

CONCRETOS E ARGAMASSAS DE ALTA RESISTÊNCIA

GILSON MORALES (*)

INTRODUÇÃO:

O custo de uma estrutura componente de uma edificação é fator preponderante ao se proceder a definição de um projeto estrutural, haja visto que os sistemas estruturais mais comumente utilizados se caracterizam por uma linearidade bastante acentuada e por soluções de cálculos convencionais.

Neste jogo de variáveis que vêm permitir uma redução no custo das estruturas, uma delas é a resistência do material estrutural utilizado. Como o material mais difundido nestas soluções é o concreto armado, há um intento cada vez maior em se melhorar as características deste material e, conseqüentemente, se conseguir um desempenho mais satisfatório durante a sua vida útil.

A resistência do concreto é um parâmetro que se reflete no comportamento deste material, interferindo sobremaneira no seu desempenho, particularmente no desempenho mecânico e na durabilidade. Ela depende, basicamente, da relação água/cimento e da acomodação do material após o adensamento, admitindo-se no concreto normalmente adensado por equipamento mecânico, um índice de vazios da ordem de 1% a 3%, valores estes decorrentes dos fatores citados anteriormente. Portanto, à medida que se reduz o índice de vazios, possibilita-se ao material apresentar maiores valores de resistência mecânica.

NEVILLE (1) enfatiza ser mais coerente relacionar-se resistência mecânica com a concentração de produtos da hidratação do cimento no espaço destinado para serem ocupados por eles quando da cristalização. De uma forma ou de outra, a resistência mecânica sempre foi o ponto alto a preocupar os tecnólogos e os calculistas, e num passado bastante recente surge no campo da tecnologia do concreto uma linguagem cada vez mais dissiminada, despertando o interesse geral: "concreto de alta resistência". O que viria a ser um concreto de alta resistência, já que esta idéia já acompanhava este conhecido material?

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Os intervalos anteriormente designados para delimitarem este grupo especial de concretos, de repente se vêem ameaçados por valores absurdamente maiores. Concretos que no Brasil, há poucos anos eram considerados de alta resistência, apresentando valores na faixa de 25 MPa a 30 MPa, ou sejam, 250 a 300 Kg/cm², atualmente já ficam bem aquém dos valores mínimos obtidos.

Segundo NILSON (2), é perfeitamente possível a obtenção de concretos con-

vencionais com resistências superiores a 40 MPa pela simples adoção de certas medidas no que diz respeito à seleção adequada de materiais, particularmente da areia e da brita, bem como a utilização de uma relação água/cimento reduzida, ainda que para tal seja necessário o uso de aditivos superplastificantes que garantam uma trabalhabilidade satisfatória. Sabe-se também que, principalmente nestes casos, o controle rígido da qualidade de produção é fundamental.

Além desta alternativa, há a possibilidade de se incorporar à mistura componentes minerais, os quais apresentem características pozolânicas, que asseguram uma elevação bastante considerável da resistência mecânica, especialmente à compressão. Dentre estes produtos destacam-se as cinzas volantes (fly ash) e a microssilica (sílica fume), responsáveis por novas marcas na classificação dos concretos, o que originou denominações como as que se seguem abaixo:

DENOMINAÇÃO DO CONCRETO	FAIXA DE VARIAÇÃO DE f_c 28 (MPa)
a. Baixa resistência	f_c 20 MPa
b. Média resistência	20 f_c 40 MPa
c. Alta resistência	40 f_c 85 MPa
d. Ultra alta resistência	f_c 85 MPa

(In: Microssilica em concretos e argamassas de alta resistência. AMARAL, C. K.)

Os concretos denominados de ultra alta ou altíssima resistência já vem sendo largamente utilizados em vários países do mundo e, particularmente na Noruega, segundo HELLAND (3), do volume total de concreto produzido, cerca de 25% se enquadra na classe dos concretos que tiveram sua resistência aumentada pela adição de microssílica, no caso.

O que vem a ser este material que, já aqui no Brasil, é comercializado e ganha terreno a medida que vem sendo conhecidos os seus resultados na adição a concretos e argamassas?

MICROSSÍLICA:

Definição: é um material pulverulento, de acentuada finura, enquadrado no grupo dos pós não palpáveis, constituído de partículas esféricas de sílica amorfa (não cristalina), altamente reativa, com diâmetro médio de aproximadamente 0,15 micron (1 micron = 1/1000mm) e superfície específica média de 20 m²/grama, (o cimento portland comum apresenta valores de superfície específica em torno de 0,225 m²/g). Esta poeira super pozolânica, contendo de 85 a 98% de dióxido de silício (SiO₂) que se forma quando o monóxido de silício sai das chaminés e entra em contato com o oxigênio do ar, oxidando-se, apresenta junto ao cimento hidratado uma capacidade cimentante bastante alta, capaz de assegurar valores de resistências mecânicas, principalmente à compressão, extremamente elevadas em comparação com um concreto sem adições. Tem sido obtidos valores de resistência à compressão da ordem de 100 MPa. (Fig. 01)

Origem: este pó, com partículas de finura 50 a 100 vezes menor que o cimento portland, é um subproduto da indústria de ligas de ferro-silício tais como ferro-cromo e ferro-manganês, a qual procede a manufaturada industrial do silício em fornos elétricos que trabalham na faixa de 2000°C.

