

## **PROGRAMA da PALESTRA SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS - POLÍMEROS**

Palestrante: Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira - EESC/USP

### **TÍTULO: CONCRETOS POLÍMEROS**

#### **PRELIMINARES**

Introduzido inicialmente como material de reparo para concreto de cimento portland, o concreto polímero vem apresentando nos últimos 20 anos um significativo incremento do número de aplicações no âmbito da construção.

O desenvolvimento de novas resinas e monômeros, provenientes da indústria petroquímica e de óleos vegetais, e também a partir de subprodutos industriais, vem promovendo a diminuição de custos dos materiais poliméricos, viabilizando a aplicação da argamassa e concreto polímero, principalmente em situações onde se requer elevada resistência sob a ação de agentes quimicamente agressivos, altas resistências mecânicas e à abrasão, impermeabilidade, e adequadas condições de dureza e ductilidade.

Embora pouco empregados no Brasil, argamassas e concretos polímeros vêm sendo aplicados largamente nos países industrialmente desenvolvidos, com efeitos benéficos para a melhoria da qualidade e do desempenho das construções.

## 1.INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland tem mostrado ser um material de construção adequado para o emprego em estruturas, principalmente em razão de seu baixo custo, comportamento compatível com as exigências ambientais, níveis aceitáveis de energia requerida na fase de produção, facilidade de moldagem e estética agradável.

Apesar dessa versatilidade e benefícios, em muitos casos pode apresentar manifestações patológicas intensas e em grande incidência, acarretando o desconforto visual e degradação da construção, além de soluções, via de regra, com custos elevados.

Visando atender às exigências de conforto, economia e durabilidade, o concreto convencional atualmente vem merecendo atenção dos tecnologistas com o objetivo de, cada vez mais, melhorar as suas características e conseqüente desempenho, frente à resistência mecânica, durabilidade, etc., favorecendo desse modo a qualidade final da construção.

Dessa forma, vários produtos são aplicados no concreto buscando o seu melhor desempenho. Dentre esses materiais, a utilização de resinas poliméricas em matrizes de cimento, abre um novo campo de aplicação na Construção Civil. Seu emprego pode dar-se:

- a) através da impregnação de elementos de concreto endurecido,ou tratamento superficial;
- b) como concreto polímero onde a resina assume a função de aglomerante junto aos agregados;
- c) como agente modificador do concreto, servindo para colagem de elementos de concreto endurecido, etc..

## 2.GENERALIDADES

No concreto comum a porosidade afeta não apenas propriedades mecânicas, tais como resistência e módulo de deformação, mas também a permeabilidade e durabilidade.

No seu estado endurecido o concreto apresenta vazios, devidos ao ar aprisionado durante a fase de mistura, ou em decorrência de deficiências no adensamento, constituindo assim a porosidade macroscópica e, principalmente, em função da presença de água livre, responsável pela porosidade capilar.

Depreende-se que resistência e durabilidade estão intimamente associadas à porosidade do concreto. Porém, se esses poros forem preenchidos, parcial ou totalmente, com polímero, a área de apoio da carga efetiva, à qual o concreto é submetido, é ampliada, o que vem favorecer o incremento de sua resistência mecânica, bem como dificultar a penetração de agentes agressivos, colaborando desse modo para o aumento de sua durabilidade.

Diferentes resinas podem ser empregadas atualmente nos concretos polímeros. No Quadro 1 apresenta-se o tipo mais comum, empregado no caso dos concretos impregnados ou de resina, sendo discriminadas as vantagens e desvantagens de cada uma delas, levando-se também em conta aspectos importantes dentro da tecnologia do concreto, como as questões relacionadas ao custo, as facilidades de aplicação, toxicidade, condições de cura, etc.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas de resinas

Propriedade da resina	Tipo de resina			
	poliéster	epóxi	metacrilato	poliuretana
custo	V	D	D	D
toxicidade	V	D	D	D
aplicação	N	N	V	D
odor	D	D	D	V
cura em baixa temperatura	N	D	V	N
utilização	V	N	D	V
desgaste	-	-	-	-
retração	D	V	D	V

V= vantagem

D= desvantagem

N= neutro

### 3. CONCEITUAÇÃO DOS CONCRETOS POLÍMEROS

#### 3.1. CONCRETO MODIFICADO COM POLÍMERO

##### 3.1.1. Resinas utilizáveis

As resinas se apresentam na forma de emulsão, ou solução de polímeros, ou na forma de monômeros solúveis que se polimerizam após a mistura.

O polímero mais utilizado é o **látex**, formado por sistemas de copolímeros de pelo menos dois ou mais monômeros e contêm cerca de 50% de polímeros em massa.

LÁTEX -> formado por partículas esféricas de 0,05  $\mu\text{m}$  a 1,0  $\mu\text{m}$  em suspensão na água pelo uso de agentes de superfície, capazes de estabilizar os polímeros na presença de íons de cimento, evitando a coagulação.

Formulações de látex utilizados com cimento portland:

- acetato de polivinila (PVA);
- copolímeros acrílicos;
- copolímeros estireno-acrílico;
- copolímeros acetato de vinila-etileno (VAE);
- copolímeros cloreto de vinilideno-cloreto de vinila;
- copolímeros estireno-butadieno (SBR);
- látex de resina epóxi.

A tabela a seguir apresenta as propriedades de alguns látexes:

tipo de polímero	sólido (%)	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> , 20 <sup>0</sup> C)	pH	Viscosidade (cP, 20 <sup>0</sup> C)	Tipo de catalizador
estireno-butadieno	48	1.01	10.0	26	não iônico
acrilonitrila-butadieno	41	1.01	9.1	27	.-
metacrilato de metil-butadieno	43	1.03	6.1	21	.-
acrílico	46	1.05	9.5	250	não iônico
neopreno	42	1.10	9.0	10	não iônico
acetato de polivinila	50	1.09	2.5	17	não iônico

### 3.1.2. Dosagem

Análoga a dos concretos comuns, variando de acordo com a finalidade da aplicação.

Materiais	Relação (em massa)
cimento portland	1.0
látex (em sólidos)	0.15
areia	2.0 a 2.7
agregado graúdo	1.6 a 2.8
água	0.36 a 0.45

### 3.1.3. Mistura e adensamento

Idênticas a do concreto convencional, devendo ser lançado dentro de 15 a 30 min. para evitar fissuras. Além desse tempo, usar retardador (dietileno glicol).

### 3.1.4. Cura

Devido a formação de um filme na superfície, que retêm a umidade, apenas é necessário 24 h de cura úmida, e depois ao ar, na temperatura de 15 °C a 27 °C.

### 3.1.5. Limpeza

Equipamentos e utensílios devem ser limpos logo após o uso pois o látex é aderente e seca após 15 min. de exposição ao ar.

### 3.1.6. Segurança

O látex é atóxico, mas deve-se evitar contato prolongado com a pele; se atingir os olhos, lavar imediatamente.

### 3.1.7. Propriedades

a- no concreto fresco: aumenta a trabalhabilidade do concreto, podendo incorporar ar caso não forem utilizados antiespumantes. Alguns tipos de látex retardam a pega.

b- concreto endurecido: resistência à compressão muito influenciada pelo teor e tipo de polímero utilizado (vide tabela a seguir - concretos de cimento portland com látex de cloreto de polivinilideno)

Concreto cimento:agregados	polímero sólido (%)	Resistência à compressão (MPa)	
		7 dias	28 dias
1 : 3	0	59.6	60.4
	8	91.2	105.2
	14	80.3	99.1
	20	65.1	90.4
1 : 4	0	30.3	36.7
	8	82.8	91.4
	14	74.8	92.2
	20	71.9	93.6

#### b.1. Resistência à compressão

Muito influenciada pelo teor e tipo de polímero utilizado. O PVA por exemplo, não dá bons resultados.

#### b.2. Resistência à tração e à flexão

São sempre maiores que as do concreto comum.

Tipo de polímero	Resistência aos 28 dias (MPa)		
	compressão	tração	flexão
controle(s/ polímero)	40.6	3.7	7.5
estireno-butadieno	33.6	5.8	12.1
cloreto de vinila- vinilideno	59.0	6.4	12.7
acrílico	39.8	6.0	12.8
acetato de polivinila	25.9	4.9	12.9

Obs.: Argamassas traço 1:3 em massa, c/ 20% de polímero sólido

polímero sólido (%)	relação a/c (em massa)	resistência à	compressão ( $f_{c28}$ )
		compressão	flexão
0	0.44	44.8	4.8
5	0.37	45.5	5.9
10	0.37	43.5	6.6
15	0.30	42.6	7.3

Obs.: concretos c/ látex curados à 50% U.R. e s/ látex em cura úmida.

### B.3. Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto modificado é de 80% do concreto comum idêntico.

Tipo de polímero	relação a/c (em massa)	E (GPa)
sem polímero	0.57	23.4
estireno butadieno	0.40	13.2
cloreto de polivinila	0.40	17.3

Obs.: argamassas c/ látex curadas em condição seca e s/ látex em cura úmida.



Concreto	E (GPa)
sem polímero	30.6
com látex	25.3

Obs.: concreto com 15 % de polímero, curado na condição 50% U.R. e s/ látex em cura úmida.

#### b.4. Fluência

Pode ser maior ou menor que a do concreto tradicional, dependendo da natureza da resina utilizada.

#### b.5. Retração

Varia com o tipo de polímero; látexes de base acrílica apresentam menores retrações que o concreto comum. Látex de cloreto de vinila-vinilideno apresenta maior retração que o concreto tradicional.

#### b.6. Abrasão

O concreto modificado tem excelente resistência à abrasão.

Tipo de polímero	polímero sólido(%)	relação a/c (em massa)	perda de massa (%)
sem polímero	0	0.5	200
copolímero de propionato	10	0.5	146
	15	0.5	97
	20	0.5	53

Obs.: argamassas c/ látex curadas em condição seca e s/ látex em cura úmida.

#### b. 7. Aderência

A resistência à adesão é de cerca de 2 vezes maior que a do concreto comum. No aço, a aderência ao arrancamento de barras é favorecida.

<b>concreto</b>	<b>resist. ao arancamento de barras (MPa)</b>
sem látex	21 a 56
com látex	119 a154

Obs.: concretos c/ látex curados à 50% U.R. e s/ látex em cura úmida.

#### b.8. Resistência química

Depende do tipo e do teor de látex, e da natureza do agente químico.

O látex PVA não resiste bem a ácidos e álcalis, embora sejam estáveis à solventes orgânicos.

O SBR resiste bem à ácidos e álcalis, todavia podem ser atacados por solventes.

Tipo de polímero	Solução		
	10% HCl	5% CH <sub>3</sub> COOH	5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	perda de massa (g)		
sem polímero	destruído	66	40
SBR 15% sólido	54	25	46
SBR 20% sólido	17	10	44
cloreto de vinil- vinilideno 15% sólido	44	13	29
cloreto de vinil- vinilideno 20% sólido	37	8	27

Obs.: argamassas c/ látex curadas em condição seca e s/ látex em cura úmida.

b.9. Resumo de propriedades gerais de concretos e argamassas modificados com polímeros

Propriedades	Concreto	
	S/ polímero (controle)	Com polímero
$f_c$	28.0 a 35.0	28.0 a 56.0
$f_t$	2.1 a 2.5	4.0 a 6.5
E	20.0 a 25.0	10.0 a 15.0
Absorção de água (%)	5.0 a 6.0	0
Res. Química (ácidos-fator de melhoria)	.-	1.0 a 6.0
Res. à abrasão (fator de melhoria)	.-	10.0

Obs.: concretos c/ látex curados à 50% U.R. e s/ látex em cura úmida.

### 3.2. CONCRETO IMPREGNADO DE POLÍMERO

O processo básico para a produção do CIP, envolve a secagem do elemento de concreto, para a remoção da água livre, aplicação de vácuo para a retirada do ar de dentro dos vazios do concreto, imersão do elemento em um sistema de monômeros de baixa viscosidade para a saturação do mesmo, com ou sem pressão e, polimerização do monômero por ação de calor, agentes químicos ou radiação por raio ### (gama).

O CIP pode ser obtido através da impregnação total de um elemento de concreto comum, onde o polímero preencherá plenamente os vazios internos do mesmo. Este processo é complicado e dispendioso, pois para conseguir-se uma impregnação total é requerido grande consumo de energia para fazer com que o monômero penetre em todos os vazios da estrutura porosa do concreto.

Por outro lado, pode se obter o concreto impregnado de polímero (CIP) com uma impregnação parcial do elemento de concreto, que oferece algumas vantagens específicas se comparado ao concreto tradicional, bem como em relação ao concreto totalmente impregnado de polímero.

