fenômeno e o tempo para alcançar a armadura.	Ensaio destrutivo.
Teor de cloretos	Quantitativo	Qualquer estrutura	Permite determinar a qualidade do concreto e em tempo para alcançar a armadura.	Ensaio destrutivo. Interpretação complexa. Apoio estatístico.

Fonte: Manual de Inspeção, Avaliação e Diagnóstico de Corrosão em Estruturas de concreto Armado-DURAR

10. Materiais utilizados em reparos

10.1 Seleção dos materiais de reparo

A seleção dos materiais a serem utilizados em reparos é um importante e complexo processo, envolvendo o entendimento o que é requerido no reparo, características dos materiais, requisitos para a sua aplicação, metodologia de aplicação, etc.

Após os requisitos estarem estabelecidos e as propriedades dos materiais definidas, a especificações dos mesmos pode ser efetuada.

A aplicação dos materiais de reparo requer o entendimento de suas propriedades, avaliação das vantagens e desvantagens, detalhes de preparação de estrutura, técnicas de aplicação, custos e procedimentos posteriores a sua utilização.

Um dos maiores desafios na escolha dos materiais é avaliar seu comportamento junto com o substrato. As mudanças das tensões no substrato e nos materiais de reparo podem causar trincas, fissuras, delaminação e desagregação do material de reparo. A aderência do material de reparo na estrutura tem que ser observada, de forma a que o resultado final seja de uma estrutura sólida e monolítica.

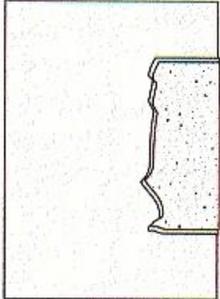
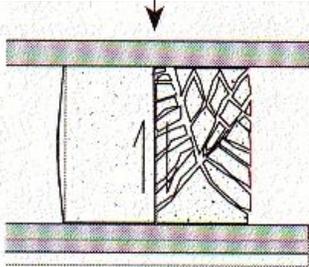
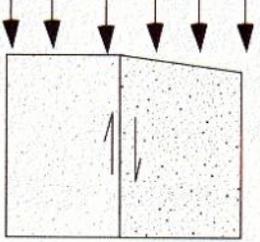
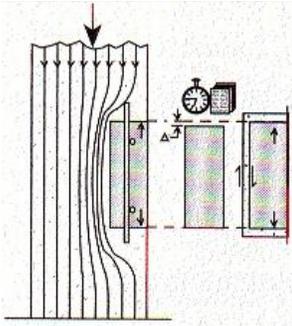
Outro dado importante a ser considerado sobre o material de reparo é o do mesmo possuir características suficientes para suportar as cargas de serviço. Para tanto, o material deve ter características próprias de desempenho que devem ser analisadas. O ideal seria que o material de reparo assumisse os níveis de tensões do concreto original. Há casos em que o material de reparo possui módulo elástico muito inferior ao da estrutura, fazendo com que o mesmo não absorva a sua parte de esforços.

Há outros obstáculos para o material alcançar eficiência:

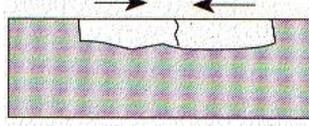
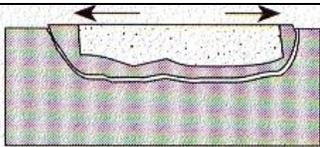
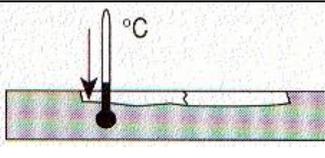
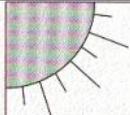
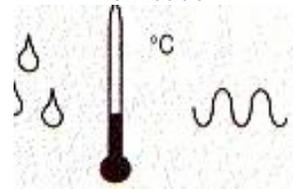
- As cargas serão removidas durante o reparo ?
- Como será o comportamento do material durante o carregamento das tensões ?
- Como será o comportamento dimensional do material frente às tensões distribuídas pelo do substrato de concreto ?.

É improvável que o material de reparo não tenha pelo menos uma pequena retração durante a cura e que o mesmo se comporte da mesma maneira como o substrato de concreto, frente às cargas aplicadas, mudanças de temperatura e umidade. Assim sendo, a escolha dos materiais de reparos é um compromisso importante para o desempenho final do reparo.

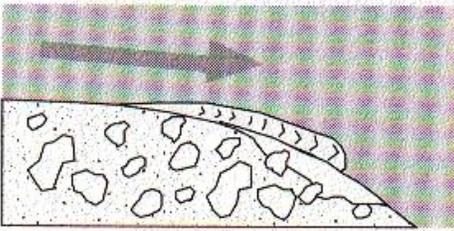
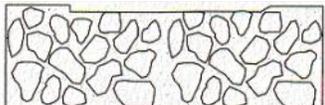
As tabelas abaixo detalham as principais propriedades exigidas dos materiais de reparo e auxiliam a escolha dos mais adequados para as situações requeridas.

Exigências no suporte de cargas			
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
Aderência ao substrato	 <p>Perda de aderência, delaminação</p>	Resistência de aderência. Tensão interna baixa	Elevada retração Módulo de elasticidade muito diferente da estrutura
Aplicação de cargas	 <p>Aplicação de carga antecipada</p>	Equalizar o módulo de elasticidade do material de reparo e do concreto estrutural	Baixo ou alto módulo de elasticidade, comparado com o do concreto estrutural
	 <p>Deformação lenta do reparo</p>	Material de reparo com baixa deformação lenta	Material com alta deformação lenta
	 <p>Retração de secagem do material de reparo, reduzindo sua capacidade de suportar cargas</p>	Material de reparo sem retração ou retração compensada	Material de reparo com retração de secagem

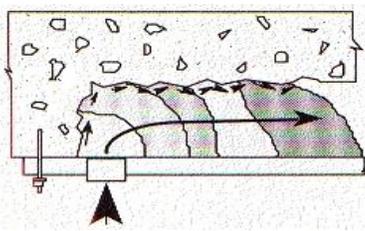
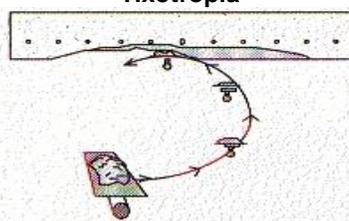
Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

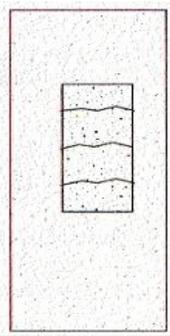
Propriedades de exposição em serviço				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Variação de temperatura 		Retração causando trinca no material de reparo	Equalização do coeficiente de expansão térmica	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato
		Compressão do substrato, causando delaminação	Equalização do coeficiente de expansão térmica	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato
Mudança da temperatura do reparo durante a execução		Retração do reparo, causando trinca	Baixa exotermia durante a execução e cura	Alta isoterмия durante a execução e cura
Gases atmosféricos	Condições de umidade 	Corrosão do aço, desintegrando o concreto de proteção	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras	Alta permeabilidade ou fissuras no material de reparo
Contato químico	Meio ambiente 	Corrosão do aço	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras	Alta permeabilidade ou fissuras no material de reparo
		Desintegração do concreto	Resistente a ataque químico	Material com baixa resistência química
Exposição ao ultra violeta do sol		Mudança das características do material de reparo	Elevada resistência ao U.V. do sol	Baixa resistência ao U.V. do sol
Condições climáticas	Variação de temperatura ou umidade 	Gelo e degelo Desintegração do concreto	Baixa permeabilidade	Elevada permeabilidade do material
		Expansão e retração, causando trincas	Baixa permeabilidade e expansão e retração por umidade	Elevada permeabilidade ou expansão e retração do material devido a umidade

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

Propriedades de resistência às cargas externas				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar	
Movimento de líquidos	<p>Erosão do substrato</p>  <p>Erosão e abrasão do substrato</p>	<p>Elevada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidade • Compressão • Tensão 	<p>Baixa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidade • Compressão • Tensão 	
Movimento de líquidos e sólidos em suspensão				
Rodas de veículos		Abrasão – dano na superfície	Alta densidade e resistência à compressão e abrasão	Baixa densidade, resistência à compressão e à abrasão
Impacto		Bordas das juntas	Alta resistência à compressão, tração e aderência ao substrato	Baixa resistência à compressão e aderência
		Juntas	Alta resistência à tração e elevada coesão	Baixa resistência à tração
			Alta resistência à compressão	Baixa resistência à compressão
		Perda de aderência	Baixo módulo de elasticidade	Alto módulo de elasticidade
		Alta aderência e ancoragem ao substrato	Baixa aderência	

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

Metodologia de execução e aparência			
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo	Exigências de desempenho	Evitar
Execução	Tempo de execução 	Rápido ganho de resistência	Demorado ganho de resistência
	Fluidez 	Elevado abatimento	Baixo abatimento
	Tixotropia 	Agregados pequenos, redondos e traço coeso	Agregados graúdos, angulares, e traço inadequado
	Facilidade de execução "Lei de Murphy"	Elevada coesão interna, tixotropia e aderência	Baixa coesão interna, tixotropia e aderência
		Formulação simples	Complexas formulações de difícil execução

Meta - Requisitos de desempenho	Resultados se o material errado é selecionado		Exigências de desempenho	Evitar
Aparência 		Trincas na superfície devido à retração de secagem	Baixa retração, flexibilidade.	Alta retração de secagem
		Trincas na superfície devido à retração plástica	Baixa isotermia	Elevada isotermia
			Perda de água durante a execução	Elevada perda de água durante a execução

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

10.2 Materiais utilizados em reparos

A quantidade de materiais utilizados em reparos é elevada e novos materiais são continuamente desenvolvidos e lançados no mercado. Também suas propriedades e campo de utilização são variáveis.

Para facilitar a descrição dos mesmos, vamos subdividi-los segundo sua maior propriedade, qual seja o requisito de resistência, aderência, proteção, revestimento e auxiliares. Vale lembrar que um material de reparo pode ter várias propriedades em conjunto, como resistência, impermeabilidade, proteção, etc.

Os materiais de reparos podem também ter sua classificação de indicação relacionada à profundidade do reparo, como por exemplo:

- Rasos: reparos de profundidade variando entre 3 mm (tipo estucamento) a 30 mm (ponto de atingir as armaduras).
- Médios: reparos com profundidade entre 30 mm 60 mm.
- Profundos: reparos com profundidade superior a 60 mm.

10.2.1 Resistência

a) Concreto moldado

O concreto moldado é um tradicional material utilizado para reparação estrutural.

Usualmente, procura-se utilizar o concreto em reparos de maiores dimensões. Em grande parte destas ocasiões, o concreto utilizado tem suas características modificadas para o incremento de propriedades e características mais adequadas para a sua utilização, como impermeabilidade, resistência, minimizar retração, aumento da resistência química, etc.

As principais modificações introduzidas são:

- Utilização de cimentos especiais ou compostos, como o CPII-Z (com pozolana), CPIV (cimento pozolânico), CPV (alta resistência inicial), CPI-S (resistente a sulfatos), etc.
- CAD – Concreto de Alto Desempenho – Concreto com elevada resistência, com adição de aditivos superplastificantes, sílica ativa, etc., podendo também ser incorporados escória, fibras metálicas ou sintética,, etc.
- Aditivos inibidores de corrosão, como nitrito de sódio ou cálcio, éster aminas, benzoato de sódio, molibdato de sódio, etc.
- Polímeros em forma de látex, como acrílico, SBR (estireno butadieno), etc.

São normalmente utilizados em reparos profundos

b) Concreto projetado

Concreto tem sido utilizado há bastante tempo para reparos, como também em obras convencionais de revestimento de túneis (NATM), minas, muros de contenção, etc.

O concreto projetado apresenta as seguintes características principais:

- Dispensa formas nas aplicações verticais ou sobrecabeça
- Melhor aderência, causada pelo pela grande energia de impacto com o substrato
- Maior compacidade e conseqüentemente impermeabilidade

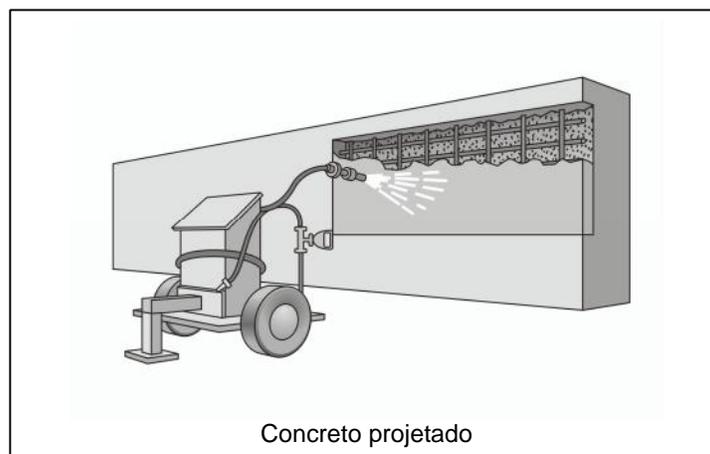
O concreto projetado é aplicado de duas formas:

- **Via seca:** a água e aditivos só é adicionada no bico de projeção. Este método exige grande experiência do operador em regular a quantidade de água necessária.
- **Via úmida:** O concreto já está previamente hidratado com água e aditivos plastificantes e redutores de água, sendo incorporado na saída do equipamento o aditivo acelerador. É o sistema mais utilizado atualmente, devido ao melhor controle do fator água/cimento e da qualidade final da concretagem.

O concreto projetado é utilizado para reparos de profundidade média a profunda.

Os aditivos utilizados para a projeção do concreto podem ser dos tipos acelerador de pega ou endurecimento, como também aqueles que provocam a perda imediata do slump inicial, tornando o concreto tixotrópico. Recomenda-se sempre utilizar aditivo isento de álcalis (álcali free), pois os alcalinos são muito agressivos ao operador, exigindo uniformes especiais para a sua manipulação.

O concreto projetado também pode conter fibras metálicas, polímeros, inibidores de corrosão na sua composição.



c) Grautes

Grautes são argamassas industrializadas, cujas características principais são a elevada fluidez, baixa permeabilidade, ausência de retração (retração compensada) e elevadas resistências iniciais e finais.

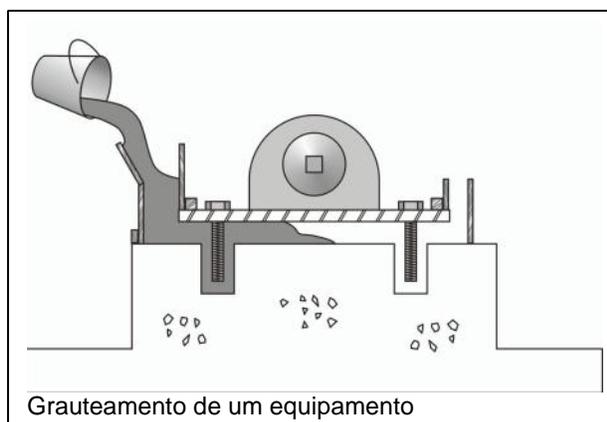
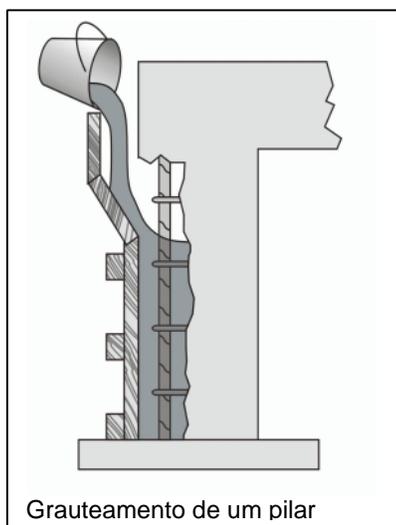
São utilizados em muitas aplicações, como reparos estruturais, chumbamento de equipamentos, ancoragem de tirantes, etc.

Os grautes podem ser industrializados com aglomerantes de base mineral (cimento Portland, cimento aluminoso) ou sintético (resinas epóxi), com agregados de quartzo ou metálico, aditivado com superplastificantes, compensadores de retração, podendo ou não conter microssilica.

Para grandes vãos, pode ser adicionada ao graute base cimentícia brita lavada de granulometria até 9 mm, usualmente até 30 % do volume do graute.

São produzidos também alguns grautes cimentícios especiais com elevada resistência inicial (10 a 20 Mpa em 2 horas) para reparos rápidos em pavimentos, chumbamentos de trilhos, etc.

Os grautes são aplicados para reparos médios ou profundos.

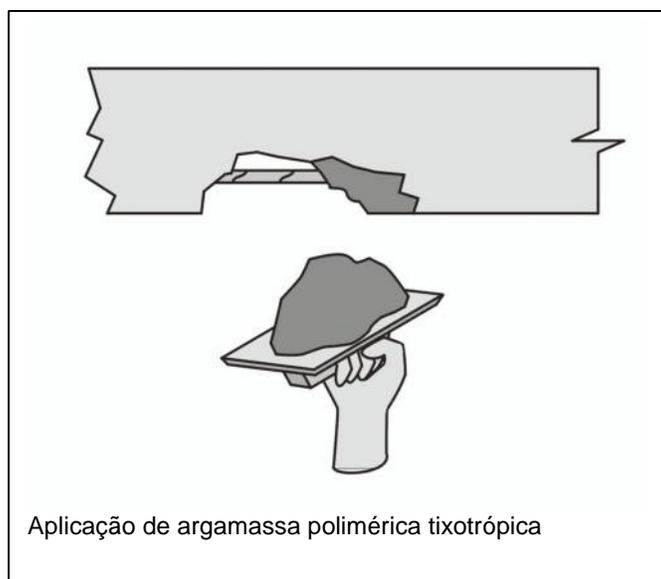


10.2.2 Revestimento

Argamassa polimérica

As argamassas poliméricas são muito utilizadas em reparos, tendo várias opções de características, para atender uma série de situações de utilização.

- **Base cimento** – São argamassas à base de cimento Portland, em composição ou não com cimentos aluminosos, contendo quartzo de granulometria apropriada, contendo polímeros em pó ou líquido e sua composição. Podem conter adições de microssílica, que proporcionam maior impermeabilidade, resistência mecânica e fibras sintéticas ou metálicas, que incorporam as características de controle de fissuração da argamassa, maior resistência ao impacto, cargas cíclicas, flexão e tração.
- **Base resinas** – São argamassas à base de resinas de epóxi, poliéster, furânica, éster vinílica dentre outras, contendo quartzo de granulometria apropriada. São normalmente utilizados em situações de necessidade de resistência química, vibração, alta resistência à compressão, etc.



As argamassas são utilizadas para reparos rasos, desde um estucamento de poucos mm, até reparos de profundidade média. Deve-se tomar cuidado com algumas argamassas que sofrem retrações acentuadas, normalmente quando aplicadas em espessuras superiores a 20 mm. As argamassas com fibras apresentam melhor comportamento na redução da retração e possuem boa tixotropia para aplicações verticais e “sobre cabeça”.

10.2.3 Inibidores de corrosão

Os inibidores de corrosão são produtos com o fim específico de proteger as armaduras do concreto armado contra a corrosão das armaduras. Podem ser dos tipos de primer aplicados sobre as armaduras, ou como aditivos incorporados às argamassas, grautes e concretos. Os aditivos inibidores são mais utilizados durante o processo de concretagem da estrutura, como forma preventiva contra a corrosão por cloretos.

- **Primer anticorrosivo**

- Epóxi com zinco

São produtos aplicados diretamente sobre as armaduras rigorosamente limpas. Podem ser à base de resina epóxi rico em zinco, que é mais eletronegativa que o aço, formando uma proteção catódica atuando como ânodo de sacrifício. Como o zinco não se expande no processo de oxidação, não provoca o deslocamento da capa protetora de concreto. Existe alguma polêmica na eficiência do epóxi rico em zinco, devido à dificuldade de aderência do epóxi pela dificuldade de limpeza da armadura e de sua efetividade contra o ataque de cloretos

- Cimentos poliméricos aditivados

São produtos base cimento, polímeros e aditivos inibidores de corrosão, como o nitrito de cálcio, éster aminas, etc, que recompõe a capa passivadora alcalina e inibem a continuidade da corrosão.



- **Aditivos inibidores**

- Nitritos

O nitrito de cálcio dentre outros oferece proteção devido aos íons de nitrito competir com íons de cloreto pelos íons férreos produzidos pelo aço. Este mecanismo de inibição de corrosão é distinto dos inibidores anteriormente discutidos que envolvem uma redução do ingresso de íons de cloreto. A efetividade do nitrito de cálcio dependente da quantia de íons de cloreto que uma estrutura de concreto armado será exposto durante sua vida de serviço, e a seleção de uma dosagem apropriada de aditivos inibidores. Os nitritos são misturados a concreto e argamassas.

- **Éster aminas**

Inibidores orgânicos a base de éster-amina oferecem proteção ao aço de duas formas: primeiro, diminuindo a velocidade da taxa de ingresso de cloreto que penetram no concreto, ou como é comumente conhecido na indústria de concreto, pela "blindagem de cloreto"; e segundo, através da formação de um filme ou camada protetora na superfície de aço que previne o cloreto de entrar em contato com o aço. O mecanismo duplo é o único com estas funções, pois além de diminuir a velocidade do ingresso de íons de cloreto, a presença do filme protetor aumenta o limite de teor de cloreto no concreto daquele do concreto sem tratar, como também restringe a umidade, e potencialmente o oxigênio, disponível na superfície de aço, inibindo assim a reação catódica. Os dados de ensaio acelerados demonstraram que os aditivos de éster-amina orgânico reduziram significativamente o ingresso de cloreto, retardando o início da atividade de corrosão em concreto armado. Este aditivo é adicionado a misturas de concreto e argamassa.

10.2.4 Injeções em trincas e fissuras

A injeção sob pressão de materiais em trincas e fissuras é utilizada para obturar e preencher vazios, para "colar" ou solidarizar as trincas e fissuras, para impermeabilizar ou vedar infiltrações, como os produtos descritos abaixo:

- **Epóxi**

As resinas epóxi são produtos com elevado poder de adesão, viscosidade e densidade semelhante ao da água. É possível a combinação de endurecedores mais ou menos rápidos, podemos regular o tempo de vida "pot life" e o tempo de endurecimento.

As resinas epóxi são normalmente utilizadas para injeções de solidarização de trincas e fissuras "mortas", isto é, das que não se movimentam. A injeção de resinas epóxi em trincas e fissuras vivas, pode acarretar no surgimento de novas fissuras adjacentes, já que a estrutura está criando uma junta para a sua movimentação. As resinas epóxi não devem ser utilizadas em fissuras que estejam úmidas no momento de sua aplicação.

As resinas epóxi utilizadas para injeção deverão ter baixa viscosidade, tempo de endurecimento compatível com o tempo necessário para a injeção e total preenchimento dos vazios, cura rápida, baixa retração, resistências mecânicas superiores ao do concreto, baixo módulo de deformação.

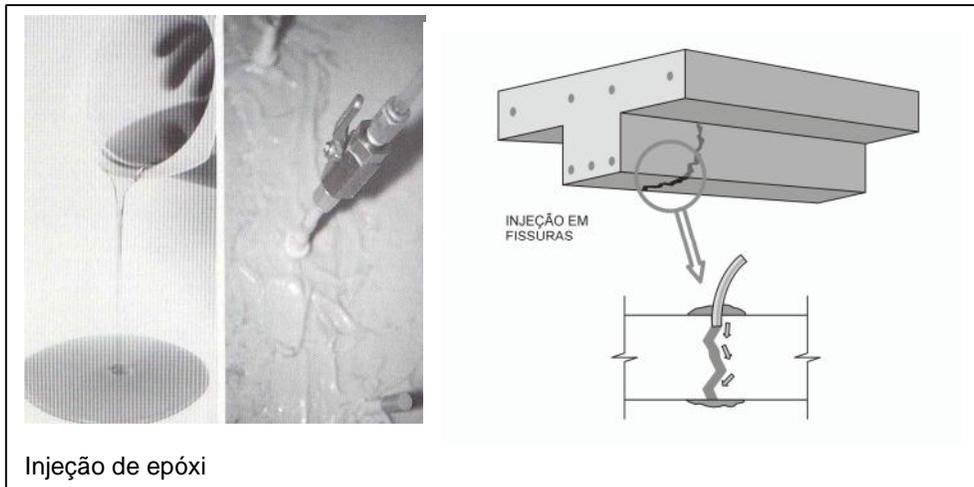
- **Poliuretano e metacrilatos hidro-reativos**

São produtos desenvolvidos para injeção em trincas e fissuras com infiltrações. A resina reage com água, expandindo-se e obturando os pontos de infiltrações. Este método, embora utilizado com certa frequência, não garante a proteção das armaduras, como também não são flexíveis, podendo voltar as infiltrações em fissuras e trincas dinâmicas.

- **Cimento**

A injeção de calda de cimento é utilizada em algumas ocasiões, em trincas de abertura acima de 1 mm, em solos, muros de arrimo, barragens, túneis, etc., com a utilização de calda de cimento aditivada com plastificantes ou superplastificantes, como também com microssilica.

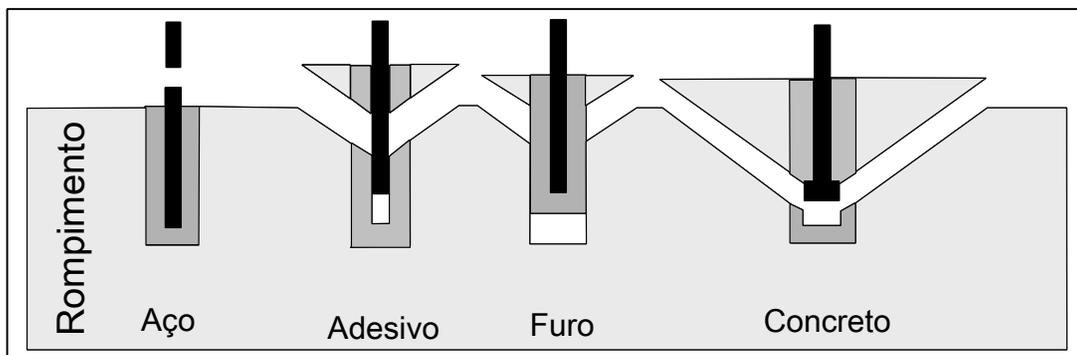
Existe no mercado brasileiro aditivo em pó para cimento, com retração compensada, que introduz a característica de tixotropia na calda de injeção, utilizada para injeção em bainhas de protensão, ancoragens de tirantes, injeções em rochas, etc.



10.2.5 Adesivos

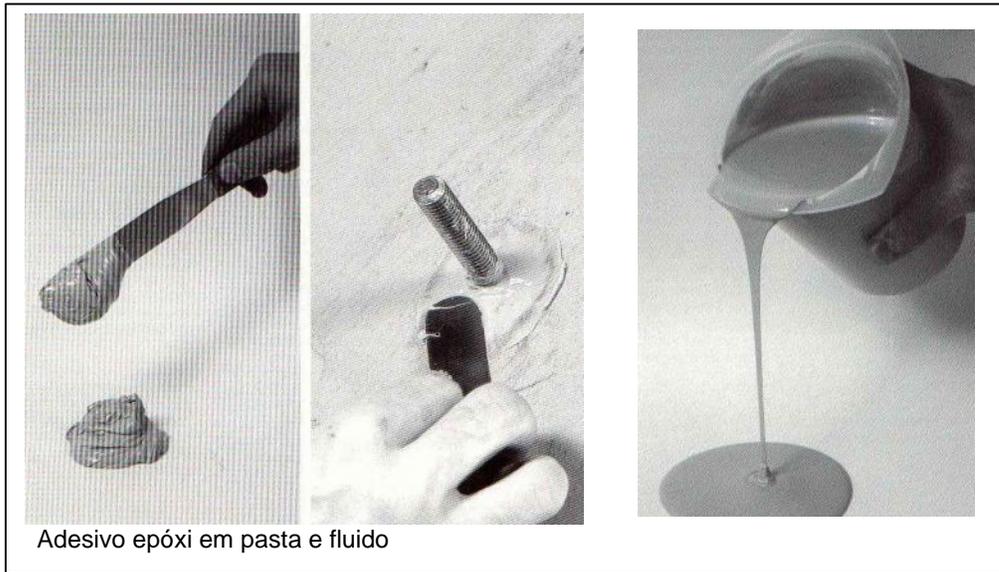
Os adesivos são materiais de grande utilização como material auxiliar de reparações. Os mais utilizados são as resinas epóxi (fluidas, em pasta ou gel) e as resinas acrílicas, estas últimas utilizadas puras ou em calda de cimento (exemplo: 3 partes de cimento, 1 parte de resina acrílica e 1 parte de água).

As resinas epóxi são mais utilizadas para colagens de concreto novo com concreto velho, e outras aplicações de alta exigência de cargas, como fixação de pinos e tirantes, colmatação de trincas antes de injeções.



Já o látex acrílico é utilizado como primer de ligação de argamassas de reparo e outras aplicações típicas.

Deve-se observar que no mercado competitivo de produtos, há grande variação de qualidade de produtos, alguns deles com teor de sólidos ou material ativo abaixo do mínimo ponderável para um serviço de responsabilidade.



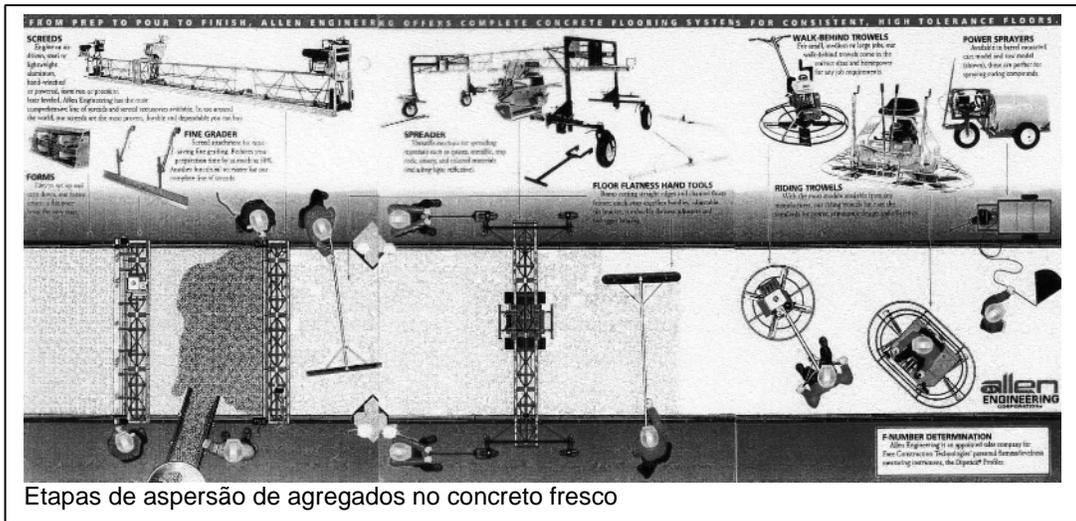
10.2.6 Endurecedores de superfície

Os endurecedores de superfície são aplicados para melhorar a resistência à abrasão de pavimentos rodoviários e aeroviários, pisos industriais, como também em regiões sujeitas a erosão por água, como vertedouros, canaletas com fluxo de água em alta velocidade.

