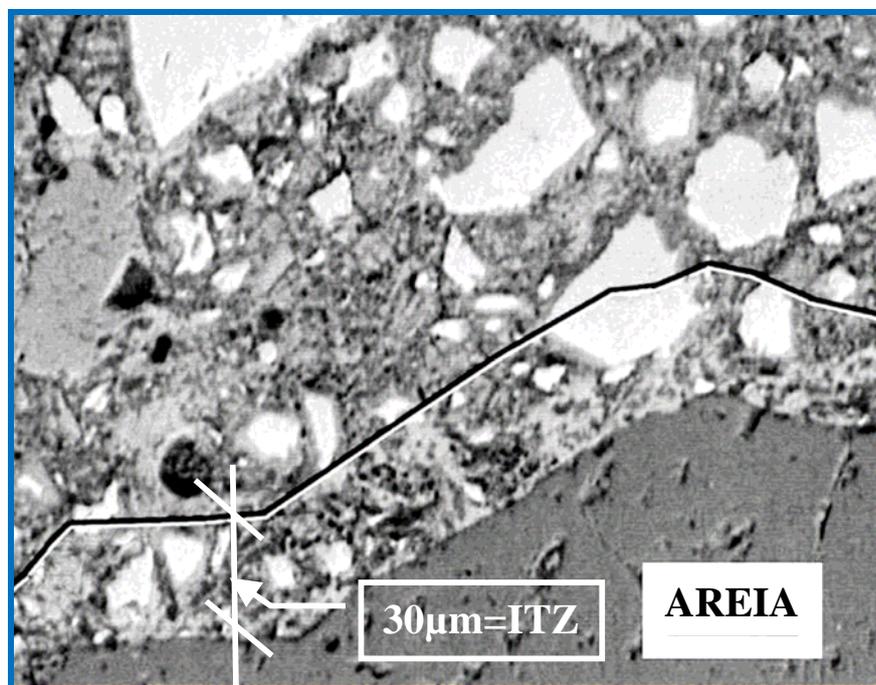




Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

*The ITZ in concrete – a different view based on image analysis and SEM observations – Sidney Diamond - School of Civil Engineering – Purdue University - USA.
Cement & Concrete Composites 23 (2001) -179-188*



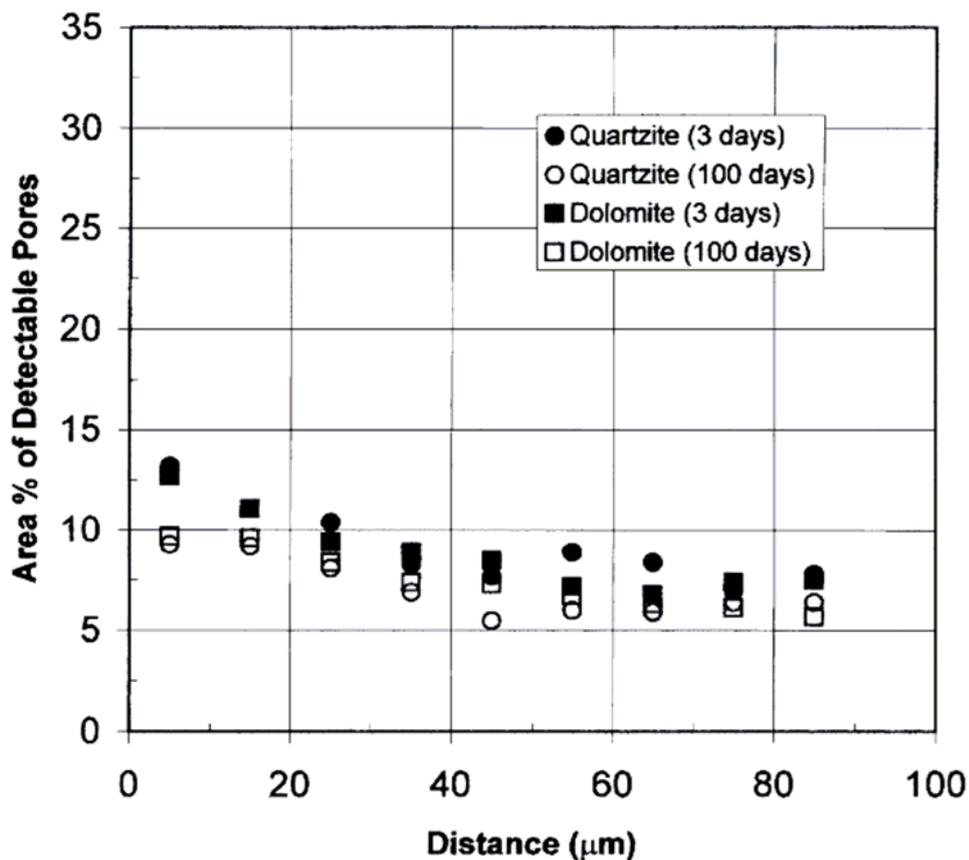
- *Imagem de Microscopia Eletrônica em uma área ao redor de um grão de areia em um concreto, bem misturado e bem adensado.*
- *Fator água/cimento=0,50.*
- *O concreto tinha a idade de 3 dias.*
- *Foi superposta uma linha a 30 µm da borda do grão de areia. Essa faixa é chamada de zona de transição na interface = **ITZ**.*



Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

*The ITZ in concrete – a different view based on image analysis and SEM observations – Sidney Diamond - School of Civil Engineering – Purdue University - USA.
Cement & Concrete Composites 23 (2001) -179-188*