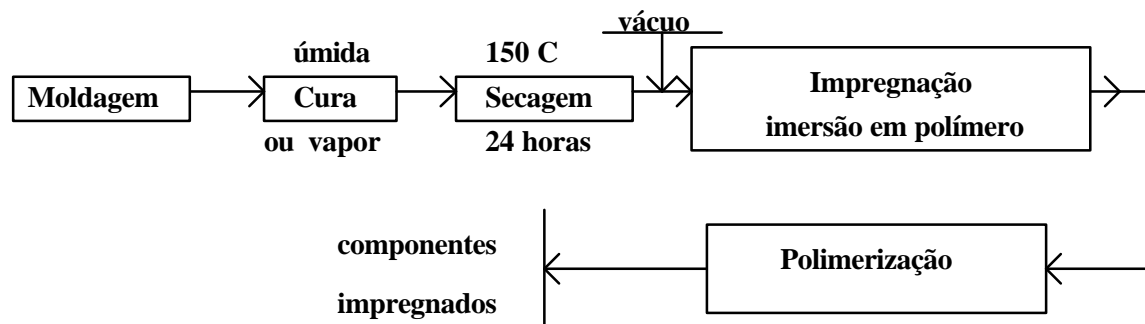
Assim sendo, o concreto parcialmente impregnado com polímero é muito mais fácil de ser obtido, requerendo menor consumo de energia e, apesar de apresentar menor desempenho que o concreto totalmente impregnado, sua resistência mecânica e durabilidade são sensivelmente incrementadas, comparativamente ao concreto convencional.

De um modo geral, o concreto constituído com quaisquer tipos de agregados, cimentos e aditivos, pode ser impregnado por polímeros, transformando-se assim no concreto impregnado de polímero, CIP.

O grau em que o concreto comum é preenchido com monômero durante a saturação, determina se o concreto é parcial ou totalmente impregnado. A impregnação total leva a um preenchimento de cerca de 85%, ou mais, dos espaços vazios, obtíveis após a secagem e a aplicação de vácuo, enquanto a impregnação parcial implica em percentagens um tanto menores que a impregnação total.

Os diversos métodos de produção usados para a impregnação total ou parcial produzem concretos impregnados de diferentes características físicas, como também as propriedades do CIP variam com a natureza dos materiais constituintes do concreto comum, e em decorrência das condições de cura utilizadas.

A obtenção do CIP, como descrito anteriormente, pode ser esquematizada na figura abaixo, onde são apresentados os passos do processo de produção:



Esquema geral de produção do CIP.

### 3.2.1. Considerações sobre o concreto parcialmente impregnado de polímero

De um modo geral, a impregnação de concretos com polímeros, tem mostrado significativas melhorias em suas propriedades mecânicas:

resistência à compressão, tração, módulo de deformação, e também com relação a durabilidade: resistência à abrasão, absorção de água, resistência ao ataque de ácidos, álcalis e sais, resistência ao gelo e degelo, bem como melhor desempenho a danos causados em meios agressivos.


Um maior desempenho do ponto de vista da durabilidade pode ser conseguido com o uso de um sistema de monômero adequado e, pela maior profundidade de penetração deste no elemento de concreto a ser impregnado.

Pode-se considerar que a impregnação parcial não tem como objetivo principal o aumento da resistência mecânica do concreto. Caso se deseje o incremento de resistência, o processo de impregnação deve ser controlado através de ensaios a fim de se verificar a carga adequada de polímero absorvido pelo elemento considerado.

Embora o aumento da resistência mecânica seja resultado da impregnação parcial, este não se compara àquele obtido com a impregnação total.

Em alguns casos, o concreto parcialmente impregnado, pode ser recomendado como uma forma de tratamento superficial, proporcionando uma proteção adicional ao elemento impregnado. Este tipo de aplicação superficial poderá ser realizada com o propósito de assegurar que os poros abertos à superfície, as microfissuras ou defeitos nas faces do elemento, sejam suficientemente preenchidos .

O controle da profundidade da impregnação superficial é um processo tecnicamente possível para o tratamento de superfícies, com a finalidade de reduzir a permeabilidade e aumentar a resistência ao ataque de agentes agressivos. A principal razão para o uso desta técnica nos



concretos convencionais seria a de prevenir a penetração de íons como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ , causadores da corrosão das armaduras.

### 3.3. CONCRETO DE RESINA

O concreto de resina tem experimentado um crescimento considerável de suas aplicações nos últimos 10 anos, como material de reparo para o concreto de cimento Portland, revestimento para pisos e tabuleiros de pontes, produtos pré-fabricados e elementos de alto desempenho em ambientes extremamente agressivos.

Concreto resina (ou de resina) é definido, pelo AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI, como compósito constituído de uma matriz de polímero e fíler, preparado através da mistura completa da matriz polimerizável (monômero ou resina) e agregados (graúdos e miúdos), seguida de polimerização “in situ”. O concreto de resina não contém cimento Portland como aglomerante, mas este pode ser utilizado como um agregado ou fíler. Difere da mesma forma do concreto impregnado de polímero (PIC) e do concreto de cimento Portland e polímero (PPCC), pois apenas o polímero orgânico é utilizado como aglomerante no compósito.

No concreto de resina o polímero constitui a fase contínua do compósito, e as propriedades do compósito dependem largamente das propriedades do polímero aglomerante e de sua quantidade no compósito. As características do compósito variam de acordo com a adição do fíler e agregados, podendo ser consideradas como :

- a) cura rápida em temperatura ambiente entre -18 °C a 40 °C;
- b) alta resistência à tração, flexão e compressão;
- c) boa aderência à maioria das superfícies;



- d) boa durabilidade a longo tempo com ciclos para gelo e degelo respectivamente;
- e) baixa permeabilidade a água e soluções agressivas e,
- f) boa resistência química.

O compósito concreto resina, onde o polímero atua como aglomerante substituindo o cimento Portland, pode ser utilizado sob condições de serviço em meios mais agressivos com maior desempenho que o concreto normal de cimento Portland.

O concreto resina tem em comum com o concreto normal de cimento Portland, os agregados, que são constituintes preponderantes em quantidade e com características similares.

De modo geral as propriedades do concreto resina em relação ao concreto convencional de cimento Portland são:

- a) redução da permeabilidade à líquidos e soluções agressivas;
- b) alta resistência química;
- c) alta resistência ao desgaste por abrasão e ao impacto;
- d) superfícies altamente regulares e limpas e,
- f) cura rápida.

A aplicação e desempenho do concreto resina depende, especificamente do aglomerante polimérico utilizado, bem como do tipo de agregados e sua composição.

A polimerização do concreto resina é usualmente obtida através do sistema promotor-catalítico, ou ainda com a utilização de uma fonte de energia externa que pode ser calor ou radiação.

O estudo dos concretos resina vem sendo desenvolvido desde 1957 na Europa e Japão, e nesses países existem vastas aplicações. Nos Estados Unidos os estudos do concreto resina, inicialmente, foram mais limitados, em virtude do concreto impregnado de polímero, PIC, ser preferencialmente empregado. Atualmente o concreto resina nesse país tem experimentado um considerável crescimento, principalmente em combinação com os outros tipos de concreto polímeros.

### Propriedades

O concreto de resina é formado pela polimerização de um monômero misturado com agregados à temperatura ambiente, usando sistema promotor-catalítico ou outro agente de cura. Primeiramente os concretos de resina foram fabricados a partir de sistemas resinas epoxi e poliéster mas, ultimamente, ocorre uma crescente utilização de sistemas formados por resinas de metil metacrilato e estireno.

O agregado usado no concreto resina deve estar seco, ou sem umidade superficial, caso contrario influenciará na polimerização do polímero.

No concreto resina, praticamente não há endurecimento quando a umidade do agregado fino excede 2%. Além de estarem isentos de umidade superficial, a granulometria dos materiais inertes é de importância fundamental no caso do concreto resina, não só do ponto de vista da resistência, mas principalmente pelo consumo de aglomerantes e da trabalhabilidade.

Nos concretos de resina, juntamente aos agregados miúdos e graúdos, são utilizados adições de cimento Portland, pó de sílica, ou outro material micropulverizado, como fíler que também ajudam a melhorar a

trabalhabilidade da mistura fresca e incrementar a resistência mecânica do compósito. O emprego de fíler no concreto de resina tem por objetivo, também, impedir a segregação dos materiais constituintes, provocada pela diferença de massas específicas dos inertes e da resina.

A mistura do concreto de resina pode ser feita de duas maneiras: a convencional, onde se adiciona a resina aos agregados secos previamente misturados (fíler, areia, agregado graúdo), até se conseguir uma massa uniforme. Esta forma de mistura pode resultar em alguns casos, na formação de excesso de bolhas de ar. A segunda maneira de se obter o concreto de resina, consiste em colocar em um molde a resina e depois adicionar gradualmente os agregados (primeiro o fíler, depois a areia e, a seguir o agregado graúdo). A mistura é consolidada por vibração mecânica. Este método, em geral, produz peças mais uniformes com um mínimo de ar incorporado.

A qualidade do concreto de resina depende fundamentalmente do bom proporcionamento dos elementos constituintes, neste aspecto o problema da dosagem adquire interesse econômico básico, pois o custo do produto e da estrutura de concreto de resina dependem significativamente do custo do aglomerante.

O excesso de resina compromete a viabilidade do uso desse novo material. Assim, a importância da mistura dos agregados com o mínimo de vazios para que propicie a redução de polímero contido no concreto resina é um fator que deve ser levado em conta na execução do concreto resina.

É imprescindível a determinação da quantidade ótima do aglomerante, seleção da quantidade ideal de endurecedor e do método de introduzi-lo na mistura, prevenção do efeito danoso da água no processo de

endurecimento, bem como a utilização de uma tecnologia adequada para a produção desse material.

O concreto resina pode ser moldado de forma similar ao concreto comum de cimento Portland. A vibração deve ser feita em mesa vibratória, sendo que as mesas vibratórias para concreto convencional normalmente não servem para este tipo de material.

Tabela - Propriedades mecânicas típicas do concreto resina.

Monômero/polímero	Relação polímero/agregado	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. à compressão (MPa)	Resist. à tração (MPa)	Resist. à flexão (MPa)	Mód. de deformação (GPa)
Poliéster	1:10	2400	117	13	37	32
Poliéster	1:9	2330	69	-	17	28
Poliéster/estireno	1:4	-	82	-	-	-
Epoxi+40%dibutil ftalato	1:1*	1650	50	130	-	2
Epoxi + poliamino-amida	1:9	2280	65	-	23	32
Epóxi-poliamida	1:9	2000	95	-	33	-
Epóxi-furânica	1:1*	1700	65	7	0.1	-
NMA-TMPTMA	1:15	2400	137	10	22	35

NOTA: \* argamassa de resina

## Aplicações

Dentre os vários compósitos concretos polímeros, o concreto resina é amplamente usado na construção e reparos de auto-estradas, estruturas, e na fabricação de várias espécies de elementos pré-fabricados.

Nas últimas duas décadas, a utilização prática do concreto de resina foi precedida de um estudo rigoroso e completo de suas propriedades e possibilidades como material de construção civil. Atualmente, muitas pesquisas se voltam para o emprego de plástico reciclável na fabricação do concreto resina e muitos artigos vêm sendo publicados apresentando suas propriedades e desempenho.

No seu surgimento o concreto de resina era visto como um material cuja área de aplicação se apresentava bastante distinta, onde o mesmo não concorria com o concreto convencional.

A limitação da sua utilização se fundamentava principalmente por seu custo relativamente elevado, atuando em campos onde o concreto convencional se mostrava deficiente, com grande custo de manutenção e pequena vida útil.

Mais recentemente, em países da Europa, no Japão, nos Estados Unidos, entre outros, o concreto resina é utilizado em produção de elementos pré-fabricados como:

- a) painéis estruturais e de vedação para construção;
- b) tubos coletores de esgoto, equipamentos de galerias e canais de drenagem;
- c) ladrilhos resistentes à corrosão, tijolos (ou blocos) e revestimentos;
- d) revestimento para degraus de escadas e rodapé;
- e) estrutura suporte para equipamento elétrico, isolante e antimagnético;
- f) estrutura de controle de pequeno fluxo de água;
- g) estrutura de porta, caixa de inspeção e bases para máquinas;
- h) componentes industrializados para alimentação animal;
- i) isolantes elétricos;
- j) fôrmas pré-fabricadas para estrutura de concreto convencional.