Os endurecedores são classificados em dois grupos:

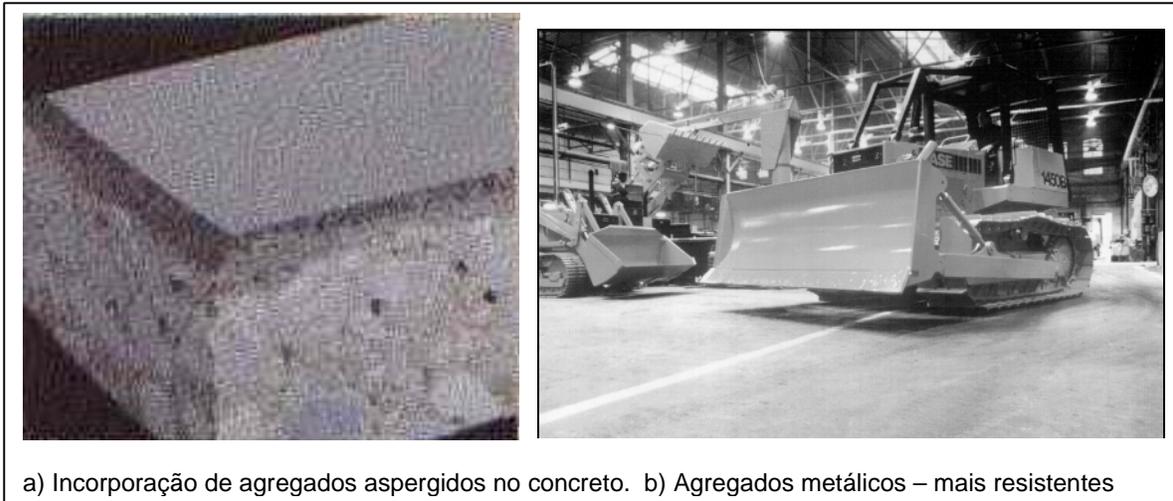
- **Materiais aspergidos**

São materiais compostos de cimento, aditivos especiais, agregados de quartzo ou metálico, que são aspergidos sobre o concreto ainda fresco e incorporados à massa do mesmo, formando uma capa superficial monolítica de elevada dureza, resistente a impactos e à abrasão.



Etapas de aspersão de agregados no concreto fresco

Os agregados de quartzo são os mais utilizados em pisos industriais normais e os agregados metálicos, mais dúcteis é mais indicado em situações de elevada carga de tráfego, impacto e abrasão.



a) Incorporação de agregados aspergidos no concreto. b) Agregados metálicos – mais resistentes

• **Endurecedores químicos**

São produtos líquidos à base de silicatos e fluorsilicatos aspergidos sobre o piso de concreto, que reagem com o hidróxido de cálcio originário da hidratação do cimento, formando compostos mais resistentes. Os endurecedores químicos são antipó e melhoram a resistência à abrasão em concretos comuns, não resultando em melhora significativa em concretos bem executados e curados.



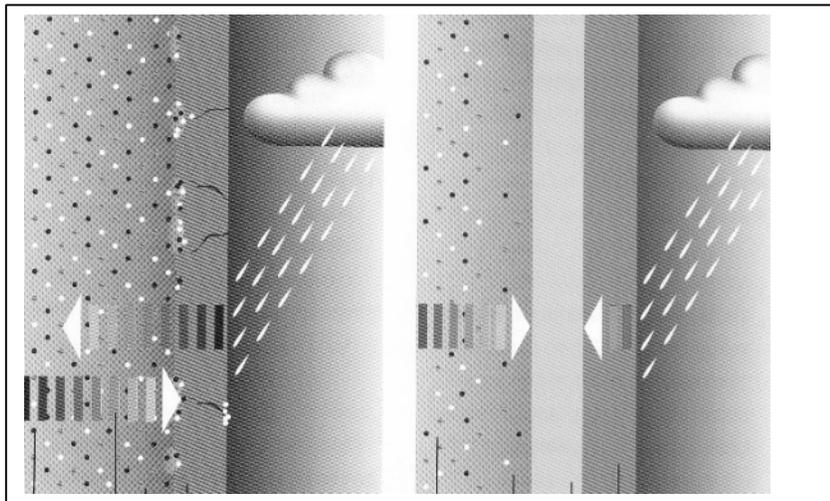
10.2.7 Proteção de superfície

O material de proteção tem a finalidade de proteger o substrato contra a penetração de água e agentes agressivos e dar acabamento estético ao substrato.

Normalmente são utilizados os seguintes materiais:

- Hidrofugantes ou hidrorrepelentes
- Vernizes
- Pinturas

Os tipos de materiais e sua eficiência são discutidos em capítulo à parte.



Resumo dos materiais de reparo e revestimentos

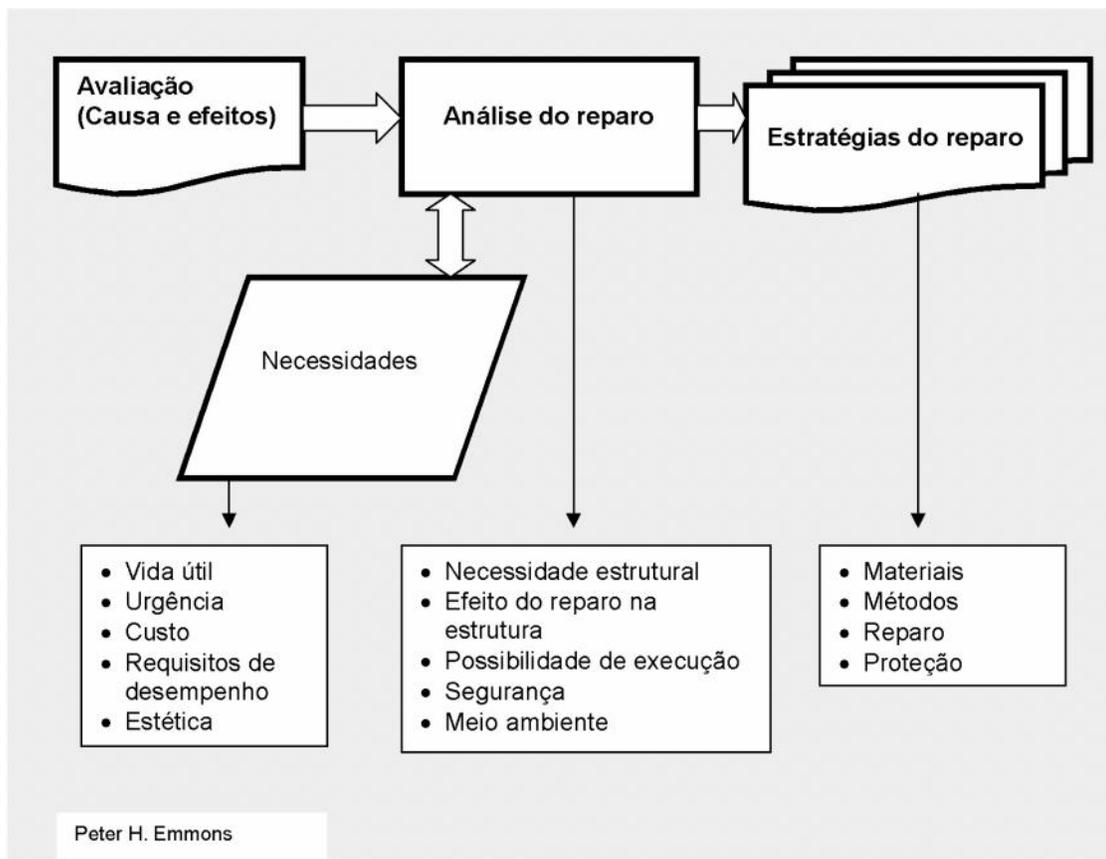
Materiais	Componentes			Requisitos de Aplicação		
	Base	Adições	Aditivos	Limitação de Espessura	Temperatura de Aplicação	Cura
Graute de Cimento Portland	Cimento Portland	Brita para maiores espessuras	<ul style="list-style-type: none"> • Redutor de água • Incorporador de ar 	3,5 a 10 cm	5 – 32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias • Líquido de Cura
Concreto Comum	Cimento Portland		<ul style="list-style-type: none"> • Redutor de água • Incorporador de ar 	5 cm	5 – 32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias • Líquido de Cura
Concreto/argamassa com Microsílica	Cimento Portland	Micro-Sílica	Fluidificante ou superfluidificante	3 cm	5 – 32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias • Líquido de Cura
Concreto com Látex	Cimento Portland		Redutor de água Látex de SBR	3 cm	7 – 35 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 3 dias • Líquido de Cura
Argamassa com Polímero	Cimento Portland	Agente tixotrópico	Látex Acrílico	0,3 a 7 cm	Consultar o Fabricante	Consultar o Fabricante
Argamassa com Polímero e Fibras	Cimento Portland	Agente tixotrópico Fibras	Látex Acrílico	0,6 a 7 cm	Consultar o Fabricante	Consultar o Fabricante
Argamassa com Fosfato de Magnésio	Cimento de Fosfato de Magnésio			2 cm	10 – 40 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Líquido de Cura 1 hora a 2 dias
Concreto Modificado	Cimento Portland	Pozolana	Fluidificante	8 cm	5 – 32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias • Líquido de Cura
Argamassa de Epóxi	Resina Epóxi			0,6 a 2 cm	10 - 32 °C	4 horas a 2 dias
Argamassa com Metilmetacrilato	Resina Acrílica			0,6 a 2 cm	-6 – 50 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias • Líquido de Cura
Concreto Projetado	Cimento Portland	Pozolana	Redutor de água Acelerador	2 a 10 cm	5 – 32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Água 7 dias

11. Procedimentos de reparos estruturais

11. Procedimentos de reparos estruturais

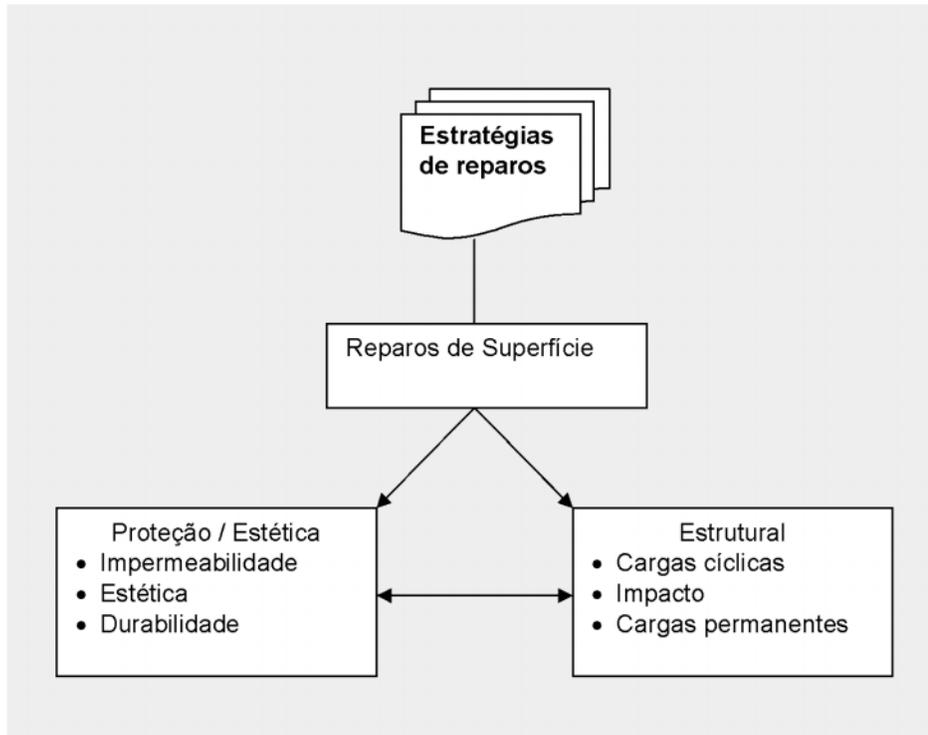
Os processos de solução de problemas de reparos de concreto inclui a análise do reparo, a estratégia e o projeto/ metodologia.

A análise do problema deve ser compreendida, inclusive as causas e os efeitos da deterioração.



Os problemas de deterioração são diversos. Cada situação exige uma compreensão clara do que é esperado do reparo. Três requisitos de desempenho em geral são **proteção, estética e suporte à carga**.

O processo de análise do reparo é para determinar a exata função do reparo e que propriedades do material de conserto podem ser especificadas e requeridas.



11.1. Reparos Superficiais

Os atuais métodos de reparos superficiais são muito mais complexos que no passado por várias razões como indicado abaixo:

- O concreto atual é de maior desempenho (alta resistência, menor espessura e peso, baixo cobrimento de armadura, adições diversas ao cimento, etc).
- A prática de projeto é mais precisa.
- O concreto é exposto a atmosferas mais agressivas.
- As estruturas são mais complexas, inclusive dos tipos protendido.
- Uma grande variedade de materiais de reparo está disponível.
- Maiores e melhores técnicas de reparos estão disponíveis.

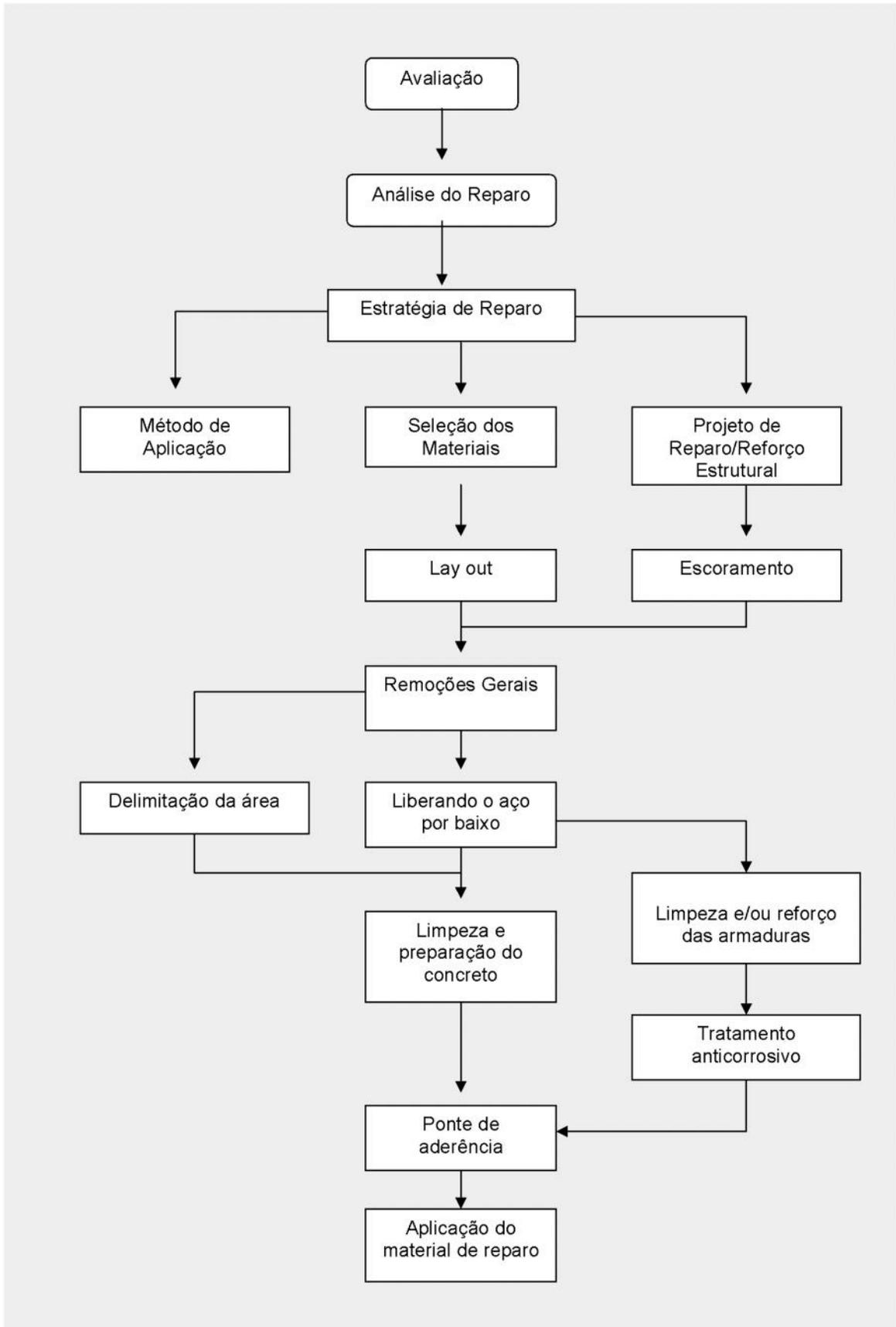
As técnicas de reparos de superfície exigem um conhecimento prévio das propriedades e características de desempenho dos materiais, engenharia estrutural, ferramentas e equipamentos de preparação da superfície e de aplicação dos materiais, normalização pertinente e métodos de avaliação de desempenho dos materiais.

A realização de reparos duráveis e eficientes muitas vezes não é um processo preciso. Muito pode dar errado, existem algumas redundâncias e muitas etapas dependem do sucesso de outras.

O cuidado na adoção das melhores técnicas já é uma melhoria do processo.

O esquema abaixo detalha estes passos importantes de um reparo de superfície:

- Análise do reparo, estratégia e projeto
- Seleção dos materiais
- Preparação de superfície
- Reforço, limpeza e proteção das armaduras
- Aderência dos materiais de reparo no substrato existente
- Técnicas de execução

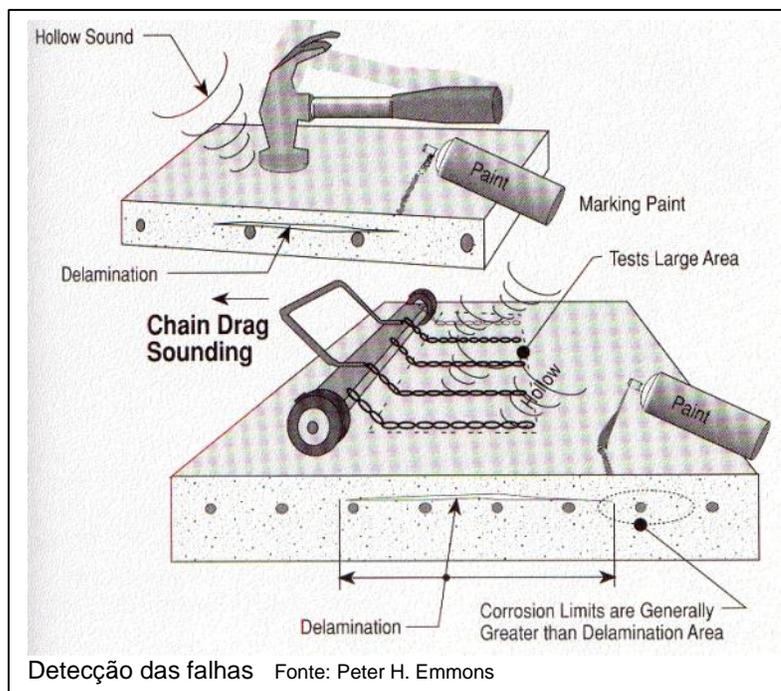


Preparação da estrutura

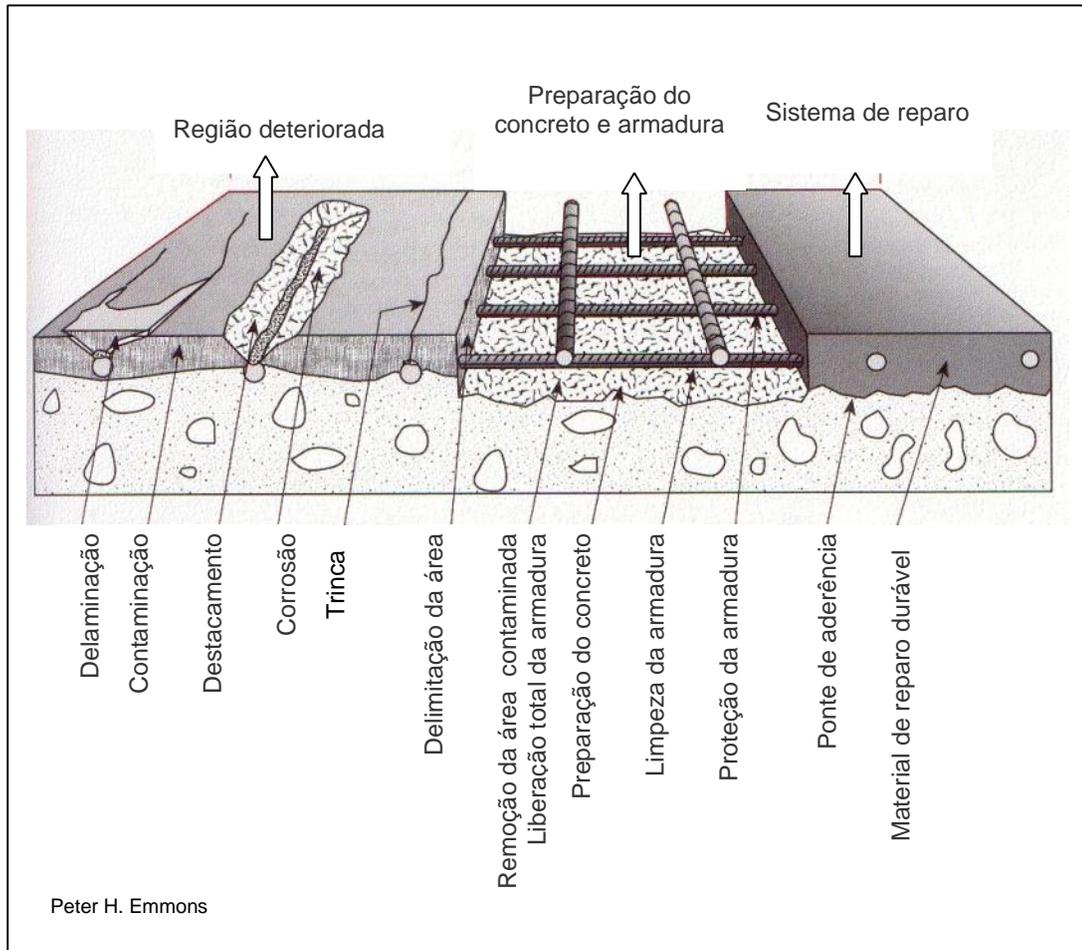
A preparação da superfície são os procedimentos necessários para preparar o concreto para a execução dos reparos.

A preparação é requerida para remover todo o substrato deteriorado, contaminado ou danificado, para preparar a superfície para receber os materiais de reparo.

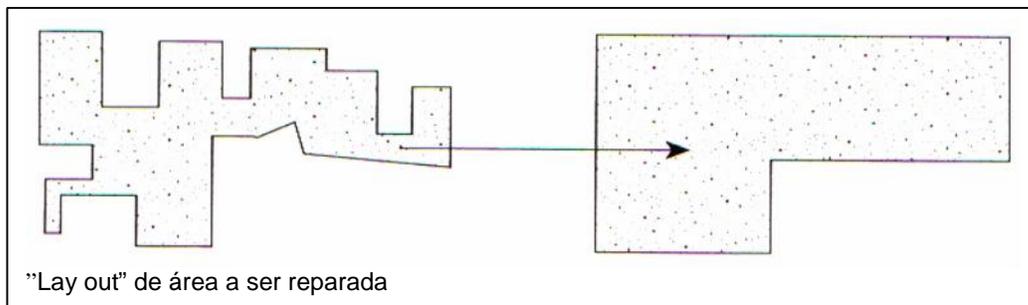
Deve-se iniciar o serviço efetuando um rigoroso exame da estrutura, visual, por percussão, etc., para a detecção das áreas a serem reparadas.



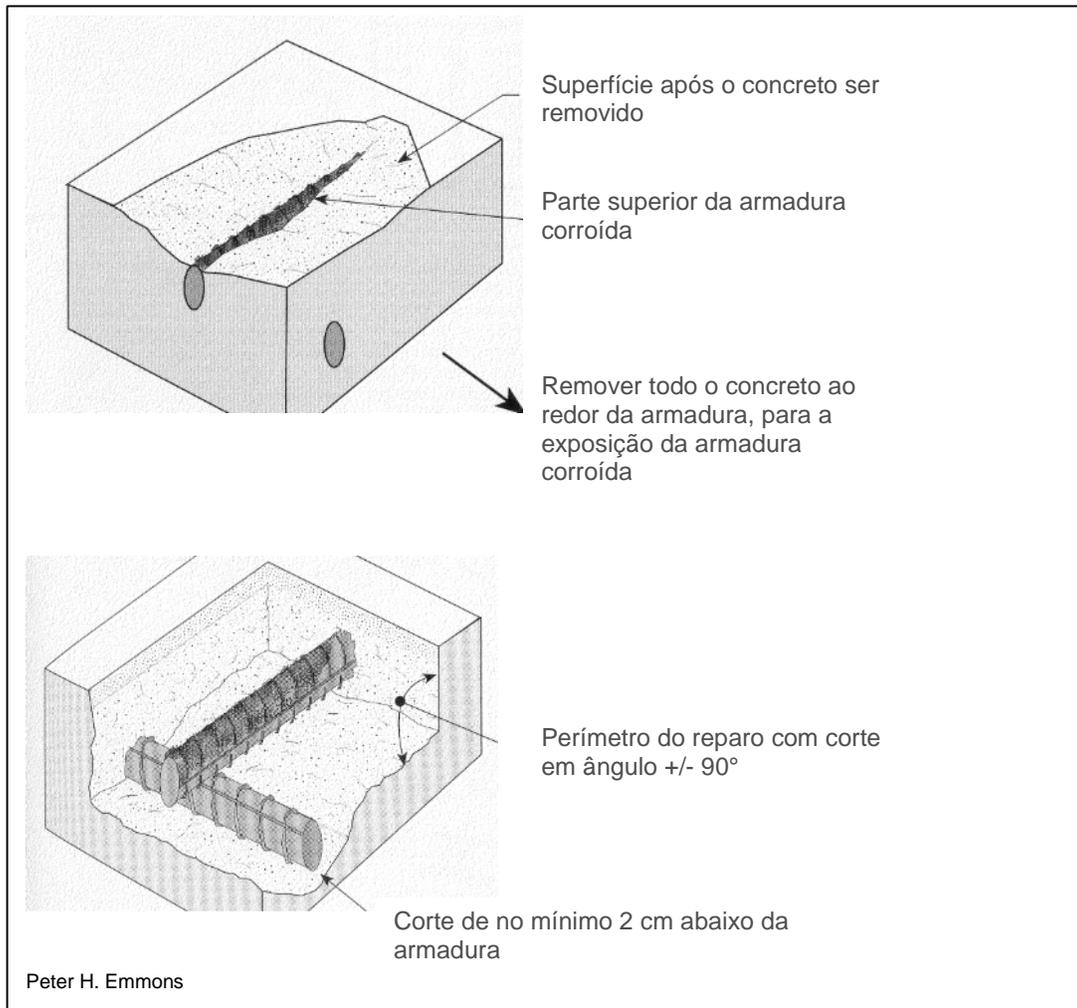
O processo de preparação é uma das fases mais críticas do trabalho. Sem preparar adequadamente o substrato, os resultados dos reparos podem não ter o resultado desejado.



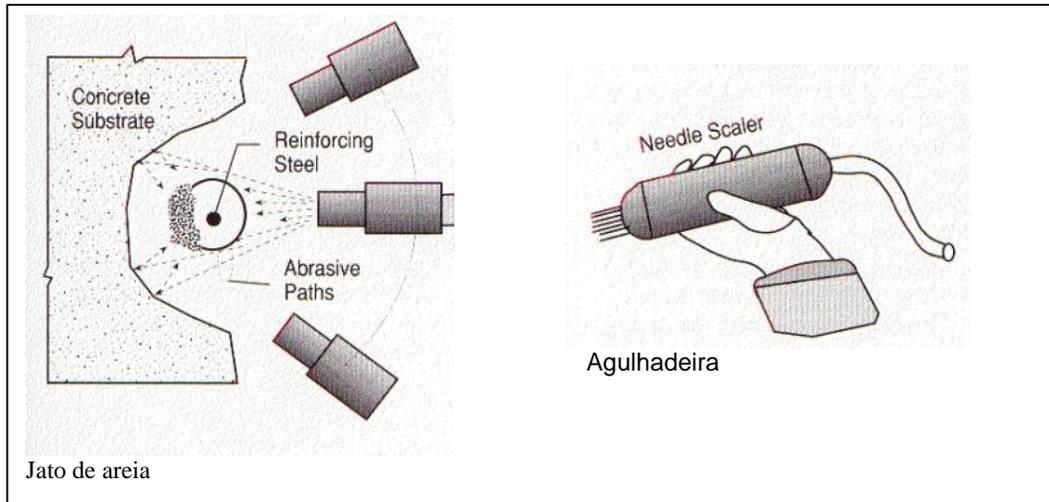
Deve-se efetuar a marcação e delimitação das áreas a serem reparadas. É importante delimitar as áreas de reparos em um desenho geométrico retangular ou quadrado, evitando delimitar as áreas em formas geométricas que dificultem a execução, como também deve ser levado em consideração à estética do acabamento da área reparada.



Após a delimitação da área de reparo, deve-se efetuar um corte ortogonal na região delimitada, retirando todo o concreto em torno da armadura.



Deve-se efetuar a limpeza rigorosa das armaduras, para a retirada de todo o traço de oxidação.



Efetuar o tratamento anticorrosivo das armaduras, formando uma película uniforme de espessura recomendada em toda a armadura.