Usos: A microssílica é utilizada na forma de adição ao cimento para a produção de concretos e argamassas em teores que podem variar de 5 a 35% sobre a massa do cimento, ou como substituto parcial do cimento. A faixa usual que vem sendo adotada não ultrapassa normalmente a 20%.

Nos Estados Unidos, conforme NILSON (2), o uso da microssílica, que há algum tempo se limitava a situações de reforço de pilares com maior sobregarga, vem se estendendo à execução de estruturas diversas, desde elementos de pontes, pisos de alta resistência a estruturas "off-shore" para petróleo.

Segundo HELLAND, (3) na Noruega o Ministério dos Transportes adota com frequência a adição de 5% de microssílica na produção de concreto para estrutura de pontes.

No Brasil a microssílica vem sendo produzida pela Elkem Brasil S.A., sendo

comercializada em sacos de 10 Kg, semelhantes ao cimento, custando cerca de 1,8 OTN's o que corresponderia ao dobro do preço do cimento portland comum.

Outros usos da microssilica enylobam a produção de concretos refratários, junto com o cimento aluminoso e até como acréscimo da resistência ao impacto de produtos a base de polímeros.

DESEMPENHO DA MICROSSÍLICA:

a. Como material pozolânico: A microssilica, além de produzir uma distribuição mais uniforme da mistura, aumenta o volume dos produtos de hidratação. Conforme NEVILLE (1), o espaço bruto destinado aos produtos de hidratação compreende o volume absoluto de cimento somado ao volume de água de amassamento.

Como todo material pozolânico, a microssilica apresenta uma atuação bastante intensa junto ao hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 formado pelo processo de hidratação do cimento, comportamento intensificado e acelerado em função da elevada superfície específica que este tipo particular de pozolana apresenta. O produto desta reação, segundo AMARAL (4), é um gel resistente de silicato de cálcio hidratado, cujos cristais subdividem os poros capilares em poros gel, reduzindo desta forma a permeabilidade da mistura e aumentando a sua resistência a ataques químicos. (Fig. 03).

Em tempo, faz-se pertinente uma diferenciação entre o que seriam poros capilares e poros de gel. Os poros capilares são aqueles encontrados no concreto ou nas argamassas, no estado endurecido, referentes ao volume não preenchido pelos produtos de hidratação, e cujas dimensões se aproximam a 1,3 micron, assemelhando-se a uma malha que intercomunica aleatoriamente na pasta de cimento endurecida. Um processo adequado de cura pode interferir neste volume de poros, interceptando-os, com conseqüente redução da permeabilidade. Também o valor da relação água/cimento influencia bastante na formação destes vazios, já que, quanto maior for esta relação, maior será a permeabilidade e sua vulnerabilidade a agentes agressivos.

Por outro lado, os poros de gel são poros intersticiais gerados pela evaporação da água retida no gel, de dimensões bem inferiores se comparados aos poros capilares, ocupando em torno de 28% do volume total do gel.

b. Como filler: com a adição da microssilica nas argamassas e nos concretos, verifica-se um efeito de colmatação dos espaços intersticiais da pasta de cimento, provocando uma redução de sua porosidade média, isto em virtude da dimensão reduzidíssima das partículas de microssilica comparadas às do cimento portland, ou seja, cerca de 50 a 100 vezes mais fina. Para cada grão de cimento numa mistura de 10% de microssilica em relação ao peso de cimento, tem-se 50.000 grãos de microssilica.

RESULTADOS DO USO DA MICROSSÍLICA

a. Resistência mecânica:

A adição de *microsilica* altera a estrutura da pasta de cimento, fazendo com que haja maior teor de silicato de cálcio hidratado em função da reação com o hidróxido de cálcio, o qual é fixado pela atividade da *microsilica*. Esta melhora no desempenho do aglomerante faz com que a resistência mecânica à compressão ultrapasse a casa dos 100 MPa. (Fig. 02).

Segundo ELKEM (5), houve um aumento da resistência à compressão do concreto, excepcionalmente nas primeiras idades, ou seja, até 28 dias, em torno de 65%, mediante o acréscimo de 5% de *microsilica* em relação à massa de cimento. Por outro lado, aumentos de até 200% foram verificados para acréscimos de *microsilica* na faixa de 20%, o que revela um desempenho de 5 a 10 vezes melhor do que a maioria dos materiais pozolânicos, sendo que estes desenvolvem uma resistência maior a partir dos 28 dias de idade. (Fig. 05).

Também a resistência à tração pura ou na flexão são consideravelmente melhoradas com a adição de *microsilica*, sendo confirmadas as mesmas relações válidas para os concretos convencionais.

b. Trabalhabilidade: O uso de *microsilica* está intimamente vinculado ao uso de aditivos, haja vista a elevação da superfície específica da mistura, o que provoca uma sensível redução na trabalhabilidade. Os aditivos que apresentam melhor desempenho nesta área são os "superplastificantes", os quais corrigem a trabalhabilidade prejudicada pelo fato de que o excesso de finos absorve facilmente a água de amassamento, fazendo com que o slump caia consideravelmente. Para AMARAL (4), o uso dos superplastificantes é preponderante para a obtenção de uma boa acomodação do material e a conseqüente redução na sua permeabilidade. A ação do superplastificante é melhorada pela forma esférica das partículas de *microsilica*, acarretando um sensível aumento na trabalhabilidade.