Desta maneira o concreto de resina teve sua área de aplicação ampliada e sem ter como objetivo concorrer com o concreto de cimento

Portland e apresenta-se como mais uma alternativa de material empregado na Construção Civil e com amplo emprego em regiões de atmosfera marinha e industrial ou ambientes com grande rigor de agressividade ao concreto.

A maioria dos processos utilizada para pré-fabricação de elementos de concreto convencional pode ser aplicados na produção de elementos pré-fabricados de concreto resina.


Uma das vantagens óbvias dos pré-fabricados de concreto resina é o curto tempo de endurecimento das peças. Dependendo do monômero empregado esse tempo chega a ser de 40 segundos após a moldagem.

Outras aplicações do concreto de resina constitui o reparo e reabilitação de estruturas de concreto convencional, pavimentação de auto-estradas, etc.

A instalação de indústrias de componentes e estruturas de concreto resina utilizando a resina furânica, vem desenvolvendo-se na “Commonwealth of Independent State” (CIS) em localidades como: Ust’-Kamenogorsk, Norilsk, Djezkazgan, e em Moscou, onde sua capacidade de produção anual encontra-se em torno de alguns milhares de m<sup>3</sup>.

Produtos produzidos nessas indústrias incluem itens como tanque para eletrólise de zinco, tanoeiro, e processos de extração de níquel, lajes, vigas, elementos de fundações, e outros sistemas suporte, calhas para descargas de ácidos e blocos de revestimentos. Durante os últimos anos, mais de 20.000 m<sup>3</sup> de concreto resina, armado, utilizando resina furânica, vem sendo aplicado na construção de tanques de eletrólise, e mais de 3000 unidades de tais tanques foram colocados em serviço.

Segundo esses autores, na “Commonwealth of Independent State” (CIS), o uso de resina furânica para produzir concreto resina tem



acarretado grandes vantagens e eficiência na aplicação tanto industrial como rural. Grandes quantidades destes materiais estão em serviço há vários anos, e sua durabilidade sob condições severas de corrosão química garante uma alta eficiência e uma redução no custo de manutenção.

São Carlos, Março/2002



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
Depto de Arquitetura e Urbanismo  
Área de Tecnologia do Ambiente Construído

# CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX

*Aluno: Luiz Paulo Z. Ballista  
Professor: Osny P. Ferreira*



## *Sumário*

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO À POLÍMEROS</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS</b>	<b>27</b>
<b>2.4</b>	<b>LÁTEX</b>	<b>28</b>
2.4.1	Influência da Composição dos Polímeros	29
2.4.2	Influência dos Surfactantes	30
2.4.3	Influência dos Ingredientes Complementares	30
<b>2.5</b>	<b>TESTES PADRONIZADOS PARA LÁTEX</b>	<b>31</b>
2.5.1	Teor de Sólidos	31
2.5.2	pH	32
2.5.3	Coagulação	32
2.5.4	Viscosidade	32
2.5.5	Estabilidade	32
2.5.6	Peso por Galão	33
2.5.7	Tamanho da Partícula	33
2.5.8	Tensão Superficial	34
2.5.9	Temperatura Mínima de Formação de Filme (TMFF)	34
<b>3</b>	<b>FORMAS DE UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS EM CONCRETO</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>CONCRETO POLÍMERO (CP) OU CONCRETO DE RESINA</b>	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>CONCRETO IMPREGNADO COM POLÍMERO (CIP)</b>	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX (CML)</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>HISTÓRICO</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>PRINCÍPIO DE MODIFICAÇÃO DO LÁTEX</b>	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>PROPRIEDADES DOS CONCRETOS E ARGAMASSAS MODIFICADOS COM LÁTEX</b>	<b>44</b>
4.4.1	Consistência	44
4.4.2	Teor de Ar Incorporado	45
4.4.3	Tempo de Pega	46
4.4.4	Resistência à Compressão	46
4.4.5	Resistência à Tração	47
4.4.6	Módulo de Elasticidade	47
4.4.7	Retração por Secagem	47
4.4.8	Permeabilidade/Absorção	48
4.4.9	Permeabilidade à Cloretos	49
4.4.10	Resistência à Carbonatação	50
4.4.11	Aderência	50
4.4.12	Resistência à Ciclos de Gelo-Degelo	51
<b>4.5</b>	<b>PROPORÇÕES DE DOSAGEM</b>	<b>51</b>
<b>4.6</b>	<b>PROCESSO PRODUTIVO</b>	<b>52</b>
<b>4.7</b>	<b>FORMA DE CURA</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>53</b>

## INTRODUÇÃO

A ciência dos materiais, desde o início dos estudos das propriedades das argamassas e concretos de cimento portland, tem mostrado a imensa gama de possibilidades de associação destes com materiais diversos, visando a melhoria de suas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. Dentre os diversos componentes associados com êxito às argamassa e concretos de cimento portland, podemos citar principalmente as escórias de alto forno, as cinzas volantes, a sílica ativa, as fibras naturais e sintéticas, os superplastificantes e, mais recentemente, os polímeros.

Estas adições vêm suprir deficiências apresentadas pelos compósitos de cimento portland, visando a melhoria de propriedades específicas ou do conjunto em detrimento de outras, o que muitas vezes ocorre nos concretos e argamassas, além de, na maioria das vezes, aumentar seu custo.

Como se sabe, materiais construtivos como concretos e argamassas produzidos a base de aglomerante hidráulico de cimento Portland costumam apresentar certas limitações com relação a resistência à tração na flexão, ataque de agentes agressivos, abrasão, absorção de água, etc. Para combater tais aspectos negativos, novas tecnologias têm sido desenvolvidas, dentre as quais, a adição de polímeros à estas composições tem apresentado resultados satisfatórios (TEZUKA apud STORTE, 1991).

## INTRODUÇÃO À POLÍMEROS

### CONCEITOS FUNDAMENTAIS

“As moléculas dos polímeros são tão grandes que são geralmente chamadas de *macromoléculas*. Na maioria dos polímeros, estas moléculas apresentam-se na forma de longas e flexíveis cadeias. Essas longas moléculas são compostas de entidades estruturais chamadas unidades *mero*, que são sucessivamente repetidas ao longo da cadeia. *Mero*, que vem da palavra grega *meros*, significa parte. Uma unidade *mero* é conhecida por *monômero*. O termo *polímero* significa muitos *meros*” (CALLISTER, 1997).

TEZUKA (1988) define monômero como “uma molécula orgânica, de baixa massa molecular, capaz de se combinar quimicamente com moléculas de mesma ou mais espécies para formar uma macromolécula, de alta massa molecular”.

“Quando as moléculas se tornam muito grandes, contendo um número de átomos encadeados superior a uma centena e podendo atingir valor ilimitado, as propriedades dessas moléculas – que se chamam então *macromoléculas* – ganham características

próprias, gerais, muitos mais dominantes que as características que decorrem da natureza química dos átomos que as constituem ou dos grupamentos funcionais presentes. Estas propriedades decorrem de interações envolvendo segmentos da mesma macromolécula e de outra; a forma e o comprimento das ramificações presentes na cadeia macromolecular têm papel importante. Pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo, ao lado de forças de Van der Waals, atuando nestas macromoléculas no estado sólido, criam resistência muito maior do que no caso de moléculas de cadeia curta. Em solução, estas interações entre moléculas de alto peso molecular acarretam um pronunciado aumento da viscosidade, que não se observa com as micromoléculas. Da mesma maneira, a evaporação do solvente destas soluções viscosas resulta na formação de filmes, enquanto que soluções de substâncias sólidas de baixo peso molecular geram cristais ou pós. Esses, aliás, é um dos meios mais simples e imediatos para o reconhecimento das macromoléculas: capacidade de formação de filmes, ou películas” (MANO, 1988).

A *polimerização* é a reação de síntese que converte os monômeros em polímeros. O número de meros da cadeia polimérica fornece o *Grau de Polimerização*. Segundo MANO (1988), “quando há mais de um tipo de mero na composição do polímero, este é designado como *copolímero*, e os monômeros que lhe dão origem, *comonômeros*”. O Estireno-Butadieno (SBR – Styrene-Butadiene Rubber), por exemplo é um copolímero formado por Estireno e Butadieno.

Polímeros naturais, derivados de plantas e animais, têm sido usados pelo homem por muitos séculos. Alguns exemplos de polímeros naturais utilizados há muito pelo homem são a borracha, o amido, o algodão, o couro, a lã e a seda. Outros polímeros naturais, utilizados diariamente por muitos dos seres vivos são a celulose, as proteínas e as enzimas, os polissacarídeos e os poli-hidrocarbonetos.

Modernas pesquisas científicas têm permitido a síntese de polímeros. Muitos dos plásticos, borrachas e materiais de fibras são feitos de polímeros sintéticos. Na verdade, após o fim da Segunda Guerra Mundial, o campo dos materiais foi revolucionado com o advento deste tipo de polímero. Os polímeros sintéticos podem ser produzidos à baixos custos, conseguindo-se obter facilmente algumas propriedades desejadas. Em alguns casos, os polímeros sintéticos estão substituindo madeira e aço, pois apresentam desempenhos mecânicos semelhantes, maior durabilidade e custos menores.

## CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS

Os polímeros podem ser classificados, normalmente, segundo as seguintes propriedades:

- **Estrutura Química:** classifica os polímeros quanto aos grupos funcionais presentes em sua cadeia. Podem ser: *poliéteres, poliamidas, poliésteres*, etc;
- **Método de Preparação:** conforme a ocorrência de adições, os polímeros podem ser classificados como *polímeros de adição* ou *polímeros de condensação*;
- **Processos Tecnológicos de Fusão:** os polímeros que permitem fusão e solidificação por aquecimento e resfriamento, respectivamente, são chamados de *termoplásticos*. Caso contrário, são chamados de *termorrígidos*;
- **Comportamento Mecânico:** quanto ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados como *elastômeros* (material bastante flexível à temperatura ambiente), *plásticos* (são moldáveis sob condições de pressão e calor, mas sólidos à temperatura ambiente) e *fibras* (apresenta elevada razão entre seu comprimento e suas dimensões laterais, e comportamento próximo ao dos plásticos).

## FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS

Segundo MANO (1988), são três os principais fatores que afetam as propriedades dos polímeros:

- Natureza química do monômero, peso molecular e estrutura molecular;
- Processos de preparação dos polímeros: poliadição, policondensação e modificação de outros polímeros; e
- Técnicas empregadas em polimerização: em massa, em solução, em emulsão, em suspensão e interfacial.

As peculiaridades destas propriedades são bastante técnicas, e portanto, deixadas de lado neste trabalho. Podem, entretanto, ser encontradas na referida bibliografia apresentada.

## LÁTEX

Segundo WALTERS (1988), látex são dispersões de partículas de polímeros orgânicos em água. São fluidos leitosos que apresentam coloração branca. Sua consistência pode variar de fluido à muito viscoso.

“O termo látex foi originalmente usado para designar o produto natural obtido da seringueira, um leite branco constituído de partículas de borracha sólida dispersa em água” (TEZUKA, 1988). No entanto, atualmente pode-se chamar de látex qualquer material polimérico em emulsão na água.

Segundo WALTERS (1987), “a primeira referência aos látex ocorreu no início do século XVI, quando exploradores espanhóis relataram que índios da América do Sul fabricavam sapatos a partir de látex retirados de árvores. O tipo de árvore, conhecida como *hevea brasiliensis*, produz o material conhecido como látex de borracha natural (NRL – Natural Rubber Latex)”.

“Há muitos tipos de látex no mercado, mas aproximadamente 5% deles podem ser utilizados convenientemente com aglomerantes hidráulicos. Os outros 95% poderão coagular quando combinados com cimento” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

A figura abaixo apresenta uma lista que contém os vários tipos de látex que foram ou são utilizados com aglomerantes hidráulicos. Os tipos em destaque são os mais utilizados atualmente.

Látex Poliméricos para Modificação de Misturas de Cimento Portland	Elastoméricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Borracha Natural</li> <li>— Látex Sintético</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— <i>Estireno-Butadieno</i></li> <li>— <i>Policloropropeno</i></li> <li>— <i>Acrilonitrilo-Butadieno</i></li> </ul>
	Termoplásticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— <i>Éster Poliacrílico</i></li> <li>— <i>Estireno Acrílico</i></li> <li>— <i>Acetato de Vinila</i></li> <li>— <i>Acetato de Polivinila</i></li> <li>— Polipropileno</li> </ul>	
	Termorrígidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Resina Epóxi</li> </ul>	
	Betuminosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Asfalto</li> <li>— Parafina</li> </ul>	
	Combinações de Látex		

Figura 2.1 – Principais látex utilizados com aglomerantes hidráulicos

*Combinações de Látex* é a combinação dos diferentes tipos apresentados, como por exemplo um látex elastomérico com um termoplástico. Porém, sua utilização prática é limitada.