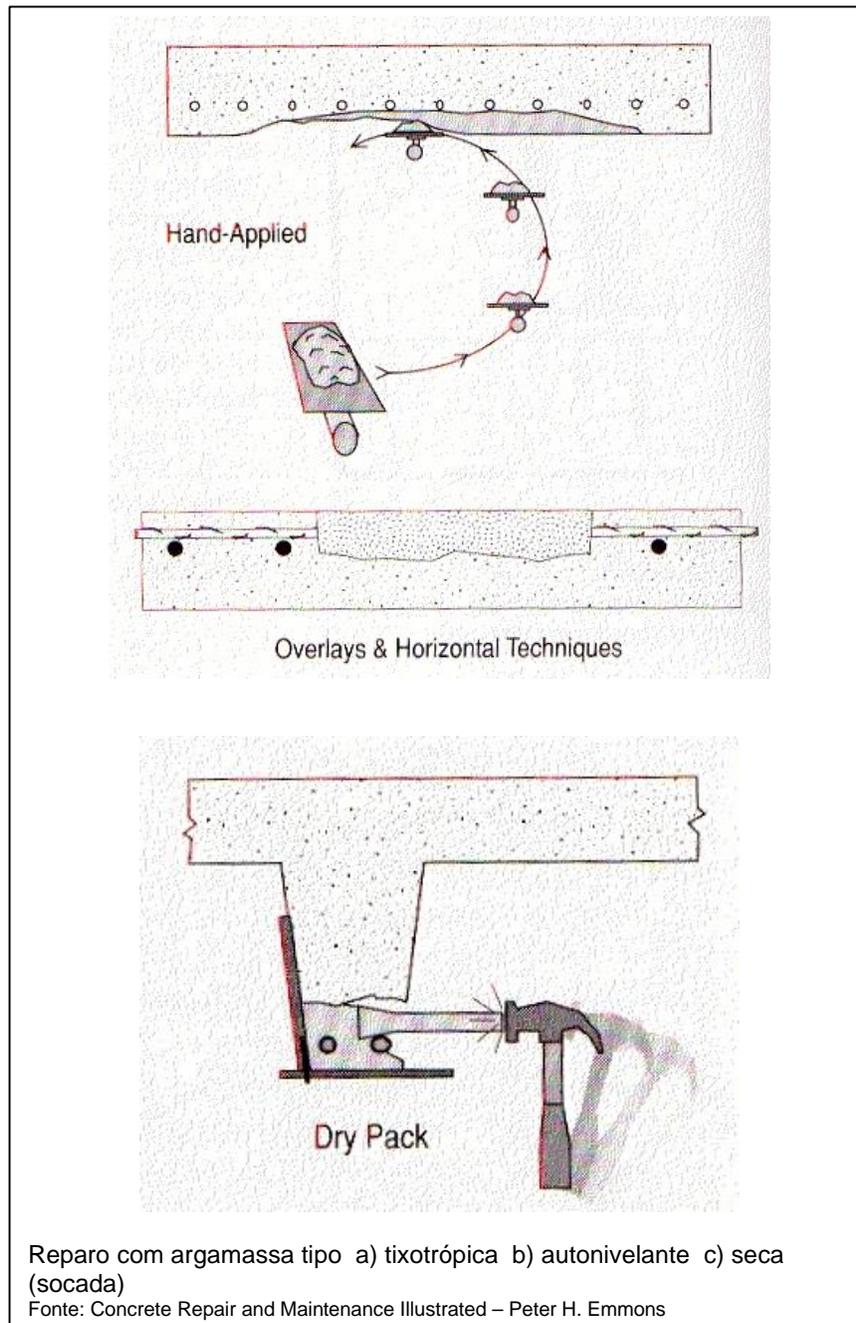


Efetuar a preparação da área para receber a argamassa de reparo. Dependendo da ponte de aderência a ser aplicada entre o substrato e a argamassa de reparo, podemos ter procedimentos diversos. Por exemplo, caso seja utilizado como ponte de aderência resina epóxi, o substrato deve estar seco. Caso seja aplicado como ponte de aderência látex acrílico, aplicado puro ou em mistura com cimento (3 partes de cimento – 1 parte de água – 1 parte de resina acrílica), o substrato deve ser primeiramente hidratado com água. A hidratação prévia deve ser saturando-se o substrato, com superfície não encharcada. Entende-se como superfície não encharcada quando não temos filme de água (brilhante) na superfície, pois esta película de água é um filme antiaderente.

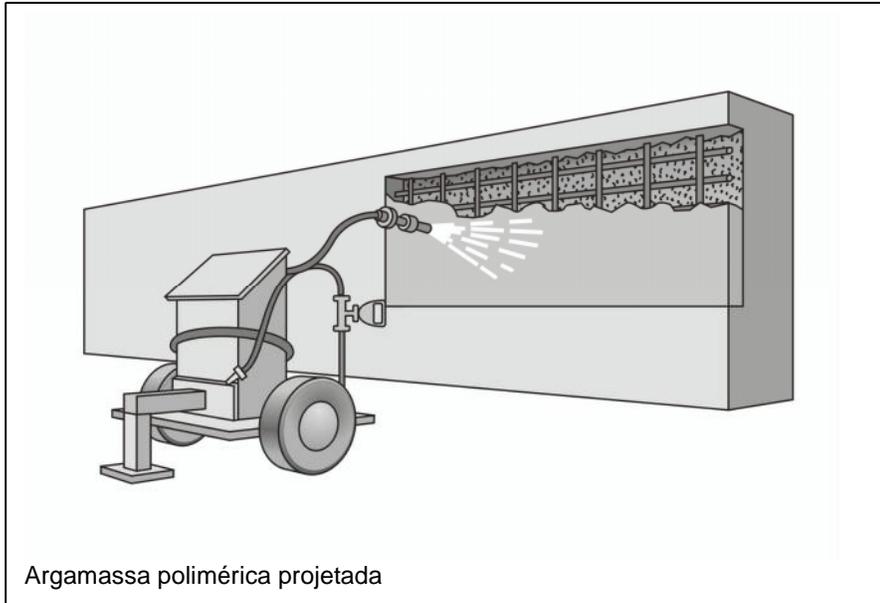
Aplicação do material de reparo

Após todos os procedimentos de reparos esteja executada, a argamassa de reparo é então aplicada, firmemente comprimida, para ocupar todos os espaços vazios, inclusive na parte posterior da armadura.

Os reparos localizados em pequenas regiões, a aplicação do material de reparo é normalmente executado manualmente.

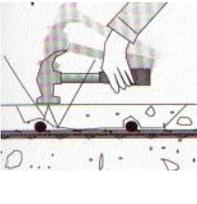
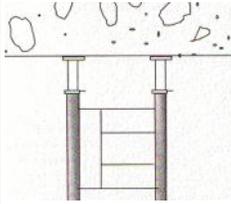
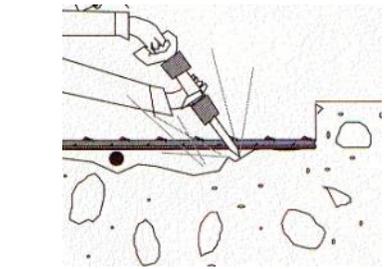
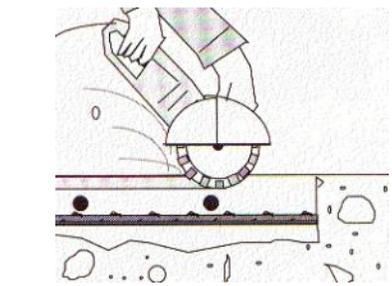
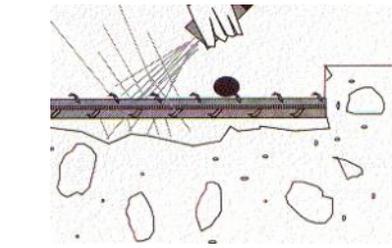
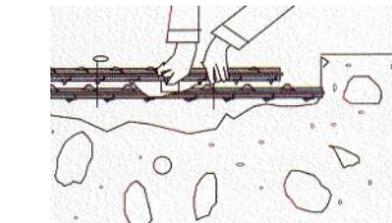
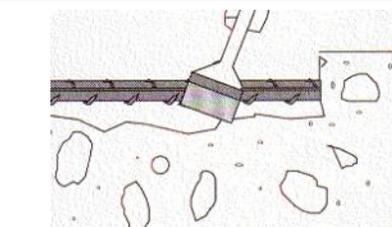


Para reparos em grandes regiões, normalmente a aplicação da argamassa reparo é executada com equipamento de projeção, preferencialmente por via úmida.



Após a aplicação da argamassa de reparo, deve-se efetuar a cura do reparo com aspersão de água por 7 dias, ou cura química.

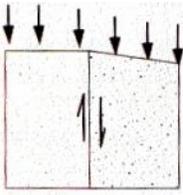
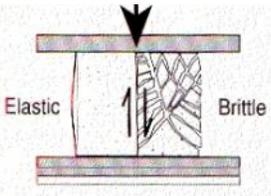
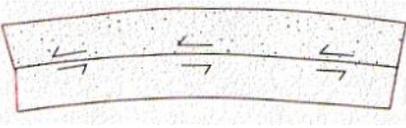
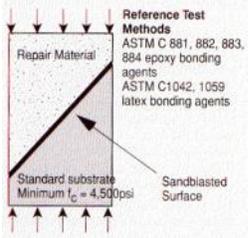
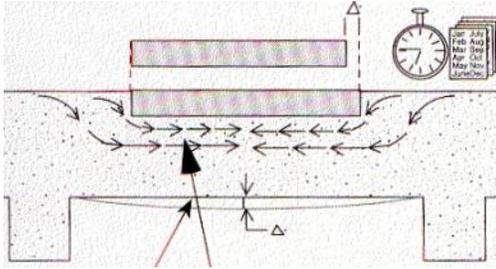
Resumo das etapas de preparação

		<p>1. Localizar a área a ser reparada, por teste de percussão, exame visual ou outros métodos.</p> <p>Verificar se é necessária a instalação de suportes provisórios.</p>
	<p>2. Remover com equipamentos adequados todo o concreto deteriorado. Quando a remoção atingir o ponto da armadura, a mesma deve ser totalmente exposta para o sucesso do reparo.</p>	
	<p>3. Delimitar a área de reparos de acordo com a metodologia de reparo a ser adotada. A aplicação de concreto projetado pode requerer a modificação da geometria da área delimitada.</p>	
	<p>4. Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser reparada. A limpeza é muito importante para possibilitar a ancoragem adequada do material de reparo.</p>	
	<p>5. Caso a seção da armadura esteja seriamente comprometida, com perda de mais de 15% da seção, a colocação de armadura adicional pode ser necessária.</p>	
	<p>6. Dependendo da metodologia de reparo, a aplicação de pintura protetora da armadura e ponte de aderência podem ser adotada.</p>	
<p>Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons</p>		

11.2. Reparos Médios e Profundos

Na execução de reparos de profundidades média ou profunda, devem ser entendidos como um reparo que vai suportar parte da carga da estrutura. Assim sendo, os cuidados de execução criteriosa devem ser observados.

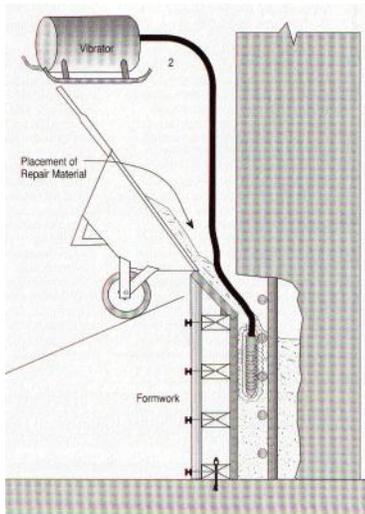
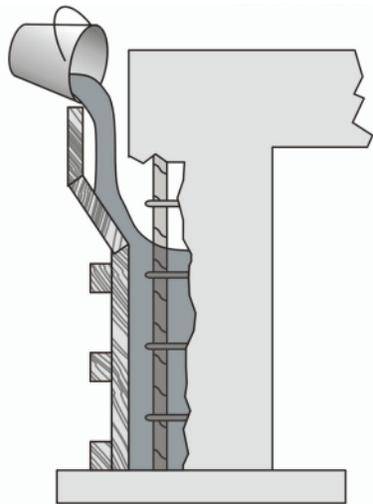
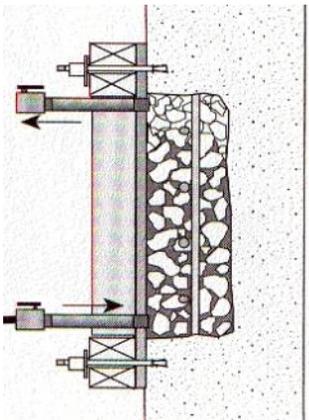
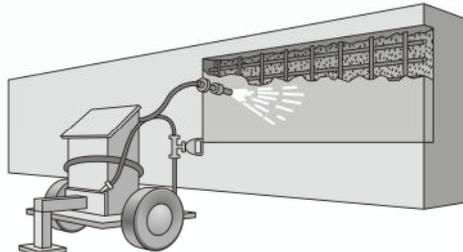
Fatos que devem ser levados em consideração:

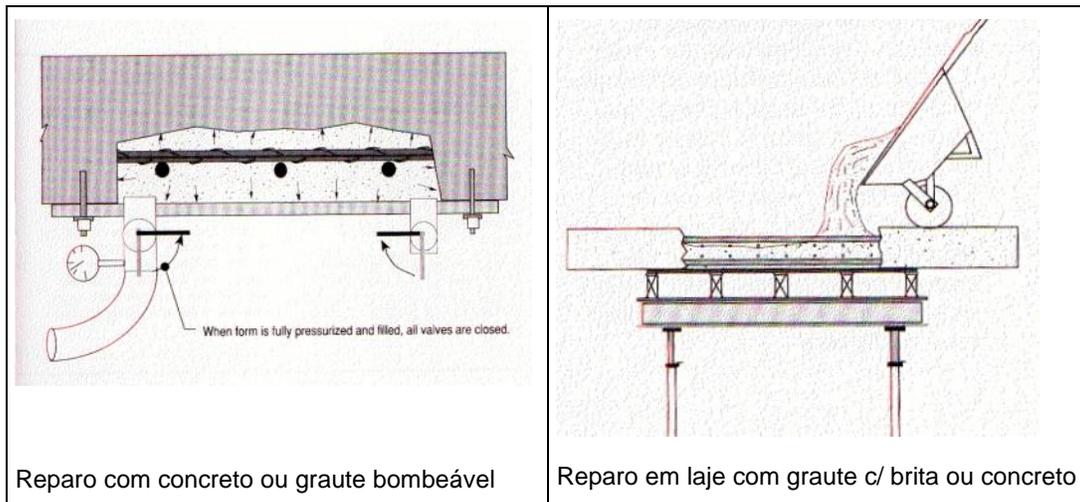
	<p>⇒ Utilizar materiais com o módulo de elasticidade semelhante ao da estrutura, e de materiais que não sofram deformações que impeçam que os mesmos suportem parte das cargas que lhe são atribuídas.</p>
	
	<p>⇒ Utilizar materiais com coeficiente de expansão térmica semelhante ao da estrutura, de forma a não tensões na linha de aderência.</p>
	<p>⇒ Garantir a boa aderência do material de reparo à estrutura, de forma a que se comportem como uma peça única.</p>
	<p>⇒ É esperada uma certa retração do material de reparo. Isto pode fazer com que o reparo não contribua para suportar as cargas impostas. Devem-se adotar todos os procedimentos possíveis para minimizar a retração do reparo, tal como traço do material de reparo, retração compensada, cura, etc.</p>

Métodos de reparos médios e profundos

Existem vários métodos de reparação de profundidade média e profunda, devendo ser estudado a forma mais apropriada para cada caso em questão. A diferença básica entre os reparos médio e profundo difere-se basicamente no tamanho dos agregados do material. Como exemplo, para a utilização de um graute em reparos profundos, adiciona-se brita (cerca de 30% em volume), de forma a economizar material e minimizar a retração.

A preparação do substrato para receber o material de reparo são praticamente semelhante do adotado para reparos superficiais, assim como a cura do material de reparo.

 <p>The diagram shows a cross-section of a concrete repair. A vibrator is connected to a hose that leads to a placement pipe. The pipe is used to pour repair material into a formwork. Labels include 'Vibrator', '2', 'Placement of Repair Material', and 'Formwork'.</p>	 <p>The diagram shows a vertical hole in a concrete wall. A bucket is pouring grout into the hole. The grout is shown filling the hole and settling around the hole's edges.</p>
<p>Reparo com concreto</p>	<p>Reparo com graute (com ou sem brita)</p>
 <p>The diagram shows a cross-section of a concrete wall with a vertical hole. The hole is filled with washed aggregate. Grout is being injected into the space around the aggregate. Labels include 'Reparo com graute injetado em espaço já preenchido com brita lavada'.</p>	 <p>The diagram shows a concrete projector machine spraying grout onto a wall. The machine is on a stand and has a hose leading to a spray gun. The spray gun is spraying grout onto a wall. Labels include 'Concreto projetado'.</p>
<p>Reparo com graute injetado em espaço já preenchido com brita lavada</p>	<p>Concreto projetado</p>



11.3 Tratamento de fissuras e trincas

A injeção das fissuras e trincas tem como objetivos principais evitar a penetração de agentes agressivos, como também para, no caso de fissuras “mortas” solidarizar a estrutura e proporcionar a boa distribuição de cargas atuantes.

Para o tratamento de fissuras, adotam-se os seguintes métodos:

a) Injeção em fissuras (acima de 0,20 mm) e trincas “mortas”

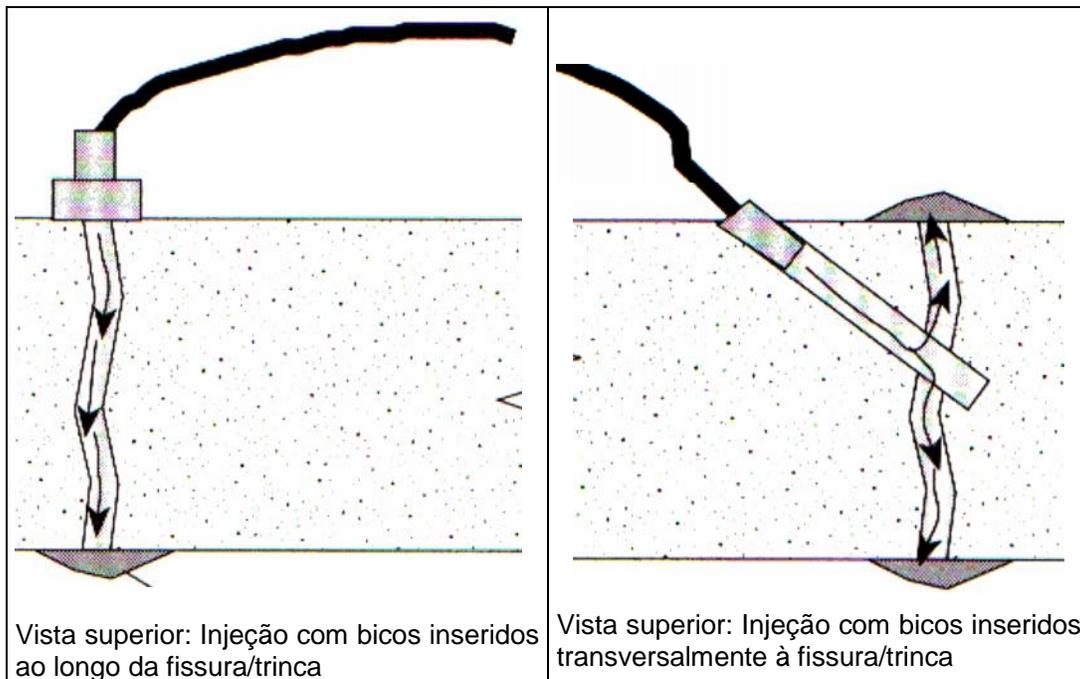
Abertura de um sulco em forma de “V” ao longo da fissura/trinca, com largura de 15 mm de cada lado do eixo da fissura/trinca e profundidade de aproximadamente 10 mm. Executar a selagem do sulco com argamassa epóxi ou argamassa polimérica.

Em intervalos adequados, cerca de 20 a 50 cm (dependendo da abertura e da profundidade da fissura ou trinca), colocar os bicos ou niples de injeção. Havendo bifurcações das fissuras/trincas, colocar sempre um bico/niple nesta bifurcação. Nos casos de fissuras e trincas passantes, é conveniente instalar bicos/niples em ambos os lados, quando possível.

Efetuar o teste de intercomunicação entre os bicos/niples com ar comprimido filtrado. No caso de haver umidade nas fissuras/trincas, é conveniente manter a passagem de ar comprimido para a secagem da umidade, exceção feita para o caso de injeção de resinas hidrorreativas de poliuretano ou metacrilatos.

Iniciar a injeção da resina epóxi, iniciando no ponto mais baixo para o mais alto. A pressão de injeção varia entre 0,5 Mpa a 2,0 Mpa, dependendo da abertura da fissura (maior pressão para as fissuras de menor abertura) e da viscosidade da resina. Na medida que a resina extravasar pelo bico/niple superior ao que se está injetando, proceder à vedação do primeiro bico e passar para o bico seguinte e assim sucessivamente. Deve-se procurar injetar a resina de forma ininterrupta e o mais lentamente possível, para que a mesma preencha todos os vazios.

Após a cura da resina, retirar os bicos injetores e dar acabamento à superfície.



b) Injeção em fissuras mortas inferiores a 0,20 mm

Fissuras de dimensões abaixo de 0,20 mm (micro fissuras), podem-se adotar a colmatação com o pincelamento de solução de metassilicato ou fluorsilicato de sódio, potássio, cálcio, diluídas em água quente, iniciando-se as primeiras demãos com uma dissolução em água de 15% a 20%, passando-se a seguir a uma dissolução de 30%, até a colmatação da fissura.

c) Calafetação em fissuras e trincas vivas com selantes

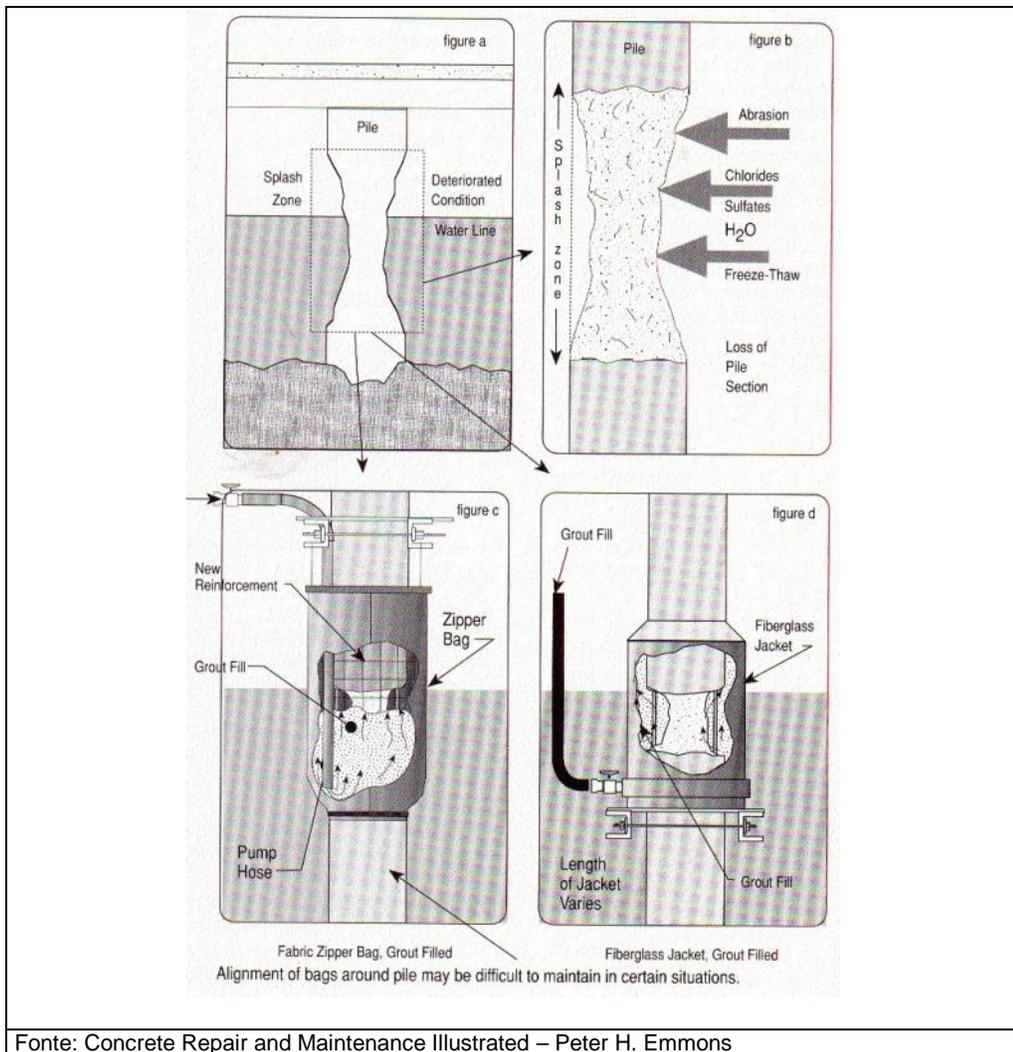
Para o caso de fissuras e trincas que se movimentam, não é recomendada a solidarização da estrutura com injeção de resinas, já que as tensões internas acabarão por fazer surgir novas fissuras ou trincas, para o alívio das tensões restringidas.

Nestes casos, de forma a evitar a penetração de agentes agressivos, procede-se a calafetação das fissuras e trincas com selantes elásticos, que acompanham a movimentação das mesmas, mantendo-as estanques à penetração de agentes agressivos.

11.4 Concretagem e grauteamento submerso

A técnica de concretagem e grauteamento submerso consiste no uso de aditivos especiais que mantêm o concreto coeso, argamassa, graute ou calda de cimento, sem lavagem ou segregação dos seus componentes finos, mesmo em água corrente, doce ou salgada.

A técnica é adotada para concretagem, grauteamento ou injeção de cimento subaquático, para recobrimento de pilares, barragens, preenchimento de vazios, etc.

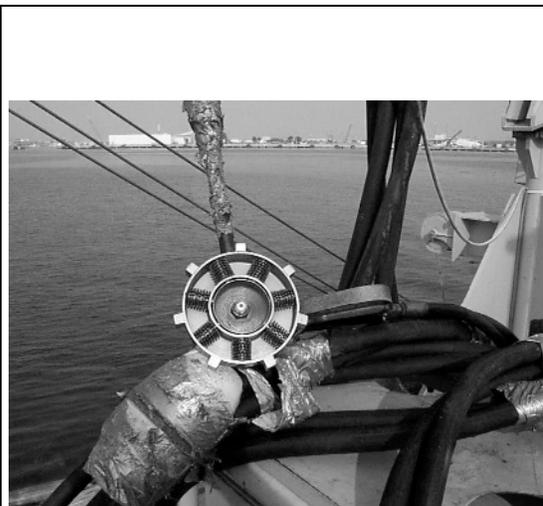


Com reparos em áreas envolvidas por fôrma, utiliza-se um concreto, calda de cimento ou graute com elevado abatimento (slump 18 ou mais) , para facilitar os serviços, dispensando a utilização de vibradores.

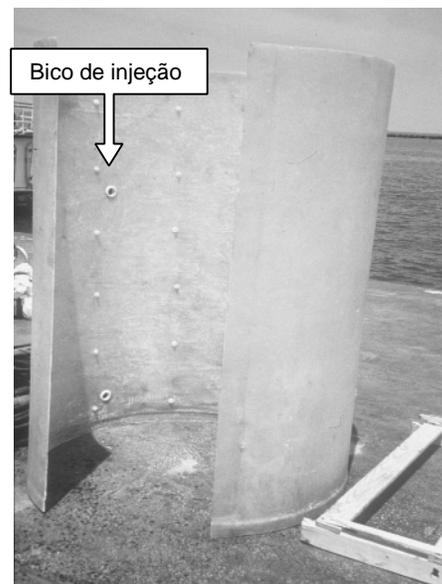
O material de reparo é bombeado dentro de uma forma estanque, de baixo para cima. Como o concreto tem sua massa específica superior ao da água, o preenchimento da área com concreto provoca a expulsão da água através de purgadores.

Para reparos manuais, utiliza-se uma argamassa de reparo tixotrópica, aditivada com o aditivo coesivo e antisegregante.

Abaixo podemos verificar uma técnica adotada para a concretagem submersa.



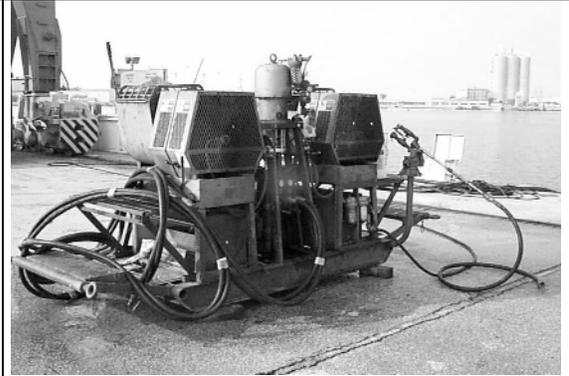
Equipamento abrasivo rotativo para a limpeza e preparação do substrato



Fôrmas especiais para o encapsulamento do pilar



Montagem das fôrmas



Equipamento de injeção



Consistência do graute a ser injetado



Injeção do graute pelos bicos de injeção



Serviço executado



Ensaio de aderência do reparo

12. Reforços estruturais

12. Reforços estruturais

12.1 Introdução

Quando uma estrutura ou parte da mesma exibe força inadequada (comportamento ou estabilidade), pode ser possível modificar a estrutura usando várias técnicas de estabilização e reforço.

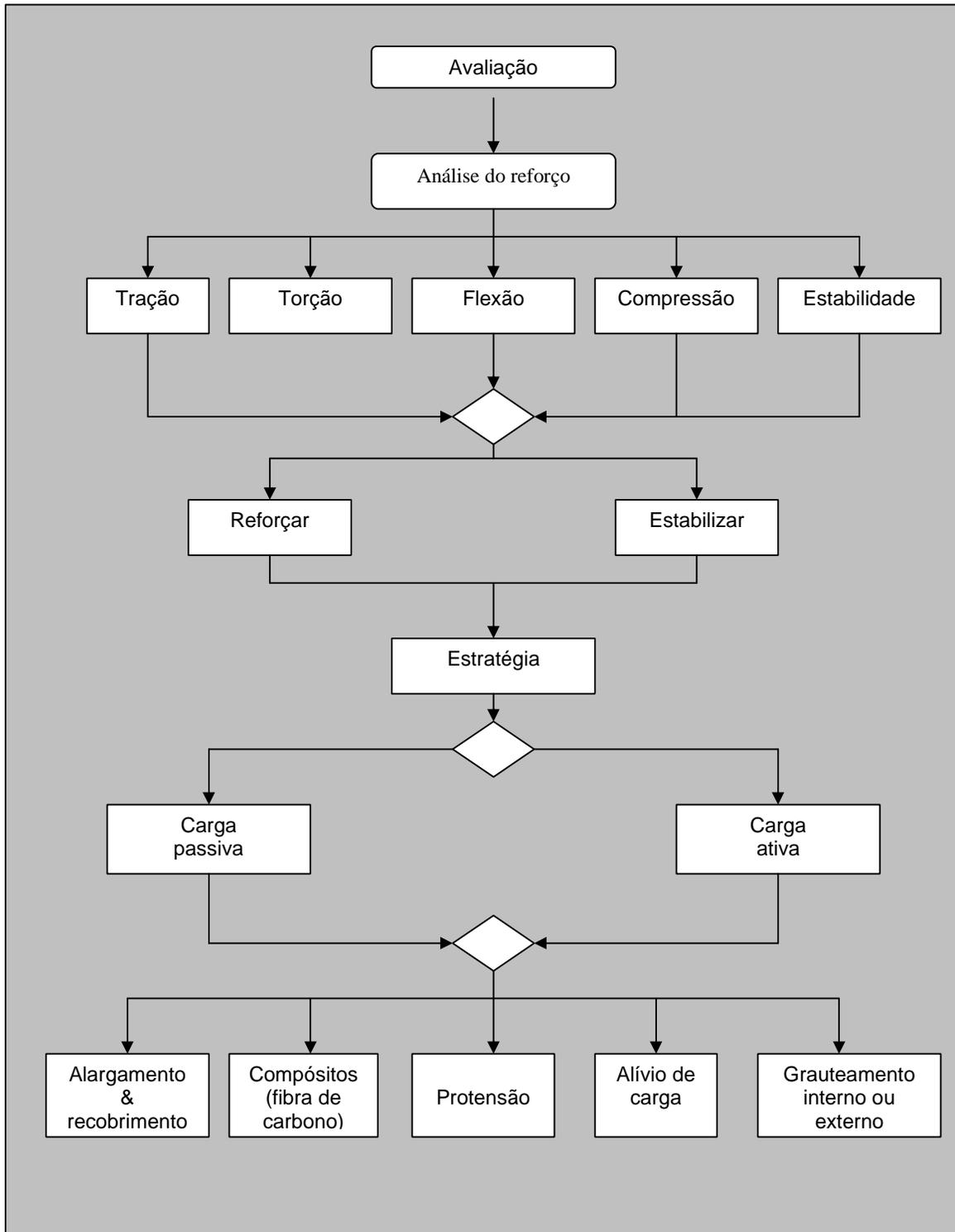
O âmbito desta apostila fornece discussão conceitual com intenção de promover o desenvolvimento de idéias para soluções possíveis, mas não adota procedimentos relativos a estudos de cálculo e técnicas mais aprofundadas.