Também as características de continuidade na granulometria dos agregados utilizados contribui grandemente para melhorar a trabalhabilidade, haja visto que favorecem uma maior compacidade na mistura e um preenchimento mais uniforme dos vazios.

Logicamente que este uso de aditivos deve ser extremamente criterioso, com uma análise experimental precedendo a utilização do material em larga escala, a fim de identificar o desempenho deste material na mistura, evitando-se conseqüências indesejáveis como retardamento considerável do endurecimento ou mesmo prejuízos na resistência mecânica do concreto ou da argamassa. É interessante lembrar que a adição de *microsilica* provoca um aumento na coesão da mistura no estado fresco, o que favorece operações de transportes especiais como é o caso do bombeamento do concreto, isto se verificando mesmo naquelas misturas cuja composição granulomé-

trica dos agregados é adequada para este tipo de transporte. Por outro lado, tem-se uma outra concorrência de extrema importância no que se refere ao transporte do concreto que é a redução acentuada do problema de segregação.

O concreto com microssilica também é recomendado para uso em jateamento gunitagem, sendo que, além de reduzir o desgaste do equipamento, ainda provoca uma redução das perdas ocasionadas pelo ricocheteio ou retorno do material, graças à maior coesão e capacidade de aderência aumentadas.

c. Retração hidráulica: se processa de maneira semelhante ao concreto comum, sendo função do volume de água presente na mistura. Logicamente que, quanto maior for a relação água/cimento adotada, tanto maior será o efeito da retração.

d. Durabilidade: A garantia de uma durabilidade satisfatória está grandemente vinculada ao teor de poros abertos que o material endurecido apresentar, ou seja, sua permeabilidade. À medida que esta permeabilidade é reduzida, o concreto ou a argamassa vai apresentando melhores resultados na presença de águas agressivas, sendo que esta redução de permeabilidade se deve também ao fato de ter ocorrido uma redução de problemas como a exsudação e a segregação da mistura no estado fresco. Por outro lado, a quantidade de microssilica adicionada à mistura reduz a quantidade de hidróxido de cálcio, que costuma ser alvo de agressão nos concretos convencionais expostos à água, pela lixiviação, como também inibe as reações álcis e agregados. O hidróxido de cálcio reagindo com a sílica gera o silicato de cálcio hidratado, o qual se cristaliza e se fixa estavelmente. (Fig. 06).

A melhor homogeneidade da mistura pode ser explicada pelo fato de serem as partículas de microssilica bem menores do que as partículas de cimento, dispersando-se aquelas no meio destas e provocando um melhor resultado na mistura que, além de se tornar mais homogênea, apresenta maior grau de compactidade e uma redução na infiltração em virtude do bloqueio dos poros capilares e da redução de suas dimensões e quantidade. Este conjunto de fatores vão melhorar o desempenho do concreto em relação ao efeito gelo-degelo, aliado à incorporação de 5% de ar.

Com relação à resistência ao fogo, tem-se conhecimento de resultados de testes que revelaram ocorrer a fissuração do material na faixa dos 700°C, provocada inicialmente pela saída de água livre e agravada pela temperatura diferencial na peça.

Vale também lembrar que a microssilica é uma superpozolana e, como todo material pozolânico, reduz a quantidade de calor de hidratação, reduzindo problemas com a cura.

Há, por outro lado, menor probabilidade de se formarem bolsões por baixo dos grãos de agregado graúdo e junto à argamassa que envolve a armadura, reduzindo, desta forma, a probabilidade de exsudação e de fissuras acima das barras de aço.

Foi observado no decorrer do estudo deste material, o fato dele ter apresentado um ótimo desempenho com relação ao desgaste mecânico por abrasão, tanto é

que há no mercado pisos de alta resistência à base de microssílica, como é o caso do Emsac Piso produzido pela Elkem Brasil, o qual, além da resistência mecânica apresenta bom desempenho químico.

Do ponto de vista do desempenho químico, principalmente com relação aos sulfatos, os resultados tem sido satisfatórios segundo as pesquisas mais recentes. Os sulfatos presentes normalmente em algumas argilas e na água do lençol freático podem reagir com $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e com o aluminato tricálcio hidratado, dando origem ao sulfato aluminato de cálcio, conhecido como etringita, sendo um produto de volume superior ao volume de seus compostos antes da reação, o que provoca expansão no concreto. A redução do hidróxido de cálcio pela ação pozolânica da microssílica garante um melhor desempenho junto a estes compostos químicos.

Também um comportamento que pode interferir negativamente na durabilidade de concretos e argamassas é a reação entre os álcalis presentes no cimento e agregados do tipo reativos. A fina estrutura desenvolvida através da adição da microssílica fixa os óxidos alcalinos de sódio e potássio presentes no cimento, reduzindo o efeito da reação com os agregados, excepcionalmente a expansão provocada.

e. Proteção à armadura: algumas características são alteradas nos concretos e argamassas com a adição da microssílica, principalmente por estes materiais não apresentarem segregação e exsudação e por haver uma queda bastante acentuada na permeabilidade. Tudo isto traz como consequência condições de se minimizar absurdamente o ataque às armaduras pelo fenômeno da corrosão. Pesquisas realizadas na Noruega, onde este tipo de material já é utilizado há longo tempo, revelam um aumento considerável na resistividade elétrica específica, intensificando a proteção quanto à corrosão das armaduras. Normalmente o concreto comum úmido apresenta um comportamento de semi-condutor de eletricidade, funcionando como um eletrólito com resistividade de aproximadamente 100 ohm.m. Estando seco esta resistividade se eleva para 10^9 , assumindo o papel de um bom isolante elétrico. Logo, quanto menos permeável for o concreto, melhor desempenho como isolante elétrico e maior proteção em relação à corrosão eletrolítica da armadura no caso de concreto e argamassa armada. (Fig. 07).