Concreto usual, sem adições



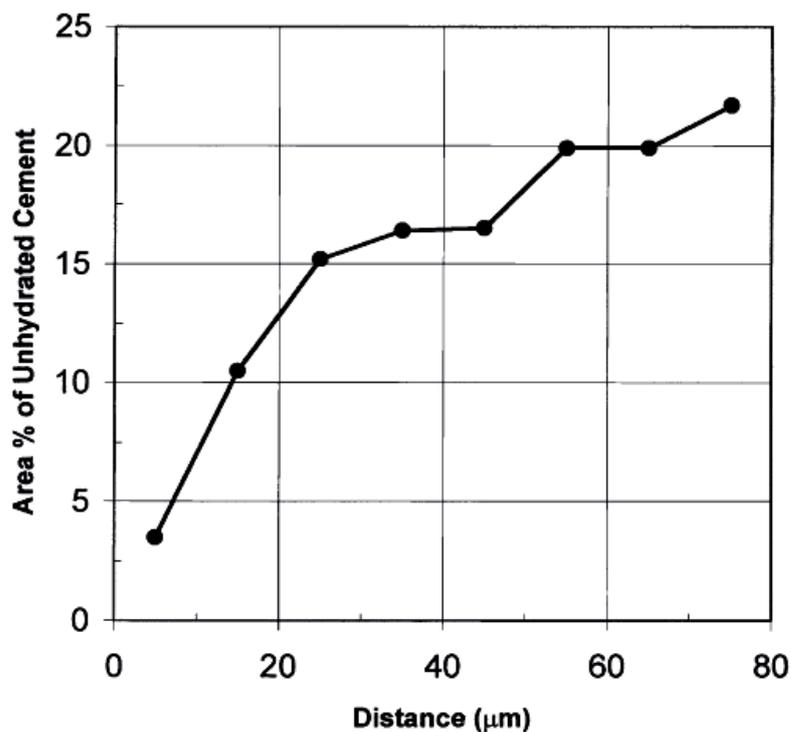
- *Variação da área dos poros ao longo da zona de transição, a partir da face do agregado .*
- *Junto ao agregado existem mais poros.*
- *Aos 100 dias, a área dos poros varia de 10% junto aos agregados a 5% longe dos agregados*
- *Concretos com idades de 3 dias e de 100 dias.*
- *Agregados de dolomita e de quartzito*



Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

*The ITZ in concrete – a different view based on image analysis and SEM observations – Sidney Diamond - School of Civil Engineering – Purdue University - USA.
Cement & Concrete Composites 23 (2001) -179-188*

Concreto usual, sem adições



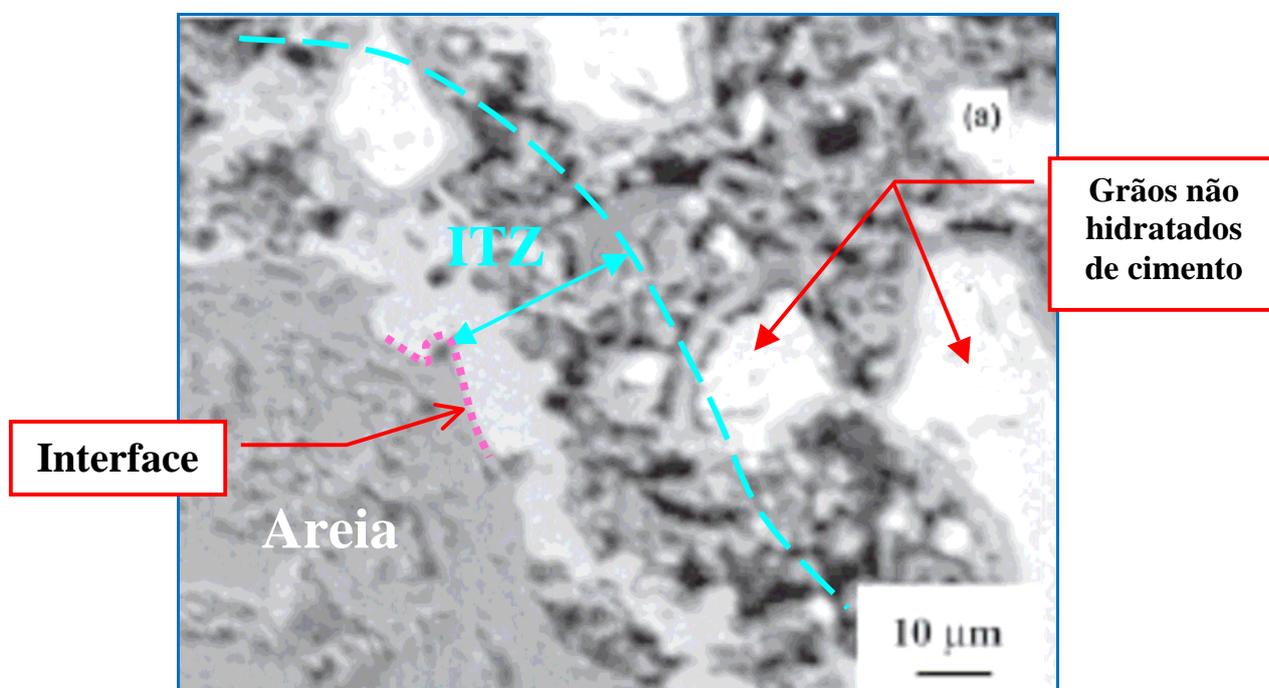
- *Área dos grãos não hidratados de cimento, em função da distância ao agregado.*
- *Junto do agregado, poucos grãos de cimento ficam desidratados pois ali existe mais água do que no resto do concreto.*
- *Concreto com idade de 3 dias.*
- *Areia dolomítica e agregado graúdo.*



Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

*The ITZ in concrete – a different view based on image analysis and SEM observations – Sidney Diamond - School of Civil Engineering – Purdue University - USA.
Cement & Concrete Composites 23 (2001) -179-188*

Concreto usual, sem adições



Zona de transição na Interface

- *Concreto com idade de 3 dias.*
- *Junto ao agregado, o hidróxido de cálcio predomina. Ca(OH)_2 .*
- *Menos C-S-H é formado junto ao agregado.*
- *Junto da ITZ do agregado, poucos grãos de cimento ficam desidratados, pois ali existe mais água do que no resto do concreto.*
- *Largura do campo = $110\mu\text{m}$ \approx espessura de uma folha de papel.*



Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

- **As adições ao concreto modificam as características da Zona de Transição nas Interfaces (ITZ= Interface Transition Zone).**
- *O MEV (Micrografia eletrônica de varredura) permite analisar o concreto com diversos tipos de adição*
- **Adições minerais :**
 - *Pozzolanas : Micro-sílica ; Cinzas volantes (Fly ash)*
 - *Cimentícios : Escória*
- **Adições químicas :**
 - *Retardador de pega. Pode ser detectado pela abundância de grãos não hidratados de cimento.*
 - *Inibidor de corrosão : Nitrito de cálcio . Inibe a corrosão reagindo com os íons ferro, formando um filme protetor de óxido férrico.*
- **Adições orgânicas :**
 - *como aminos e ésteres , que reduzem o ingresso dos íons cloretos e formam um película na superfície das barras de aço.*
- **Os agregados também modificam as características da Zona de Transição na Interface.**
 - *Os agregados leves , porosos, absorvem água e criam a “cura interna”.*

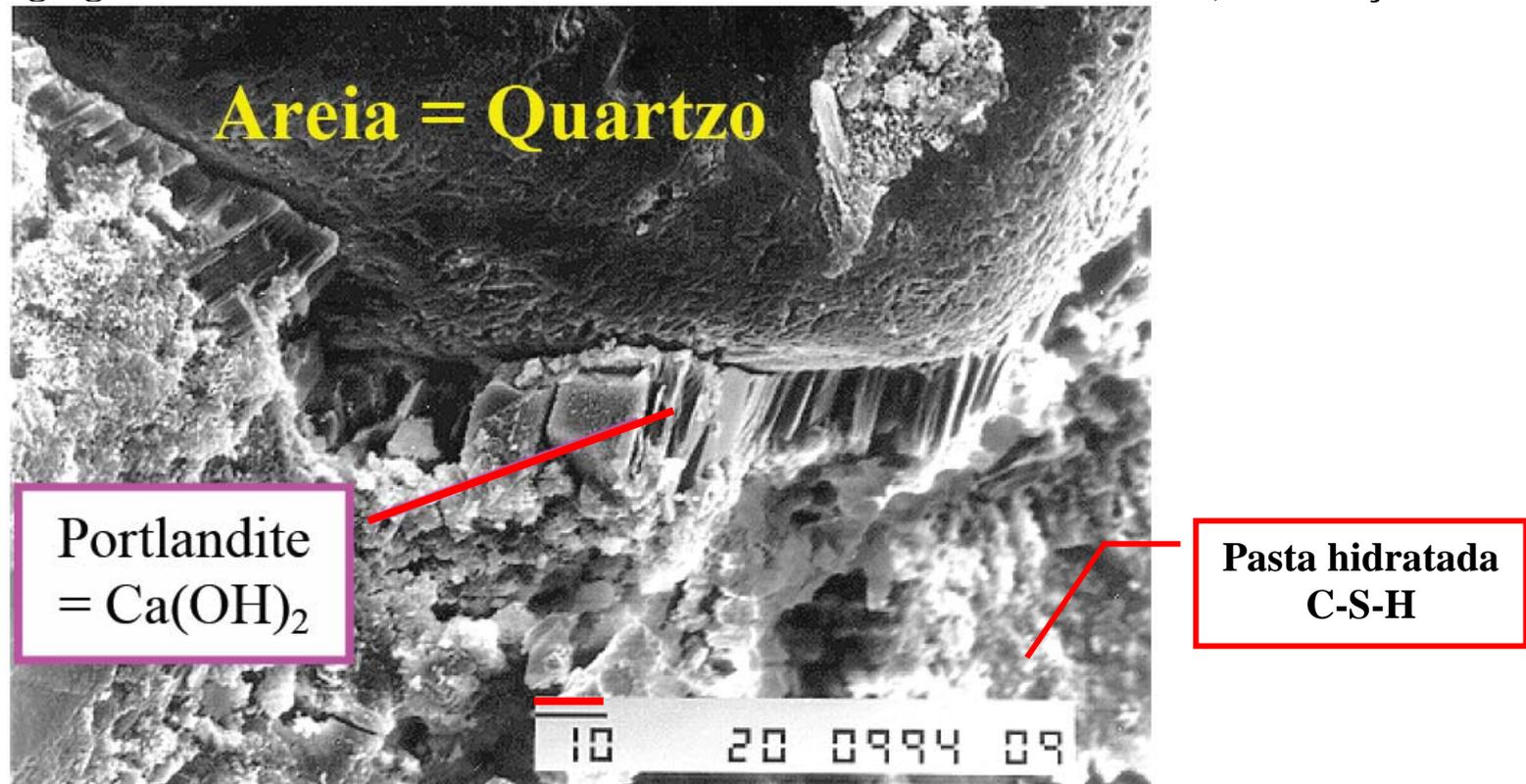
Mostramos a seguir o efeito das diversas adições usadas no concreto.



ITZ Interface Transition Zone = **ZTI** = **Z**ona de **T**ransição na **I**nterface Agregado © Pasta

Geóloga Sílvia Regina Sales Vieira – ABCP

Interface de Agregado comum com Pasta Hidratada de Cimento - Concreto usual, sem adições



Micrografia eletrônica de varredura, mostrando cristais de Ca(OH)_2 na interface da pasta de cimento com a areia

Largura do campo = $160\mu\text{m}$; Observação: Uma folha de papel = $100\mu\text{m}$