Com raras exceções, os látex normalmente utilizados com aglomerantes hidráulicos são produzidos por um processo conhecido como polimerização de emulsão. O processo básico envolve a mistura do monômero com água, *surfactante* (estabilizador) e *catalisador*.

“A mistura é colocada num reator sob agitação. Pelo controle da temperatura e quantidade de catalisador, a reação normalmente é levada até a conversão de 90% a 99% do monômero em polímero. O látex resultante pode ser concentrado ou diluído (TEZUKA, 1988). Adiciona-se outros ingredientes durante o processo em polimerização, por razões tais como: controle do pH, tamanho das partículas e seu peso molecular. Contudo, “nem todos os látex são produzidos por polimerização em emulsão. Para estes produtos, o polímero é formado por outro processo de polimerização, e o polímero resultante é então disperso em água através de surfactantes” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

“Os látex podem ser divididos em três classes, de acordo com a carga elétrica das partículas, que é determinada devido ao tipo de surfactante usado na dispersão. Os três tipos são: *catiônicos* (ou positivamente carregados), *aniônicos* (ou negativamente carregados) ou *não-iônicos* (sem carga elétrica)” (WALTERS, 1987). “Normalmente, látex que utilizam surfactantes catiônicos ou aniônicos não são adequados para o uso conjunto com aglomerantes hidráulicos porque falta-lhes adequada estabilização. A maioria dos látex utilizados com cimento Portland são estabilizados com surfactantes não-iônicos” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Pode-se ainda adicionar aos látex alguns tipos de *conservantes* após a polimerização para proteção contra contaminação bacteriológica. Também, *agentes anti-espumantes* são utilizados para reduzir a incorporação de ar durante a mistura.

### **Influência da Composição dos Polímeros**

A composição do polímero tem maior efeito nas propriedades dos concretos endurecidos, mas também tem efeitos consideráveis nas propriedades do concreto fresco.

As variações nas propriedades do concreto ou argamassas endurecidos podem ser sensíveis, dependendo da composição e do tipo do polímero. Polímeros de mesmo tipo mas com diferentes pesos moleculares ou diferentes adições podem propiciar resultados

bastante diferentes, quando utilizados para modificação de concretos e argamassas de cimento Portland.

Segundo AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995), o polímero utilizado para modificar misturas de aglomerantes hidráulicos aumenta a aderência à substratos diversos. No entanto, esta aderência pode ser ainda aumentada se utilizados monômeros que contenham grupos reativos tais como ácidos carboxílicos não-saturados. Estes monômeros tornam-se parte do polímero e os grupos reativos têm potencial químico de reagir com componentes da mistura ou com grupos químicos da superfície na qual está sendo aplicado o concreto. Há ainda grupos reativos que têm potencial de acelerar ou retardar a hidratação do cimento.

### **Influência dos Surfactantes**

“Os surfactantes (também conhecidos como estabilizadores) são componentes químicos adicionados durante a fabricação dos látex que se anexam às partículas do polímero. Fazendo isto, eles afetam as interações entre as partículas e entre estas e as partículas do material misturadas ao látex” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

O maior efeito dos surfactantes reflete-se na trabalhabilidade da mistura, aumentando-a consideravelmente, sendo portanto, colaborante na redução do fator água/cimento (*a/c*) em concretos e argamassas modificados com látex.

### **Influência dos Ingredientes Complementares**

“Os ingredientes complementares são aqueles materiais adicionados após a finalização da polimerização. Sua função é melhorar propriedades do produto, tais como resistência à ataques químicos e físicos. Os ingredientes complementares mais comuns são os bactericidas, que protegem o polímero e surfactantes do ataque de bactérias. Antioxidantes e protetores ultra-violeta são adicionados para promover proteção contra intempéries e luminosidade. Também surfactantes podem ser adicionados para aumentar a trabalhabilidade, promover proteção contra a ação de gelo-degelo, e reduzir o fator água/cimento. O nível de adição desses materiais é relativamente baixo, variando de partes por milhão para os bactericidas à porcentagens para os surfactantes. Outros ingredientes que podem ser adicionados são agentes anti-espumantes. Se os látex não contiverem estes ingredientes, eles devem ser adicionados antes do uso para evitar elevados níveis de

incorporação de ar ao concreto ou argamassa” AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Tabela 2.1 – Composições típicas para polimerização em emulsão

Item	Quantidades
Monômeros	100,0
Surfactantes (Estabilizadores)	1,0 – 10,0
Catalisadores (Iniciadores)	0,1 – 2,0
Água	80,0 – 150,0
Outros Ingredientes	0 – 10,0

Para melhor compreensão da Tabela 2.1, pode-se adotar o seguinte “traço” para uma determinada quantidade de polimerização em emulsão: 100,0g de monômeros, 5,0g de surfactantes, 1,0g de catalisador e 80,0g de água.

## TESTES PADRONIZADOS PARA LÁTEX

A publicação **State-of-the-Art Report Polymer-Modified Concrete** do American Concrete Institute (ACI) define alguns tipos de ensaios aos quais devem ser submetidos os látex. Os procedimentos de teste abaixo apresentados para medição da dispersão e do polímero são freqüentemente utilizados para controle de qualidade. As propriedades podem também ser utilizadas para avaliar a adequação dos látex a usos específicos. Os ensaios estão apresentados abaixo, conforme a referida publicação.

### Teor de Sólidos

Teor de sólidos é a quantidade de polímero presente no látex, juntamente com outros ingredientes que não são voláteis à temperatura do teste. O teor de sólidos é o fator preponderante no custo do produto. É determinado pesando-se uma pequena amostra representativa de látex, secando-a sob condições específicas e pesando-se o resíduo. O resíduo é expresso como um porcentagem do peso original. Existem vários métodos normalizados de ensaios. No entanto, pode-se obter valores diferentes, para os diferentes métodos de ensaio. A norma ASTM que regulariza este ensaio é a ASTM D 1076. As diferenças principais entre os métodos estão na temperatura de realização do ensaio e no tempo de secagem da amostra.



## pH

O valor do pH de um material é medido através da concentração de íons hidrogênio e indica se o material é ácido ou básico. Os valores do pH variam de 1 (altamente ácido) à 14 (altamente básico). O valor 7 indica o neutro. A escala é logarítmica, portanto a variação de uma unidade no pH representa um aumento de 10 vezes na concentração ácida ou alcalina. Este ensaio é normalizado pela ASTM D 1417.

## Coagulação

Coagulação é a quantidade de polímero que é retida após a passagem de uma quantidade determinada de látex por uma determinada malha de peneira. Os tamanhos das malhas da peneira normalmente utilizados são 150mm, 75mm ou 45mm (formalmente, malhas número 100, 200 e 325). O teste é uma medida da quantidade do polímero que tem partículas maiores que as desejadas, normalmente formada por aglomeração das partículas ou formação de filmes.

## Viscosidade

Viscosidade é a resistência interna ao escoamento apresentada por um fluido. Há diversas maneiras de se determinar a viscosidade, e esta pode variar de teste para teste. O método adotado para látex utiliza o *viscômetro* desenvolvido por Brookfield (ASTM D 1417). No entanto, a temperatura na qual ocorre o ensaio pode ter efeitos significativos nos resultados.

O Estireno-Butadieno e os látex acrílicos utilizados com cimentos hidráulicos são muito fluidos, apresentando viscosidade menores que 100cps. Como referência, a viscosidade do leite é de 100cps.

## Estabilidade

A estabilidade é uma medida de resistência à mudanças, quando sujeito à choques, que podem ser basicamente de três tipos: mecânicos, químicos e térmicos.

- A *estabilidade mecânica* é determinada submetendo-se o látex à movimentação, normalmente agitação sob alta velocidade por um determinado tempo e depois medindo-se a quantidade de coágulo formado. O método padrão é apresentado na ASTM D 1417.
- A *estabilidade química* é avaliada determinando-se a quantidade de um produto químico para causar coagulação completa ou então adicionando-se uma quantidade

deste produto químico e submetendo-se o látex ao ensaio de estabilidade mecânica. O método é descrito na ASTM D 1076.

- A *estabilidade térmica* é determinada submetendo-se o látex à temperaturas específicas por um tempo padrão e depois, verificando-se o efeito deste processo em algumas propriedades do látex.

A Federal Highway Administration (FHWA) estipula um teste de *estabilidade a ciclos de gelo-degelo*, no qual é determinada a quantidade de coágulo formada após submeter-se o látex à dois ciclos de gelo-degelo.

Estas propriedades de estabilidade são muito importantes para látex utilizados com aglomerantes hidráulicos. A estabilidade mecânica é requerida porque os látex são normalmente submetidos a agitação em bombas de dosagem e movimentação. A estabilidade química é requerida devido à natureza química dos aglomerantes hidráulicos. A estabilidade térmica é requerida devido à possibilidade dos látex serem submetidos às mais diferentes variações de temperatura.

Os surfactantes utilizados nos látex têm grande influência na estabilização dos polímeros.

### **Peso por Galão**

O peso por galão é uma medida de densidade do látex, e é determinado pesando-se um volume específico de látex sob condições-padrão (normalmente, 83,3ml à 25°C. O peso deste volume, em gramas, dividido por 10, é o peso em libras por galão). Este é um parâmetro importante porque, paralelamente ao teor de sólidos, indica a quantidade de sólidos do látex. Por exemplo, um galão do látex Estireno-Butadieno normalmente não contém a mesma quantidade de polímeros que um galão de látex Acrílico. O peso por galão do látex Estireno-Butadieno é de aproximadamente 8,45 libras, enquanto o de Acrílico é de 8,90 libras. Se ambos os látex têm 47% de sólido em massa, o látex Estireno-Butadieno contém aproximadamente 3,97 libras de polímero por galão, enquanto um galão de látex Acrílico contém 4,18 libras.

### **Tamanho da Partícula**

O tamanho da partícula é uma medida do tamanho do polímero disperso em água. Normalmente, varia de 50 à 5000 nm. Há muitos métodos de se determinar o tamanho das partículas, e provavelmente, cada método fornecerá um tamanho diferente. Os métodos

requerem o uso de equipamentos como microscópio eletrônico, centrífugas e foto-espectrômetros.

O tamanho das partículas depende dos níveis de dosagem e tipos de surfactantes.

### **Tensão Superficial**

A tensão superficial é relacionada com a habilidade do látex de molhar ou não uma superfície, e é determinada utilizando-se um tensômetro. A FHWA estipula procedimentos adequados para o ensaio. Quanto menor o valor da tensão superficial, melhor a capacidade de molhagem do látex. Esta propriedade afeta a trabalhabilidade da mistura modificada com látex, e é dependente amplamente dos níveis de dosagem e tipo dos surfactantes.

### **Temperatura Mínima de Formação de Filme (TMFF)**

A Temperatura Mínima de Formação de Filme é definida como a menor temperatura na qual as partículas de polímero do látex apresentam mobilidade e flexibilidade suficientes para coalescer em um filme contínuo. Este fenômeno é controlado pelo tipo e quantidade de monômeros utilizados para fazer o polímero, e pode ser reduzido pela adição de plastificantes.

Geralmente, para o sucesso da utilização de misturas de cimento Portland modificadas com látex, a TMFF deve ser menor que a temperatura de aplicação. Contudo, em alguns casos, resultados satisfatórios têm sido obtidos em misturas de cimentos modificados com látex abaixo da TMFF dos látex. Acredita-se que o cimento reduz o efeito da TMFF do látex.

## **FORMAS DE UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS EM CONCRETO**

Os concretos com adição de polímeros podem ser divididos em três categorias:

### **CONCRETO POLÍMERO (CP) OU CONCRETO DE RESINA**

Neste tipo de concreto não há presença de outro aglomerante a não ser o próprio polímero que é misturado aos agregados.

“Concreto Resina (ou de resina) é definido pelo American Concrete Institute (ACI) como compósito constituído de uma matriz de polímero e *filler*, preparado através da mistura completa da matriz polimerizável (monômero ou resina) e agregados (grãos e miúdos), seguida de polimerização *in situ*. O concreto de resina não contém cimento

Portland como aglomerante, mas este pode ser utilizado como agregado ou filler. Difere da mesma forma do *Concreto Impregnado com Polímero* e do *Concreto de Cimento Portland e Polímero* (ou *Concreto Modificado com Látex*) pois apenas o polímero orgânico é utilizado como aglomerante no compósito” (SILVA, 1996).