PRODUÇÃO DE CONCRETOS E ARGAMASSAS COM MICROSSÍLICA:

a. Recomendações gerais: Tendo-se em vista a elevada faixa de resistência que se espera atingir pela adição da microssílica, deve ser dada particular atenção à escolha e seleção dos materiais a serem empregados, ou sejam:

a.1. Cimento: Não há nenhuma restrição ao uso do cimento portland comum para a produção de concretos e argamassas de alta resistência, tanto é que os resultados até então publicados têm sido satisfatórios, já que o emprego de um cimento de alta resistência inicial implicaria numa maior liberação de calor. É importante que se façam as devidas observações com relação à qualidade do cimento, mais especificamente a constatação do teor de resíduos na análise de finura através da peneira de malha 0,0075mm (peneira 200), lembrando que este teor de material retido após o peneiramento não deve ultrapassar a 12%. Também é interessante obedecer a um consumo de cimento que esteja próximo ao intervalo de 400 Kg a 600 Kg/m³.

Como a relação água/cimento utilizada neste tipo de concreto é menor do que para o concreto convencional, com conseqüente aumento na densidade da pasta, haverá um ganho na resistência mecânica. Por outro lado, se o consumo de cimento for excessivo, poderá intensificar o processo de retração, com conseqüente prejuízo do material resultante.

a.2. Agregado gráudo: Os agregados deverão apresentar a maior homogeneidade possível em relação às suas propriedades, ressaltando a importância de, para este fim, ser imprescindível que a sua resistência mecânica seja maior que a da pasta, o que é mais comum em agregados naturais do tipo calcário, basáltico e granítico.

Os agregados gráudos, com granulometria contínua, deverão apresentar a forma o mais próxima da cúbica quanto for possível, ter a superfície áspera, com uma dimensão máxima recomendável de 19mm. Apesar de que, em alguns casos se tem utilizado brita 2, de dimensão máxima 25 mm. Estas características de granulometria favorecem um melhor empacotamento da mistura, com aumento na resistência mecânica.

Observa-se que, se for utilizado agregado de bom desempenho mecânico, em concretos na faixa de 80 MPa de resistência à compressão, a ruptura provavelmente ocorrerá na pasta ou na interface pasta-agregado. Se for reduzida excessivamente a relação água/cimento, havendo um aumento da resistência da pasta, o concreto passa a funcionar como um material de comportamento indesejável, já que os agregados apresentam uma resistência limitada na faixa de 120 a 130 MPa

a.3. Agregado miúdo: Recomenda-se que se trabalhe numa faixa de areias grossas, com módulo de finura em torno de 3,0 ou mais, já que a mistura é rica no volume de finos. São válidas todas as observações que se fazem para a areia utilizada em concretos e argamassas convencionais, tais como granulometria contínua, ausência de

matéria orgânica, torrões de argila, material pulverulento, etc.

a.4. Microssílica: Em geral, o material pozolânico é analisado em sua finura através da peneira 325. No entanto, no caso da microssílica a finura é extremamente elevada, com uma atividade bastante acentuada por este motivo e pela sua característica amorfa, ou seja, não cristalina. Os materiais cristalinos, como as rochas por exemplo, apresentam uma dificuldade muito grande em serem atacados ou dissolvidos em virtude de sua estrutura cristalina, só sendo possível este ataque através de ácidos a altas temperaturas. A porcentagem de microssílica a ser adicionada irá depender das características da argamassa ou do concreto, sabendo-se no entanto, que esta proporção pode chegar à casa dos 35% em relação ao peso do cimento, desde que empregada com agregados de dimensão máxima inferior a 9,5 mm. O usual é trabalhar na faixa de 10 a 17%.

a.5. Relação água/cimento: Para maiores da relação água/cimento tem-se ruptura na pasta, e para valores menores de x , a ruptura se verifica no agregado. Em valores baixos de x , a influência da cura se torna menor, apesar de que este tipo de concreto apresenta alta superfície específica e conseqüente retração. (fig. 04.)

Nos concretos convencionais a relação água/cimento está situada na faixa de 0,60, sendo que a dosagem não prevê o uso de plastificantes. No caso do uso de microssílica, se torna importante o uso destes aditivos para que seja mantida a consistência desejável. Para se ter uma hidratação de 100% do aglomerado, a relação mínima é de 0,39 a 0,42, sendo que esta hidratação total só poderá ser obtida em condições ideais de manipulação do aglomerante sendo, portanto, o usual para este tipo de mistura a faixa recomendada por RODRIGUES & SANTOS (6), de 0,30 a 0,36.