As diferenças entre "estabilização" e "reforço" estão um pouco tênues e, em alguns casos, são usados sinonimicamente.

A **estabilização** é o processo de deter uma situação não desejada de progredir. A determinação de que uma da estrutura pode ser estabilizada é buscar deter movimento adicional.

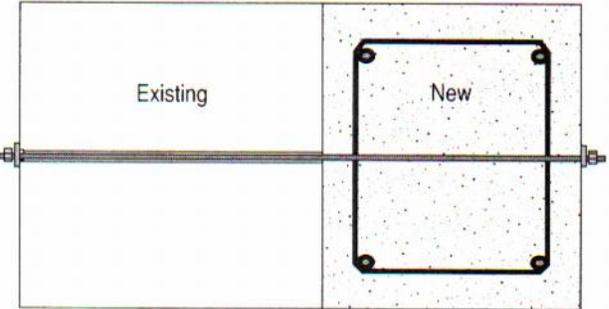
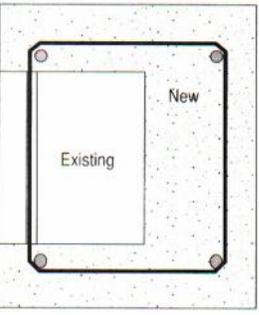
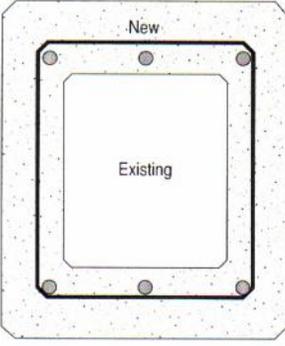
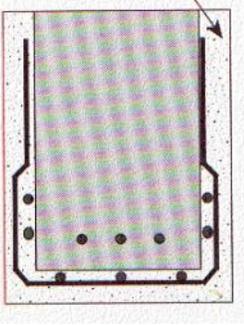
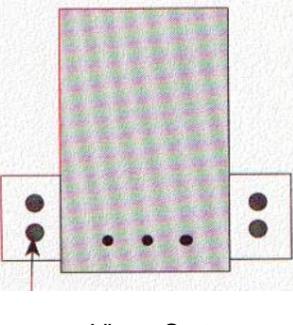
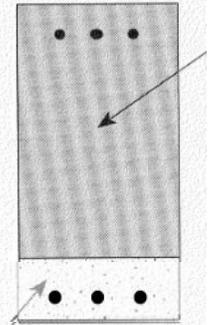
O **reforço** é o processo de somar capacidade de resistência para uma estrutura ou parte dela. Por exemplo o reforço de um pilar existente somará resistência à compressão, aumentando sua capacidade.

Em alguns casos, o processo envolve uma combinação de deter uma situação não desejada e, ao mesmo tempo, reforçar sua capacidade de carga.



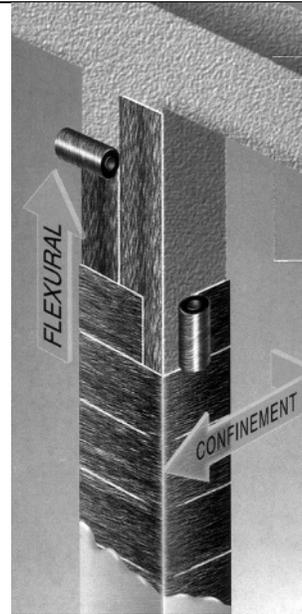
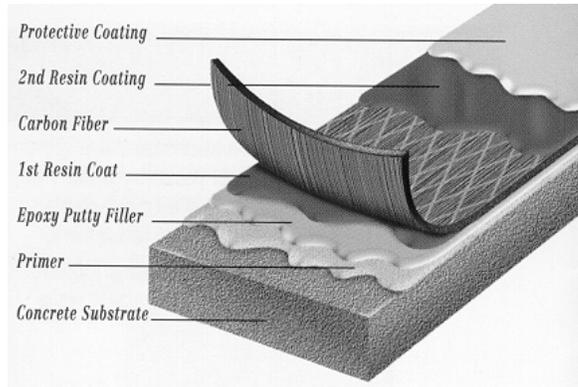
12.2 Técnicas de reforço

Na escolha da técnica de reforço devemos levar em consideração as particularidades de cada método, dentre os quais salientamos:

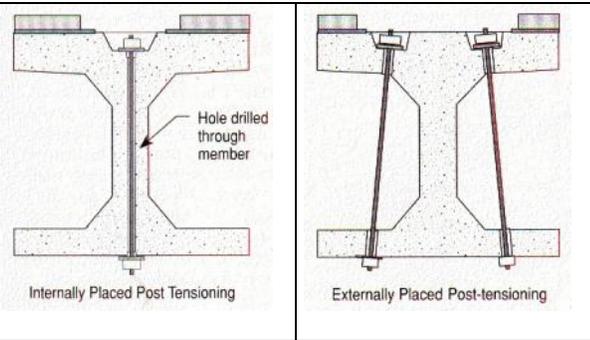
<p>Alargamento: Alargamento da estrutura com adição de uma nova camada de concreto e armadura solidarizada ou não à estrutura existente é um método adotado em pilares, vigas, lajes, paredes.</p>	 <p>Pilar Vista Superior</p>	
 <p>Pilar – Vista Superior</p>	 <p>Pilar – Vista Superior</p>	
 <p>Viga - Corte</p>	 <p>Viga - Corte</p>	 <p>Viga - Corte</p>

Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

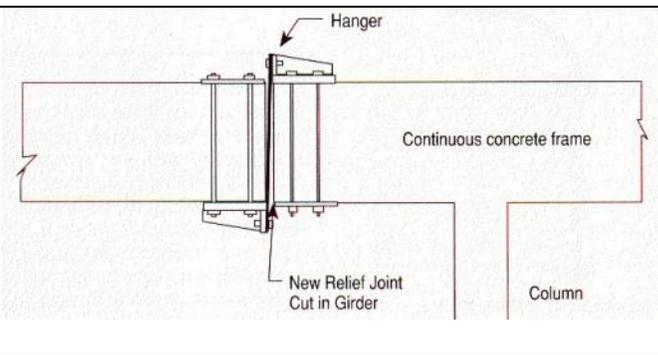
Compósito: Utilização de material diferente do existente na estrutura, como chapas metálicas, compósitos de fibra de carbono.
 Fonte: MBT Masterbuilders Technologies



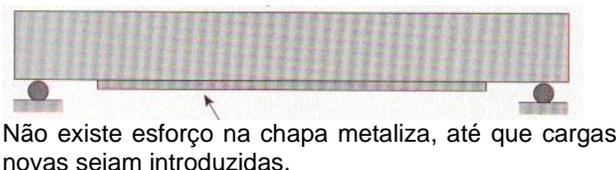
Pós-tensionado: Técnica de introduzir um elemento que, após tensionado, absorve parte das cargas atuando sobre a estrutura. Este elemento, pode ser introduzido no interior da estrutura existente ou utilizado externamente. É um método utilizado para aliviar tensões de flechas, torção, flexão, etc.
 Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons

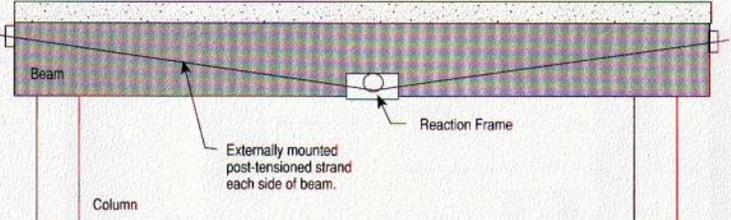


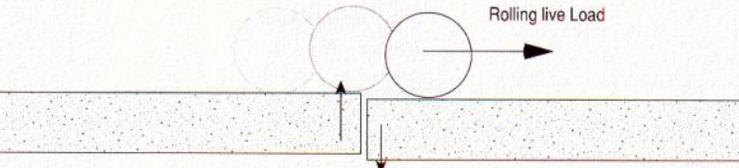
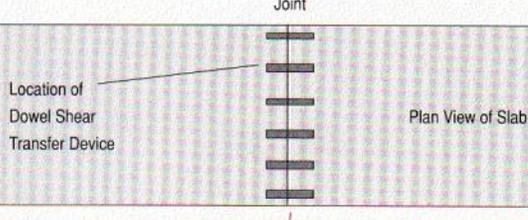
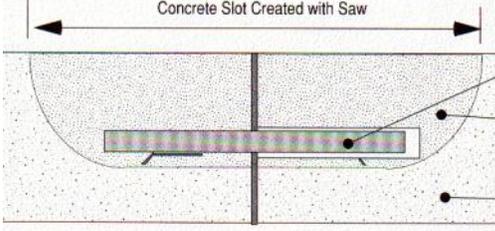
Alívio de tensões: Método que reduz as tensões na estrutura ou em parte da mesma. Um dos métodos mais utilizados é do alívio de tensões com a criação de novas juntas, alívio de cargas, etc.
 Fonte: Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons



Reforço passivo: Técnica em que o reforço não participa dos esforços até que as cargas adicionais (passivas ou ativas) são aplicadas e / ou até que a deformação adicional aconteça.



<p>Reforço ativo: Técnica que permite que o reforço imediatamente atue no suporte das cargas (ativas ou passivas).</p>	 <p>O tensionamento do tirante permite imediatamente o suporte de cargas.</p>
	

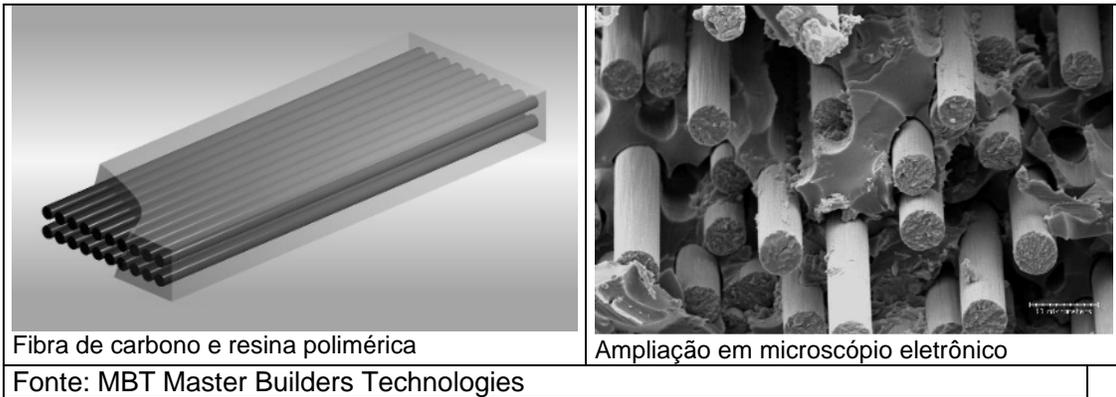
<p>Transferência de carga: Técnica de transferir a carga para outra parte da estrutura.</p> <p>Ex.: piso industrial</p>	
 <p>Location of Dowel Shear Transfer Device</p> <p>Plan View of Slab</p> <p>Joint</p>	 <p>Concrete Slot Created with Saw</p> <p>Corte: colocação de barras de transição</p>

12.2 Técnicas de reforço com fibra de carbono

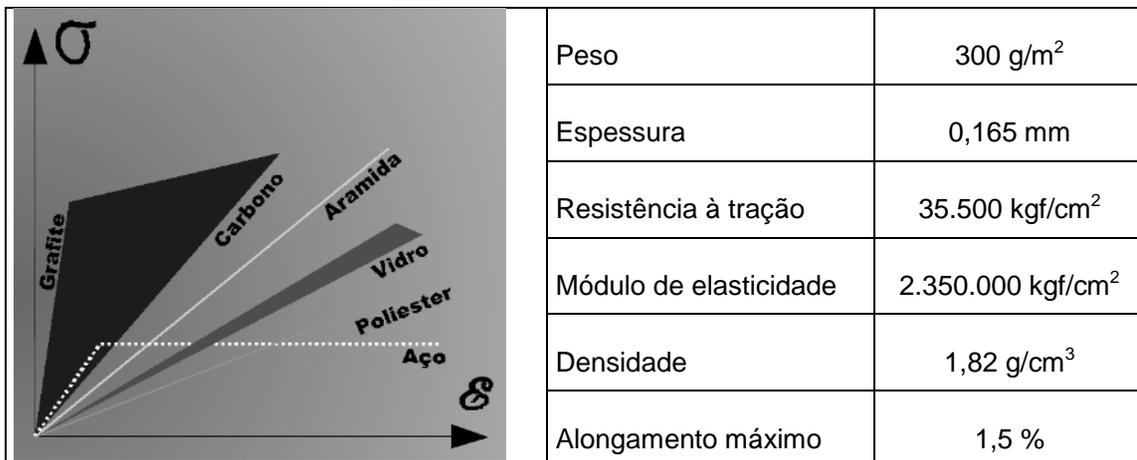
A fibra de carbono é uma técnica moderna de reforço de estruturas, tendo uma série de vantagens em relação aos sistemas convencionais.

A fibra de carbono foi inicialmente utilizada na indústria aeronáutica, passando depois para a área esportiva (Fórmula 1, esquis, raquete de tênis, etc.) e já é utilizado há mais de 10 anos na construção civil. Inicialmente estudado em universidades, sua utilização ganhou grande desenvolvimento a partir do terremoto ocorrido na cidade de Kobo – Japão.

A fibra de carbono é um subproduto de materiais à base de poliácilonitril, oxidado a partir de 1500°C. O material, em forma de fibras, tem seus átomos perfeitamente alinhados. Este alinhamento é que dá a elevada resistência à tração do material.



A fibra de carbono possui em torno de 7,5 mais resistência que o aço CA 50.



O campo de aplicação das fibras de carbono é:

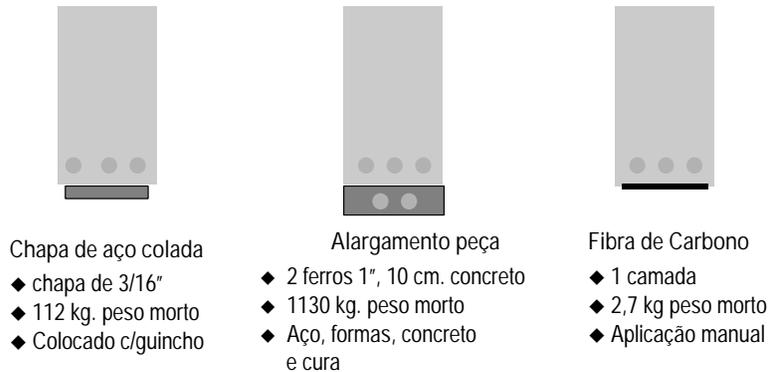
 <p>420 toneladas</p> <p>Mudança de uso da estrutura ou cargas</p>	 <p>Mudança das normas técnicas</p>
 <p>Erro de projeto ou construção</p>	 <p>Cortes de estruturas para instalações</p>
 <p>Incendios</p>	 <p>Abalos sísmicos</p>

Tipos de fibra de carbono:

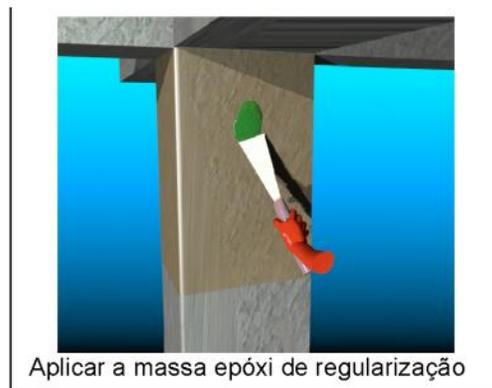
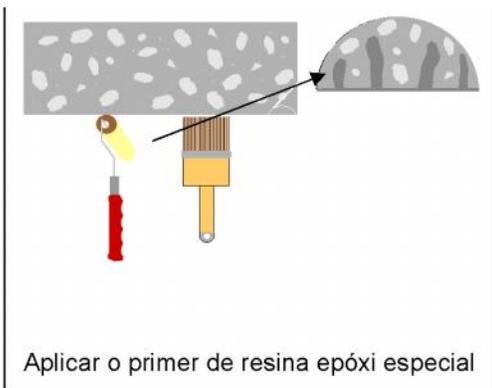
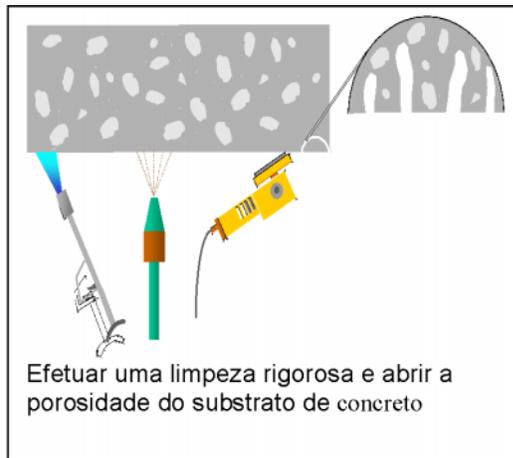
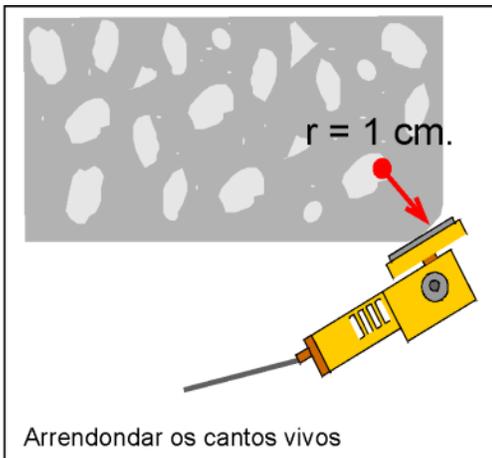
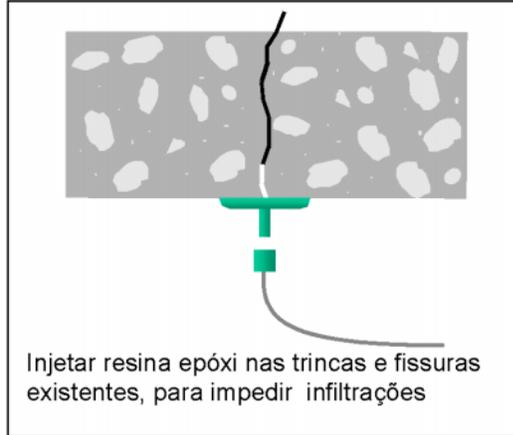


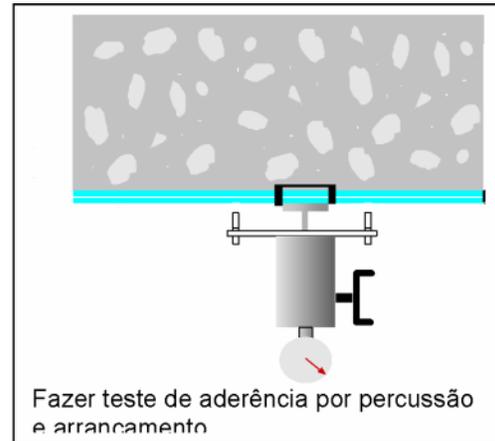
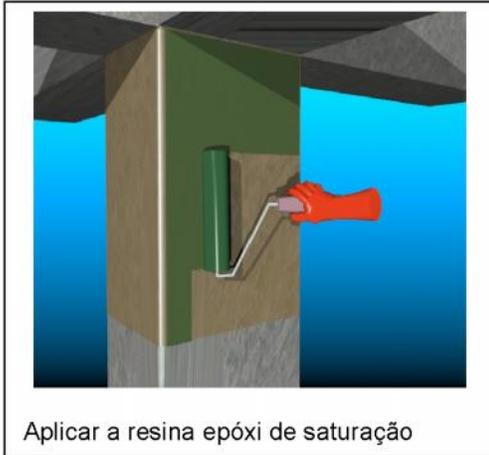
Fibra de Carbono versus Reforços Convencionais

Viga simplesmente apoiada; 35% de acréscimo de carga acidental



Técnica de aplicação





Fonte: S&P Clever Reinforcement Company



13. Desenvolvimentos recentes no Projeto de Estruturas de Concreto Armado para Longo Serviço, Visto de uma Perspectiva de Corrosão

13. Desenvolvimentos recentes no Projeto de Estruturas de Concreto Armado para Longo Serviço, Visto de uma Perspectiva de Corrosão

Dr. Charles K. Nmai, P.E., FACI
(MBT Master Builders Technologies, Cleveland, OH, E.U.A.)

13.1 Abstrato

Reconhecida como uma causa principal de deterioração, a corrosão de aço em concreto continua a ser um assunto focal mundial para engenheiros que projetam estruturas de concreto armado que será exposto por cloretos. Enfrentada com uma variedade larga de alternativas desde fabricantes de aditivos químicos e materiais cimentícios, e fabricantes de outros materiais de construção como aço inoxidável, aço e fibra galvanizados, como também compósitos de fibras de carbono (FRP), engenheiros projetistas buscam fazer comparações razoáveis na eficiência e de custo dos vários sistemas. Este processo requer modelos das fases de iniciação e propagação de corrosão de aço, conhecimento de alternativas de reparos e custos, como de uma análise econômica para determinar a melhor alternativa para a desejada durabilidade.

Alguns modelos estão disponíveis; contudo, as suposições usadas em seu desenvolvimento e a introdução de parâmetros variam freqüentemente, complicando a decisão para engenheiros de projeto. Para solucionar estas diferenças, uma união de associações de fabricantes e indústria nos Estados Unidos patrocinou o desenvolvimento de uma indústria-aceita predição da vida de serviço e modelo de análise de custo de ciclo da vida.

Neste papel, as tecnologias existentes para proteção de corrosão de estruturas de concreto armado são apresentados. Também é apresentado uma avaliação dos sistemas recentemente desenvolvidos pelas indústrias patrocinadoras no modelo de predição da vida de serviço, que incorpora algumas das várias tecnologias e permite projetistas e proprietários para fazer decisões racionais com respeito a sistemas de proteção de corrosão para estruturas de concreto armado. O modelo é baseado em uma solução de diferença finita da segunda lei de Fick de Difusão e foi desenvolvida na Universidade de Toronto, com consolidação de estudos de um consórcio sob coordenação da SDC do ACI.

Os membros do consórcio são Master Builders Technologies - MBT, Grace, a Associação de Cimento de Portland e a Associação de Microssílica.

13.2 Resumo

Este trabalho descreve de forma breve várias opções para a proteção do concreto armado e da sua durabilidade frente aos agentes agressivos. As opções de proteção incluem o uso de aditivos inibidores de corrosão, microssílica, cinza volantes, para produzir sistemas que proporcionam resistência do concreto armado a agentes agressivos. O uso de revestimento de epóxi sobre o aço, aço galvanizado, aço inoxidável e compósitos de reforço FRP são considerados; e finalmente, o uso de seladores e membranas penetrantes como barreiras de superfície.

O trabalho apresenta também uma avaliação de um software recentemente desenvolvido, denominado **Modelo de predição da vida de serviço, Vida-365**, que incorpora a maioria dos sistemas de proteção contra a corrosão atualmente existente e permite aos projetistas a fazer decisões racionais relativos a sistemas de proteção de corrosão para estruturas de concreto armado, baseada em uma análise de custo de ciclo da vida. O modelo é baseado em uma solução de diferença finita para segunda lei do Fick de difusão e foi desenvolvido na Universidade de Toronto com recursos financeiros de um consórcio sob supervisão da SDC do ACI. Os financiadores deste

desenvolvimento foram a MBT- Master Builders Technologies, Grace, a Associação de Cimento de Portland e a Associação de Microssílica.

13.3 Introdução

De acordo com a Administração de Estrada Federal,¹ 42 por cento das estimadas 575.600 pontes nos E.U.A. são estruturalmente deficientes ou funcionalmente obsoletas. Em outras palavras, estas pontes são inseguras. Além de pontes, existem várias estruturas de garagem de estacionamento que sofrem reparações extensas todo ano para restabelecer sua integridade estrutural.

A deterioração destas estruturas de concreto armado é principalmente devido à corrosão do aço por íons de cloreto. Este tipo de dano não é limitado só para tabuleiros de ponte e estruturas de garagem de estacionamento. Praticamente toda estrutura de concreto armado sob ação de cloretos, como cais e outras estruturas marinhas, podem ser danificadas, a não ser que precauções especiais são adotadas no projeto e construção. Em partes do mundo que sofrem nevadas, uma fonte principal de cloretos são os sais usados nos meses do inverno para dissolver ou prevenir a formação de neve e gelo nos tabuleiros de pontes e estradas. A corrosão das estruturas de concreto armado em orla marítima ao longo dos milhares de quilômetros de litorais que existem no mundo é, contudo, devido a cloretos e névoa salina. Embora corrosão de estruturas de concreto armado devido ao carbonatação de concreto é também um assunto em muitas partes do mundo, o enfoque principal deste trabalho é sobre cloretos induzido à corrosão.

Existem várias alternativas disponíveis hoje para combater a ação de cloreto que induz a corrosão das armaduras do concreto. Estas opções incluem procedimentos regidos por normas técnicas atuais; o uso de aditivos químicos e adições de materiais no cimento como microssílica, cinzas volantes e escória de alto forno, seladores e membranas, que diretamente ou indiretamente reduzem a permeabilidade do concreto, aumentando assim o tempo considerado na penetração dos íons de cloreto para atingir o nível da armadura de aço; os sistemas que oferecem proteção na superfície do aço como revestimento de epóxi da armadura, aço galvanizado, aditivos inibidores de corrosão, e proteção catódica; e mais recentemente, o uso de armaduras como aço inoxidável e fibra compósitos de fibras de carbono e outras (FRP). Estas alternativas podem ser classificadas, naqueles que envolvem o tratamento do concreto e aqueles que envolvem tratamento ou uma substituição do aço.

Enfrentado com uma grande variedade de alternativas desde fabricantes de aditivos para concretos, aditivos químicos e materiais cimentícios, e fabricantes de outros materiais de construção como aço inoxidável, aço galvanizado e FRP, engenheiros projetistas são obrigados a fazer comparações razoáveis na eficiência e custo dos vários sistemas. Estão processo requer modelando das fases de iniciação e propagação de corrosão de aço, conhecimento de opções de reparos e custos envolvidos, e uma análise econômica para determinar a melhor opção para a desejada durabilidade.

Alguns modelos estão disponíveis na literatura;²⁻⁵ porém, as suposições usadas em seu desenvolvimento e a introdução de parâmetros variam frequentemente, complicando a decisão na fase de projeto. Para solucionar estas diferenças, uma união de associações de fabricantes e indústrias nos Estados Unidos patrocinou o desenvolvimento de um modelo de predição da vida de serviço.

Novas tecnologias para proteção contra a corrosão de estruturas de concreto armado estão sendo estudadas e brevemente apresentadas e debatido. Uma avaliação de um modelo de previsão da vida de serviço que incorpora a maioria das tecnologias atualmente utilizadas permite a projetistas e proprietários fazer decisões racionais com respeito a sistemas de proteção de corrosão para estruturas de concreto armado.

13.4 Alternativas para a proteção contra a corrosão das armaduras

Atualmente, existem alguns aditivos químicos e adições ao cimento e ao concreto que melhoram sua resistência à corrosão no estado endurecido. As adições ao cimento incluem a microssílica, cinzas volantes e escória de alto forno. Látex de estireno-butadieno, inibidores de corrosão como aditivos à base de nitrito de cálcio e esteraminas são atualmente comercialmente disponíveis, além de aditivos redutores de água que facilitam a redução do fator água/cimento (w/c) requeridas para concretos resistentes à penetração de agentes agressivos. Com a exceção do nitrito de cálcio, o mecanismo pelas quais a maioria destes aditivos químicos e adições ao cimento atuam é na redução da permeabilidade do concreto para o ingresso do íon de cloreto. Isto implica no tempo considerado para que quantidades suficientes de íons de cloreto penetrem junto à armadura para o início da corrosão, que está significativamente estendido com estes ingredientes utilizados nos concretos.

Microssílica:

O conceito de reduzir a permeabilidade do concreto como um meio de controlar a corrosão do aço levou para um aumento no uso de microssílica no concreto de pontes, coberturas, garagens e estruturas perto da praia. Um subproduto dos fornos de alumínio e ferro silício, a microssílica são partículas são extremamente finas, aproximadamente de um milésimo do tamanho de uma partícula de cimento. A composição de sílica fumaça classifica-o como uma pozolana, o qual é um material que reage com o hidróxido de cálcio, um subproduto da hidratação do cimento Portland, formando um gel de silicato de cálcio hidratado(C-S-H). A quantidade aumentada de C-S-H densifica o concreto e reduz significativamente sua permeabilidade e o ingresso de íons de cloreto. A microssílica é tipicamente usada em uma taxa de 8% no peso de cimento. A pesquisa estudou testes acelerados de corrosão mostrou que a microssílica para ser muito efetiva em retardar o início de corrosão em estruturas de concreto armado.⁶⁻⁹ Em cada caso, a proteção de corrosão proporcionada pela microssílica tinha sido atribuída na característica de reduzir significativamente o ingresso de íon de cloreto e, até certo ponto, o aumento da resistividade elétrica.⁶⁻⁹

Estas propriedades da adição de microssílica no concreto foram avaliadas em testes de permeabilidade em laboratório¹⁰. Em um estudo reportado por Berke⁷, uma adição de 7.5% de microssílica no peso de cimento estimou que os valores de coulomb era mais ou menos dez vezes mais baixos e a resistividade estimada era mais ou menos sete vezes mais altos que aqueles para concreto novo na idade de 28 dias. Em outro estudo,⁸ foi mostrado que a inibição de corrosão significativa é obtida para concreto com microssílica com permeabilidade a cloretos com valores de 1000 coulombs ou menos. Atualmente, é comum a ver especificações para estruturas de estacionamento nos Estados Unidos que exigem concretos com um máximo valor de RCP de 1000 coulombs.