Existe, para a otimização da quantidade de polímero adicionada, a necessidade de faixas granulométricas específicas de agregados graúdos e miúdos, além da necessidade de utiliza-los muito secos pois a umidade dos agregados pode causar alterações danosas às propriedades do concreto.

Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), “devido à boa resistência química e a alta resistência inicial e módulo de elasticidade, o Concreto Polímero tem sido usado industrialmente, sobretudo em revestimento e trabalhos de reparos. Características térmicas e de fluência do material normalmente não são favoráveis à aplicação de Concreto Polímero em estruturas”. Contudo, as propriedades finais dos concretos polímeros dependem da quantidade e do tipo do polímero utilizado.

“Os concretos e argamassas de resina são uma alternativa aos concretos e argamassas de cimento Portland convencionais, e as principais aplicações destes materiais são: reparos e reabilitações de concreto convencional; pavimentação de auto-estradas; obras em regiões de atmosfera marinha; obras e peças industriais (ou em ambientes agressivos); produção de elementos pré-moldados. Uma das vantagens dos pré-moldados com concreto de resina é o curto tempo de endurecimento das peças, podendo chegar a 40 segundos após a moldagem, dependendo do monômero” (SILVA apud ROSSIGNOLO, 1998).

## **CONCRETO IMPREGNADO COM POLÍMERO (CIP)**

Para a realização da impregnação de polímero no concreto é necessário selecionar um líquido de baixa viscosidade, além de secar e evacuar o concreto antes de submetê-lo à impregnação.

A impregnação propriamente dita consiste em forçar a entrada do líquido polimérico no concreto endurecido, contendo o mínimo de água possível em seus poros e capilares de modo que o polímero vá preencher os vazios do concreto, aumentando sua resistência e principalmente sua durabilidade através da diminuição da absorção e permeabilidade. A retração e a fluência são insignificantes neste tipo de concreto.

Apresenta também como características marcantes excelente resistência à abrasão, à ação de gelo e degelo, e ao ataque por soluções químicas fortes.

Abaixo está apresentada a seqüência de operações para fabricação de CIP em fábrica de pré-moldados:

- Moldagem dos elementos com concreto convencional: é feita sem cuidados especiais de seleção de materiais e dosagem. Contudo, a espessura dos elementos é limitada a 150mm devido às limitações da impregnação.
- Cura dos elementos: cura convencional à temperatura ambiente.
- Secagem e evacuação da água: o tempo e temperatura necessários dependem da espessura de cada elemento.
- Imersão do concreto seco no monômero: devido ao complexo sistema de vazios no concreto endurecido, é difícil se obter uma penetração completa. Quando isto for necessário, deve-se impregnar o monômero sob pressão.
- Vedação do monômero: os elementos, depois de impregnados, devem ser selados em recipientes de aço para prevenir a perda do monômero por evaporação.
- Polimerização do monômero: Após a impregnação, o monômero deve ser polimerizado no local, o que pode ser feito, segundo MEHTA & MONTEIRO (1994) de três modos:
  - Combinação de endurecedores químicos e catalisadores em temperatura ambiente;
  - Radiação gama;
  - Mistura monômero-catalizador para impregnação e polimerização através de aquecimento do concreto com vapor, água quente ou aquecedores infravermelhos.

## **CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX (CML)**

Dentre as formas de emprego de polímeros no concreto, pode-se dizer que o Concreto Modificado com Látex (CML), ou Concreto de Cimento e Polímero (PPCC) apresenta uma grande vantagem em relação aos demais, pois não necessita de mudanças significativas em seu processo de produção, que consiste em adicionar o látex (solução contendo polímeros) juntamente com parte da água de amassamento, durante a mistura.

O CML geralmente não apresenta melhoras significativas na resistência à compressão, mas sim na resistência à tração, flexão e abrasão, na absorção, na

permeabilidade, na aderência (talvez esta seja uma das características mais marcantes do CML) e na penetração de agentes agressivos.

Após esta breve introdução, será focado o principal objeto deste trabalho, que é o Concreto Modificado com Látex.

## CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX

### HISTÓRICO

“O conceito de concreto de cimento e polímero teve seu início em 1923, quando a primeira patente do processo foi efetuada por L. Cresson, e se referia à utilização de borracha natural no concreto de cimento aplicado a calçamentos. A primeira publicação com intenção de produção de um concreto com cimento e polímero foi a patente de V. Lebefure, onde também usava-se a borracha natural através de um método racional de mistura, o que é relevante do ponto de vista histórico, haja vista que em 1925 uma idéia similar foi patenteada por S. M. Kirkpatrick” (STORTE, 1991).

“A utilização de látex de borracha sintética para modificar concretos de cimento Portland foi sugerida, pela primeira vez, em 1932” (TEZUKA, 1988).

“Nos Estados Unidos, os estudos sobre concreto de cimento e polímero foram iniciados em 1952, e a primeira aplicação prática foi na restauração do tabuleiro de concreto da ponte Cheyboygan, Michigan, em 1959, e que ainda hoje apresenta boas condições de utilização” (TEZUKA, 1988).

“Nos anos 60 houve um grande incremento nas aplicações de concretos e argamassas de cimento e polímero utilizando-se o látex Estireno-Butadieno, o Éster Poliacrílico e os Ésteres Polivinílicos e, desde esta data, as pesquisas e o desenvolvimento de concretos de cimento e polímero têm tido considerável avanço nos Estados Unidos, Japão e Inglaterra” (STORTE, 1991).

“Em 1974, foram iniciados os trabalhos de normalização e, em 1978, foram estabelecidos pela *Japan Industrial Standards (JIS)* cinco métodos de ensaios de argamassas e concretos de cimento e polímero. Este tipo de concreto foi utilizado em lajes de convés de navios e em revestimentos. Atualmente são usados em pavimentos e como material impermeabilizante, adesivo e anti-corrosivo. Estudos recentes sugerem a possibilidade de se obter concreto de cimento e polímero dúctil, capaz de absorver grandes energias e, portanto, de construir paredes resistentes ao cisalhamento sob ação de esforços de origem sísmica” (TEZUKA, 1988).

“Concretos e argamassas modificados com látex Estireno-Butadieno podem ser utilizados para diversos fins, nos quais diferentes propriedades são requeridas. Na maioria destas aplicações, a aderência a substratos e a impermeabilização são as necessidades mais comuns. Em aplicações externas, a resistência aos ciclos de gelo-degelo é muito importante” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

## **GENERALIDADES**

O Concreto Modificado com Látex (CML), conforme sucintamente apresentado anteriormente, é definido como uma combinação de cimento Portland, agregados e água combinados com polímeros no instante da mistura. A nomenclatura utilizada refere-se ao uso de polímeros tanto em argamassas quanto em concretos. A dispersão de polímeros é adicionada ao concreto para alterar algumas das propriedades dos concretos e argamassas, conforme será apresentado adiante.

O látex é uma suspensão coloidal de polímero em água, que pode ser adicionado normalmente durante a mistura dos materiais, sem a necessidade da introdução de novas tecnologias para sua utilização. Além disso, a polimerização no CML ocorre naturalmente por secagem ou perda de água.

Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), um látex contém geralmente cerca de 50% em peso de partículas esféricas muito pequenas de polímeros mantidas em suspensão na água por agentes tenso-ativos, que tendem a incorporar grandes quantidades de ar no concreto. Conseqüentemente é necessário adicionar agentes desincorporadores de ar ao látex.

“A pasta de cimento endurecida é predominantemente uma estrutura aglomerada de Silicatos de Cálcio, Aluminatos e Hidróxidos mantidos juntos por forças de Van der Waals relativamente fracas. Conseqüentemente, microfissuras são induzidas na pasta devido às solicitações causadas pela evaporação em excesso de água (retração por secagem). A modificação com látex ajuda de duas formas: as partículas do látex não somente reduzem a quantidade e o tamanho da movimentação de água através do bloqueio dos capilares, mas também quando há fissuração, o filme de látex polimérico tampa estes canais e restringe a propagação (Figura 4.1). Isto resulta em incrementos na resistência à flexão. A restrição da movimentação de fluidos naturalmente ocorre nos dois sentidos, e reduz também a entrada de fluidos, aumentando a proteção a ataques de agentes químicos e resistência ao congelamento” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

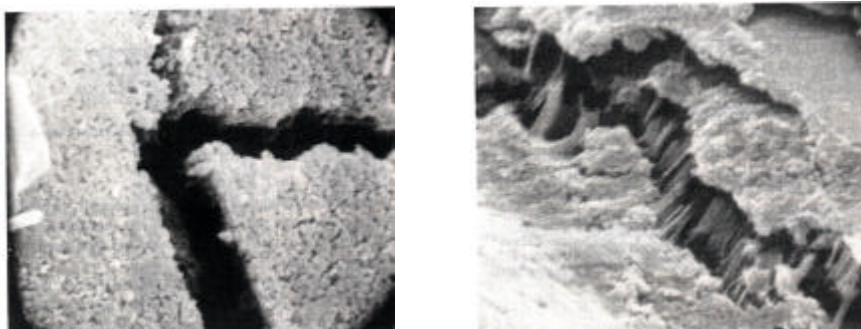


Figura 4.1 – Microfotografia eletrônica de concreto de cimento Portland (direita) e concreto de cimento Portland modificado com látex (esquerda)  
(FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

Ainda segundo o AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995), o ponto ótimo de modificação com polímero situa-se entre 10% e 20% do teor de sólidos por peso de cimento. Percentagens menores não propiciaram mudanças significativas nas propriedades dos concretos e argamassas modificados. Além disso, não trarão os benefícios da redução significativa da quantidade de água de amassamento. O uso de sólidos em excesso torna-se inviável economicamente, podendo causar elevada incorporação de ar e pode causar um comportamento de polímero preenchido com agregados e cimento, no qual o cimento entra como *filler* (descaracterizando o processo de modificação).

Alguns trabalhos analisaram a influência da modificação com látex no desenvolvimento da superfície das pastas. Estes trabalhos indicam que embora a modificação com látex possa acelerar ou retardar o tempo de pega, não há prejuízo algum na taxa de hidratação do cimento. A estrutura de poros dos sistemas modificados com látex é influenciada pelo tipo de látex e pela relação látex/cimento utilizada. De acordo com OHAMA & SHIROSHIDA, e KASIA et al., a porosidade e o volume dos poros de argamassa modificadas com látex diferem das não modificadas principalmente porque sua matriz apresenta pequena quantidade de poros com 200 nm de raio, mas quantidades significativamente maiores de poros com raio de 25nm ou menos. A porosidade total ou volume de poros diminui com o aumento da taxa de polímero adicionada. Isto pode contribuir para o aumento de impermeabilização dos concretos ou argamassas, na resistência à carbonatação e resistência à ciclos de gelo-degelo.



## PRINCÍPIO DE MODIFICAÇÃO DO LÁTEX

O princípio de modificação do látex, quando adicionado a concretos e argamassas, é ainda bastante obscuro. Existem alguns modelos empíricos que tentam explicar tal fenômeno, e dentre eles, o mais comumente aceito é aquele proposto por Ohama.

A modificação dos concretos argamassa de cimento Portland é governada por dois processos: a hidratação do cimento e a coalescência do látex (polimerização).

Segundo ROSSIGNOLO (1998), a modificação dos concretos e argamassas é consequência da hidratação do cimento e da coalescência das partículas de polímero, formando um filme contínuo de polímero. A hidratação do cimento geralmente precede o processo de formação do filme de polímero.

“Geralmente, a hidratação do cimento ocorre primeiro e como as partículas hidratadas de cimento se estabilizam e a mistura endurece, as partículas do látex concentram-se nos espaços vazios” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Segundo WALTERS (1988), o látex e o cimento formam uma co-matriz que une os agregados. Esta co-matriz apresenta maior eficiência no preenchimento de microfissuras em relação às misturas não modificadas com polímeros, resultando na maior resistência à percolação de fluidos no concreto e em melhores propriedades de resistência mecânica. Da mesma forma que a matriz de látex e cimento aumenta a aderência entre os agregados na mistura, ela também aumenta a aderência entre a mistura e demais substratos. “A estrutura das argamassas e concretos modificados com látex é tal que os microporos e cavidades normalmente presentes em matrizes de cimento Portland convencionais são parcial ou totalmente preenchidas com filmes poliméricos que se formam durante a cura” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Segundo OHAMA (1987), ocorrem três etapas principais durante o processo de modificação, e estão apresentadas nas etapas abaixo descritas. A Figura 4.2 apresenta o modelo de modificação apresentado por Ohama. A Figura 4.3 apresenta o modelo de formação do filme proposto por Ohama.