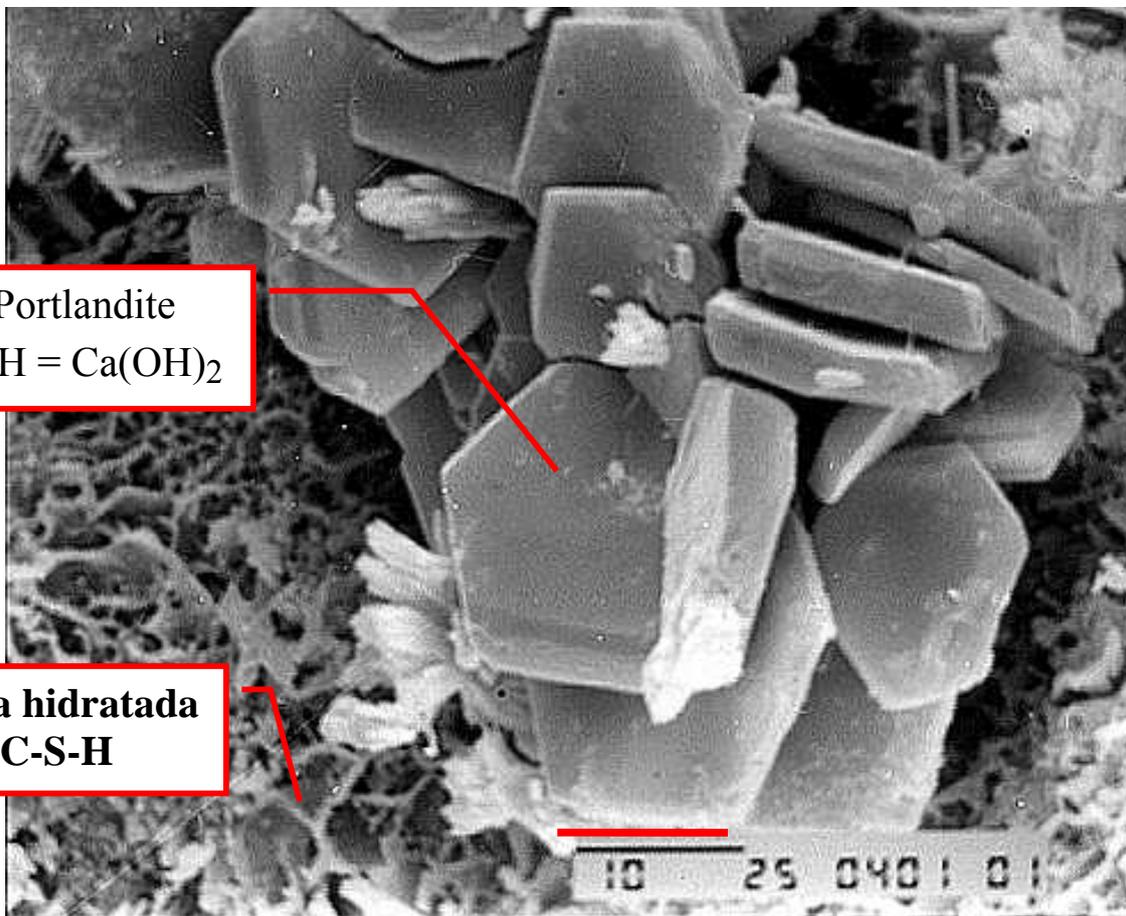
Traço : 1.0, 1.8, 5.5 ; Cimento = 450kg/m^3 ; água /cimento = 0.50; $f_{c28\text{dias}} = 36,3\text{ MPa}$



Zona de Transição na Interface – Agregado × Pasta de cimento

Geóloga Sílvia Regina Sales Vieira - ABCP

Interface de Agregado comum com Pasta Hidratada de Cimento Concreto usual, sem adições



Portlandite
C-H = Ca(OH)_2

Pasta hidratada
C-S-H

Micrografia eletrônica de varredura, mostrando cristais de Ca(OH)_2 na interface da pasta de cimento com a areia

Largura do campo = $66\mu\text{m}$; Observação: Uma folha de papel = $100\mu\text{m}$

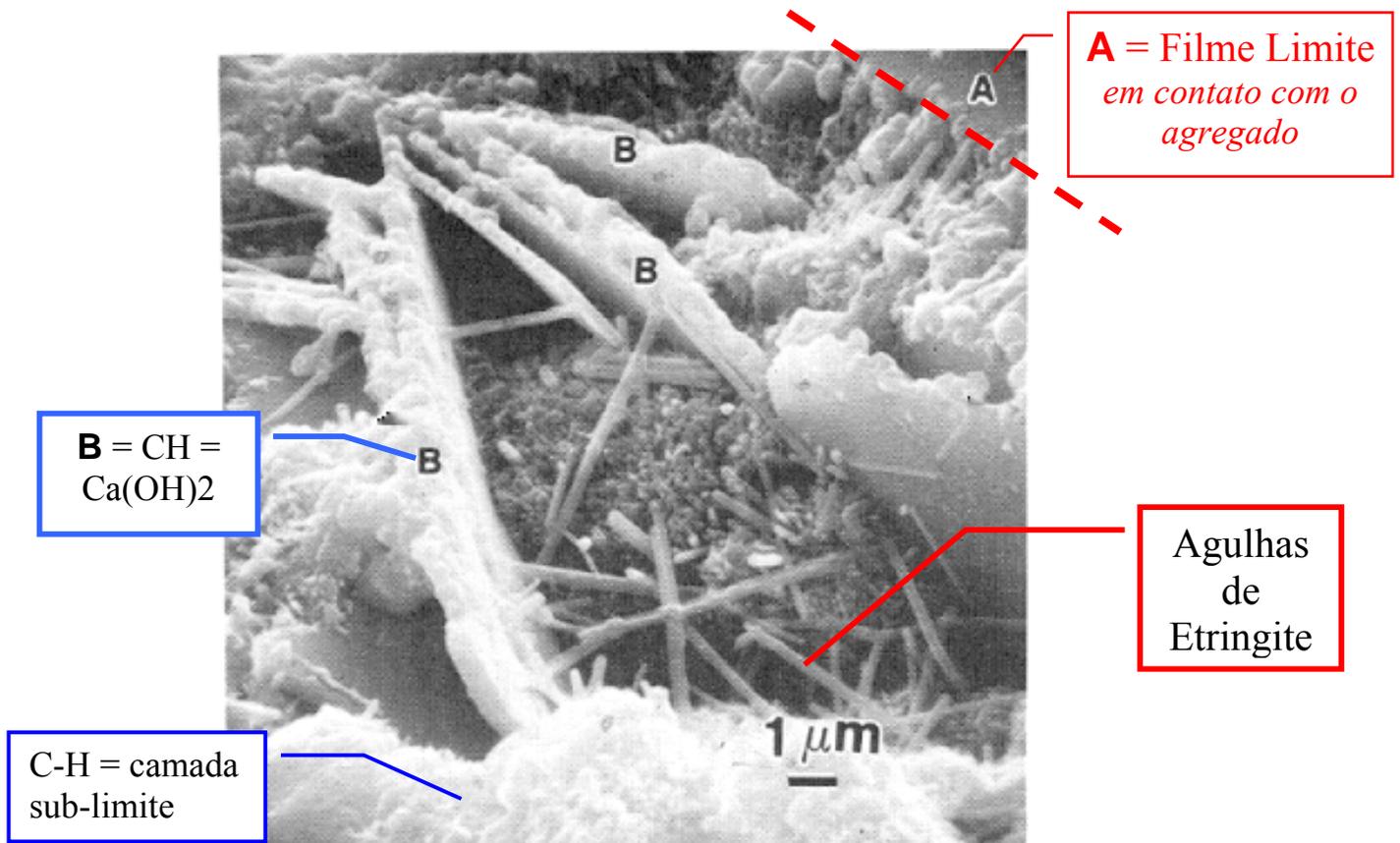
Traço : 1.0, 1.8, 5.5 ; Cimento = 450kg/m^3 ; água /cimento = 0.50 ;