Cinzas Volantes e Escória de Alto Forno.:

As cinzas volantes (Fly ash) é o resíduo resultante da combustão do carvão. Está disponível em termoelétricas que utilizam aquecimento por carvão. As cinzas volantes utilizadas no cimento como pozolana, são partículas menores que 45 micrômetros (Peneira Nr. 325). Escória de alto forno é um resíduo da fabricação do aço. A escória é rapidamente extinta na água para produzir grânulos vítreos bastante finos.

Como no caso da microssílica, as cinzas volantes e escória de alto forno de ação pozolânica densificam a matriz de concreto reduzindo assim a permeabilidade contra a penetração de cloreto.^{8,11} Testes acelerados de corrosão com corpos de prova de concreto armado em solução de 3% de solução do cloreto de sódio mostraram que cinzas volantes melhoram a resistência à corrosão ao longo prazo do concreto armado.⁸ Os testes demonstraram contudo, que as cinzas volantes são menos eficazes em reduzir o ingresso de cloreto que a microssílica. Uma adição de 25% por cento de cinzas volantes no peso de cimento demonstrou o valor de coulomb (RCP) estimado era mais ou menos duas vezes mais baixos e a resistividade estimada do concreto era mais ou menos duas vezes mais altos que aqueles para concreto na idade de 180 dias.⁸ Em testes reportados por Rosa,¹¹ mostraram que a escória de alto forno melhorou a resistência de corrosão do concreto armado em níveis de substituição de cimento de 40, 50 e 65% em peso. Os valores de coulomb de RCP para os concretos com escória de alto forno eram mais ou menos duas a quatro vezes mais baixos que o valor para concreto na idade de 90 dias.

Látex de Estireno-Butadieno:

Nos anos de 1970 iniciou a adição de látex de estireno-butadieno em concreto para proteção contra a corrosão das armaduras.¹² Concreto modificado com látex (LMC), como este sistema é chamado, é principalmente utilizado em tabuleiros de pontes e coberturas de garagem, em espessuras de 30 até 50 mm. LMC é tipicamente utilizado em concreto pré-moldado e é eficaz em minimizar corrosão de aço porque o látex reduz o ingresso de íons de cloreto no concreto. O látex de estireno-butadieno é tipicamente usado em uma dosagem de 120 l/m³ de concreto.¹²

Por definição, um látex é uma dispersão de polímeros orgânicos em partículas na água.¹³ Os concretos modificados com látex está tipicamente regida por cimento hidratado envolvido por um filme de látex. Um modelo de três passos simplificados é utilizado para descrever o princípio de modificação de látex.¹⁴ O primeiro passo envolve dispersão uniforme do polímero na fração da pasta de concreto fresco. Como o cimento hidrata, as partículas de polímero estão parcialmente depositadas nas superfícies do gel de cimento e das partículas de cimento hidratado. O segundo passo envolve a floculação do polímero com a água capilar, conservando a água de hidratação do cimento. Este resulta em uma contínua camada de partículas de polímero na superfície do gel de cimento e do cimento hidratado. Finalmente, com redução adicional na água capilar, o encapsulamento das partículas do cimento hidratado fundem em filmes contínuos. Este leva à formação de uma cadeia monolítica entre o polímero e o cimento hidratado. O efeito global é uma redução significativa na permeabilidade da matriz de concreto para o ingresso de cloreto, e em última instância, num aumento da proteção da corrosão da armadura do concreto.

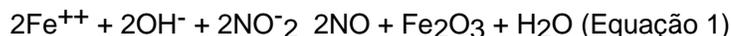
O desempenho de corrosão do LMC foi investigado pela Administração de Estrada Federal (FHWA) no início de 1970s.¹⁵ Naquela investigação, 1.22 m por 1.52 m por 0.152 m lajes de concreto armado foram submetidas a 830 aplicações de sal com 3%

de solução de cloreto de sódio. O LMC teve um conteúdo de cimento de 377 kg/m^3 , uma relação de água/cimento de 0.40 e a adição de 117 l/m^3 de, e foi usado como uma capa de espessura de 75 mm. O potencial elétrico do aço, no conteúdo de íon de cloreto no concreto, avaliação visual e de delaminação foram adotadas para avaliar o nível de atividade de corrosão nas lajes.

Depois de 830 aplicações de sal, não existia nenhuma evidência de atividade de corrosão ou a medida de potencial elétrico ou delaminação visual. Os dados de análises de cloreto indicaram no comparativo de lajes sem tratamento e com a mesma relação de cimento e fator água/cimento, o íon de cloreto do LMC foi significativamente reduzido. Deste modo, concluiu-se que o LMC é um sistema de proteção de corrosão efetiva.¹⁵

Inibidores de corrosão à base de nitrito de cálcio:

O início de corrosão do aço do concreto podem ser também adiadas através do uso de aditivos inibidores de corrosão. Estes aditivos podem ser classificadas como inorgânicos ou orgânicas baseadas em sua química. Atualmente, pelo menos um produto de cada classificação está comercialmente disponível. O nitrito de cálcio oferece proteção porque os íons de nitrito competem com íons de cloreto pelos íons férreos produzidos pelo aço. Este mecanismo de inibição de corrosão é distinto dos inibidores anteriormente discutidos que envolvem uma redução do ingresso de íons de cloreto. A reação entre o ferro e os íons de nitrito tem sido reportado como segue:¹⁶

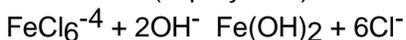


É geralmente aceito que os íons de cloreto reagem com íons férreos para formar uma solução complexa com íons hidroxílicos liberados para a formação de $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Os íons de cloreto são então liberado para reação adicional com íons férreos.

Uma reação típica entre o ferro e íons de cloreto é dado como abaixo:¹⁷



(Equação. 2)



As quantias relativas de íons de cloreto e nitrito determinam qual das duas reações químicas acima citadas acontece. Se a quantia de íons de nitrito é maior que os íons de cloreto, os íons de nitritos combinam com os íons férreos conforme a primeira reação para formar uma camada que protege o reforço de aço. Porém, se íons de cloreto estão presentes em quantias maiores que os íons de nitritos, a segunda reação acontece, resultando em corrosão da armadura de aço.¹⁶ A efetividade do nitrito de cálcio é então dependente na habilidade de um engenheiro de projeto para prever a quantia de íons de cloreto que uma estrutura de concreto armado será exposta durante sua vida de serviço, e a seleção de uma dosagem apropriada de aditivos inibidores. A dosagem recomendada para o nitrito de cálcio é de 10 a 30 litros/m³ de concreto, dependendo do grau de proteção exigida.¹⁸

Inibidor de Corrosão de Éster-Amina Orgânica em base aquosa:

Uma corrosão orgânica baseada em aditivos inibidores de corrosão em base aquosa consiste em aminas e ésteres tem sido também utilizado extensivamente para aplicações de concreto armado.^{19,20} Estes inibidores orgânicos a base de éster-amina oferece na proteção ao aço de duas formas:^{19,20} primeiro, diminuindo a velocidade da taxa de ingresso de cloretos que penetram no concreto, ou como é comumente conhecido na indústria de concreto, pela "blindagem de cloreto"; e segundo, através da formação de um filme ou camada protetora na superfície de aço que previne o cloreto de entrar em contato com o aço. O mecanismo duplo é o único com estas funções, pois além de diminuir a velocidade do ingresso de íons de cloreto, a presença do filme protetor aumenta o limite de teor de cloreto no concreto daquele do concreto sem tratar, como também restringe a umidade, e potencialmente o oxigênio, disponível na superfície de aço, inibindo assim a reação catódica. A dosagem recomendada deste aditivo é de 5 litros/m³ de concreto.^{19,20}

Os dados de ensaio acelerado demonstraram que os aditivos de éster-amina orgânico reduziram significativamente o ingresso de cloreto, retardando o início da atividade de corrosão em concreto armado.^{19,20}

Outras opções para a proteção das armaduras

Além das opções de proteção contra as corrosões discutidas acima, várias outras opções podem ser avaliadas. Estas incluem uma capa de resina epóxi cobrindo o aço, aço galvanizado, aço inoxidável, e reforços de compósitos, como fibra de carbono, aramida, etc. denominado FRP.

Atualmente, o mais utilizado dentre eles é o revestimento da armadura com resina epóxi, que é fabricado aplicando uma fusão de uma camada de epóxi sobre as barras de aço. Facilmente reconhecida por sua cor verde amarelada brilhante habitual, a camada age principalmente como uma barreira na superfície do aço, minimizando ou prevenindo o contato do cloreto, água e outros agentes com a armadura. Entretanto existiu debate considerável na efetividade da capa de resina epóxi, devido a danos que podem ser causados ao revestimento durante a montagem das armaduras.

O aço galvanizado é produzido com a imersão do aço em uma camada de zinco. A proteção da camada de zinco do aço age como uma barreira de sacrifício na reação galvânica, agindo o zinco como ânodo de sacrifício e o aço como cátodo.

O aço inoxidável tem resistência excelente contra cloreto porque ele determina um limite alto de cloreto para a iniciação de corrosão. Porém, devido ao seu custo relativamente alto, o uso de aço inoxidável como reforço de estruturas de concreto armado tem sido limitado a experimentos de laboratoriais.

Além de possuir alta resistência e alto módulo elástico e sendo leve, composições de FRP geraram interesse na indústria de construção principalmente por causa de sua propriedade não condutiva e não corrosiva. As composições de FRP consistem tipicamente em aramida, fibras de carbono ou vidro, imersas em uma matriz de resina epóxi. O uso de reforço de FRP em estruturas de concreto armado está ganhando aceitação, notadamente para reforços estruturais.

Camadas protetoras aplicadas sobre a superfície do concreto

As camadas protetoras como seladores penetrantes e membranas impermeabilizantes podem ser aplicadas sobre o concreto como a primeira barreira para o ingresso de umidade, cloretos, e outros agentes corrosivos. Os seladores penetrantes são tipicamente silanos ou siloxanos e as membranas impermeabilizantes consistem em materiais poliméricos como epóxi, poliuretano, etc. A eficiência dos seladores penetrantes depende do conteúdo de sólidos, profundidade de penetração, e da propriedade hidrofóbica intrínseca. Além de resistência aos fatores ambientais como radiação ultravioleta, a eficiência das membranas são afetadas por, entre outras coisas, na aderência e na espessura da membrana.

13.4 Modelo de análise de custo de ciclo de vida (LCCA)

As várias estratégias discutidas brevemente acima tem níveis diferentes de eficiência e de custo. Por exemplo, o custo da capa de epóxi sobre o aço incluirá o custo adicional de reparar defeitos e ferimentos na camada. A seleção da estratégia ótima para uma aplicação exige uma análise de custo de ciclo da vida (LCCA) do custo/benefício associado com o uso das várias opções consideradas.

Para a maioria das opções, segundo a Lei do Fick de difusão podem ser usadas para fornecer estimativas razoáveis do tempo para o ingresso do cloreto e a indução da iniciação de corrosão em concretos livres de fissuras. A lei de Fick é prontamente aceita pelos patologistas para a maioria dos concretos, e introduz nos vários modelos de predição disponíveis nos Estados Unidos, e realmente em torno do mundo, varie consideravelmente. Consequentemente, pode haver discrepâncias significativas entre as soluções obtidas com os vários modelos. Em resposta para alguma preocupação dentro da comunidade de projetistas de engenharia, o Conselho de Desenvolvimento Estratégico (SDC) do ACI Internacional (ACI) em maio de 1998 identificou a necessidade para desenvolver um “modelo padrão” e recomendou que um seminário para assegurar uma investigação de soluções potenciais. Em novembro de 1998, um seminário de dois dias, um Modelo titulado por Predizer Vida de Serviço e Custo de Ciclo da Vida de Concreto Armado” foi criado. Este Modelo foi desenvolvido em Gaithersburg, Maryland, sob o patrocínio do Instituto Nacional de Normas e Tecnologia (NIST), ACI, e a ASTM. Participantes eram convidados da América do Norte e a Europa e as decisões eram feitas para tentar desenvolver um “modelo normal” que fique eventualmente sob a jurisdição de Comitê da ACI 365, Predição da Vida de Serviço. Tal modelo desenvolvido manteve o protocolo da ACI e procedimento de consenso normal para a documentação do comitê “produtor”.

Para o rápido desenvolvimento do modelo de consenso, titulada apropriadamente “Vida-365”, um consórcio foi formado sob a direção da SDC e do ACI para o desenvolvimento de um modelo de custo de ciclo da vida inicial baseada em um modelo da vida de serviço existente desenvolvido na Universidade de Toronto.³ Os financiadores deste estudo foram a MBT Master Builders Technologies, Grace, a Associação de Cimento de Portland e a Associação de Microssílica.

A versão 1.0 da Vida-365 representa a primeira fase de um mais longo estudo para desenvolver um modelo de análise de custo de ciclo da vida para a ação de cloreto na corrosão de estruturas de concreto armado. Esta primeira versão tem muitas limitações naquelas várias suposições ou simplificações tiveram sido feitas para lidar com alguns dos fenômenos mais complexos ou áreas onde existe conhecimento insuficiente para permitir uma análise mais rigorosa. Por exemplo, com as exceções dos revestimentos de epóxi que tem um período de uso de mais de 20 anos, todas outras opções atualmente só têm um período de uso de 6 anos.

As análises executadas dentro do **Vida-365** podem ser divididas em quatro passos separados como segue:

- Predição do tempo para o início de corrosão, chamado comumente o período de iniciação, t_{eu}
- Predição do tempo para primeiro reparo, que é o tempo para corrosão alcançar um nível inaceitável, chamado o período de propagação, $t_{pág}$. O tempo para primeiro reparo, t_r , é a soma da iniciação e períodos de

propagação: i.e. $t_r = t_{eU} + t_{pág}$. Então, $t_r = t_{eU} + 6$ anos para todas as opções, exceto revestimento de epóxi das armaduras que $t_r = t_{eU} + 20$ anos

- Determinação da data de reparo depois de primeiro reparo
- Estimativa dos custos de ciclo da vida baseada no custo do concreto inicial (e outras proteções), e dos custos futuros de reparos

A predição do período de iniciação da corrosão é baseado em um dimensional e duas soluções de diferença finitas dimensionais pela segunda lei de Fick de difusão, dependendo do tipo de estrutura considerada; por exemplo, uma laje contra uma ação de maresia. Esta abordagem permite para consideração efetiva do tempo, parâmetros dependentes usados no modelo. A estimativa para a estimativa do tempo para iniciação da corrosão é o coeficiente de difusão do concreto, a localização geográfica da estrutura, a profundidade do cobrimento das armaduras, tipo e quantidade de aditivos inibidores de corrosão, o tipo de aço, e o tipo de membrana ou selador aplicados, se houver. O coeficiente de difusão do concreto em qualquer hora \bar{t} é estimado pela relação água/cimento (a/c), as porcentagens de microssilica, escórias ou cinzas volantes adicionadas ao concreto, e a temperatura ambiente média selecionada. A Vida-365 tem uma base de dados de anuário que temperaturas médias para selecionar cidades nos vários Estados e Províncias nos Estados Unidos e o Canadá, respectivamente. Estes perfis de temperatura foram compilados usando dados colecionados da Organização Meteorológica Mundial 1961 – 1990 Base de dados de Climática Global.

O modelo permite para combinação de sistemas de proteção diferentes, do tipo de aditivo inibidor de corrosão e do reforço do aço utilizado, determinando o limite de cloreto para iniciação de corrosão. As membranas e seladores são admitidos por retardar o ingresso de cloreto nos períodos de efetividade. Nitrito de Cálcio, como o Rheocrete 222 da MBT + inibidores à base de éster-aminas, e aço inoxidável aumenta o limite de cloreto para iniciação de corrosão para graus variados, e os valores de limite respectivo são programados no modelo.

Todas as outras opções são assumidas por não ter nenhum efeito no limite de cloreto para a corrosão do aço comum. A localização geográfica define também as condições de exposição para a estrutura e fornece uma estimativa da formação de cloretos e o conteúdo de cloreto máximo usado no tempo para computação de iniciação de corrosão.

Na estimativa seguinte do tempo para primeiro reparo, o custo e extensão do primeiro reparo como também aqueles de reparos subseqüentes é decidido pelo usuário, que introduz para a porcentagem de área de superfície total a ser reparada, a freqüência dos reparos baseados na efetividade da opção de reparo selecionado, e o custo por área da unidade para a opção de reparo selecionado. O custo do reparo e informações de custo materiais iniciais fornecidos pelo usuário, inclusive a taxa de juros, são incluídos na estimativa os custos de ciclo da vida total em um valor básico presente. Muito simplesmente, os custos de ciclo da vida total são calculados como a soma dos custos de construção inicial e o custo dos futuros reparos (trazidos para o valor presente) durante a vida da estrutura.

O Vida-365 tem vários parâmetros embutidos em um “modo de definição automática”, o modelo permite também que o usuário defina e introduza dados. A meta atual é para transferir Versão 1 da **Vida-365** para o Comitê de ACI 365 para a revisão e adoção de maiores recursos.

Reconhecimento

O autor agradece aos Profs. da Universidade de E.C. Bentz e M.D.A. Thomas de Toronto, no desenvolvimento do **Vida-365** e autores dos manuais de que serviram de pesquisa de alguns dos materiais apresentados.

Referências

1. Our Nation's Highways - Selected Facts and Figures, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Highway Information Management, 25 pp.
2. Weyers, R.E., Fitch, M.G., Larsen, E.P., Al-Quadi, I.L., Chamberlin, W.P., and Hoffman, P.C., Concrete Bridge Protection and Rehabilitation: Chemical Physical Techniques, Service Life Estimates, SHRP-S-668, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1993, 357 pp.
3. Bamforth, P.B., "Spreadsheet Model for Reinforcement Corrosion in Structures Exposed to Chlorides," Concrete Under Severe Conditions 2, O.E. Gjrv, K. Sakai and N. Banthia, eds., E&FN Spon, London, 1998, pp. 64-75.
4. Boddy, A., Bentz, E., Thomas, M.D.A. and Hooton, R.D., "An Overview and Sensitivity Study of a Multi-Mechanistic Chloride Transport Model," Cement and Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 827-837.
5. Maage, M., Helland, S. and Carlsen, J.E., "Practical Non-Steady State Chloride Transport as a Part of a Model for Predicting the Initiation Period," Chloride Penetration into Concrete, L.-O. Nilsson and J. Ollivier, eds., 1995, pp. 398-406.
6. PROTECTIVE SYSTEMS FOR NEW PRESTRESSED AND SUBSTRUCTURE CONCRETE, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA/RD-86/193, April 1987, 126 pp.
7. Berke, N.S., "Microsilica and Concrete Durability," Portland Cement Concrete Modifiers, Transportation Research Record 1204, Transportation Research Board, pp. 21-26.
8. Berke, N.S., Scali, M.J., and Regan, J.C., "Long-Term Corrosion Resistance of Steel in Silica Fume and/or Fly Ash Containing Concretes," Durability of Concrete, Second International Conference - Montreal, Canada, SP-126, American Concrete Institute, Vol. 1, 1991, pp. 393-422.
9. Takagi, N., Miyagawa, S., Amasaki, S., and Kojima, T., "Chloride Corrosion of Reinforcing Steel in Silica Fume Concrete Exposed to Marine Environment," Durability of Concrete, Second International Conference - Montreal, Canada, SP-126, American Concrete Institute, Vol. 1, 1991, pp. 479-497.
10. Annual Book of ASTM Standards, Section 4 – Construction, Volume 04.02 – Concrete and Aggregates, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999.
11. Rose, J., "The Effect of Cementitious Blast-Furnace Slag on Chloride Permeability of Concrete," CORROSION, CONCRETE, AND CHLORIDES - Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints, SP-102, American Concrete Institute, 1987, pp. 107-125.

12. Kuhlmann, L., "Application of Styrene-Butadiene Latex Modified Concrete," Concrete International: Design & Construction, American Concrete Institute, Vol. 9, No. 12, December 1987, pp. 48-53.
13. Walters, G.D., "What Are Latexes," Concrete International: Design & Construction, American Concrete Institute, Vol. 9, No. 12, Dec. 1987, pp. 44-47.
14. Ohama, Y., "Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes," ACI Materials Journal, Nov.-Dec. 1987, pp. 511-518.
15. TIME-TO-CORROSION OF REINFORCING STEEL IN CONCRETE SLABS, Vol. 3: Performance After 830 Daily Salt Applications, Report No. FHWA-RD-76-70, Federal Highway Administration - Offices of Research and Development, Washington, D.C., April 1976, 59 pp.
16. Gaidis, J.M., and Rosenberg, A.M., "The Inhibition of Chloride-Induced Corrosion in Reinforced Concrete by Calcium Nitrite," Cement, Concrete, and Aggregates, Vol. 9, No. 1, Summer 1987, pp. 30-33.
17. Hime, W. and Erlin, B., "Some Chemical and Physical Aspects of Phenomena Associated with Chloride-Induced Corrosion," CORROSION, CONCRETE, AND CHLORIDES - Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints, SP-102, American Concrete Institute, 1987, pp. 1-9.
18. Berke, N.S. and Rosenberg, A., "Technical Review of Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor in Concrete," Concrete Bridge Design and Maintenance: Steel Corrosion in Concrete, Transportation Research Record 1211, 1989, pp. 18-27.
19. Nmai, C.K., Farrington, S.A., and Bobrowski, G.S., "Organic-Based Corrosion-Inhibiting Admixture for Reinforced Concrete," Concrete International, American Concrete Institute, Vol. 14, No. 4, April 1992, pp. 45-51.
20. Nmai, C.K., and McDonald, D., "Long-Term Effectiveness of Corrosion-Inhibiting Admixtures and Implications on the Design of Durable Reinforced Concrete Structures: A Laboratory Investigation," Supplementary Proceedings, RILEM TC-158 AHC International Symposium on The Role of Admixtures in High Performance Concrete, Monterrey, Mexico, March 1999.

14 Selantes para uso em construções

14 Selantes para uso em construções

14.1 Introdução

Os materiais de construção estão sujeitos a expansão e contração, devido às características constituintes da sua composição, pela variação térmica, variação de umidade, esforços, recalques, retração de secagem, etc.

Sendo uma edificação constituída de vários materiais e com dimensões variadas, é evidente que ocorram tensões diferenciadas entre eles, sendo portanto necessário a criação de juntas de trabalho.

As juntas são espaços deixados entre materiais de modo a permitir a livre movimentação. Desta forma, as edificações estão sujeitas a contínuos movimentos, com forças substancialmente elevadas, provocando rompimentos, caso não sejam criadas juntas de expansão/contração adequadas.

Quando necessitamos garantir a estanqueidade das juntas ou impedir a passagem de água através de uma trinca ou fissura, ou tão somente executar um acabamento esteticamente adequado no encontro de diferentes tipos de materiais, podemos utilizar os selantes, também denominados mástiques, calafetadores ou vedantes.

14.2 Tipos de selantes

Os selantes são produtos capazes de deformar-se e variar suas dimensões quando sujeitos a alguma tensão, mantendo seu volume constante.

Quando ocorre a contração de um elemento da edificação o selante alonga-se. Da mesma forma, quando ocorre a expansão de um elemento da construção o selante é comprimido.



No entanto, em função de suas propriedades, podem não atender a determinadas solicitações:

- impermeabilidade à água de percolação, pressão hidrostática ou umidade,
- impermeabilidade a gases e vapores,
- resistência aos esforços de tração, compressão, cisalhamento, impacto, puncionamento, vibração, abrasão, torção
- boa aderência aos mais diversos substratos, sem perda de aderência ao longo do tempo,
- expandir-se e contrair-se quando submetido a tensões, sem transmitir ao substrato de base tensões elevadas que possam desagregá-lo ou provocar o seu descolamento,
- resistência aos raios ultravioletas do sol,
- resistência a produtos químicos ou agentes agressivos, tais como, óleos, gasolina, ácidos, sais, esgoto, etc.,
- resistente a variações térmicas,
- resistente à fadiga e movimentos cíclicos ou repetitivos,
- não inchar, formar bolhas, rugas,
- não desbotar ou alterar sua cor, prejudicando o acabamento estético,
- não permitir proliferação de fungos ou bactérias,
- elevada durabilidade,
- não manchar o substrato, alterando o aspecto estético,
- adequado tempo de trabalhabilidade, secagem e polimerização em função das condições de utilização.

Os produtos para vedação de juntas apresentam variedade no desempenho frente às solicitações impostas acima. Assim sendo, devem ser analisadas as características dos produtos e as exigências de desempenho para cada tipo de necessidade.

Como exemplo, em algumas ocasiões, necessitamos que o selante fique permanentemente submetido a pressões hidrostáticas elevadas. Nestes casos, os selantes à base de silicone ou acrílico não são apropriados, sendo normalmente adotados os produtos a base de poliuretano ou polissulfetos.

Em outro exemplo, para calafetação de concreto aparente com selante de silicone, deve-se adotar o produto de cura neutra, já que os que contêm ácido acético podem manchar o concreto no ponto de aderência.

Existem diversas maneiras de classificar estes produtos em função das suas propriedades:

a) quanto ao número de componentes

- **monocomponentes:** são produtos que curam ou adquirem a forma final quando entram em contato com o meio ambiente, sob a ação do ar e umidade (ex.: poliuretano), por evaporação de solvente da composição do material (ex.: silicone, acrílico, butílico, asfaltos elastoméricos em base de solventes) ou por ação de temperatura (ex.: asfaltos poliméricos aplicados a quente).

- **bicomponentes:** são produtos que curam ou vulcanizam pela ação de um catalisador (poliuretano, polissulfeto).

b) quanto a sua viscosidade

- **autonivelantes:** são produtos de baixa viscosidade, cuja fluidez sob ação da gravidade permite que os mesmos se amoldem à seção da junta. São utilizados em juntas horizontais.
- **tixotrópicos:** são produtos de elevada viscosidade, permitindo sua aplicação em superfícies verticais, inclinadas ou horizontais invertida (no teto).

c) quanto ao seu comportamento

- **elásticos:** apresentam um comportamento elástico, isto é, quando submetidos a uma tensão, apresentam deformação proporcional, retornando à dimensão praticamente original quando cessa a tensão (resilientes).
Ex.: poliuretano, polissulfetos, silicone.
- **elasto-plástico:** apresentam um comportamento predominante elástico, mas tendem a escoar para o regime plásticos quando submetidos a tensões por longo período ou quando são deformados acima do seu limite elástico.
Ex.: asfaltos elastoméricos, poliuretano com adições de asfalto ou alcatrão, polissulfetos com adições de asfalto ou alcatrão.
- **plasto-elástico:** apresentam um comportamento predominante plástico, mas apresentam algum comportamento elástico quando submetidos a deformações por curto período ou quando são deformados abaixo do seu limite elástico.
Ex.: acrílicos, asfaltos elastoméricos, poliuretanos ou polissulfetos com elevada adição de asfalto ou alcatrão.
- **plásticos:** são produtos que apresentam escoamento quando submetidos a tensões, adquirindo nova forma quando é cessada a tensão, não retornando à forma original.
Ex.: asfaltos, butílicos, oleoresinosos.

14.3 Formas da seção para calafetação

Os selantes possuem diferentes reações quando submetidos a esforços em função do seu comportamento elástico, elasto-plástico, plasto-elástico ou plástico. Assim sendo a seção da junta a ser calafetada deve ser diferenciada para que o produto apresente um adequado desempenho.

As solicitações de tensões nos selantes devido às movimentações de dilatação e contração são tanto menores quanto menores são a profundidade da seção calafetada e quanto maior são as larguras das juntas.

Como exemplo, se executarmos a calafetação de uma junta com 1,5 cm de largura por 3 cm de profundidade, adotando-se um selante elástico, a tensão imposta ao selante

para que o mesmo acompanhe a retração da construção pode ser maior que a tensão de aderência ao substrato ou a própria coesão do substrato ou do selante, acarretando no descolamento ou rasgamento do selante ou desagregação do substrato.

A relação entre a largura e profundidade da seção adotada para os selantes é:

Tipo de selante	Largura : profundidade da junta
Elásticos	2:1
Elasto-plásticos	2:1 até 1:1
Plasto-elásticos	1:1 até 1:2
Plásticos	1:1 até 1:3

Nota: Na utilização de selantes para calafetação de juntas serradas de pisos industriais, adota-se geralmente relação de largura x profundidade de 1 x 1, 1 x 1,5 ou 1 x 2. Isto se deve ao fato que estas juntas possuem pouca deformação, necessitando de maior resistência á pressão exercida pelo tráfego de empilhadeiras, etc.

14.4 Cálculo da dimensão da junta

O cálculo da abertura da junta a ser calafetada é muito importante para o desempenho do selante.

Os usuários em diversas ocasiões confundem a capacidade de alongamento dos selantes, submetendo-os a deformações elevadas, próximas ao seu alongamento máximo. Normalmente os selantes não devem ser submetidos a deformações superiores a 25% a 30% da seção da junta. Selantes com dureza elevada, que são utilizadas em pisos industriais, a deformação recomendada deve ser de aproximadamente 10% da seção da junta.

O cálculo simples da seção mínima recomendada está relacionado aos seguintes fatores:

- coeficiente de dilatação térmica da estrutura a ser calafetada
- deformação máxima admissível do selante, isto é, a capacidade máxima do selante deformar-se em relação à seção da junta.

Neste método de cálculo simples é adotada a variação dimensional do material de construção que receberá o selante, em função de suas dimensões e variação de temperatura, não considerando as expansões e contrações provocadas por variação de umidade ou tensões.

O cálculo da largura mínima da junta é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Largura mínima da junta (Lj)} = \frac{\text{variação dimensional do vão entre juntas } (\Delta \ell)}{\text{capacidade de deformação do mástique } (\alpha \text{ m})}$$

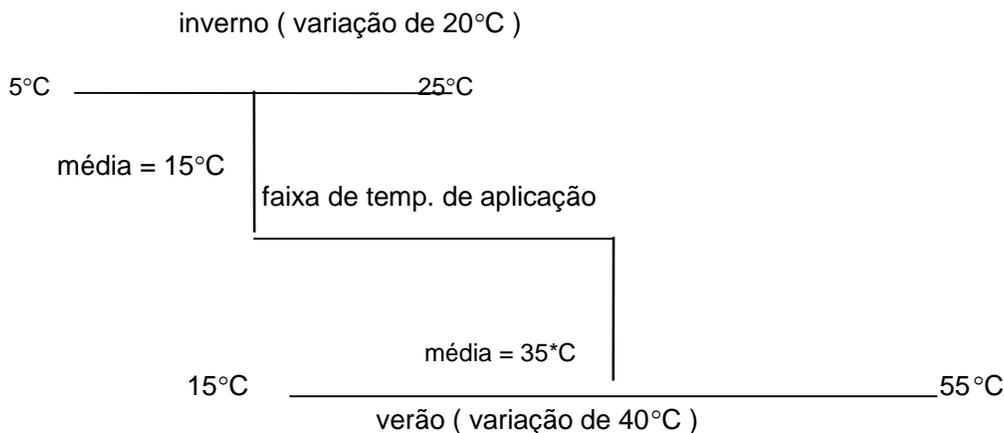
a) O cálculo da variação dimensional ($\Delta\ell$)

O cálculo da variação dimensional ($\Delta\ell$) da junta está relacionado a:

- α = coeficiente de dilatação térmica do material, característico da composição do produto (ex.: concreto, aço, alumínio, vidro, madeira, granito, etc.)
- ℓ = distância entre juntas de dilatação
- Δt = variação da temperatura. Normalmente, considera-se a diferença entre a menor e maior temperatura admissível de ocorrer ao longo de um ano. Não se deve considerar somente a temperatura ambiente e sim a temperatura máxima e mínima que a estrutura de suporte do selante atingirá. Por exemplo uma estrutura de concreto aparente na cidade de São Paulo pode atingir a temperatura de 5°C no inverno e 55°C quando submetido a uma forte insolação no verão.