Quanto à relação água/material cimentante, ou seja, cimento e microssílica, esta deve ser mantida na faixa de 0,25 a 0,26.

a.6. Aditivos: Para se conseguir uma trabalhabilidade satisfatória diante da redução da relação água/cimento é necessário o uso de aditivos plastificantes. Segundo RODRIGUES & SANTOS (6), eles são classificados em três tipos ou sejam:

- Tipo M: proveniente de condensados de sulfonados de malamina-formaldeído.
- Tipo N: sais sódicos de condensados sulfonados de naftaleno-formaldeído.
- Tipo L: de diversas origens como os lignosulfonados modificados, ésteres sulfônicos ácidos ou ésteres carbohidratos.

Estes plastificantes, superplastificantes ou fluidificantes são utilizados em quantidades até de 151 t/m³, sendo recomendável de 1 a 3% de sólidos em relação ao peso do material cimentício e o seu efeito diminui com o tempo e a elevação de temperatura, dependendo da compatibilidade química com os produtos aglomerantes.

Segundo AMARAL (4), na presença da microssilica o agente redutor de água tem um efeito muito majorado provavelmente porque a forma esférica das partículas de microssilica facilitam a mobilidade dos componentes do concreto no estado fresco como esferas de um rolamento.

b. Dosagem: *A dosagem pode ser feita por qualquer método de confiabilidade, como por exemplo, da ABCP ou o ITERS (Cientec), sendo observadas as recomendações anteriormente apresentadas em relação aos materiais utilizados.*

c. Mistura: *Há duas maneiras de se realizar a mistura dos componentes no que diz respeito à incorporação da microssilica. A primeira seria realizar a mistura de todo o conjunto de uma vez, misturando energeticamente. A segunda seria uma mistura prévia dos agregados com o cimento, sendo, posteriormente, acrescentada uma calda composta pela água, pelo aditivo e pela microssilica, feitas as ressalvas com relação à umidade da areia que deve ser descontada.*

É importante que esta mistura seja bastante enérgica para promover a perfeita dispersão dos componentes, haja vista a elevada superfície específica da microssilica. Esta mistura será feita durante a adição de materiais, persistindo por mais um intervalo de tempo de aproximadamente 8 minutos, com rotação de 18 a 20 rpm, ocupando a mistura metade da capacidade nominal da betoneira.

d. Lançamento: *O lançamento será realizado levando-se em consideração todos os cuidados tomados com o concreto ou argamassas convencionais, sendo que, em função da adição de microssilica, é eliminado o problema de segregação e exsudação.*

e. Adensamento: *Recomenda-se o adensamento através de vibradores de imersão, com diâmetro de 60mm ou em função das dimensões da peça, sendo possível a sua permanência dentro da massa pelo tempo que for necessário, sem haver o risco de segregação.*

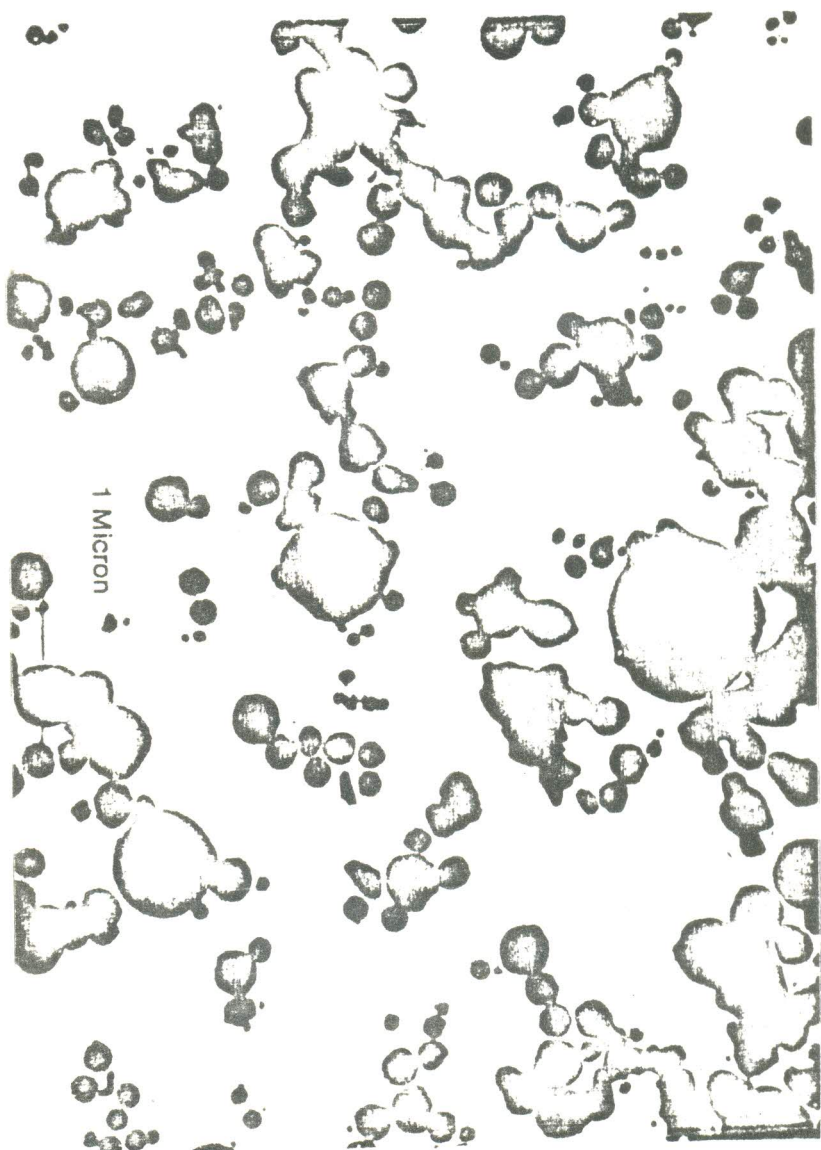
f. Cura: *Recomenda-se a cura hidráulica em virtude da elevada retração que pode ocorrer, devendo esta ser iniciada em seguida ao lançamento do concreto e se prolongar por um período mínimo de 7 dias. Não é recomendada a cura sob temperaturas elevadas por haver maior probabilidade dos cristais formados no endurecimento da pasta apresentarem maiores dimensões, o que acarreta maior índice de fissuras térmicas.*