### *Primeira Etapa:*

“Quando o látex é misturado ao concreto ou argamassa de cimento Portland, as partículas de látex são dispersas uniformemente na pasta de cimento. Na pasta de cimento e polímero, o gel de cimento é gradualmente formado pela hidratação do cimento e a parte líquida é saturada com hidróxido de cálcio formado durante a hidratação, enquanto as

partículas de polímero depositam-se parcialmente na superfície do gel já formado e das partículas ainda não hidratadas de cimento (OHAMA, 1987).”

*Segunda Etapa:*

Com o desenvolvimento da estrutura do gel, as partículas de polímero são gradualmente confinadas nos poros capilares. Então, as partículas do polímero formam uma camada contínua que envolve o gel de cimento e as partículas de cimento não hidratadas e, simultaneamente, adere às camadas de silicatos formadas nas superfícies dos agregados. Os macroporos existentes são preenchidos pelas partículas de polímero.

*Terceira Etapa:*

Com a contínua remoção de água devido à hidratação do cimento, evaporação ou ambos, as partículas do látex coalescem em filmes ou membranas, os quais entrelaçam (envolvem) o cimento hidratado (uma vez que, como visto anteriormente, o látex coalesce por perda de água), formando uma co-matriz que reveste os agregados e aloja-se nos vazios intersticiais.

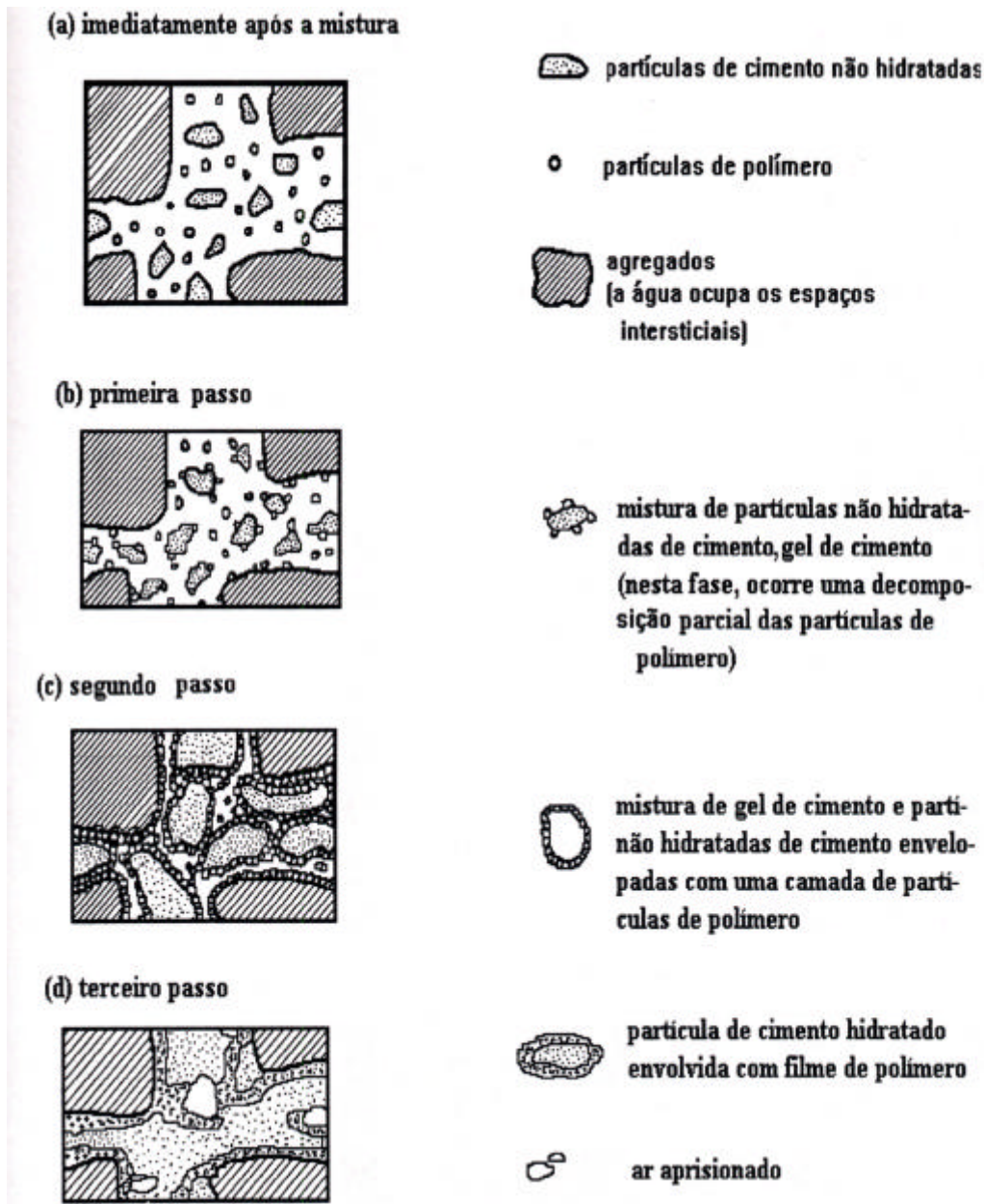


Figura 4.2 - Modelo de modificação apresentado por Ohama  
(FONTE: ROSSIGNOLO, 1998)

Segundo AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995), durante os estágios iniciais os concretos e argamassas modificados com látex são mais susceptíveis à fissuração por retração plástica do que concretos e argamassas não modificados por causa da influência de redução do látex na quantidade de água requerida na mistura. Este fenômeno é causado pela evaporação de água na superfície do elemento. Dois fenômenos podem acontecer, ambos contribuindo para este problema: o látex pode coalescer antes de

uma hidratação significativa do cimento, ou a pasta de cimento pode retrair antes de atingir resistência suficiente para evitar a fissuração. Cuidados devem ser tomados para restringir esta evaporação superficial através da utilização de sistemas de cobertura (vedação de superfície).

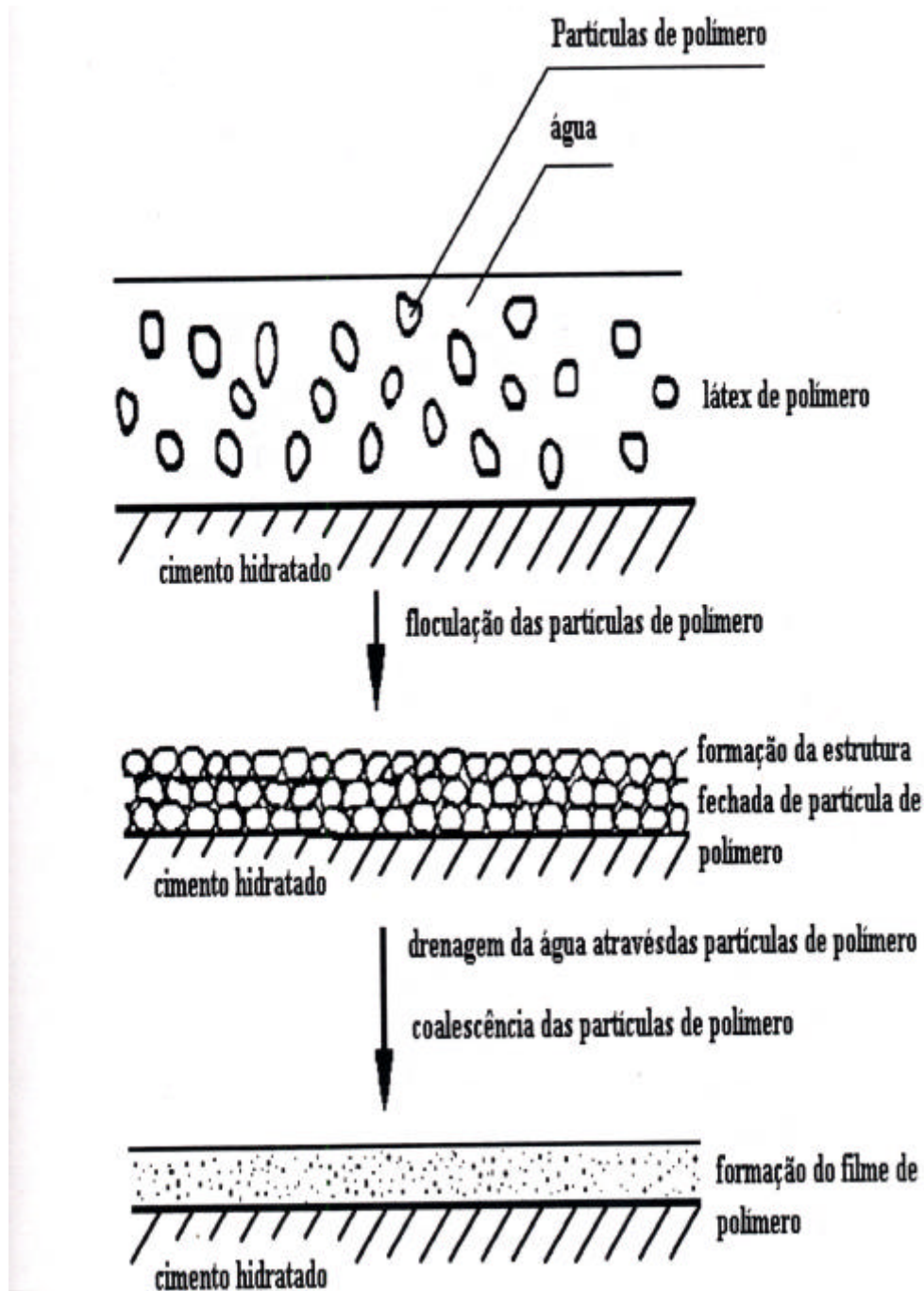


Figura 4.3 – Modelo de formação de filme de polímero proposto por Ohama (FONTE: ROSSIGNOLO, 1998)

## PROPRIEDADES DOS CONCRETOS E ARGAMASSAS MODIFICADOS COM LÁTEX

Com relação às propriedades dos concretos e argamassas modificados com látex, serão analisadas as principais propriedades físicas e mecânicas, nos estados fresco e endurecido.

### Consistência

Concretos e argamassas modificados com látex Estireno-Butadieno apresentam aumento da trabalhabilidade com relação a concretos e argamassas não modificados. Isto deve-se ao efeito dispersante dos componentes do látex combinados a água. As partículas do polímero agem como plastificantes, aumentando consideravelmente a trabalhabilidade das misturas para uma mesma relação água/cimento. Desta forma, promovem os benefícios dos plastificantes, aumentando a trabalhabilidade para uma mesma relação água/cimento e/ou diminuindo a quantidade de água de amassamento, para o mesmo abatimento, em relação à mistura de referência.

A Figura 4.4 apresenta resultados experimentais do uso do Látex Estireno-Butadieno em composições de cimento Portland. São apresentadas as relações entre fator a/c e quantidade de látex em concretos de mesmo abatimento. Fica portanto claro que reduções significantes do fator a/c podem ser atingidas através da inclusão do látex.

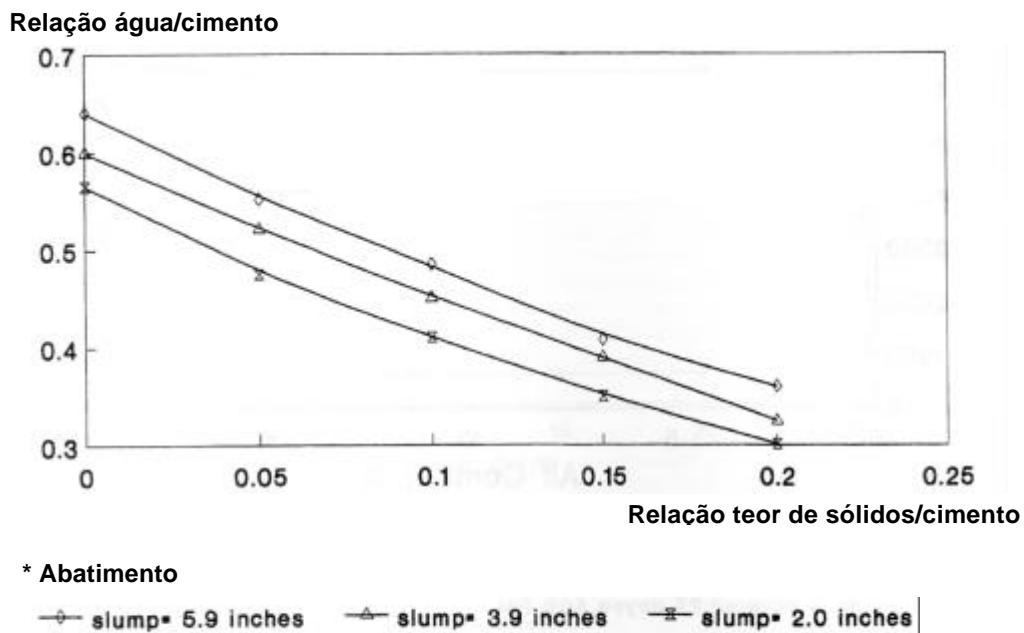


Figura 4.4 – Relação água/cimento x teor de sólidos/cimento em misturas de mesmo slump (FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

## Teor de Ar Incorporado

Visto que o teor de ar incorporado causa diminuição nas propriedades de resistência mecânica, deve ser cuidadosamente monitorado. Por este motivo, são adicionados aos látex agentes anti-espumantes.