Algumas literaturas indicam outro método de cálculo, considerando a maior entre as diferenças de temperatura do inverno e do verão. Neste caso, leva-se em consideração a elevada inércia térmica dos materiais de suporte do selante. Considerando o inverno de São Paulo com mínima de 5°C e máxima de 25°C (diferença de 20°C e média = 15°C) e no verão a mínima de 15°C e máxima de 55°C (diferença de 40°C e média = 35°C). Neste caso, adota-se a maior diferença entre elas (verão = 40°C).

O cálculo das médias estabelecem estatisticamente que os selantes vão ser aplicados nas faixas de temperaturas compreendidas entre as médias mínima e máxima, isto é, entre 15°C e 35°C



variação dimensional do vão da estrutura ($\Delta\ell$) $\Delta\ell = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t$

Exemplo de cálculo:

α - coeficiente de dilatação térmica do concreto = 0,01 mm/ m/ °C

ℓ - distância entre juntas de dilatação = 20 m

Δt - variação da temperatura = 40 °C

$$\Delta\ell = 0,01 \cdot 20 \cdot 40 = 8 \text{ mm}$$

Neste exemplo, a variação dimensional da junta é de 8 mm

b) capacidade de deformação do mástique

A capacidade de deformação do mástique (αm) está relacionada ao seu comportamento quando submetido a repetitivos movimentos de expansão e contração, sendo indicado pelos fabricantes, que submetem os produtos a ensaios de alongamento, contração e envelhecimento.

De forma geral, podemos adotar os seguintes valores para alguns produtos:

Tipo de mástique	Clima quente	Clima frio ou temperado
Elástico	30% ou 0,30	25% ou 0,25
Elasto-plástico	30% ou 0,30	25% ou 0,25
Plasto-elástico	10% ou 0,10	10% ou 0,10
Plástico	10% ou 0,10	10% ou 0,10

Assim sendo, para se calcular a largura mínima de uma junta, relaciona-se a largura da junta com a capacidade de deformação do selante.

$$\text{Largura mínima da junta (Lj)} = \frac{\text{variação dimensional do vão entre juntas } (\Delta\ell)}{\text{capacidade de deformação do selante } (\alpha m)}$$

$$L_j = \frac{\Delta\ell}{\alpha m} = \frac{8 \text{ mm}}{0,25} = 32 \text{ mm}$$

Em nosso exemplo, com a variação do vão entre juntas de 8 mm, teríamos as seguintes larguras das juntas, em função dos tipos de selantes:

$$\text{- mástiques elásticos: } L_j = \frac{8 \text{ mm}}{0,25} = 32 \text{ mm (clima frio ou temperado)}$$

14.5 Campo de aplicação

Abaixo, tabela designando as aplicações mais comuns dos selantes. esta tabela é orientativa, devendo o usuário consultar os fabricantes, inclusive sobre indicações e restrições do produto, tais como resistência aos raios ultravioleta, formação de fungos, alteração da potabilidade da água, uso de primer, cuidados na aplicação, tempo de cura ou polimerização, durabilidade, etc.

Campo de emprego	Produtos mais adequados	Observações
Acabamento em sanitários, cerâmica, granito, mármore	- silicone - poliuretano	- silicone causa manchas em granito, mármore e outras superfícies porosas
vidro, aquários	- silicone - polissulfeto - silyl polieter	- verificar necessidade de primer específico
Caixilhos de alumínio, metais com ou sem anodização, ou galvanização	- silicone - poliuretano - polissulfeto	- verificar necessidade de primer específico
Materiais plásticos tipo PVC, policarbonato, acrílico	- silicone - poliuretano - polissulfeto	- verificar necessidade de primer específico
Madeira	- poliuretano - polissulfeto - butílico - acrílico	- verificar necessidade de primer específico - silicone tende a manchar.
Fachadas de painéis de concreto, fibrocimento, pedras, fachadas de alvenaria, muros	- poliuretano - polissulfeto	- silicone tende a manchar - verificar necessidade de primer específico
Juntas de pavimento rodoviário	- poliuretano c/ asfalto	- verificar necessidade de primer específico
Juntas de pavimento industrial,	- poliuretano - epóxi flexibilizado - poliuréia	- verificar necessidade de primer específico
Juntas ou fissuras com pressão hidrostática	- poliuretano - polissulfeto	- verificar necessidade de primer específico
Juntas de dilatação de concreto, canais de irrigação	- poliuretano - polissulfeto - poliuretano c/ asfalto - asfalto elastomérico	- verificar necessidade de primer específico

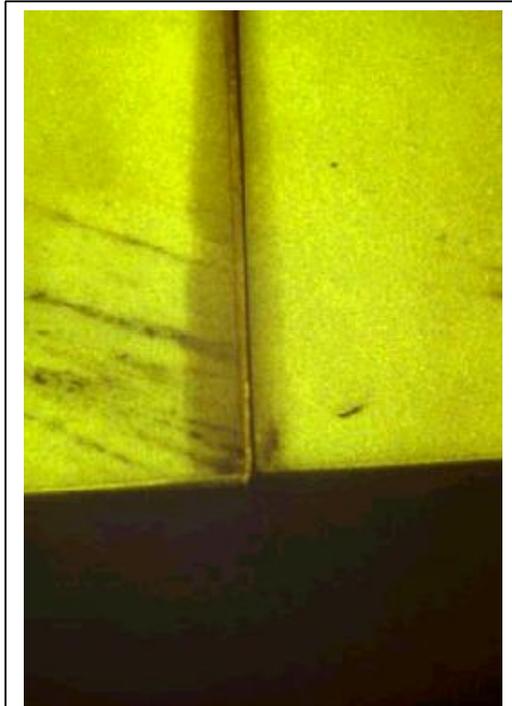
Durabilidade e desempenho

Os selantes podem apresentar vida útil diferenciadas, devido a diversos fatores, como o tipo e qualidade de polímero e sua concentração na composição do selante. No caso de poliuretano, existem diferenças de desempenho, quando comparamos a resistência aos raios ultravioletas do sol.

Poliuretanos aromáticos: mais baratos podem ser atacados pelo sol, enquanto os poliuretanos alifáticos possuem boa resistência ao ultravioleta.

Viscosidade: Muitos produtos tem elevado teor de carga. O produto é duro e difícil de expulsar do cartucho.

Plastificante: Os bons selantes possuem plastificantes que estão interligados nas moléculas do poliuretano. Os plastificantes de selantes de baixa qualidade são “externos”, isto é, não integram as moléculas do poliuretano, e acabam migrando para o exterior, manchando os materiais como concreto, cerâmica, etc, sendo que o selante enrijece, mancha e perde elasticidade.

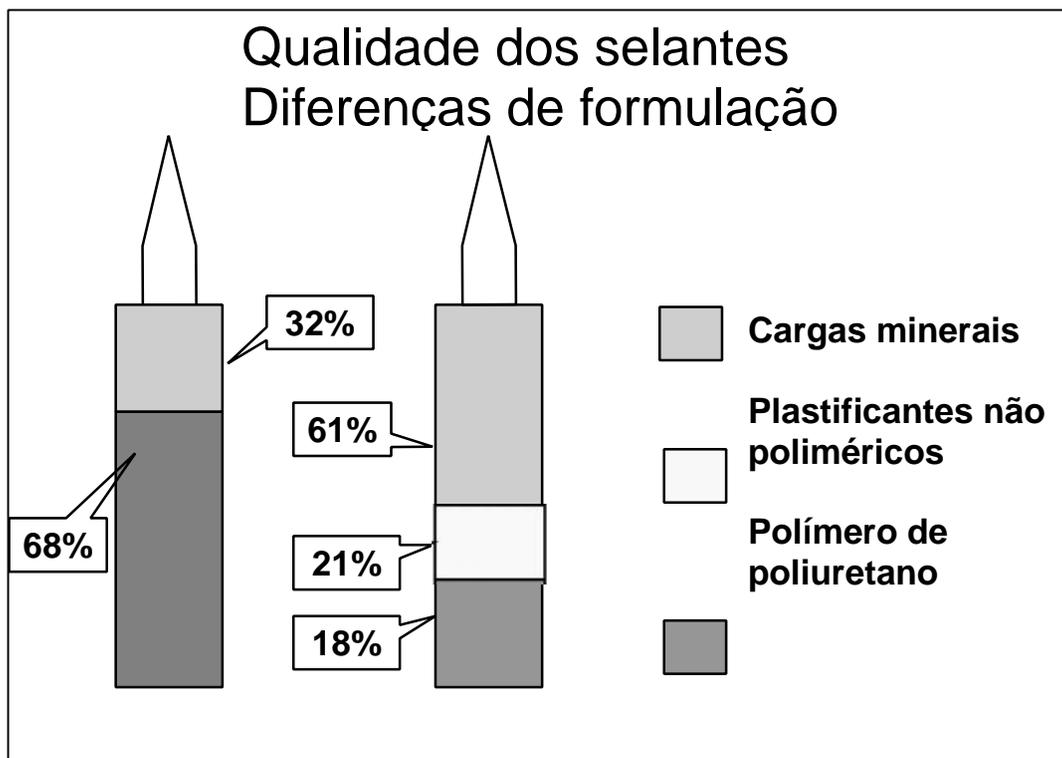


Manchas devido a migração do plastificante do selante de silicone ou do poliuretano com plastificação externa

Quantidade de cargas: O poliuretano é o componente mais caro de um selante. Assim sendo, muitos selantes possuem baixa quantidade de polímero e elevado teor de cargas inertes, que deixam o produto duro e com pouca elasticidade.



Selantes com plastificantes externo e com elevado teor de cargas



14.6 Ensaio de desempenho

Os selantes podem apresentar vida útil diferenciadas, devido a diversos fatores, como o tipo e qualidade de polímero e sua concentração na composição do selante. No caso de poliuretano, existem diferenças de desempenho, quando comparamos a resistência aos raios ultravioletas do sol. Poliuretanos aromáticos, mais baratos são atacados pelo sol, enquanto os poliuretanos alifáticos possuem boa resistência ao ultravioleta.

A comparação entre o desempenho dos selantes podem ser observados nos ensaios de intemperismo artificial, de acordo com o método ASTM G53, através de equipamento que submete os materiais a ciclos de 4 horas de ultravioleta a 60 °C e 4 horas de condensação, a 50°C. Experiências comparativas entre o ensaio natural x artificial sugerem que podemos acelerar em laboratório as condições normais em cerca de 90 vezes. Assim sendo, 2000 horas de ensaio artificial sugere um comportamento equivalente à quase 5 anos de intemperismo artificial. (Vide tabela do Teste de envelhecimento ao intemperismo artificial - CUV).

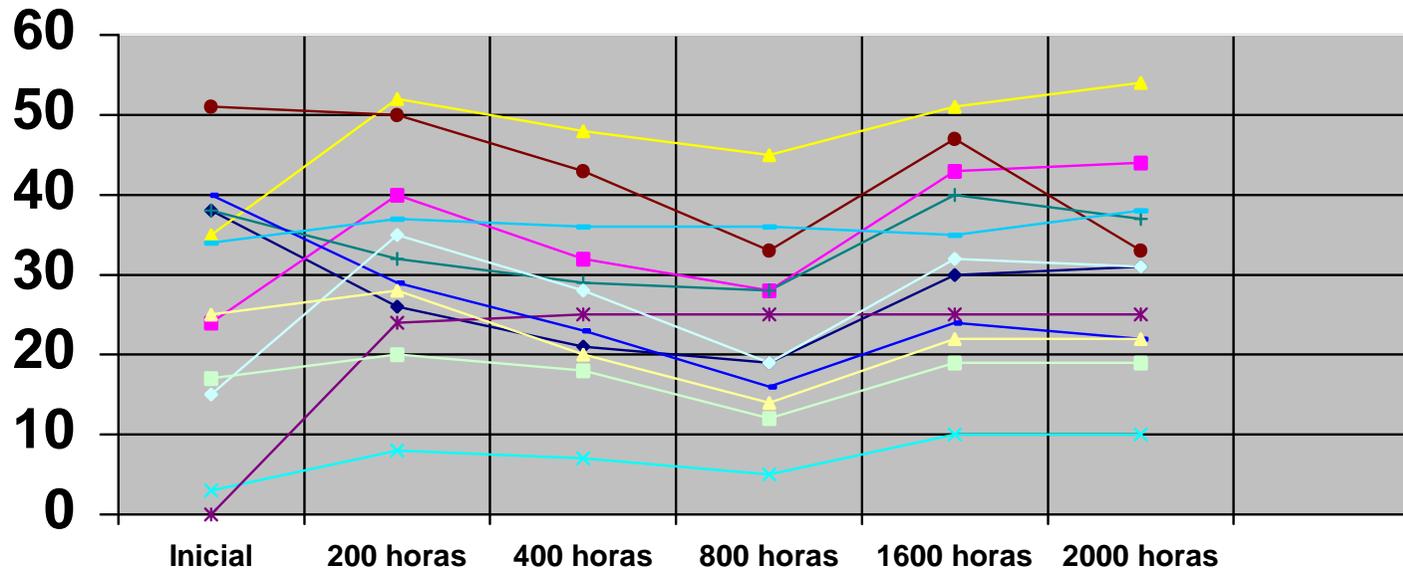
Pode-se verificar através da tabela com os resultados do ensaio de envelhecimento as seguintes conclusões sobre o desempenho dos materiais:

B R A N D A S	Chalking	também denominado gizamento, é a ocorrência de formação de uma película de pó na superfície do material
	Perda de brilho	Formação de superfície opaca
	Alteração de cor	Alteração da coloração original
	Amarelamento	Amarelamento da superfície do corpo de prova
	Turbidez	Perda da transparência dos materiais inicialmente transparente
	Esbranquiçamento / escurecimento	Alteração da cor original

S E V E R A S	Dureza - aumento	Indica um enrijecimento do material, com perda de elasticidade e outras propriedades
	Fissuração	A ocorrência de fissuração indica a degradação do polímero e da não resistência do material à ação dos raios ultravioleta
	Aderência	A perda de aderência implica na perda de função do selante.
	Resiliência	Perda das propriedades elásticas do material

TESTE DE RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO ARTIFICIAL - CUV ASTM G53							
Produtos	Dureza inicial	200 horas	400 horas	800 horas	1600 horas	2000 horas	CONCLUSÃO
CP 1 POLIURETANO	38	Dureza: 26 Obs. Visuais: severo chalking, pequeno amarelamento, moderada perda de brilho.	Dureza: 21 Obs. Visuais: severo chalking, pequeno amarelamento, moderada perda de brilho.	Dureza: 19 Obs. Visuais: severo chalking, pequeno amarelamento, severa perda de brilho.	Dureza: 30 Obs. Visuais: severo chalking, pequeno amarelamento, severa perda de brilho	Dureza: 31 Obs. Visuais: severo chalking, pequeno amarelamento, severa perda de brilho	Produto macio, porém amarelado. APROVADO
CP 2 POLIURETANO	24	Dureza: 40 Obs. Visuais: moderado amarelamento, pequena formação de fissuras, pequena perda de brilho.	Dureza: 32 Obs. Visuais: moderado amarelamento, pequena formação de fissuras, pequena perda de brilho	Dureza: 28 Obs. Visuais: moderado amarelamento, pequena formação de fissuras	Dureza: 43 Obs. Visuais: moderado amarelamento, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 44 Obs. Visuais: moderado amarelamento, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Produto enrijecido, amarelado e fissurado. REPROVADO
CP 3 POLIURETANO	35	Dureza: 52 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de cor.	Dureza: 48 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequeno chalking, pequena formação de fissuras	Dureza: 45 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequena formação de fissuras.	Dureza: 51 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, pequena formação de fissuras, moderada mudança de coloração.	Dureza: 54 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, pequena formação de fissuras, moderada mudança de coloração.	Produto enrijecido e fissurado REPROVADO
CP 4 POLIURETANO	3	Dureza: 8 Obs. Visuais: severa formação de fissuras, moderada mudança de coloração, severa perda de brilho.	Dureza: 7 Obs. Visuais: severa formação de fissuras, moderada mudança de coloração, severa perda de brilho, moderado chalking.	Dureza: 5 Obs. Visuais: severa formação de fissuras, moderada mudança de coloração, severa perda de brilho, pequeno chalking.	Dureza: 10 Obs. Visuais: severa formação de fissuras, moderada mudança de coloração, severa perda de brilho, pequeno chalking.	Dureza: 10 Obs. Visuais: severa formação de fissuras, moderada mudança de coloração, severa perda de brilho, pequeno chalking	Produto macio, porém fissurado REPROVADO
CP 5 SILICONE	0	Dureza: 24 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, pequena turbidez, pouca aderência.	Dureza: 25 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, pequena turbidez, pouca aderência.	Dureza: 25 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, acentuada turbidez, pouca aderência.	Dureza: 25 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, acentuada turbidez, pouca aderência.	Dureza: 25 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, acentuada turbidez, pouca aderência.	Produto levemente enrijecido, com perda de aderência REPROVADO

CP 6 POLIURETANO	51	Dureza: 50 Obs. Visuais: pequeno chalking, severa perda de brilho, pequena mudança de coloração.	Dureza: 43 Obs. Visuais: pequeno chalking, severa perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 33 Obs. Visuais: severa perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 47 Obs. Visuais: severa perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequeno esbranquiçamento.	Dureza: 33 Obs. Visuais: severa perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequeno esbranquiçamento.	Produto manchado e com baixa resiliência REPROVADO
CP 7 POLIURETANO	38	Dureza: 32 Obs. Visuais: moderado chalking, moderada perda de brilho.	Dureza: 29 Obs. Visuais: severo chalking, moderada perda de brilho.	Dureza: 28 Obs. Visuais: severo chalking, moderada perda de brilho.	Dureza: 40 Obs. Visuais: severo chalking, moderada perda de brilho.	Dureza: 37 Obs. Visuais: severo chalking, moderada perda de brilho.	Produto macio APROVADO
CP 8 POLIURETANO	40	Dureza: 29 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, pequeno chalking, pequena mudança de coloração.	Dureza: 23 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 16 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 24 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, severa mudança de coloração.	Dureza: 22 Obs. Visuais: moderada perda de brilho, severa mudança de coloração.	Produto macio APROVADO
CP 9 POLIURETANO	34	Dureza: 37 Obs. Visuais: severa perda de brilho, severa mudança de coloração, severo escurecimento.	Dureza: 36 Obs. Visuais: severa perda de brilho, severa mudança de coloração, severo escurecimento.	Dureza: 36 Obs. Visuais: severa perda de brilho, severa mudança de coloração, severo escurecimento.	Dureza: 35 Obs. Visuais: severa perda de brilho, severa mudança de coloração, severo escurecimento.	Dureza: 38 Obs. Visuais: severa perda de brilho, severa mudança de coloração, severo escurecimento.	Produto macio, porém com coloração alterada APROVADO
CP 10 POLIURETANO	15	Dureza: 35 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 28 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 19 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração.	Dureza: 32 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequena formação de fissuras.	Dureza: 31 Obs. Visuais: pequena perda de brilho, moderada mudança de coloração, pequena formação de fissuras	Produto macio, porém com pequenas fissuras. REPROVADO
CP 11 POLIURETANO	17	Dureza: 20 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 18 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 12 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 19 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 19 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Produto macio, porém com fissuras. REPROVADO
CP 12 POLIURETANO	25	Dureza: 28 Obs. Visuais: pequena formação de fissuras, moderada mudança de coloração, moderada perda de brilho.	Dureza: 20 Obs. Visuais: moderada formação de fissuras, moderada mudança de coloração, moderada perda de brilho.	Dureza: 14 Obs. Visuais: moderada formação de fissuras, moderada mudança de coloração, moderada perda de brilho.	Dureza: 22 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Dureza: 22 Obs. Visuais: moderado chalking, pequena formação de fissuras, severa perda de brilho.	Produto macio, porém com fissuras REPROVADO

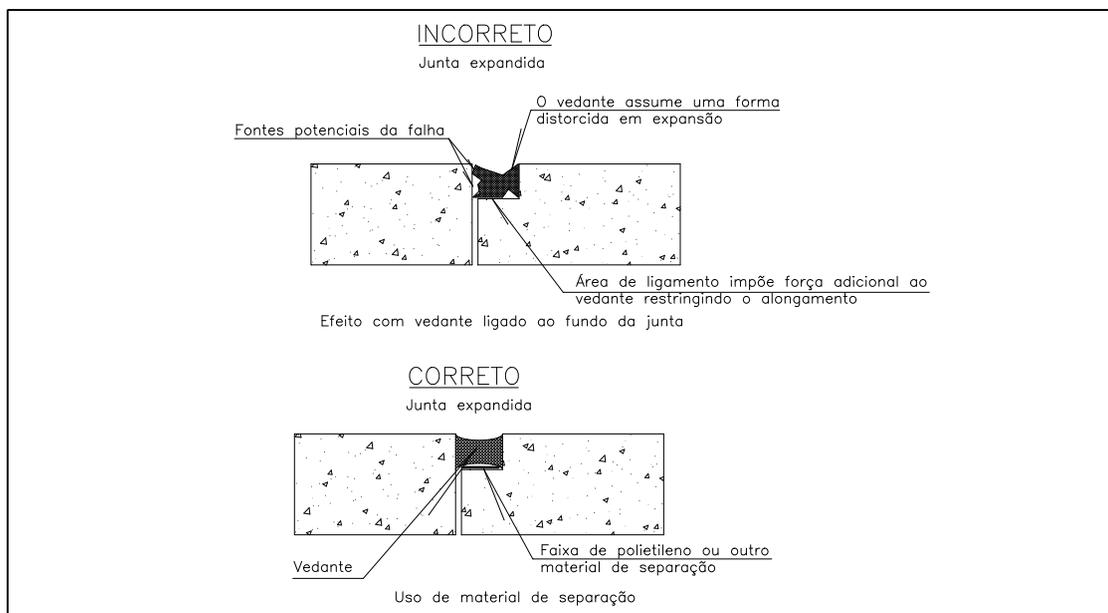


	Inicial	200 horas	400 horas	800 horas	1600 horas	2000 horas	
◆ CP 1	38	26	21	19	30	31	
■ CP 2	24	40	32	28	43	44	
▲ CP 3	35	52	48	45	51	54	
✕ CP 4	3	8	7	5	10	10	
* CP 5	0	24	25	25	25	25	
● CP 6	51	50	43	33	47	33	
+ CP 7	38	32	29	28	40	37	
◆ CP 8	40	29	23	16	24	22	
— CP 9	34	37	36	36	35	38	
◇ CP 10	15	35	28	19	32	31	
■ CP 11	17	20	18	12	19	19	
▲ CP 12	25	28	20	14	22	22	

14.7 Recomendações para a aplicação

a) Em superfícies porosas ou para a calafetação de alguns tipos de materiais (vidro, peças galvanizadas, plásticos, etc.), a utilização de um primer indicado pelo fabricante pode ser recomendado, para garantir a adequada aderência. É comum verificar-se o descolamento dos selantes devido a não utilização de primer. Quando os selantes são submetidos a pressões hidrostáticas, também se recomenda a adoção de primer.

b) O selante não deve aderir na base da junta ou canaleta aberta. Colocar um suporte antiadesivo (ex.: fita crepe) no fundo de uma junta aberta ou ao longo de uma fissura, para evitar a sua aderência do mástique, que acarretaria esforços de cisalhamento e rasgamento que comprometem seu desempenho.



c) Uma leve curvatura de forma côncava na seção de calafetação é recomendada, para possibilitar que o alongamento do selante seja direcionado para o ponto médio da seção da calafetação. Como artifício, utiliza-se como base para o selante para juntas cordões de polietileno expandido.

d) Para calafetação com exigência estética, aplicar nas bordas da junta uma fita adesiva, de forma a evitar que o selante acabe por sujar as bordas da junta.

e) As bordas de juntas de concreto podem sofrer quebra ou esborcinamento. Recomenda-se que se faça a calafetação ligeiramente abaixo do topo da junta. Caso seja necessário reparos nas bordas das juntas de concreto, utilizar argamassas poliméricas para o seu reparo.

f) Evitar a penetração de corpos sólidos na seção calafetada que possam danificar o selante.

g) Em selantes bi-componentes é importante uma adequada homogeneização dos seus componentes. Utilizar preferencialmente misturadores mecânicos. Uma vez

misturados seus componentes, respeitar o tempo máximo de manuseio (“shelf life”), para executar a calafetação.

h) A grande maioria dos selantes exige substratos perfeitamente secos para a sua aplicação, devendo-se também impedir seu contato com água durante o período recomendado pelos fabricantes.

TABELA DE COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR

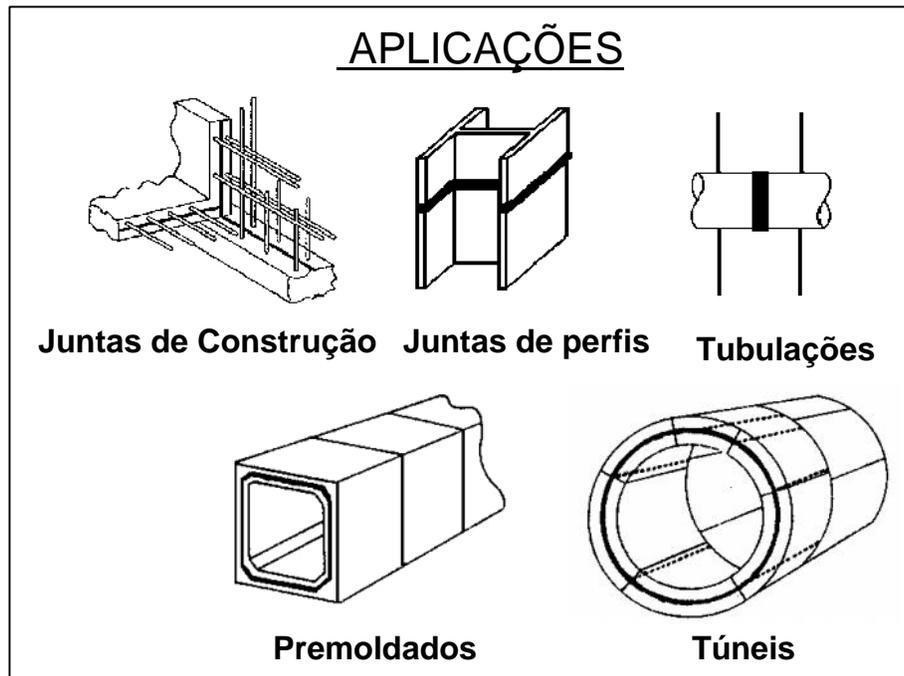
Material	Coefficiente de expansão térmica linear &t (mm/m/°C)
Acrílicos	0,07 a 0,09
Aço	0,012
Alumínio	0,023 a 0,025
Alvenaria de tijolo maciço	0,0065
Concreto celular	0,0081
Concreto armado	0,0117
Concreto protendido	0,0100
Ferro	0,0106
Granito	0,0085
Madeira – sentido longitudinal às fibras	0,0038 a 0,0065
Madeira – sentido transversal às fibras	0,0500 a 0,0600
Mármore	0,0132
Gesso	0,010 a 0,014
Fiberglass	0,0180 a 0,0250
Cerâmica	0,0040 a 0,0050
Vidro	0,009

14.8 Outros tipos de selantes

Existem outros tipos de materiais que são utilizados para calafetação de juntas:

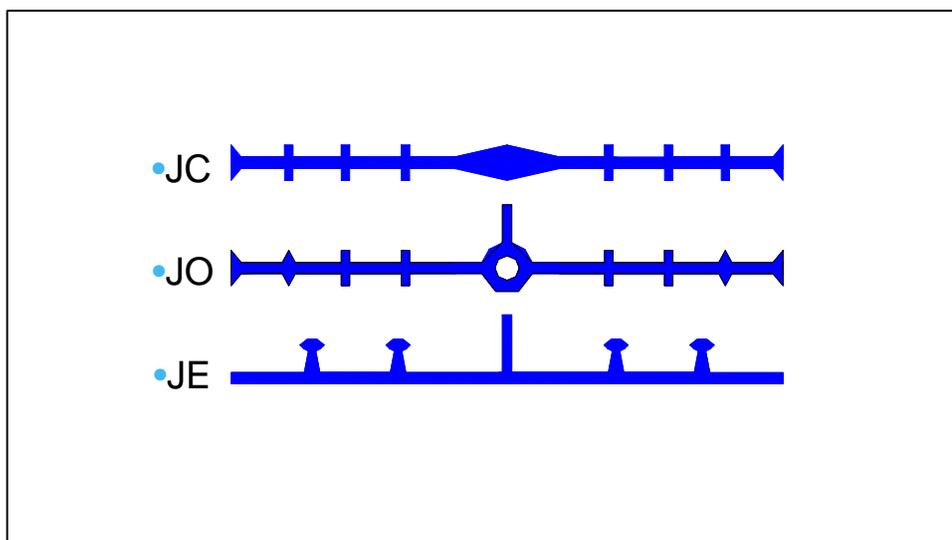
a) Juntas hidro-expansivas

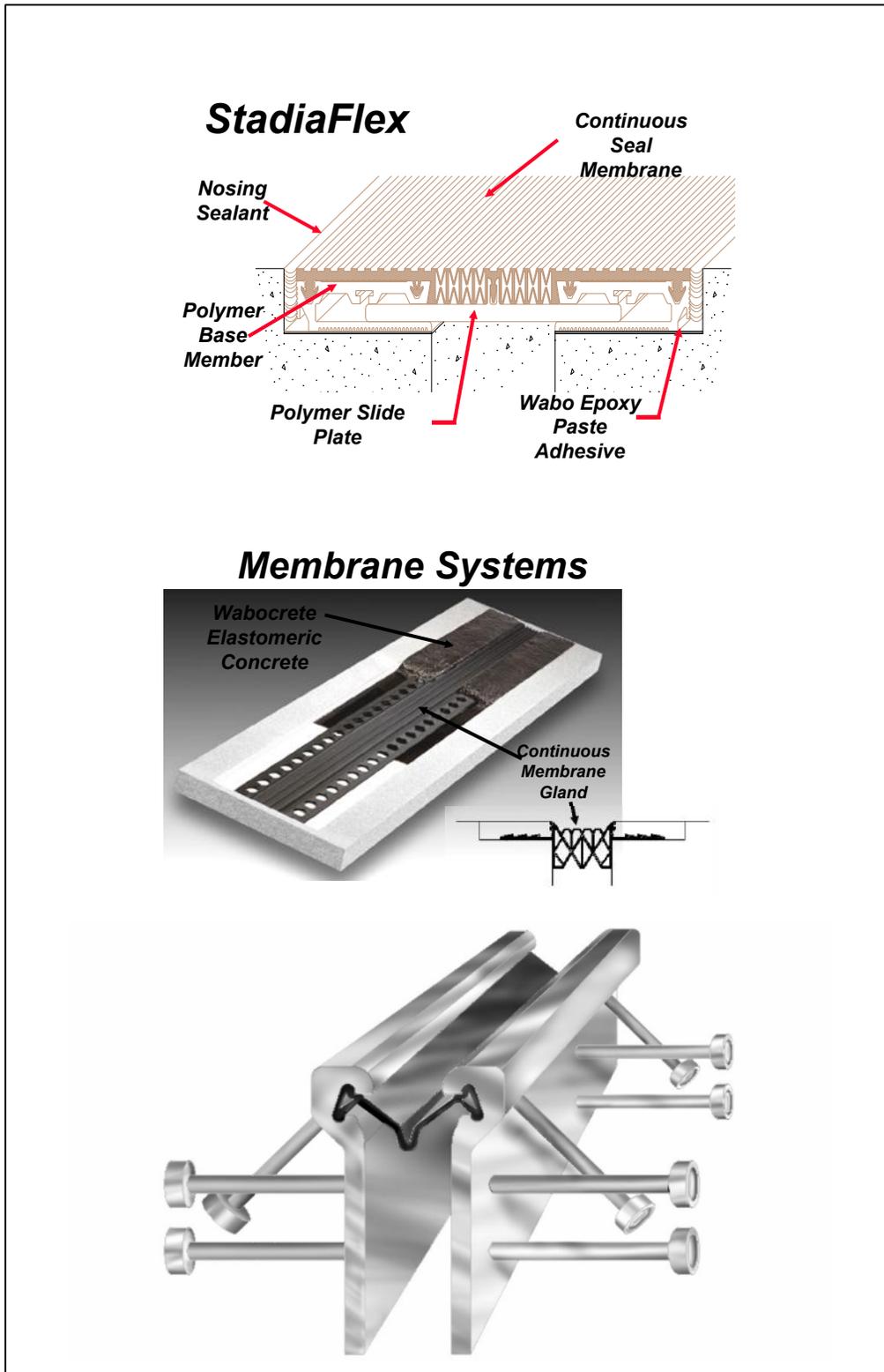
São juntas que em contato com água se expandem em até 300 %