Conclusão: Com base nas informações obtidas junto à literatura técnica internacional e junto às primeiras publicações nacionais encontradas, bem como nos resultados as primeiras utilizações deste material no Brasil, onde já vem sendo produzido concreto para pilares de edifícios com resistência da ordem de 80 MPa, com uso de cimento nacional CP32 e agregados convencionais, o que se pode concluir é que a microssílica permitirá um grande avanço em termos de cálculo estrutural, permitindo a redução de seções, taxa de armadura, aumento de vãos entre apoios de peças estruturais. Consequentemente isto refletirá no custo total da obra, no alívio das fundações, na melhor adequação do espaço pelo projeto arquitetônico que, por muitas vezes fica condicionado à exposição de elementos estruturais robustos ou a posicionamento de pilares em pontos indesejáveis e incompatíveis com o partido arquitetônico adotado. Por outro lado, faz-se necessário um estudo mais aprofundado a nível de laboratórios para a correta apropriação desta metodologia e sua otimização em relação ao material regional. Obras como o edifício do CNEC em São Paulo atestam o bom desempenho da microssílica junto aos materiais aqui obtidos através das resistências obtidas, da ordem de 60 MPa, sendo empregado segundo HERRMANN (7), nos pilares da estrutura principal. A concretagem avança até a cota inferior da laje ou da viga e, quando estas forem concretadas, o concreto convencional é lançado até a região próxima ao pilar, e então é lançado o concreto com microssílica unindo os elementos estruturais com perfeita aderência. Este é mais um comportamento que coloca o concreto com microssílica em destaque em função da possibilidade de seu uso em reparos, restauração e recuperação das estruturas. Há portanto, um vasto campo para ser explorado junto a este material em termos de viabilização e adequação de utilização. No laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina se inicia um estudo exploratório a respeito da multiplicidade de usos da microssílica e qualquer contribuição será bem recebida. Conforme STUCCHI (8), é uma fase em que cabe colocar em discussão as hipóteses e criticá-las.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1). NEVILLE, A. - *Propriedades do Concreto*. Pini, São Paulo, 1982.
- (2). NILSON, A. H. - *Concreto de alta resistência - Desempenho como material e comportamento estrutural*. Universidade de Cornell, Ithaca, EEUU, 1988.
- (3). HELLAND, S. - *The use of high strenght concretes*. Selmer Furuholmen a/s, Oslo, Norway, 1988.
- (4). AMARAL, C. K. - *Microsílica em concretos e argamassas de alta resistência*. UFRJ, Rio de Janeiro, 1988.
- (5). ELKEM Participações Ltda. - *Elkem Microsílica*. Departamento Técnico, Rio de Janeiro, 1988.
- (6). RODRIGUES, H. C. & SANTOS, M. V. - *Tecnologia do concreto de alta resistência: considerações gerais e sucintas*. Ibracon, UFRJ, Rio de Janeiro, 1988.
- (7). HERRMANN, E. & CAMERATO, C. R. - *Estudo e aplicação de concreto de alta resistência com microsílica no Brasil*. Ibracon, UFRJ, Rio de Janeiro, 1988.
- (8). STUCCHI, F. R. & GERTSENCHTEIN, M. - *Comentários sobre o dimensionamento de peças de concreto com microsílica*. Ibracon, UFRJ, Rio de Janeiro, 1988.

FIGURA 1 - Esta micrografia eletrônica demonstra que as partículas esféricas da Microsilica têm granulometria média aproximadamente 100 vezes inferior a do concreto. Essas partículas minúsculas consistem de sílica praticamente pura, sendo altamente amorfas.



Fonte: Publicação da Elkem Brasil (Elkem Microsilica)