$f_{c28\text{dias}} = 36,3\text{ MPa}$



*Materials Research Society – MRS – Volume 85 - 1987
“Cement Paste Microstructure in Concrete”- pág. 21
Sidney Diamond – Purdue University*

Interface de Agregado comum com Pasta Hidratada de Cimento

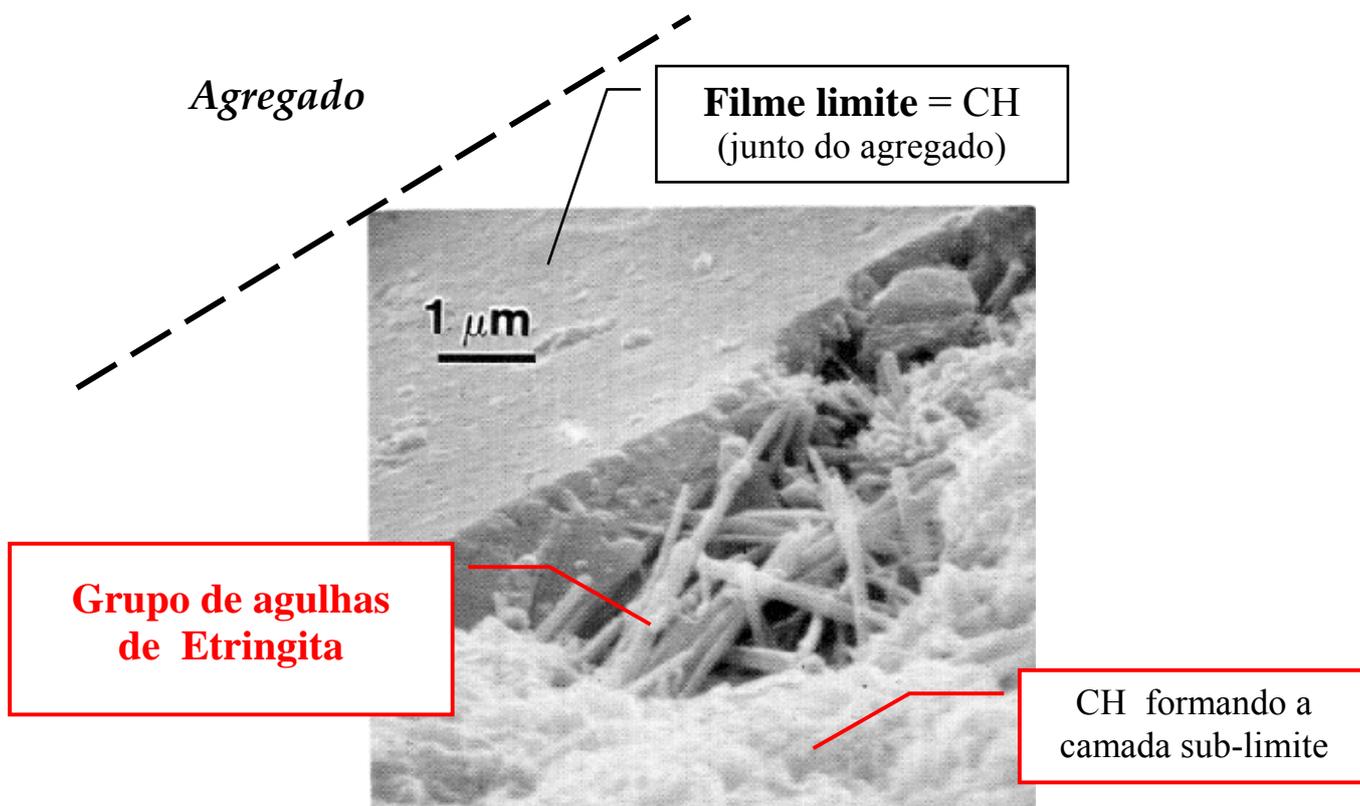


- Segundo Sidney Diamond, forma-se um “ Filme limite” ou “ Filme duplex “, na superfície de contato com o agregado, com espessura de apenas alguns μ m micra.
- Na micrografia acima o concreto tem : Água / cimento = 0,50 ; Idade = 4 dias
- Placas isoladas (B) de C-H =Ca(OH)₂, depositadas, no começo da hidratação, em zonas vazias abaixo do “filme limite” (A).
- Eixo C das placas de C-H aproximadamente ortogonal ao filme limite, isto é , o plano basal (+/ -) é paralelo ao plano do filme limite.
- Essa camada contendo as placas de C-H é chamada “ camada sub-limite. Essa camada “sub-limite” é responsável pela maior permeabilidade do concreto (em relação à pasta de cimento) e pela baixa resistência à tração do concreto .