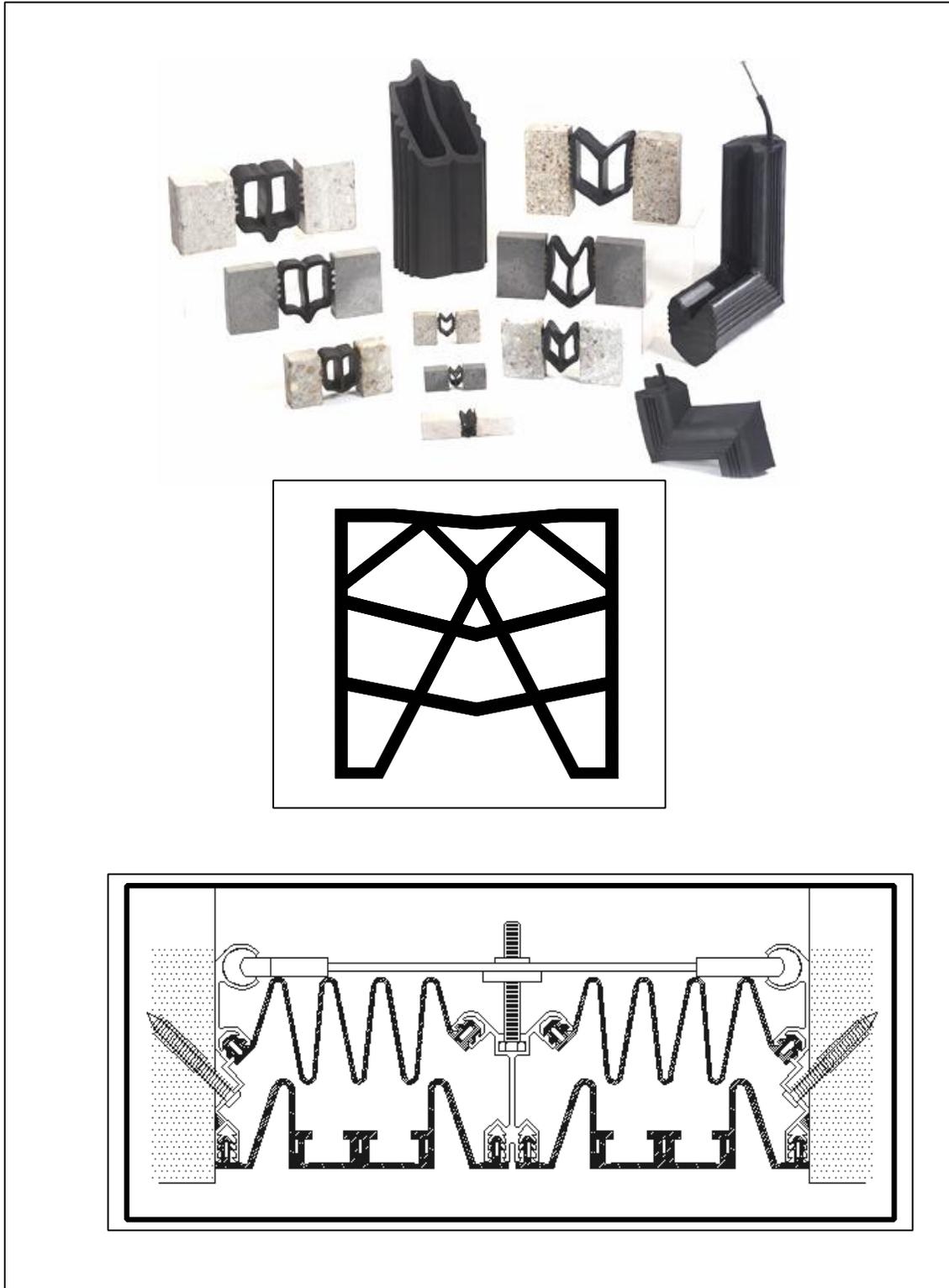


b) Perfilados de borracha

São perfilados pré-moldados, de diversas dimensões e tipos, como os exemplos abaixo:







15. VERNIZES E HIDROFUGANTES PARA CONCRETO E ALVENARIA APARENTES SUJEITAS A IMPEMPÉRIES

15. VERNIZES E HIDROFUGANTES PARA CONCRETO E ALVENARIA APARENTES SUJEITAS A IMPEMPÉRIES

16.1 Introdução

Os projetos de arquitetura em muitas ocasiões concebem as edificações com fachadas em concreto ou alvenaria aparentes, cujo resultado estético é bem aceito pela população brasileira. São encontradas edificações comerciais, residenciais e industriais, inclusive em projetos arrojados e de alto padrão. Uma das vantagens na adoção do concreto e alvenaria aparente é o baixo custo inicial, pois são eliminadas outras opções caras de acabamento, como cerâmicas, granito e outras pedras, revestimentos mineralizados - que são considerados bastante duráveis - bem como as pinturas convencionais, de custo inicial pequeno, porém de maior custo de manutenção.

No entanto, o resultado estético e patológico ao longo do tempo pode ser comprometido, caso não sejam tomadas uma série de precauções, tanto na etapa de projeto, como nas etapas subsequentes, igualmente importantes, como nas etapas de construção, impermeabilização e conservação. Não cabe neste capítulo estender as considerações de etapa de projeto e construção, além de algumas considerações genéricas.

O concreto aparente e as alvenarias aparentes estão expostos ao meio ambiente e portanto sujeita a uma série de agressividades inerentes ao meio. As características da superfície destes acabamentos são porosas e rugosas; portanto, estão sujeitas as penetrações de água, agentes agressivos, bem como deposição de fuligem, aparecimento de manchas, fungos, que podem acarretar em uma série de patologias que comprometem seu aspecto estético e sua durabilidade.

15.2 Aparência das fachadas

A concepção do projeto das fachadas e a especificação dos seus componentes dependem de um grande número de variáveis, como as características dos materiais, cuidados tomados durante a etapa de construção, clima da região, características do meio ambiente, poluição, dispositivos de proteção e controle de fluxo d'água, fenômenos de percolação da água no seu interior, comportamento físico e químico de seus componentes, variações térmicas, etc.

A adoção em um projeto de fachada em concreto ou alvenaria aparente implica na adoção de dispositivos que minimizem e/ou conduzam o fluxo d'água de precipitações pluviométricas, tais como: rufos, pingadeiras, parapeitos, etc. No entanto, estes dispositivos reduzem mas não evitam a incidência da água nas fachadas, bem como dos componentes do micro-clima que as envolvem e potencializam a ocorrência de alterações no aspecto visual.

A aparência das fachadas dos edifícios acaba sendo alterada com a idade da edificação, acarretando na necessidade das manutenções periódicas, de forma a renovar seu aspecto visual, bem como de corrigir patologias de magnitudes variáveis que possam ter surgido.

15.3 Ação do intemperismo e agentes agressivos nas fachadas

Podemos relacionar os mecanismos de ação do intemperismo e agentes agressivos a que as fachadas de concreto e alvenaria aparente estão submetidas.

a) A incidência da chuva, defletada em sua trajetória vertical pelo efeito do vento, não ocorre de modo uniforme em toda a superfície, já que o fluxo de vento é variável, tais como direção predominante do vento, efeito de afunilamento e variação de sua direção pelos contornos da fachada e das edificações adjacentes. Características aerodinâmicas do projeto e inclinações também são fatores que contribuem para uma heterogeneidade da incidência da umidade, agentes agressivos da atmosfera e dos seus efeitos sobre o revestimento.

Assim sendo, nos locais de maior incidência da ação combinada do vento, chuva, elementos agressivos e poluição, maior serão os riscos de consequências, como umidade, eflorescências, encardimento, etc...

b) O escoamento da água na superfície da fachada tem influência no surgimento de manchas, provocadas pela umidade, eflorescências, partículas em suspensão etc.

Fatores intrínsecos da fachada influenciam na ocorrência de manchas, como por exemplo:

- a porosidade da superfície está diretamente relacionada, a maior ou menor absorção de umidade, penetração de vapores agressivos, deposição de fuligem e agentes de poluição, como também das condições favoráveis ao surgimento de microorganismos. (fungos, algas, líquens, moluscos, etc.)
- textura dos materiais utilizados, que podem reter mais água de chuva e partículas em suspensão.
- geometria da fachada, formação de canais ou planos contínuos que alteram o regime de escoamento d'água, potencializando os efeitos em pontos localizados.

15.4 Fatores de alteração da fachada

A água pode penetrar em uma construção das seguintes formas:

a) estado líquido

- águas pluviais
- águas de infiltração
- umidade ascendente

b) estado de vapor

- condensação capilar
- absorção higroscópica
- condensação

Além destas formas a água também pode já estar presente na edificação através da umidade dos materiais de construção utilizados na sua construção.

A umidade degrada uma série de componentes de uma construção, inclusive das pinturas, revestimentos de papel de parede, laminados decorativos, madeira, etc., tanto pela ação direta da água como pela dissolução dos sais presentes nos materiais de construção.

Abaixo são relacionados os principais fatores de alteração do aspecto visual de uma fachada, variáveis em função da configuração arquitetônica, porosidade, capacidade de absorção capilar, falhas executivas, bem como de fissuras podem potencializar os seus efeitos:

a) Eflorescências

São caracterizadas por depósitos cristalinos, geralmente de cor clara, sendo que os de maior ocorrência são originários pela diluição do hidróxido de cálcio (Portlandita) presente no cimento do concreto aparente e da argamassa de assentamento da alvenaria e seu rejuntamento, que são lixiviados para a superfície através da água de infiltração ou residual do período da construção, transformando-se em carbonato de cálcio, na presença do gás carbônico da atmosfera, que se deposita na superfície com a evaporação da água. O efeito de desbotamento e manchas destas eflorescências é de maior incidência ao longo das fissuras e nas regiões de maior concentração de fluxo d'água.

As eflorescências também são originárias dos tijolos (sulfato de cálcio, magnésio, cálcio, sódio, potássio), da argamassa de assentamento (carbonato de cálcio-magnésio-potássio, hidróxido de cálcio, sulfato de potássio-sódio) e da água de amassamento (sulfato de magnésio-cálcio-potássio-sódio, cloreto de cálcio-magnésio, etc). As consequências de patologia relacionadas ao concreto estão descritas no Capítulo 2.

b) Carbonatação

A carbonatação consiste basicamente na reação entre o anidrido carbônico do ar com o hidróxido de cálcio presente no cimento, produzindo carbonato de cálcio. A maior ou menor porosidade da do concreto e da argamassa de assentamento da alvenaria bem como a facilidade do afloramento do hidróxido de cálcio pode contribuir para o efeito de desbotamento. As consequências de patologia relacionadas ao concreto estão descritas no Capítulo 2.

c) Poluição

O nível de poluição da atmosfera influi na aparência das fachadas. A queima de quantidades consideráveis de óleos combustíveis e gasolina acarretam elevados níveis de anidrido sulfuroso que formam uma atmosfera ácida em combinação com a umidade do ar. A água de chuva, com característica ácida, podem produzir reações químicas com o hidróxido de cálcio e silicatos de cálcio do cimento, bem como de reação com componentes da cerâmica, podendo alterar a sua tonalidade.

Outros elementos poluentes e partículas em suspensão contendo SO_2 , H_2S , NH_3 , SO_4 , Cl , podem se depositar por ação eletrostática na superfície da fachada, podendo ser carreadas pelo fluxo d'água, criando diferenciações de tonalidades na superfície da fachada.

d) Micro organismos

O desenvolvimento de micro organismos, na maioria constituída de algas, líquens, fungos e musgos formam colônias na superfície da fachada, alterando a aparência das mesmas. Seu desenvolvimento está baseado na presença de umidade e sais minerais, potencializada a sua ocorrência em regiões de maior fluxo ou retenção de água, porosidade da superfície e menor insolação.

e) Bolor

A absorção ou presença de umidade nas tintas, notadamente dos tipos PVA, em função das resinas e aditivos da formulação (espessantes, plastificantes, etc.), proporcionam condições adequadas para o surgimento e crescimento de colônias de fungos e bactérias, notadamente em ambientes pouco ventilados e iluminados. Exemplo comum pode ser observado nos tetos de banheiros.

O desenvolvimento de bolor ou mofo em edificações é ocorrência comum em climas tropicais.

O bolor está associado à existência de alto teor de umidade no componente atacado e no meio ambiente, podendo interferir na salubridade e habitabilidade da edificação. Também pode ocorrer o emboloramento em paredes com umidade provocada por vazamentos ou infiltrações.

O fungo tem seu desenvolvimento bastante afetado pelas condições ambientais, notadamente pela umidade e temperatura.

Sua manifestação ocorre em ambientes com elevado teor de umidade ou ambiente com elevada umidade relativa do ar (acima de 75%). Desenvolvem-se bem entre temperaturas de 10 °C a 35 °C. Estas condições ambientais são genéricas, pois mesmo fora destes referenciais, podem ocorrer emboloramento, dependendo da espécie de fungos considerada.

O desenvolvimento de micro organismos, na maioria constituída de algas, líquens, fungos e musgos formam colônias na superfície da edificação, alterando a aparência das mesmas. Seu desenvolvimento está baseado na presença de umidade e sais minerais, potencializada a sua ocorrência em regiões de maior fluxo ou retenção de água, porosidade da superfície e menor insolação.

Valores de pH do concreto não carbonatado inibem o crescimento de microorganismos, enquanto concreto com pH próximo do neutro favorecem seu desenvolvimento. Microorganismos como bactérias heterotróficas e fungos filamentosos produzem em seu metabolismo ácidos orgânicos, bactérias quimiolitotróficas produzem ácido sulfúrico. Estes ácidos reagem com concreto e argamassas, dissolvendo o hidróxido de cálcio e silicatos hidratados, contribuindo para o aumento da porosidade do concreto e pela redução do pH. Estes microorganismos também atacam uma série de revestimentos.

f) Desagregamento

Caracteriza-se pela destruição da pintura que se esfarela, destacando-se da superfície, podendo destacar com parte do reboco. Normalmente é causado pela reação química dos sais lixiviados pela ação da água que atacam as tintas ou os adesivos de revestimentos.

g) Saponificação

Manifesta-se pelo aparecimento de manchas na superfície pintada, frequentemente provocando o descascamento ou degradação das pinturas, notadamente as do tipo PVA, de menor resistência. A saponificação também ocorre devido à alta alcalinidade do substrato, que pode ter se manifestado pela eflorescência dos sais altamente alcalinos.

h) Bolhas

O maior poder impermeabilizante de alguns tipos de tintas e adesivos de revestimentos dificultam a dissipação do vapor de água ou a própria água encontrada no substrato, podendo provocar o descolamento e formação de bolhas nas pinturas ou revestimentos. Normalmente ocorrem em tintas alquídicas (esmaltes, óleo), epóxi, hypalon, bem como perda de propriedades adesivas de colas de revestimentos de papéis, vinílicos, laminados, etc.

i) Ambiente marinho

A maresia contém substâncias agressivas ao cimento e as armaduras do concreto aparente. O sulfato de magnésio reage com o hidróxido de cálcio do cimento, formando o hidróxido de magnésio, aumentando a porosidade. O sulfato de magnésio pode também reagir com o aluminato tricálcico, formando sulfoaluminato de cálcio, altamente expansivo que desagrega o concreto ou a argamassa.

O cloreto de sódio presente na névoa salina é altamente corrosivo, atacando a armadura do concreto aparente.

j) Outros fatores

Existe uma série de outros fatores que alteram o aspecto das fachadas, dentre os quais são citadas:

- falhas no assentamento dos tijolos, possibilitando a maior penetração d'água de chuva e possibilidade de maior ocorrência de eflorescências.
- fissuras com as mesmas possibilidades de penetração de água e ocorrência de eflorescências, como também da ocorrência de corrosão das armaduras do concreto aparente.
- retenção maior de sujeira, poluição e microorganismos nos locais de maior direcionamento ou retenção das águas pluviais.

- ausência de calafetação de juntas de dilatação e vínculos com caixilhos e outros materiais.
- ausência de pingadeiras nas interseções e detalhes construtivos, como janelas, platibandas, etc.
- em concretos aparentes, resíduos de desmoldantes, madeira, pigmentos de fôrmas, oxidação de pontas de ferro, falhas de recobrimentos das armaduras, adensamento, ninhos de concretagem. Utilização de cimento, areia e brita de procedências diversas. Alteração do traço do concreto, módulo de finura da areia, impurezas nos componentes do concreto, cura, idade e tipo das fôrmas, período de tempo diferente nas desfôrmas das etapas de concretagem, variação de métodos e qualidade de concretagem, fatores atmosféricos ou de poluição.
- utilização de tijolos de diversas procedências, fontes de argila ou tempo de queima dos tijolos; alteração tipo de cimento, areia ou traço da argamassa.

15.5 Sistemas de impermeabilização e proteção

15.5.1 Exigências de desempenho

Os sistemas de impermeabilização e proteção das fachadas aparentes de concreto ou alvenaria devem cumprir as seguintes funções:

- impermeabilização, para evitar a penetração de água e/ou agentes agressivos
- minimizar ou evitar a deposição e incrustação de partículas em suspensão
- garantir a durabilidade da fachada frente à agressividade do meio ambiente que a envolve
- permitir um acabamento estético adequado e agradável, interferindo o mínimo possível no aspecto final e na textura do acabamento
- boa resistência à foto-decomposição
- evitar o desenvolvimento de microorganismos
- possibilitar manutenções periódicas e de custo compatível
- alterar o mínimo possível o aspecto da fachada ao longo do tempo

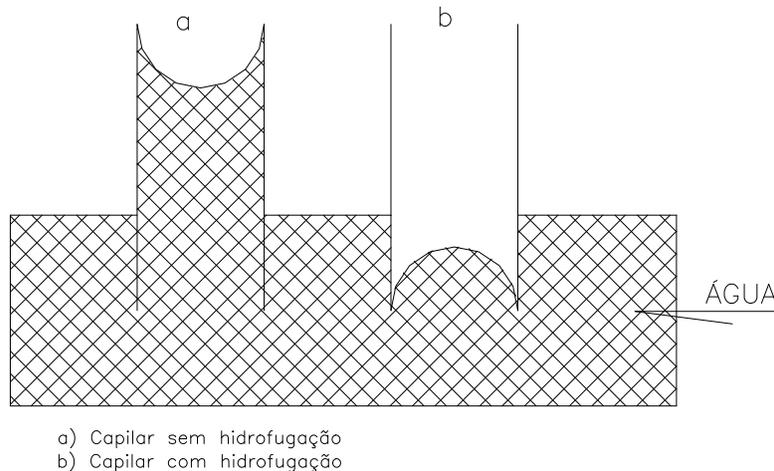
15.5.2 Tipos de tratamento

Existem no mercado três grupos de tratamento para o concreto e alvenaria aparente:

a) Hidrofugantes ou hidrorrepelentes: são produtos líquidos de baixa viscosidade que penetram na porosidade do substrato, alterando as características de absorção capilar, pela alteração do ângulo de contato entre a parede do capilar e a superfície da água, por alteração da tensão superficial do capilar, impedindo assim a penetração de água.

De forma geral não alteram a aparência do substrato, mantendo suas características originais.

Deve-se ressaltar que os produtos hidrofugantes não são empregados de forma específica para combater agentes agressivos, carbonatação, penetração de água sob pressão, ou eflorescência ou lixiviação provocadas pela ação de água que penetraram e seu substrato por ação de fissuras, águas residuais do período de construção, água penetrando por falhas construtivas diversas.



Representação esquemática da variação da capacidade de absorção capilar

H passa a ser negativo

*Variação do ângulo de contato devido a hidrofugação

b) Vernizes: são produtos a base de resinas do tipo acrílico puro (sem estireno) ou de poliuretano alifático, formam uma película quando aplicados em superfícies lisas.

Normalmente de aspecto brilhante, embora encontrados em acabamento fosco e acetinado (semibrilho) alteram ligeiramente a aparência do substrato, devido à formação da película do verniz.

Para a aplicação dos vernizes em concreto, é necessária a execução prévia de em estucamento, para tornar a superfície lisa e sem poros superiores a 0,1 mm, de forma a possibilitar a formação da película do verniz. Caso não seja executado um estucamento adequado, a porosidade excessiva impedirá a formação do filme de verniz nestes pontos, permitindo a penetração de água e vapores agressivos. A penetração da água pelos poros não estucados poderá inclusive manchar o verniz ou até destacá-lo, principalmente nos vernizes de poliuretano.

c) Hidrofugantes + vernizes: trata-se da combinação dos dois materiais acima citados, aplicando-se primeiramente o hidrofugante, seguido da aplicação do verniz. Desta forma, obtém-se como resultado o tratamento combinando as características dos dois materiais.

15.5.3 Comparação do desempenho

Podemos comparar o desempenho dos sistemas citados e assim determinar qual o mais apropriado para cada situação. Na tabela comparativa abaixo são comparados os produtos de boa qualidade e adequados para utilização em fachadas. Posteriormente, são relacionados separadamente os tipos de hidrorrepelentes e vernizes com suas características e contra-indicações.

HIDROFUGANTES	VERNIZES
<ul style="list-style-type: none"> • não requerem substrato liso e contínuo para sua aplicação 	<ul style="list-style-type: none"> • requerem substrato liso e contínuo para a aplicação
<ul style="list-style-type: none"> • não alteram a aparência do substrato, salvo um leve escurecimento em algumas ocasiões 	<ul style="list-style-type: none"> • alteram a aparência do substrato
<ul style="list-style-type: none"> • não impedem a passagem de vapor d'água, facilitando o equilíbrio de umidade interna e do ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • impedem a passagem de vapor d'água, podendo formar bolhas ou manchas, quando ocorre a percolação d'água pelo lado interno ou pela falha do filme de verniz em algum ponto
<ul style="list-style-type: none"> • não impede a penetração de água sob pressão 	<ul style="list-style-type: none"> • impede a penetração de água sob pressão
<ul style="list-style-type: none"> • não impedem a penetração de gases agressivos, embora possa diminuir sua percolação 	<ul style="list-style-type: none"> • impede a penetração de gases agressivos como CO₂, Sulfatos, etc.
<ul style="list-style-type: none"> • não impedem a lixiviação embora possa reduzi-la 	<ul style="list-style-type: none"> • impede a lixiviação
<ul style="list-style-type: none"> • elevada resistência a foto-decomposição por ação dos raios ultravioletas 	<ul style="list-style-type: none"> • boa resistência à foto-decomposição por ação dos raios ultravioletas, quando formulados adequadamente
<ul style="list-style-type: none"> • reduzem a penetração dos sais solúveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Impedem a penetração dos sais solúveis

Comparando-se as características dos sistemas de hidrófugos e vernizes frente a exigências de desempenho necessárias para tratamento de concreto ou alvenaria, percebem-se diferenças de resultados. Assim sendo, um tratamento de uma fachada de concreto induz a escolha como melhor opção os sistemas de vernizes, já que buscamos uma efetiva proteção do concreto aparente contra a ação dos vapores agressivos, carbonatação, corrosão das armaduras, etc.

Já para alvenaria aparente, que não apresenta os problemas de corrosão das armaduras, carbonatação, dentre outros, a vantagem dos hidrofugantes quanto ao aspecto estético, facilidade de aplicação, da permeabilidade ao vapor d'água se sobrepõe às vantagens dos vernizes no aspecto de impedir a ação dos gases agressivos. Vale também salientar sua vantagem quando de uma manutenção futura, já que os vernizes podem obrigar a execução de um lixamento para sua retirada, caso esteja com acentuada degradação.

15.5.4 Sistemas hidrofugantes

15.5.4.1 Características

Os hidrofugantes, também denominados hidrófugos ou hidrorrepelentes, são produtos normalmente a base de silicone, empregados em forma de emulsões ou soluções pulverizadas sobre substrato poroso.

O mercado dispõe de uma variedade de produtos, que muitas vezes causam confusão quanto ao elemento ativo em sua composição química.

Buscando as melhores características de desempenho dos produtos, relacionam-se abaixo os principais requisitos:

- Elevada penetração na porosidade do substrato.
- Boa capacidade de hidrofugação.
- Resistente a alcalinidade do substrato.
- Manter sua eficiência por longo período.
- Não produzir brilho ou alterar aspecto do substrato.
- Resistente a foto-decomposição por ação dos raios ultravioletas.
- Possuir alto poder de hidrofugação.
- Permitir a circulação do vapor d'água.
- Não possuir substâncias pegajosas que venham a permitir a aglutinação de pó em suspensão.

15.5.4.2 Tipos de silicones hidrorrepelentes

a) siliconatos:

produtos diluídos em água ou mistura de álcool e água.

COMPONENTE ATIVO	CARACTERÍSTICAS
Metil siliconato de sódio ou potássio Propilsiliconato de potássio	• Baixa penetração nos poros do substrato
	• baixa resistência à alcalinidade do substrato
	• possibilidade de formação de manchas brancas quando aplicados demasiadamente saturados
	• pode ser "lavado" por ocorrência de uma chuva após sua aplicação, antes de completarem-se as reações de características hidrorrepelentes
	• necessita de substrato seco
	• pequena durabilidade, pois sofre ataque do CO ₂ e ozona atmosférico

b) resinas de silicone:

produtos diluídos em solventes orgânicos

COMPONENTE ATIVO	CARACTERÍSTICAS
Resina de silicone	<ul style="list-style-type: none"> • boa penetração nos poros do substrato, variando em função do solvente utilizado • resistente a substratos alcalinos • possuem uma fase intermediária de reação com características gelatinosa, podendo aglutinar sujeira e pó em suspensão • pode ser lavado por ocorrência de uma chuva após sua aplicação (4 a 6 horas), antes de completar sua reação química • necessita substrato seco • média durabilidade • baixa resistência a ozona

c) Silanos:

produtos diluídos em solventes orgânicos ou álcool anidro.

COMPONENTE ATIVO	CARACTERÍSTICAS
Alquilalcoxisilano	<ul style="list-style-type: none"> • elevada penetração nos poros do substrato • não requer necessariamente substrato seco, podendo estar ligeiramente úmido • boa efetividade em aplicação sobre materiais inertes, como cerâmica, pois necessitam de agentes catalisadores como os encontrados em substratos alcalinos • volatilização média do silano, podendo evaporar com maior rapidez em função da temperatura, vento etc..., antes da formação de todo o princípio ativo • resistente a substratos alcalinos • elevada durabilidade

d) Siloxanos:

produtos diluídos em solventes orgânicos, álcool anidro ou água.

COMPONENTE ATIVO	CARACTERÍSTICAS
alquilalcoxisilanos oligoméricos	<ul style="list-style-type: none"> • boa penetração nos poros do substrato • não requer necessariamente substrato perfeitamente seco, podendo aceitar ligeira umidade • boa efetividade sobre materiais inertes, como cerâmica, pedras, podendo utilizar a umidade do ar como agente catalisador • transformação em agente ativo em poucas horas (4 a 5 horas) • pouco volátil • resistente a substratos alcalinos • elevada durabilidade



Ação de repelência à água dos hidrofugantes à base de silano/silixano

e) Silanos poliméricos:

produto diluído em solventes orgânicos.

COMPONENTE ATIVO	CARACTERÍSTICAS
alquilalcoxisilanos Poliméricos	<ul style="list-style-type: none"> • baixa penetração nos poros do substrato devido ao grande tamanho molecular • não requer necessariamente substrato seco, embora apresente melhor características num substrato seco. • pouco voláteis. • permanecem pegajosos por longo período podendo aglutinar sujeira ou pó em suspensão • resistente a substratos alcalinos • elevada durabilidade

CONCLUSÃO

Baseado nas características explicitadas acima, conclui-se que um mix de formulação de 70% de silano e 30% de siloxanos oligoméricos apresentam consideráveis vantagens, quando comparados a outros hidrofugantes. Algumas formulações são compostas de uma mistura de silano e siloxano, com bons resultados.

Outra informação importante que deve ser verificado no momento da compra do produto é a concentração do componente ativo. De nada adianta especificar um produto com a resina apropriada se sua concentração é mínima. O ideal é que o componente ativo seja em torno de 5% da formulação.

15.5.5 Vernizes

15.5.5.1 Características

Os vernizes são produtos a base de resinas, que formam uma película impermeável, semiflexível e aderente ao substrato.

O mercado dispõe de uma variedade de produtos, sendo necessário alguns cuidados na escolha do verniz mais adequado para cada necessidade, eliminando diversos que não são recomendados para uma proteção durável e estética.

Buscando as melhores características de desempenho dos produtos, relacionam-se abaixo os principais requisitos:

- Elevada aderência ao substrato.
- Boa impermeabilidade a água, mesmo quando submetido à ação de pressão hidrostática baixa e a vapores agressivos
- Baixa permeabilidade ao vapor d'água
- Resistente a alcalinidade do substrato.
- Resistente a foto-decomposição por ação dos raios ultravioletas.
- Boa durabilidade
- Manutenção simples e de baixo custo
- Não possuir substâncias pegajosas que venham a permitir a aglutinação de pó ou fuligem em suspensão
- Resistente ao ataque de microorganismos
- Resistentes ao ataque químico quando aplicado em condições de micro-clima agressivo
- Produzir um aspecto uniforme e estético

15.5.5.2 Tipos de vernizes

a) acrílicos

São vernizes à base de resinas termoplásticas, propriedade que permite a aderência de novas camadas sem necessidade de artifícios como lixamento entre demãos ou tempo de limite máximo entre demãos.