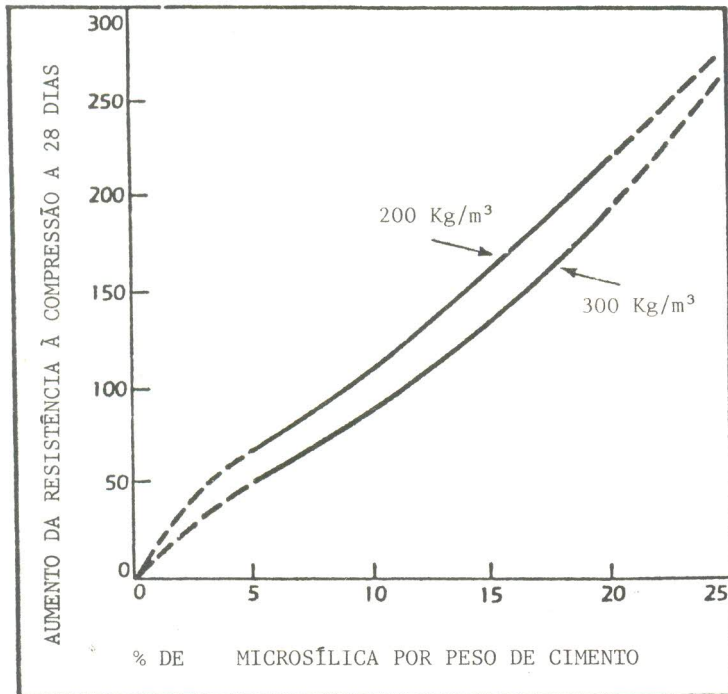


FIGURA 2 – O acréscimo de 20% de Microsílica a esses dois concretos elevou em até 215% a resistência à compressão com 28 dias. Os dois concretos de controle tinham conteúdos de cimento de 200 e de 300 Kg/m³, com níveis de resistência de 20 e 45 MPa respectivamente. O assentamento foi de 12 a 13 cm. A cura normal úmida teve lugar à temperatura ambiente.

Fonte: Elkem Brasil - Publicação Elkem Microsílica, pág. 4.

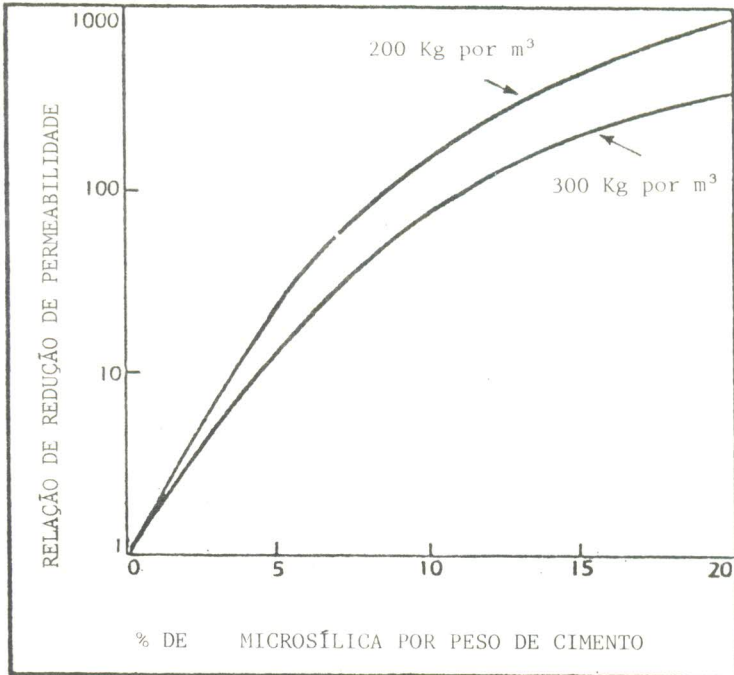
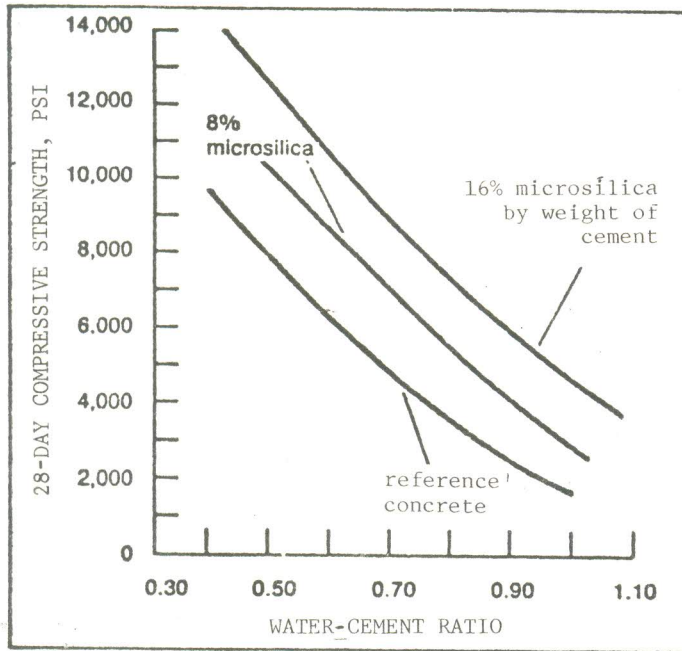
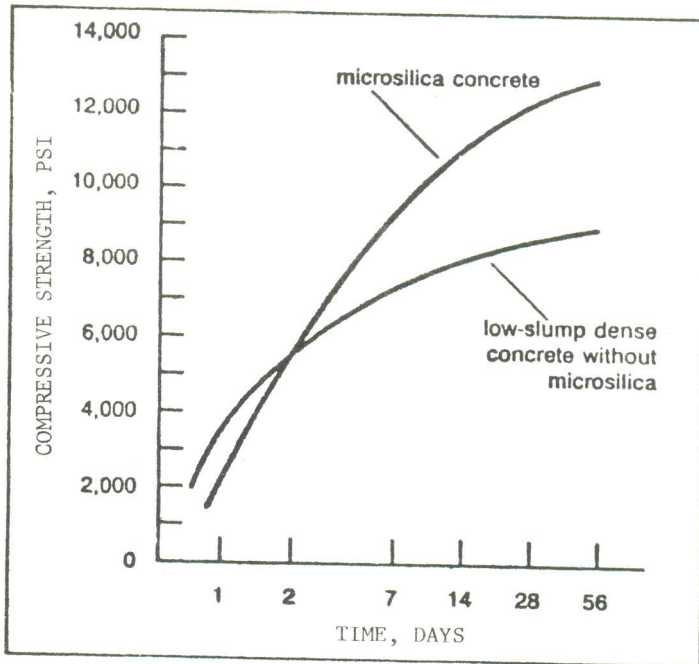