“Os látex já estão sendo comercializados com estes agentes e, como consequência, o ar incorporado na maioria das argamassas com polímero é da ordem de 5% a 20%, e nos concretos de cimento e polímero, da ordem de 2%, quase a mesma proporção de um concreto convencional” (STORTE, 1991).

“A relação entre a porcentagem de ar incorporado e a quantidade de agente anti-espumante será função do tipo de látex e anti-espumante utilizados. A tendência, no entanto, é sempre a mesma. A experiência tem mostrado que a composição do cimento e dos agregados podem afetar o teor de ar incorporado, portanto é importante analisar um traço antes da sua utilização. Um exemplo da relação entre a quantidade de agente anti-espumante e o ar incorporado em argamassas é mostrado na Figura 4.5” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

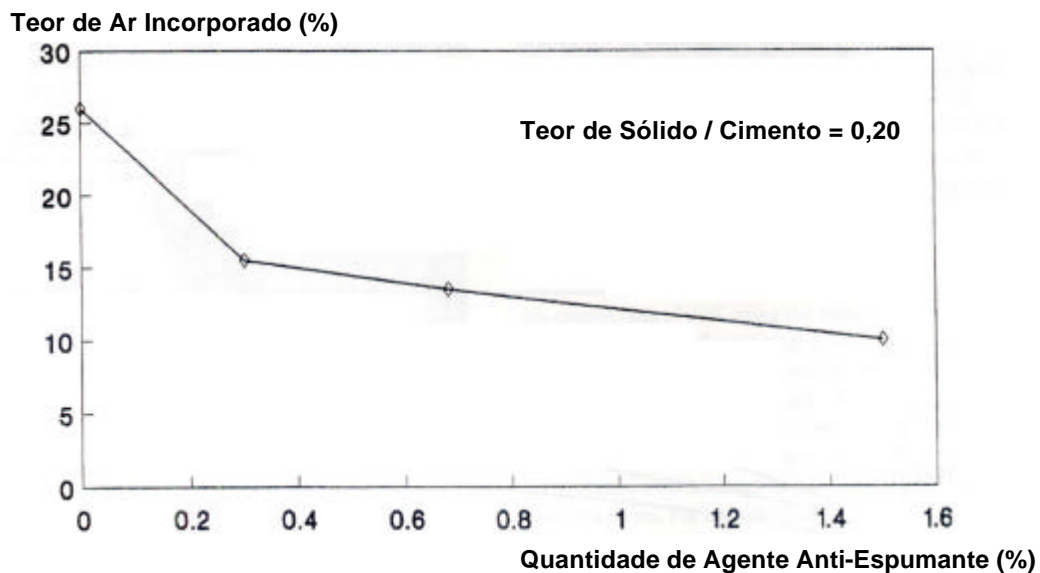


Figura 4.5 – Quantidade de agente anti-espumante x teor de ar incorporado  
(FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

## Tempo de Pega

Tem-se constatado que o tempo de pega em concretos e argamassas modificados com polímeros é praticamente o mesmo ou pouco maior que o dos concretos convencionais.

“Há no entanto, uma diferença no tempo de aplicação dos Concretos Modificados com Látex, que não é relacionada com o tempo de pega: o tempo de pega é função da hidratação do cimento, e o tempo de aplicação é influenciado pela secagem da superfície. Se a superfície de uma mistura com látex torna-se muito seca, ocorre a formação de uma membrana ou pele (coalescência do polímero). O tempo para formação destas membranas depende das condições de secagem, isto é, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento. Geralmente, o tempo disponível para trabalhar com material é de quinze a trinta minutos após mistura e exposição ao ambiente” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

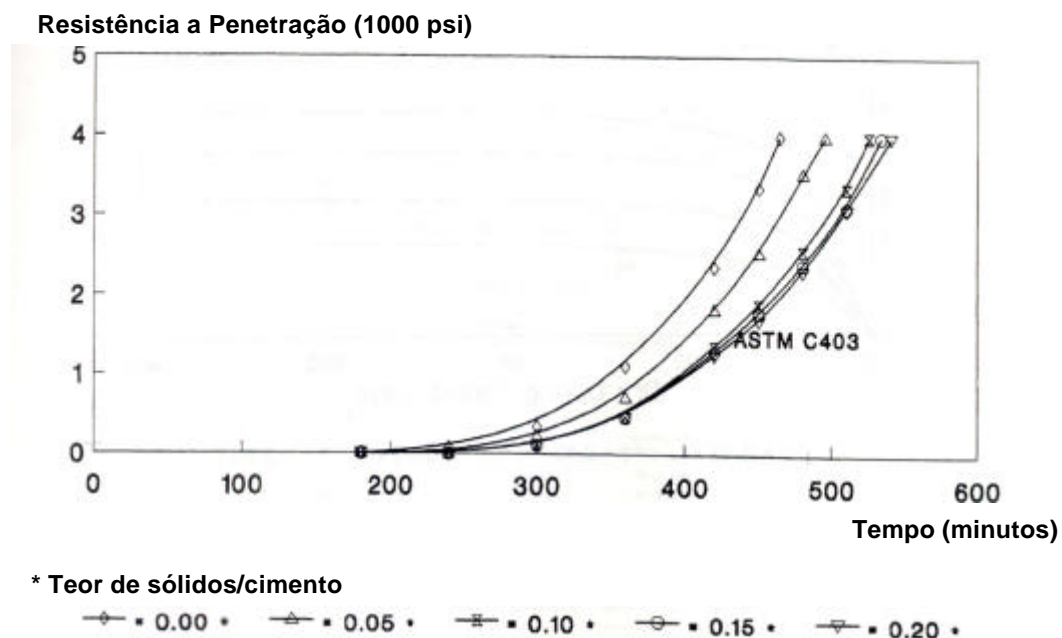


Figura 4.6 – Tempo de pega para concretos convencionais e concretos modificados com látex  
(FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

## Resistência à Compressão

Praticamente não ocorrem alterações significativas de resistência à compressão quando há adição de polímeros. Na verdade, ganhos significativos podem ocorrer por



causa da redução da água de amassamento, em virtude das propriedades plastificantes dos látex, conforme apresentado no item 4.4.1 – Consistência.

Segundo STORTE (1991), no entanto, a resistência à compressão é muito influenciada pelo teor e pelo tipo de látex utilizado, bem como pela quantidade de monômeros que formam o polímero.

Segundo KUHLMANN (1987), a resistência à compressão geralmente não apresenta alterações significativas. Já AFRID et al (1994) obtiveram ganhos de resistência à compressão de 30 a 40% em relação ao concreto de referência, em adições em massa de látex Estireno-Butadieno variando de 5 a 20% da massa de cimento, mas não mencionam se houve diminuição da água de amassamento.

### **Resistência à Tração**

A resistência à tração, quer na flexão, quer na compressão diametral, apresenta melhoras significativas em seus valores.

AFRID et al (1995) afirmam que os concretos modificados com látex Estireno-Butadieno têm sua resistência mecânica melhorada sobremaneira, principalmente no que se refere à tração. Em suas pesquisas, obtiveram ganhos de até 100% nesta característica. “As modificações promovidas pela adição do látex geram concretos com maior resistência à flexão, tração e aderência” (KUHLMANN, 1987).

### **Módulo de Elasticidade**

As modificações promovidas pela adição do látex geram concretos com menor módulo de elasticidade (KUHLMANN, 1987). RAY (1994) obteve a mesma conclusão.

### **Retração por Secagem**

A retração não aumenta com a adição de látex Estireno-Butadieno. Contudo, as argamassas e concretos modificados com estes látex são mais susceptíveis à retração inicial quando não submetidos à processos eficazes de cura (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE 1995).

A adição de látex ao concreto não aumenta o valor de sua retração final. Isto foi demonstrado por OHAMA, onde 3 porcentagens de látex foram utilizadas em corpos de prova de concretos de três diferentes tamanhos. O abatimento foi mantido constante através do ajuste do fator a/c. A medida da retração após vários dias de cura demonstrou que a retração é governada pela quantidade de água, e não aumenta com a adição de látex.



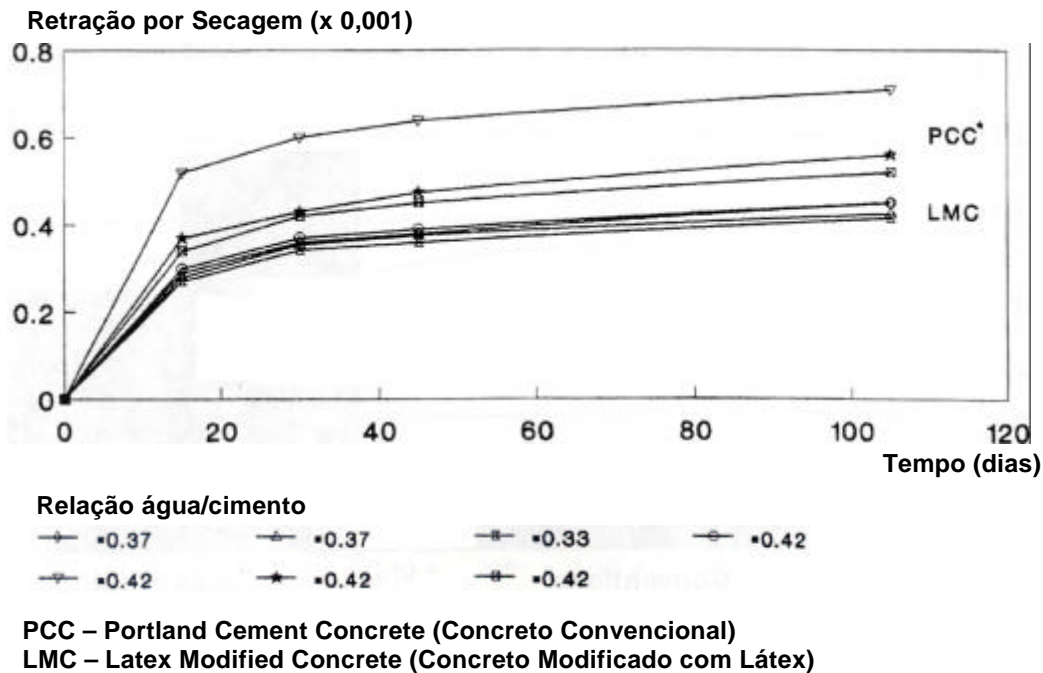


Figura 4.7 – Retração por secagem x tempo para concretos convencionais e modificados (FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

### Permeabilidade/Absorção

As modificações promovidas pela adição do látex reduzem as características de permeabilidade, em comparação a concretos convencionais com mesmas características (KUHLMANN, 1987).