As resinas acrílicas são disponíveis em dispersão aquosa ou diluída em solventes. Os produtos base água tem maior absorção d'água e possuem menor durabilidade que os de base solventes.

Os vernizes podem ser formulados com resina acrílica pura (homopolímeros) ou resinas acrílicas estirenadas (copolímeros).

Vernizes a base de resinas acrílicas estirenadas não resistem aos raios ultravioleta; portanto não devem ser utilizadas em áreas expostas ao sol, pois sofrem amarelamento e craqueamento.

Os vernizes acrílicos são os mais utilizados para o tratamento do concreto aparente.

Os vernizes base água possuem moléculas maiores que os capilares do concreto; assim sendo, aderem no substrato, selando a porosidade superficial.

Os vernizes base solvente possuem moléculas menores que a porosidade do concreto e penetram no concreto de forma desigual, devido a heterogeneidade do mesmo,

causando seu escurecimento e manchas. Assim sendo, o tratamento do concreto aparente é executado utilizando-se uma combinação de uma demão de verniz base aquosa para a selar a superfície e duas demãos de verniz base solvente.

Outra vantagem dos vernizes acrílicos é a possibilidade da aplicação de uma nova demão a qualquer tempo, sem prejuízo da aderência sobre a demão anterior, desde que a mesma não esteja deteriorada pelo tempo.

Para o tratamento de tijolo aparente, tijolo laminado, pedras porosas, etc., utilizam-se o verniz base solvente, pois os vernizes de base aquosa existem risco de destacamento.

b) poliuretano

São vernizes base solvente, mono componente, que se polimerizam em contato com o meio ambiente, ou bi-componentes, com polimerização através de um catalizador.

Os vernizes de poliuretano são muito resistentes à ação de produtos químicos, sendo portanto adequado para proteção do concreto em ambientes de elevada agressividade química. Os vernizes de poliuretano alifático possuem boa resistência aos raios ultravioleta.

Os vernizes de poliuretano aromático possuem baixa resistência aos raios ultravioleta, não devendo portanto ser aplicados em áreas expostas ao sol.

Os vernizes de poliuretano normalmente utilizados no tratamento do concreto são os bi-componentes.

Por serem à base de resinas termofixas, possuem um inconveniente da aderência entre demãos, que é o limite de tempo de aproximadamente 36 horas na aplicação entre demãos. Caso este tempo seja ultrapassado, uma nova demão só deve ser aplicada após um leve lixamento para criar rugosidade e melhor fixação de uma nova demão.

Outro inconveniente é que ao se decidir reaplicar o produto depois de algum tempo, é necessário lixar toda a superfície; caso contrário não se conseguirá boa aderência.

15.5.6 Campo de aplicação

Existem várias opções de especificações que podem ser adotadas para uma fachada. No entanto, algumas delas são desaconselhadas, quer por sua baixa eficiência ou por problemas técnicos, como os exemplos abaixo:

- siliconatos ou resinas de silicone comuns não são duráveis.
- verniz acrílico base água, são menos resistentes e possui maior absorção de água. Podem ser utilizados como primer em aplicação em concreto aparente que receberá acabamento em verniz base solvente, pois evita o escurecimento e manchas no concreto.
- verniz acrílico base água não tem boa aderência em tijolo maciço, tijolo laminado, pedras, telhas etc., devendo-se nestes casos ser utilizado verniz acrílico base solvente.
- vernizes acrílicos estirenados e vernizes de poliuretano aromáticos não resistem à ação dos raios ultravioletas do sol.

- hidrofugantes não são a melhor opção em concreto armado exposto em atmosferas que possam agredir as armaduras, exceto para concretos compactos e com bom recobrimento das armaduras.

Abaixo é apresentado uma tabela orientativa dos sistemas de proteção de fachadas mais utilizados e tecnicamente adequados, levando-se em consideração que devem ser tomados os devidos cuidados de preparação do substrato e da aplicação dos produtos dentro das recomendações mínimas exigidas pelos fabricantes.

Tipo de fachada	Sistema mais utilizado e tecnicamente adequado	Características gerais
Concreto aparente em atmosfera urbana ou rural	verniz acrílico puro base água + base solvente	<ul style="list-style-type: none"> • bom acabamento, semibrilhante • alta resistência às intempéries e a microorganismos • facilidade na conservação, recomendável a cada 3 a 5 anos • aplicação em substrato limpo, estucado e seco
Concreto aparente em atmosfera agressiva industrial ou marinha	1. opção hidrofugante silano e/ou siloxano + verniz acrílico puro base solvente	<ul style="list-style-type: none"> • bom acabamento, semibrilhante, com leve escurecimento do concreto • alta resistência às intempéries e a microorganismos • facilidade na conservação, recomendável a cada 3 anos • aplicação em substrato limpo, estucado e seco
	2. opção verniz de poliuretano alifático, bi-componente, base solvente	<ul style="list-style-type: none"> • acabamento brilhante com escurecimento do concreto • boa resistência a produtos químicos • alta resistência às intempéries e a microorganismos • aplicação em substrato limpo, estucado e seco • exige controles e qualidade na aplicação • difícil conservação
Tijolo maciço, laminado, pedras porosas, telhas, revestimentos de argamassas ou mineralizadas	1. opção hidrofugantes a base de siloxano oligomérico, silano ou silano + siloxano	<ul style="list-style-type: none"> • não altera a aparência do substrato • boa penetração no substrato • boa durabilidade e resistência a intempéries • resistente a alcalinidade do substrato • fácil conservação • permite a passagem de vapores • aplicação sobre substrato seco ou levemente úmido
	2. opção verniz acrílico puro base solvente	<ul style="list-style-type: none"> • altera aparência, com acabamento semibrilhante • baixa permeabilidade a passagem de vapores • boa durabilidade e resistência às intempéries • leve escurecimento do substrato • aplicação sobre substrato limpo e seco

15.6. Recomendações básicas para a aplicação dos tratamentos de fachadas

A seguir são apresentados exemplos de uma especificação básica para a preparação do substrato e para a aplicação dos produtos. Estas recomendações são orientativas e deverão ser alteradas de acordo com as instruções dos fabricantes.

15.6.1 Hidrofugantes em fachadas de alvenarias

15.6.1.1 Material especificado

Hidrofugante à base de silano, siloxano oligomérico, ou composição de ambos, diluído em solvente, com teor de sólidos (componente ativo) de 5%, de acordo com método de ensaio NBR 7340

15.6.1.2 - Preparação do substrato e aplicação do produto

a) Verificação do substrato

A fachada a receber o tratamento deverá ser vistoriada, verificando-se a existência de fissuras, falhas de rejuntamento. Para revestimentos em cerâmica ou pedras porosas, também verificar trechos de revestimento descolado através de varredura por percussão manual, utilizando-se para isto martelo com ponta de aço. Mapear os pontos a recuperar.

b) Limpeza

Deverá ser efetuada a limpeza completa do substrato, com remoção de eflorescências, sujeira impregnada, limo, podendo-se para tanto utilizar equipamentos de jato de alta pressão e escova de cerdas de nylon. Em substratos impregnados com óleos ou gordura, aplicar hidro-jateamento com detergentes.

c) Recolocação de cerâmica

Eventualmente, sendo detectado trechos do revestimento cerâmico destacado ou com som característico de oco, retirar a cerâmica do trecho e efetuar nova colagem com argamassa colante, seguido de novo rejuntamento utilizando-se as mesmas composições dos produtos empregados originalmente.

d) Fissuras

Ao longo das fissuras detectadas, abri-las com o auxílio de equipamento rotativo com disco de corte (tipo Makita) seguido da aplicação de argamassa de rejuntamento, amassada com emulsão adesiva de base acrílica, de tal forma que a relação polímero/cimento seja igual ou superior a 0,1.

Na ocorrência de fissuras ou trincas de grandes extensões longitudinais, consultar a fiscalização para a eventual adoção de outra metodologia de tratamento, como a calafetação com mástique de silicone, injeção de resinas, fixação mecânica, etc.

e) Umidade no substrato

Além das características citadas nos itens acima, recomenda-se que o substrato a receber o tratamento hidrofugante esteja seco, ou no máximo ligeiramente úmido.

f) Condições atmosféricas

As condições atmosféricas devem ser avaliadas para evitar a aplicação do produto em período aquém de 06 horas da ocorrência de chuvas.

Quando possível, a aplicação deve ser evitada sob forte insolação ou ventos de velocidade elevada, de forma a evitar a rápida evaporação do solvente e dificultar a efetiva impregnação do substrato.

g) Para a aplicação do material, recomenda-se a utilização de sistema "air less" ou pulverizadores de baixa pressão.

h) O hidrofugante deverá ser aplicado em no mínimo duas demãos fartas a ponto de escorrer, de cima para baixo, aguardando-se um intervalo mínimo de 02 horas entre as mesmas, salvo outra metodologia indicada pelo fabricante.

i) O consumo total estabelecido para o tratamento varia em função da porosidade do substrato, devendo-se consultar o fabricante. De forma geral o consumo é ao redor de 0,5 l/m².

j) Recomenda-se agitar o produto para sua homogeneização, instantes antes de sua aplicação.

15.6.2 - Verniz acrílico puro para concreto aparente

15.6.1.1 Material especificado

Verniz acrílico puro, isento de estireno, sendo o primer e primeira demão em dispersão aquosa e a segunda e terceira demãos a base de solvente.

15.6.2.2 Preparação do substrato e aplicação dos produtos

a) A fachada de concreto aparente deverá ser vistoriada, verificando-se e mapeando as fissuras, falhas de concretagem, armaduras expostas, concreto com bordas quebradas, etc...

b) Quando a superfície não se apresentar lisa e homogênea, executar um jateamento de areia ou lixamento abrasivo eletro-mecânico com máquinas politriz e lixas adequadas à base de carbureto de silício, até a retirada de todo o traço de nata de cimento superficial, ferrugem fungos, desmoldantes, sujeira, e, em caso de restauração de fachada, qualquer traço de estucamento ou verniz anteriormente aplicado.

c) Executar o fechamento dos furos de amarração de fôrma com argamassa polimérica, após prévia retirada dos tubos plásticos, restos de madeira ou pontas de ferro que porventura ainda estejam incrustados no concreto.

d) Detectar os pontos com ferragens oxidadas e as regiões com capa de concreto de cobrimento destacada, deixando a ferragem com processo de corrosão exposta para uma rigorosa limpeza. Remover o concreto ao redor das armaduras pelo menos 3 cm além dos pontos com sinais de corrosão. Com o uso de lixa d'água e escova de cerdas de aço, ou ainda jato de areia, promover uma rigorosa limpeza da ferragem, retirando qualquer traço de oxidação existente. Sob substrato seco, e logo a seguir da conclusão da limpeza, aplicar com pincel pequeno uma demão com espessura mínima de 40 micras, ou duas demãos com intervalo mínimo de 50 minutos, de primer inibidor de corrosão rico em zinco, após prévia homogeneização. Logo após a secagem do primer (ao redor de 1 hora), deve-se efetuar o cobrimento das regiões tratadas com argamassa polimérica. Aplicar como ponte de aderência uma pasta constituída de 3 partes de cimento, 1 parte de água e 1 parte de adesivo acrílico e, de imediato, aplicar

a argamassa polimérica de reparo, deixando um rebaixo em torno de 1 a 2 mm, para a execução do estucamento posterior.

e) Nas regiões de concreto a ser reparado, aplicar como ponte de aderência uma pasta constituída de 3 partes de cimento, 1 parte de água e 1 parte de adesivo acrílico e, de imediato, aplicar a argamassa polimérica de reparo, deixando um rebaixo em torno de 1 mm, para a execução do estucamento posterior. Para espessuras maiores que 15 mm, a argamassa deve ser aplicada em camadas, após a primeira ter “puxado”, evitando assim seu descolamento ou a formação de “barrigas”.

f) As fissuras estruturais deverão ser solidarizadas com a injeção de resina epóxi. Como alternativa para a selagem das fissuras, mas não de solidarização, poderá ser utilizado a injeção de polímeros de metacrilatos.

g) Manchas de ferrugem podem ser retiradas com:

- aplicação de uma solução a 10% de ácido oxálico em água, deixando agir por 2 a 3 horas, sendo a seguir a área enxaguada e escovada com escova de cerdas de nylon, ou
- aplicação de hipossulfito de sódio moído, seguido de enxágüe com solução a 15% de citrato de sódio em água.

h) Manchas de gordura, graxa, óleo ou desmoldantes podem ser retirados com uma pasta constituída de solvente (toluol, xilol, etc) misturadas com pós-absorventes (talco, caulim, cal hidratada, carbonato de sódio). Aplicar uma camada da pasta com espessura entre 0,5 a 1 cm, deixando-a secar, sendo posteriormente retiradas por meio de escovação.

i) Manchas de fungos ou bolor podem ser retiradas com uma solução a 20% de hipoclorito de sódio ou mistura composta de 1 parte de detergente, 2 partes de fosfato trisódico, deixando-a agir por um período de 30 minutos, seguido de enxágüe.

j) Efetuar o estucamento de toda a superfície de concreto com pasta constituída de cimento Portland branco, cimento Portland cinza, alvaiade ou areia fina (diâmetro máximo de 0,3 mm) misturada com água e adesivo acrílico na relação 3 para 1. Deve-se efetuar dosagens experimentais de cimento cinza e branco até chegar a uma tonalidade semelhante a do concreto. Como regra geral, pode-se partir do traço experimental de 2 partes de cimento cinza, 1 parte de cimento branco e 1 parte de alvaiade ou areia fina. Limpar a superfície eliminando vestígios de pó; a seguir, sob superfície úmida, efetuar o estucamento utilizando trincha, espátula e desempenadeira de aço, pressionando fortemente a pasta de estucamento contra o concreto, preenchendo todos os vazios ou poros. Após a secagem e cura por 3 dias, deve-se proceder ao lixamento mecânico ou manual, com lixa fina (120 a 150), a fim de retirar todo o excedente de argamassa de estucamento. É importante salientar que a finalidade do estucamento é para vedar ou selar a porosidade superficial, deixando uma superfície lisa e uniforme, não criando camada superficial definitiva sobre o concreto. Todo o excesso de estuque deverá ser removido através de lixamento.

l) Efetuar uma limpeza superficial retirando pó, impurezas ou manchas que possam comprometer o resultado, antes da aplicação do verniz.

m) Aplicar com rolo de lã de carneiro uma demão farta de verniz acrílico base água , tomando-se o cuidado de selar toda a superfície, de forma a evitar manchas provocadas pelo verniz de acabamento, base solvente. Aguardar sua secagem pelo período de 6 a 8 horas. Consumo estimado entre 0,15 a 0,30 l/m².

n) Aplicar com rolo de lã de carneiro duas demãos de verniz de acabamento base solvente, com intervalo de 4 a 6 horas entre demãos. Consumo entre 0,10 a 0,20 l/m²/demão.

o) Cuidados

- a aplicação dos vernizes deve ser sob substrato seco, não devendo ser aplicado na eminência de chuva, pelo período mínimo de 6 horas.
- os produtos devem ser adequadamente misturados ou homogeneizados instantes antes das suas aplicações
- as demãos de verniz devem ser aplicados no momento em que não esteja sendo executado lixamento ou outras emissões de pó, água ou outros serviços que possam interferir no resultado, até a secagem das demãos.
- cada demão deve-se constituir em uma película contínua e uniforme, livre de poros, escorrimentos e outras imperfeições. As falhas ou danos no filme resultante do verniz devem ser reparados, observando-se a mesma metodologia e tempo entre demãos acima descritos.
- não aplicar os vernizes com condições climáticas de umidade elevada (90% de umidade relativa do ar), temperaturas ambientes abaixo de 10 C ou superiores a 35 C

p) Observações gerais

- quando não previsto no projeto da fachada, é recomendado a instalação prévia de pingadeiras de plástico ou alumínio nas faces inferiores das vigas, do tipo T, aderidas com resina epóxi, de forma a evitar o escorrimento da água de chuva na face inferior das vigas, melhorando o aspecto estético.
- é recomendado a colocação prévia de rufos, pingadeiras de cerâmica ou cimento nas faces superiores das vigas e muretas de forma a evitar o escorrimento de sujeira e fuligem carreadas pela água de chuva, melhorando o aspecto estético.
- as condições atmosféricas devem ser avaliadas para evitar a aplicação do produto em período aquém de 06 horas da ocorrência de chuvas. Quando procedente, a aplicação deve ser evitada sob forte vento, de forma a evitar a impregnação de partículas de poeira em suspensão.
- é recomendado a execução de plano de conservação do revestimento, com a aplicação de uma demão de verniz de acabamento a cada 5 anos, após prévia limpeza com jato de água e detergente, bem como a correção de alguma imperfeição ou patologia detectada.

15.7 Recomendações para a contratação

Dependendo do porte da obra e das exigências de qualidade e desempenho, deve-se adotar parâmetros de controle, desde a contratação até a conclusão dos serviços, bem como nas inspeções periódicas.

15.7.1 Materiais

O fabricante deverá apresentar catálogos técnicos com descrição detalhada dos produtos, suas indicações, limitações e restrições de forma clara. Caso necessário, solicitar a presença dos fabricantes dos produtos, para esclarecimento de dúvidas.

O fabricante, deverá dar por escrito uma garantia nos seguintes termos:

- Razão social do fabricante
- Endereço
- Nome do produto
- Garantia do produto (mínimo 05 anos)
- Razão social da aplicadora credenciada

O fabricante deverá dar por escrito as características do produto enviado para o local dos serviços, bem como das informações abaixo:

- Razão social do fabricante
- Endereço
- Nome do produto
- Nº do lote de fabricação
- Data de fabricação
- Cuidados no transporte e armazenamento
- Cuidados e recomendações de aplicação

Ter em mãos para consulta catálogos e informações técnicas dos produtos a serem utilizados. Caso necessário, solicitar a presença dos fabricantes dos produtos.

15.7.2- Serviços

- Os serviços deverão ser executados por firmas credenciadas junto ao fabricante, que ofereça garantia nos seguintes termos:
Razão social da aplicadora
Endereço
Carta de credenciamento do fabricante do material, específica para a obra em questão.
Nome dos produtos aplicados.
- Garantia de aplicação (mínimo 05 anos para vernizes e 3 anos para os hidrófugos).
- A empresa deverá apresentar a relação do corpo técnico a ser utilizado:
Engenheiro: Nome - tempo de experiência
Encarregado(s): Nome - tempo de experiência
- A critério da fiscalização, apresentar atestados fornecidos por empresas contratantes tradicionais do mercado, que comprovem a realização de pelo menos três obras semelhantes as do projeto, indicando o local e a época da realização da obra.
- Apresentar declaração de que está ciente de que a obra está submetida a um sistema de qualidade, que os materiais serão alvo de ensaios, tanto na recepção como na aplicação, ficando os custos dos mesmos por conta da mesma.

- Solicitar garantia dos serviços, compreendendo todas as etapas, assim como a reparação de eventuais danos causados pelas imperfeições dos serviços. As exclusões da garantia devem ser consideradas contra danos provocados por terceiros, limitada a área em questão, não excluindo a obrigação de dar assistência técnica e de executar eventuais reparos.

15.8 Recomendações para a fiscalização

15.8.1- Parâmetros mínimos para controle da etapa em execução:

a) Na recepção dos produtos

No recebimento dos materiais, deverão ser verificados os seguintes itens:

- Nome do produto
- Quantidade
- Número do lote
- Data de fabricação
- Validade
- Condições da embalagem

b) Na preparação do substrato

- Mapeamento e descrição das falhas localizadas
- Regularidade da superfície
- Limpeza da superfície
- Qualidade dos reparos

c) Na aplicação do produto

- Temperatura, umidade do ar, vento e condições de tempo
- Umidade do substrato
- Consumo por metro quadrado
- Tempo de secagem entre demãos
- Número do lote do produto aplicado

d) Após a conclusão

- Aspecto estético
- Verificação de falhas de aplicação
- Verificação de manchas
- Demarcação dos pontos para revisão

15.8.2 Plano de trabalho

Serão fornecidos os cronogramas dos serviços previstos em cada frente de trabalho, discriminando-se todas as etapas executivas, equipes, equipamentos, turnos de trabalho.

Deverá ser verificado as interferências junto ao cronograma dos serviços, visando sua otimização e adequação.

Deverá ser exigido das empresas contratadas equipamentos de proteção individual, bem como sistemas de proteção ao usuário do estabelecimento, de acordo com as regulamentações específicas dos órgãos públicos competentes, bem como dos proprietários do estabelecimento.

15.8.3 - Procedimentos de controle

Deverá ser elaborada metodologia para o procedimento de controle de execução, envolvendo:

- Mapeamento das áreas a serem tratadas
- Análise das especificações
- Sistemática de controle dos serviços
- Liberação para início dos serviços e etapas concluídas
- Controle periódico dos materiais armazenados e em utilização
- Controle periódico da equipe de execução
- Diários de ocorrências
- Registro de alterações
- Ordens de serviços
- Boletim de desempenho
- Medições de serviços
- Ações corretivas ou medidas preventivas
- Relatório de não conformidade de produto ou serviço
- Controle de execução com rastreabilidade
- Estrutura organizacional, responsabilidades, procedimentos e processos de gestão da qualidade

15.8.4 - Procedimentos de controle

- Normas e documentos utilizáveis
- Organograma funcional
- Atribuição e responsabilidade da equipe de operação
- Descrição das atribuições e responsabilidades das atividades que afetam e/ou relacionadas à qualidade
- Plano de aferição e controle
- Plano para tratamento das não conformidades (RNC) e consultas técnicas (CT)
- Licitações e contratações dos serviços e materiais
- Inspeção dos materiais, equipamentos e serviços
- Plano de arquivamento, controle, atualização e distribuição de documentos
- Procedimentos de execução e de inspeção
- Listas de verificação
- Relatório de registros de resultados

15.8.5- Ensaios

Além dos sistemas de controle explicitados a fiscalização no item anterior, recomenda-se a execução dos seguintes ensaios:

a) Na recepção do material

Retirada de amostra para avaliação do teor de sólidos do produto, de acordo com a norma NBR 7340. Recomenda-se a homogeneização do produto dentro da embalagem original, antes da retirada da amostra para ensaio, devendo a mesma ser embalada em recipiente hermético, de forma a não ocorrer a volatilização de nenhum de seus componentes. A embalagem para transporte da amostra deverá ser apropriada para evitar reações químicas com os componentes do produto a ser ensaiado. Recomenda-se embalagem de vidro com fechamento hermético ou de metal com fechamento hermético.

Recomenda-se a retirada de pelo menos uma amostra de cada lote de produto, respeitando-se as quantidades mínimas de amostras conforme abaixo:

- Até 1.000 litros - pelo menos 01 amostra
- de 1.001 a 3.000 litros - pelo menos 02 amostras
- de 3.001 a 5.000 litros - pelo menos 03 amostras
- acima de 5.000 litros - pelo menos 04 amostras

Entende-se por lote de produto aquele fabricado na mesma partida de produção, que deverá ter anotado o seu número e data de fabricação, indicados na embalagem.

b) Na conclusão dos serviços

- Aspersão de água sem pressão hidrostática, pelo menos 12 horas após a aplicação do consumo total do produto/ m².
- Ensaio de absorção de água com a utilização de um cachimbo, conforme descrito abaixo, em pelo menos 06 pontos a cada 1.000 metros quadrados de superfície tratada.

c) Periódicos

- Em períodos de um a dois anos após a conclusão dos serviços, efetuar nova avaliação de desempenho do tratamento da fachada, repetindo-se os ensaios descritos no item anterior.

15.8.6- Ensaio de absorção d'água

O método do cachimbo para verificação de absorção de água em sistemas hidrofugantes, consiste em impor uma coluna d'água sobre o substrato tratado como hidrofugante.

Conforme o Centre Scientifique et Technique de La Construction, uma coluna d'água inicialmente com 92 mm de altura, simula a ação de uma chuva com vento de velocidade aproximada de 140 Km/h.

Para a execução deste ensaio, é necessário dispor de cachimbos de vidro graduados e com dimensões definidas, um cronômetro ou relógio e mástique para fixação e vedação.

Para a realização do ensaio, deve-se, primeiramente modelar uma porção de mástique

e envolver a borda do cachimbo para fixá-lo na parede. A seguir enche-se o cachimbo com água até a referência de nível zero e são efetuadas as medições, através da leitura da diminuição da altura da coluna d'água em intervalos pré-determinados. Recomenda-se leituras nos intervalos de 5, 10, 15 e 30 minutos e também após 1, 3, 5, 24 e 48 horas.

Recomenda-se a utilização de dois referenciais, sendo o primeiro aplicado em substrato sem a aplicação do sistema de tratamento de fachada e outro sobre uma placa de vidro, este último para aferir a quantidade de água perdida por evaporação.

TABELA DE CONTROLE

Local da aferição: _____

Tempo	Substrato sem tratamento	Substrato de Vidro	Substrato com tratamento
5 minutos			
10 minutos			
15 minutos			
30 minutos			
1 hora			
3 horas			
5 horas			
24 horas			
48 horas			

16.8.7 - Outros ensaios

Em certas condições, quando houver suspeita da qualidade dos produtos utilizados, podem ser efetuados vários ensaios de caracterização e desempenho dos mesmos. Além dos que podem ser discriminados na literatura técnica dos fabricantes dos materiais, é relacionado abaixo alguns ensaios, para análise de desempenho ou caracterização:

Identificação dos componentes	Espectrofotometria por radiação infravermelha
Teor de sólidos ou componente ativo	Ensaio de teor de sólidos, de acordo com a NBR 7240 ou % de não voláteis
Envelhecimento acelerado	Ensaio e intemperismo artificial, utilizando-se o aparelho C-UV, de acordo com a ASTM G-53 ou o aparelho Weather-o-Meter, de acordo com a ASTM G-26
Desenvolvimento de bolor Aderência	Ensaio segundo NBR 12171 ou outro método equivalente
Permeabilidade ao vapor	Ensaio de permeabilidade. Ex: ASTM E 96 ou outro método equivalente.
Absorção de água por imersão	Ensaio segundo ASTM D 471 ou outro método equivalente
Absorção d'água por coluna Névoa salina	No local da obra - método do cachimbo
Resistência química	Imersão de corpos de prova no componente químico a ser analisado
Resistência a ozônio	Câmara de ozônio NBR 8360

15.9- Manutenção preventiva e corretiva

Os sistemas de tratamento de fachadas tem uma função importante na preservação da mesma, quer para evitar a ocorrência de problemas de patologia como também para a preservação da estética da fachada.

Os sistemas de tratamento de fachadas estão expostos ao meio ambiente agressivo e portanto sofrem a agressividade dos seus agentes, degradando-se ao longo do tempo.

Para se manter o sistema de tratamento atendendo as necessidades de desempenho, é muito importante elaborar um programa de manutenção preventiva, que pode ser denominada também de conservação, para ser evitado a necessidade de uma manutenção corretiva generalizada e radical, de custo sensivelmente mais elevado.

Em uma manutenção preventiva, a fachada é vistoriada, procurando identificar algum sinal localizado que necessite de intervenção. Dependendo do tipo de material utilizado, deve-se efetuar aplicações periódicas do produto, de forma a renovar o sistema de tratamento de uma fachada. Como exemplo, em no caso de um tratamento de fachada com verniz acrílico, é recomendado no período compreendido entre 3 a 5 anos, dependendo da agressividade do meio, a limpeza da fachada, correção de algum sinal de agressividade localizada e a aplicação de uma demão adicional de verniz. Desta forma, está se conservando a película de proteção, evitando que se espere a degradação completa do tratamento, que certamente acarretará em surgimento de patologias já citadas, não restando outra opção senão efetuar a manutenção corretiva, que além do custo de solucionar os problemas de manifestações patológicas instaladas, implicará em um refazimento total e radical do tratamento da fachada, em todas as suas etapas, a um custo muito maior.

O período de inspeção de uma fachada deve ser executada anualmente, programando-se as manutenções preventivas em função da durabilidade dos sistemas de proteção.

A estimativa de durabilidade de um sistema de tratamento de fachada é variável, em função da qualidade da construção, tempo de construção, aspectos da arquitetura, grau de agressividade do meio ambiente, tipo de tratamento adotado, qualidade e consumo dos materiais, qualidade de execução, manutenções preventivas, etc. Uma das formas de se estimar a durabilidade é a observação de edificações vizinhas e consulta a bibliografias.

De forma geral, estima-se a necessidade de renovação do tratamento nos seguintes períodos:

Sistema adotado	Períodos
- hidrófugos silanos/siloxanos	3 anos
- verniz acrílicos puros - base água + base solvente	5 anos
- hidrófugo silano/siloxano + verniz acrílico puro base solvente	6 a 7 anos
- verniz de poliuretano	10 anos, com necessidade de refazimento total do tratamento pois não permite aplicação de demão adicional

Bibliografia

- Concrete Repair and Maintenance Illustrated – Peter H. Emmons
- Manual de Inspeccion, Evaluacion y Diagnostico de Corrosion en estructuras de hormigón Armado – DURAR
- Patologia e Terapia do Concreto Armado – Manoel Fernández Cánovas
- Durabilidad de Estructuras de Hormigon – CEB
- **Recent Developments in the Design of Reinforced Concrete Structures for Long Service Lives from a Corrosion Perspective - Charles K. Nmai, P.E., FACI Master Builders Technologies**
- **Patologia das Estruturas de Concreto -Antonio Carmona Filho (Ph.D.)**
- Patologia Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Vicente Custódio e Thomaz Ripper
- Aditivos para Concreto – Juan Fernando Matias Martin
- Carbon Fiber - S&P Clever Reinforcement Company
- Mbrace Carbon Fiber Reinforcement MBT Master Builders Technologies
- Falhas em Revestimentos - Recomendações nas fases de projeto, execução e manutenção - Engº. Roberto José Falcão Bauer
- Manual de argamassas e Revestimentos - Estudos e procedimentos de Execução - Engº. Antonio J. S. I. Fiorito.
- Tecnologia de Produção de Revestimentos de Fachadas de Edifícios com Placas Pétreas - Engª. Eleana Patta Flain,
- Tecnologia de Produção de Contrapisos para Edifícios Habitacionais e Comerciais. - Engª. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros
- La Corrosión del Hormigón y su Protección – I. Biczók
- Admistures - MBT Masterbuilders Technologies
- Rheodynamic Concrete - MBT Master Builders Technologies
- Concrete Repair - MBT Master Builders Technologies
- NBR 7200 - Revestimento de paredes e tetos com argamassas - Material, preparo, aplicação e manutenção.
- NBR 13.707 - Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.
- NBR 13.708 - Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.
- NBR 13.755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas
- NBR 8214 - Assentamento de azulejos.
- Patologia na Impermeabilização - José Eduardo Granato

- Vernizes e Hidrofugantes para fachadas de Concreto e Alvenaria Aparentes - José Eduardo Granato.
- Trincas e fissuras em Edificações – Roberto Falcão Bauer
- Hidrofugantes de silicone – Wacker Química
- Hidrorrepelentes para Concreto e Alvenaria - Goldschmidt