FIGURA 3 – O acréscimo de 20% de Microsfílica reduziu a permeabilidade do concreto por um fator de 400 a 900. Os dois concretos submetidos a teste tinham conteúdo de cimento de 200 e de 300 Kg por m³. Ambos demonstraram assentamento equivalente a 10-13 cm.

Fonte: Elkem Brasil - Publicação Elkem Microsfílica, pág. 5.



Fonte: Elkem Microsilica, pág. 3 - Concrete Construction. v. 30, nº 4.



Fonte: Concrete Construction, v. 30, n° 4.

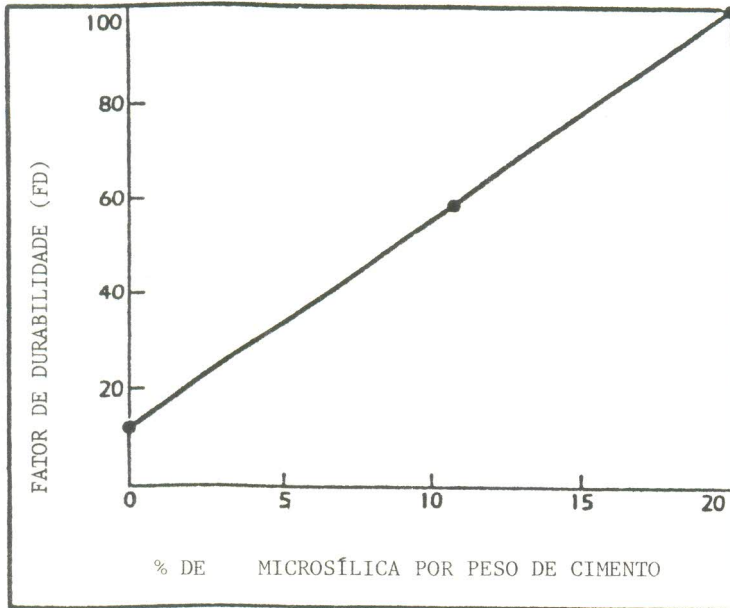


FIGURA 6 - Nestas amostras submetidas a testes de resistência ao congelamento e degelo, mediante o procedimento ASTM C666-77 (Procedimento A), a inclusão de Microsílica à razão de 20% melhorava o fator de 10 para 100. O conteúdo de cimento nas amostras era de 300 kg por m³. As amostras não tinham ar incorporado.

Fonte: Publicação Elkem Microsílica, pág. 8.

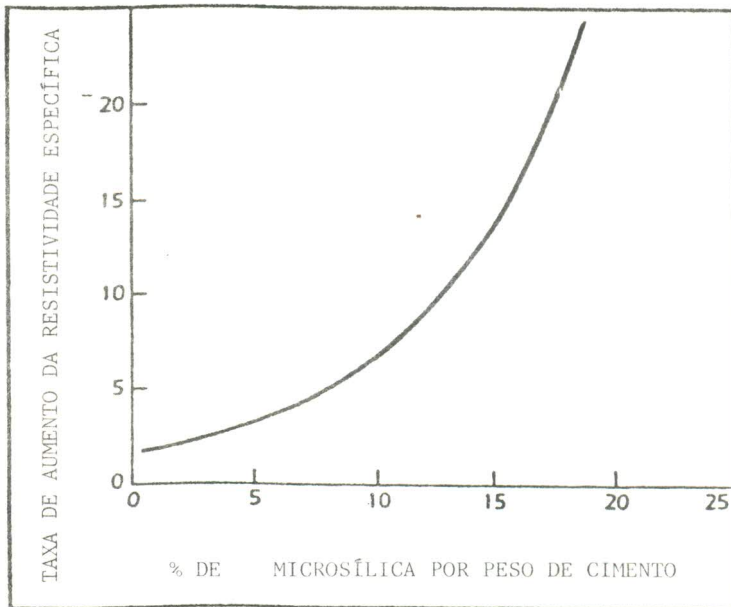


FIGURA 7 – O acréscimo de 20% de Microsfílica melhora a resistividade elétrica por um fator de 20, ajudando a reduzir a corrosão do aço no concreto. O conteúdo de cimento nas amostras era de 300 kg por m³, havendo assentamento à razão de 10 a 13 cms.

Fonte: Elkem Brasil - Publicação Elkem Microsfílica, pág. 8.

(*) GILSON MORALES

Mestrando em Engenharia Civil pela Escola Politécnica/USP
 Docente do Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina
 Docente do Departamento de Arquitetura do CESULON - Centro de Estudos Superiores de Londrina.