“A estrutura do CML é tal que os microporos e vazios encontrados no concreto convencional estão parcialmente preenchidos com o filme de polímero que se forma durante o período de cura. Este filme é responsável pela redução da permeabilidade e absorção de água. Esta propriedade tem sido exaustivamente estudada indiretamente por vários tipos de ensaios, tais como transmissão de vapor de água, absorção de água, resistência à carbonatação e permeabilidade à cloretos” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

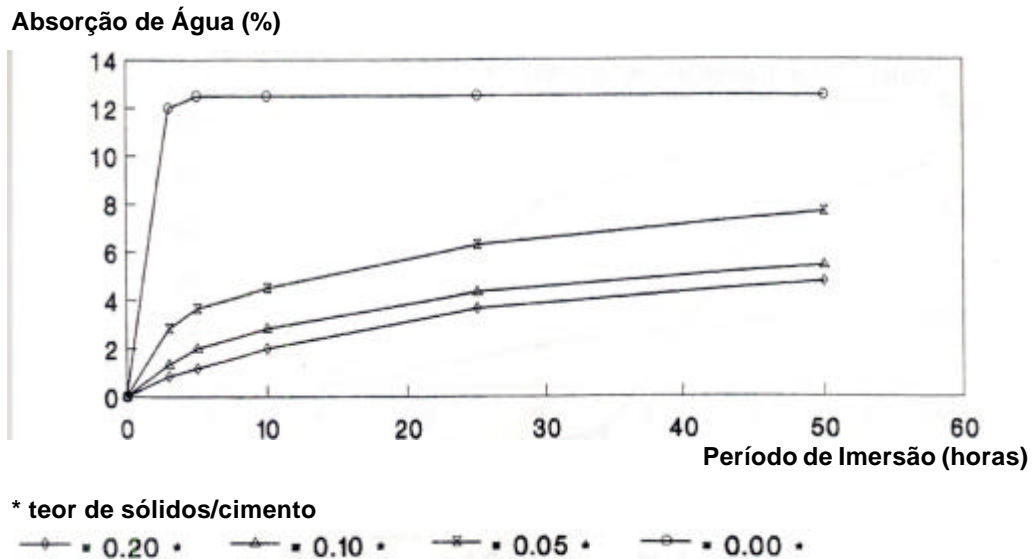


Figura 4.8 – Absorção de água em argamassas com diversas porcentagens de látex (FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

### Permeabilidade à Cloretos

A permeabilidade à cloretos segue a mesma diretriz da absorção de água, e portanto, também apresenta melhoras significativas. “Ohama conduziu testes onde os cilindros eram submersos em soluções de sal por 28 e 91 dias. A penetração dos cloretos era medida nos corpos-de-prova rompidos diametralmente, com auxílio de uma solução reagente” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995). Os resultados finais apresentaram diminuição de até 70% na penetração de cloretos para concretos com relação teor de sólidos/cimento de 20%.

KUHLMANN & FOOR analisaram o ar incorporado versus a permeabilidade em concretos e argamassas modificados com látex e descobriram que mesmo para elevadas porcentagens de ar incorporado, os vazios eram menores e muito bem distribuídos, e a permeabilidade não aumentava. Um outro estudo analisou os efeitos do tempo de cura na permeabilidade dos CML e detectou que esta diminui significativamente com o tempo. As amostras foram coletadas de concretos modificados de diferentes localizações nos Estados Unidos, usando diferentes tipos de agregados e cimento, mas as mesmas especificações. Todos foram curados no primeiro dia à temperatura de 20°C com umidade relativa de 100%, e o restante do tempo à mesma temperatura, e umidade relativa de 50%. Apesar da

permeabilidade dos concretos serem bastante diferentes entre si após 28 dias, tornaram-se bastante próximas após os 91 dias de cura.

### Resistência à Carbonatação

A resistência à carbonatação dos concretos modificados com látex é bastante melhorada em relação aos concretos de referência, devido principalmente ao preenchimento dos poros pelo polímero.

“Ohama estudou concretos modificados com látex Estireno-Butadieno expostos à gás carbônico, e também, exposto à soluções com Dióxido de Carbono (ácido carbônico). Após a exposição, os corpos-de-prova eram abertos diametralmente e a profundidade de carbonatação, medida com o uso de reagente à base de fenolfetaleína. Os resultado mostraram que a carbonatação é sensivelmente reduzida nos concretos e argamassas modificados com látex”(AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

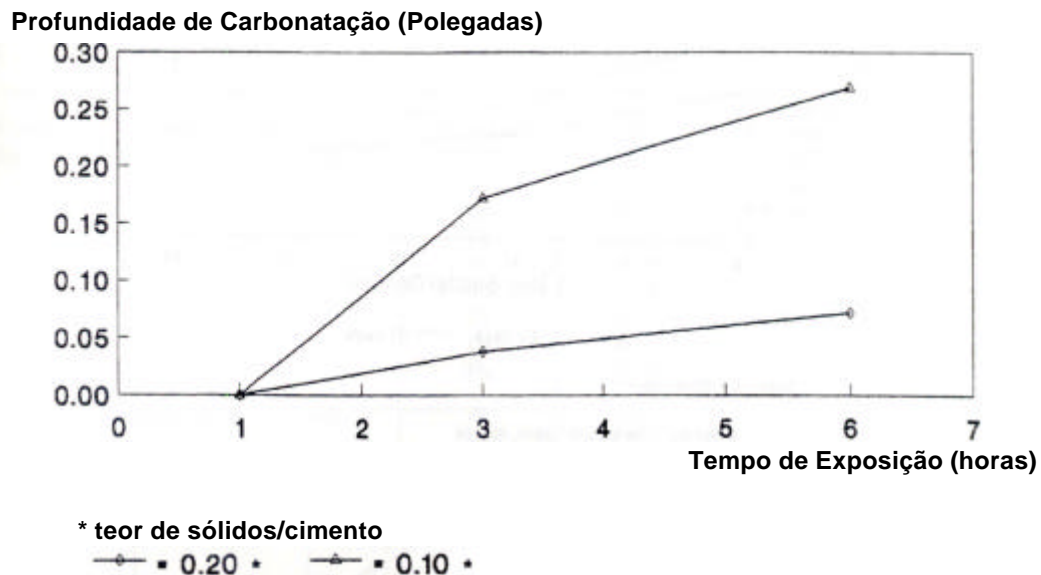


Figura 4.8 – Tempo de exposição ao dióxido de carbono x profundidade de carbonatação (FONTE: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995)

### Aderência

As qualidades de aderência dos CML têm sido estudados por muitos anos em aplicações com rebocos, revestimentos para metais e cobrimentos de pontes. Estudos recentes de laboratórios têm medido esta aderência.

“A tensão de aderência dos CML têm sido mediadas por um ensaio de compressão diametral, utilizando metades do cilindro de concreto convencional como substrato. Estas metades eram obtidas rompendo-se corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm por compressão diametral. As amostras eram então preparadas colocando estas metades em um molde e preenchendo a outra metade com CML. O CML com relação teor de sólidos/cimento de 0,15 foi curado por 28 dias. Todos os corpos-de-prova analisados romperam nos agregados, com uma tensão média de 3,60MPa” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

### **Resistência à Ciclos de Gelo-Degelo**

“A resistência aos ciclos de gelo-degelo tem sido medida em laboratório e no campo. Estudos baseados na Norma ASTM C 672 indicam excelentes resultados quanto a esta propriedade. Concluiu-se que a excelente performance dos CML é resultado da resistência da pasta a penetração de água. Com pouca ou nenhuma água na matriz de concreto, danos por ação de gelo-degelo não ocorrem” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

## **PROPORÇÕES DE DOSAGEM**

A inclusão do látex Estireno-Butadieno em argamassas e concretos de cimento Portland resulta na diminuição da quantidade de água para uma determinada consistência. Componentes do látex funcionam como dispersantes do cimento Portland, aumentando a fluidez e a trabalhabilidade da mistura sem a necessidade de água adicional. Portanto, a seleção da quantidade de látex afetará as propriedades físicas do sistema endurecido de duas formas:

1. Através da quantidade de látex adicionada;
2. Através da quantidade de água retirada.

Um valor comum de adição de látex é em torno de uma relação teor de sólidos do látex/cimento de 0,15. Cimentos Portland tipos I, II e V são normalmente utilizados em concretos e argamassas modificados com látex. Consumos mínimos e máximos de cimento não são estabelecidos para o concretos e argamassas modificados com látex. Consumos de cimento específicos têm sido utilizados de acordo com a aplicação dos concretos. Para concretos modificados com látex, o consumo gira em torno de 390kg/m<sup>3</sup>. Para aplicações

em argamassas, o consumo de cimento varia amplamente com o uso. A maioria dos dados analisados indicam no entanto, relações agregado miúdo/cimento de 3/1.

Traços pilotos, naturalmente, são o método apropriado de se avaliar o efeito de cada componente (adição) na mistura.

## **PROCESSO PRODUTIVO**

O processo produtivo não sofre modificação algum, a não ser da introdução de um novo componente no misturador, que é o látex em forma líquida.

Muitos autores defendem que a ordem de colocação na betoneira é de extrema importância para a maximização dos benefícios proporcionados pela adição. Segundo suas indicações, a ordem de colocação deve ser a seguinte:

1. Agregado graúdo
2. Parte da água (aproximadamente 60%)
3. Cimento
4. Agregado miúdo
5. Látex diluído no restante da água

O látex deve ser adicionado por último para que os agregados, quando secos, não o absorvam, pois isto não é o desejável, e sim que o látex fique disperso na matriz, envolvendo o gel de cimento, os poros e os agregados.

Também o tempo de mistura deve ser controlado afim de diminuir a incorporação de ar ao concreto. Há um consenso em torno de um valor inferior a 5 minutos de mistura.

## **FORMA DE CURA**

Segundo GODOY & BARROS (1997), a forma como a cura é executada tem influência direta nas propriedades dos elementos confeccionados com látex: “Normalmente, estes elementos requerem um método de cura diferente devido à adição do polímero. As propriedades quase ótimas dos sistemas modificados são alcançados por uma combinação de cura úmida e cura seca, isto é, cura úmida por um determinado número de dias, seguida de cura seca à temperatura ambiente”. A resistência ótima é obtida alcançando-se uma quantidade razoável de hidratação do cimento sob condições úmidas nos primeiros estágios, seguido de condições secas, para promover a formação do filme de polímero devido a coalescência do látex (OHAMA, 1984).

## BIBLIOGRAFIA

- AFRIDI, M.U.K. et al. (1995). Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars. **Cement & Concrete Composites**, v.17, n.4, p.113-8.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995). **ACI 548.3R - State-of-the-art report on polymer-modified concrete**. Detroit, ACI.
- CALLISTER JR, W.D. (1997). **Materials science and engineering – an introduction**. 4.ed. Utha - EUA, Wiley.
- FOLIC, R.J.; RADONJANIN, V.S. (1998). Experimental research on polymer modified concrete. **ACI Materials Journal**, v.95, n.4, p.463-9, jul/aug.
- GODOY, E.H.P.; BARROS, M.B. (1997). A avaliação de desempenho dos sistemas de impermeabilização com argamassas poliméricas. In: 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, São Paulo. **Anais**, p.206-18.
- KUHLMANN, L.A. (1987). Application of styrene-butadiene latex modified concrete. **Concrete International**, v.XX, n.XX, p.48-53, dec.
- MANO, E.B. (1988). **Introdução a polímeros**. São Paulo, EDGARD BLÜCHER LTDA.
- MANO, E.B. (1996). **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo, EDGARD BLÜCHER LTDA.
- MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. (1994). **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI.
- NEVILLE, A.M. (1997). **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini.
- OHAMA, Y. (1987). Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. **ACI Materials Journal**, v.84, n.6, p.511-8, nov/dec.
- OKBA, S.H.; EL-DIEB, A.S.; REDA, M.M. (1997). Evaluation of the corrosion resistance of latex modified concrete (LMC). **Cement and Concrete Research**, v.27, n.6, p.861-8.
- OHAMA, Y.; DEMURA, K. (1991). Pore size distribution and oxygen diffusion resistance of polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Research**, v.21, n.2/3, p.309-15.
- RAY, I.; GUPTA, A.P.; BISWAS, M. (1994). Effect of latex and superplasticiser on portland cement mortar in the fresh state. **Cement & Concrete Composites**, v.16, n.4, p.309-16.

- RAY, I.; GUPTA, A.P.; BISWAS, M. (1995). Effect of latex and superplasticiser on portland cement mortar in the hardened state. **Cement & Concrete Composites**, v.17, n.4, p.9-21.
- ROSSIGNOLO, J.A. (1999). **Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex Estireno-Butadieno para revestimento de fachadas**. São Carlos, 107p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SHAKER, F.A.; EL-DIEB, A.S.; REDA, M.M. (1997). Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. **Cement & Concrete Research**, v.27, n.5, p.711-20.
- SILVA, I.J. (1996). **Contribuição ao estudo da utilização da resina poliuretana a base de óleo de mamona na construção civil**. São Carlos, 163p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, J.C.S.; MELHADO, S.B. (1997). Impermeabilização dos pisos do pavimento tipo de edifícios: diretrizes para o projeto. In: 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, São Paulo. **Anais**, p.180-97.
- STORTE, M. (1991). **Látex estireno-butadieno – aplicação em concretos de cimento e polímero**. São Paulo, Técnica.
- TEZUKA, Y. (1988). **Concreto de cimento e polímeros**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. São Paulo
- WALTERS, G. (1987). What are latexes?. **Concrete International**, v.9, n.12, p.44-7, dec.
- WALTERS, G. (1988). Latex hydraulic cement additives. **Transportation Research Record 1204**, p.71-6.