*Materials Research Society – MRS – Volume 85 - 1987
“Cement Paste Microstructure in Concrete”- pág. 21
Sidney Diamond – Purdue University*

Interface de Agregado comum com Pasta Hidratada de Cimento



- Micro-estrutura próxima da superfície de um agregado no concreto usual, sem adições .
- Segundo Sidney Diamond forma-se um “ Filme limite” ou “ Filme duplex “, na superfície de contato com o agregado, com espessura de apenas alguns μm micra.
- Esse filme é resultado da nucleação do CH, ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), a partir de uma solução super-saturada .
- A seguir, um Grupo de agulhas de Etringita , precipitou , em um espaço com vazios de “ vários μm ” de tamanho, abaixo do “filme limite”.



*Zona de Transição na Interface
da Pasta com os Agregados
Concretos com e sem adições.*

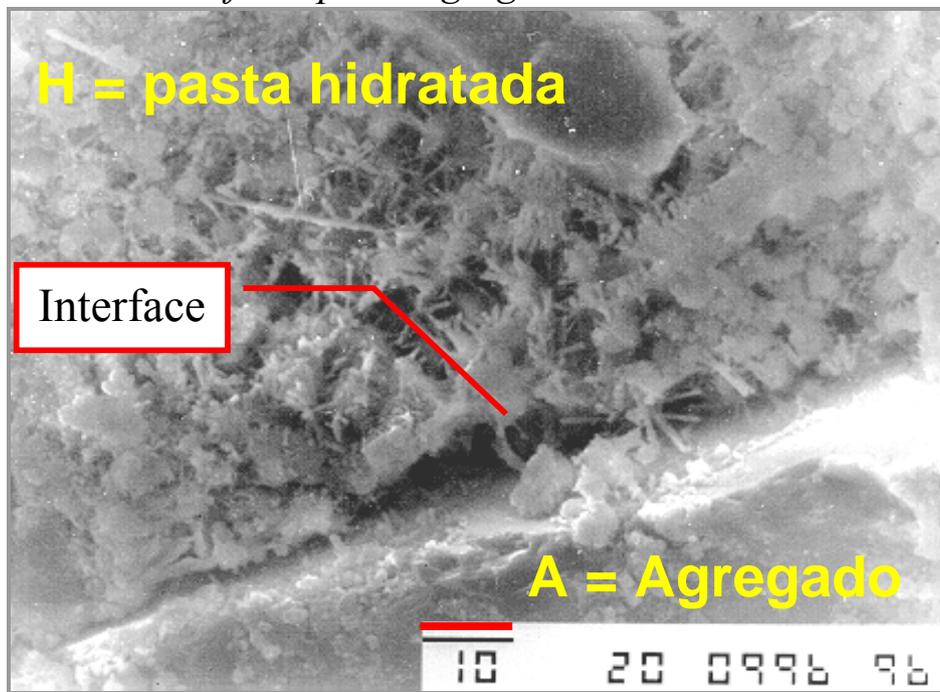
Prof. Eduardo
C. S. Thomaz
Notas de aula

10 / 10

*Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretos
Shondeep L. Sarkar - Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and
Technology - Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James
J. Beaudoin - Noyes Publications – 2001*

Interface de Agregado comum com Pasta Hidratada de Cimento

Interface pasta agregado comum



*Concreto de referência com 1 dia, exibindo interface descontínua
agregado (A) / pasta hidratada (H).*

A pasta hidratada é constituída por C-S-H do tipo I.

Imagem MEV = Microscopia Eletrônica de Varredura

Largura do campo = 100 μ m - Observação: Uma folha de papel = 100 μ m



Scanning Electron Microscopy - X-Ray Microanalysis of Concretes
Shondeep L. Sarkar: Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology -
Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James- J. Beaudoin-Noyes
Publications – 2001

Interface de Agregado Leve com Pasta Hidratada de Cimento

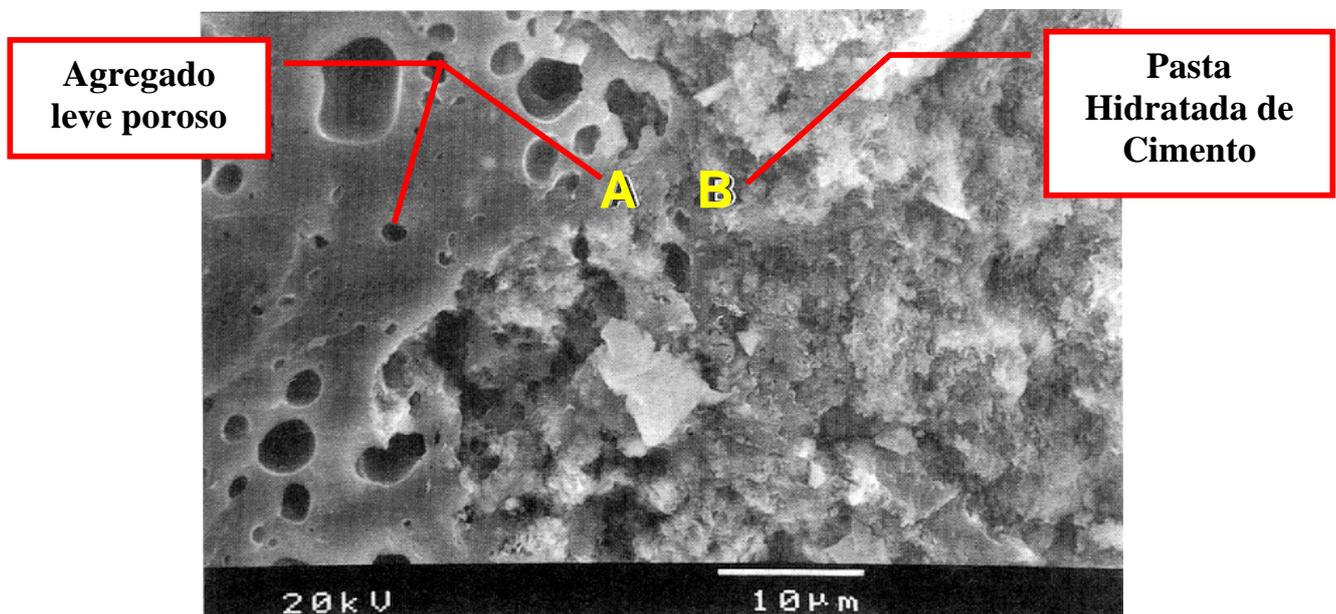


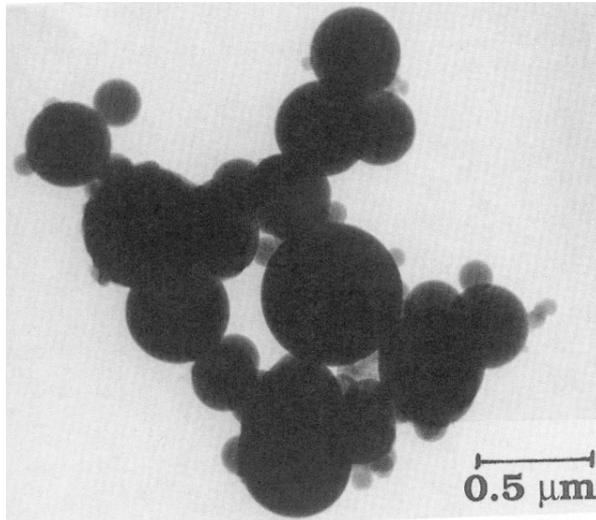
Imagem MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

- Ligação mecânica entre agregado leve e pasta de cimento hidratada
- A interface “Pasta (B) × Agregado Leve (A)” é diferente da Interface “Pasta × Agregado Comum”.
- O Agregado Leve, sendo poroso, permite a migração de íons móveis na direção da periferia, formando uma zona de interface mais densa.
- A superfície externa do agregado é rugosa melhorando o “engrenamento” mecânico do agregado com a pasta hidratada de cimento.
- Os agregados leves, sendo porosos, absorvem a água, o que evita a formação da fraca zona **ITZ** (Interface Transition Zone).
- Ao longo do período de hidratação do cimento, essa água retorna à pasta de cimento, produzindo a chamada “cura interna”. Essa propriedade do agregado poroso é muito útil para evitar a retração autógena dos concretos, causada pela falta de água para a hidratação do cimento.

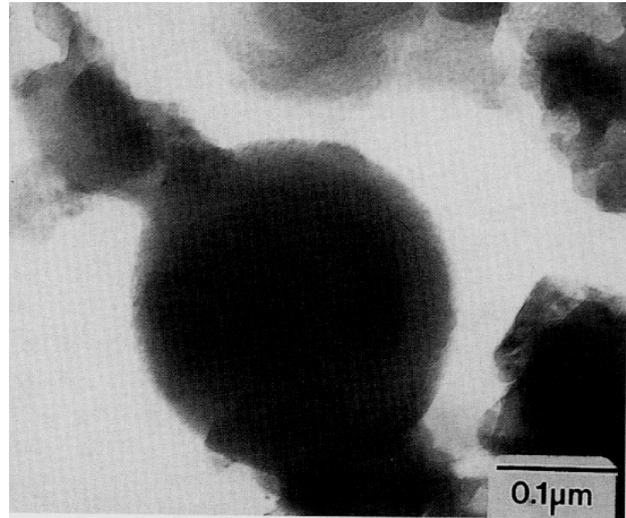


Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretos
Shondeep L. Sarkar -*Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology-
Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin-Noyes
Publications - 2001*

Micro-sílica



MET- Micro-sílica Ultra fina
(0,10 a 0,50 μm)



MET - Partícula de Micro-sílica em
estado de dissolução.

*O MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) mostra a micro-sílica nitidamente ,
mas o MET (Microscopia Eletrônica de Transmissão) é melhor para estudar a
hidratação da pasta de cimento com micro-sílica.*

O grão de micro-sílica é \approx 100 vezes menor do que o grão de cimento.

A micro-sílica reduz a formação de Ca(OH)_2 .

A micro-sílica preenche melhor os poros.

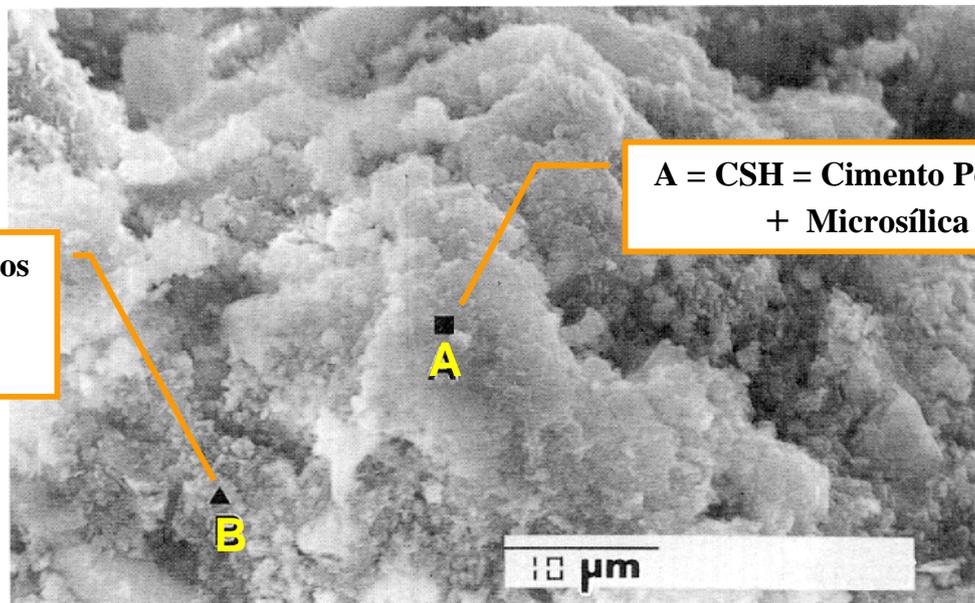
A micro-estrutura do concreto fica muito mais densa do que a de um concreto usual.

*A ligação Pasta- Agregado é muito melhor, pois nesta interface não se forma o
 Ca(OH)_2 . A melhoria dessa ligação se reflete na maior resistência do concreto com
micro-sílica.*



*Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes-Shondeep L. Sarkar :
Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology -Principles, Techniques and
Applications - V.S. Ramachandran & James J.Beaudoin.Noyes Publications – 2001*

Concreto com Micro-sílica



**B = Minúsculos
cristais de
 Ca(OH)_2**

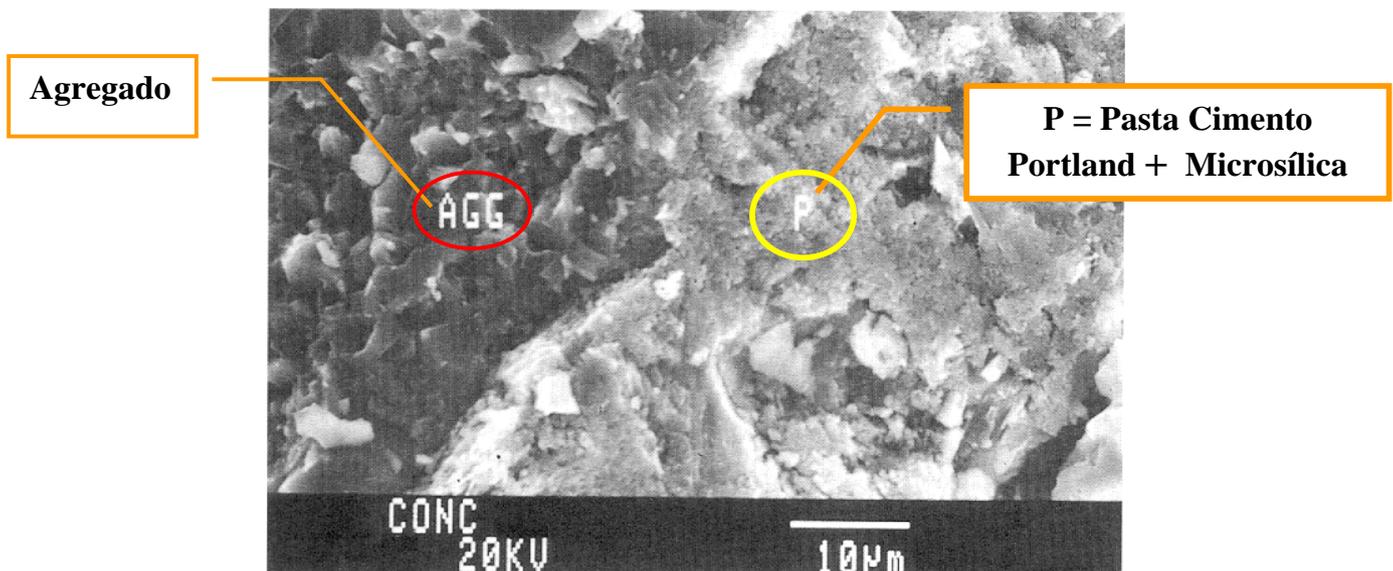
**A = CSH = Cimento Portland
+ Microsílica**

- Imagem MEV
- Pasta Densa e Impermeável de Cimento Portland com Micro-sílica
- Baixa relação “ água / ligantes ”.
- Alta resistencia à penetração de agentes agressivos externos.
- A ligação Pasta- Agregado é muito melhor, pois nesta interface quase não se forma o Ca(OH)_2 . A melhoria dessa ligação se reflete na maior resistência do concreto com micro-sílica.



*Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes- Shondeep L. Sarkar
Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology-Principles, Techniques
and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin-Noyes Publications – 2001*

Concreto com Micro-sílica

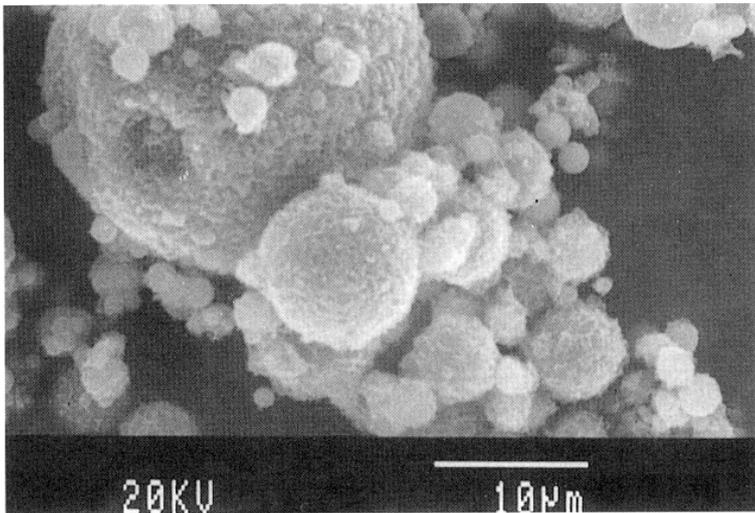


- MEV- Interface “Agregado – Cimento Portland” com Microsílica e baixa relação “água /ligantes”.
- Não há Ca(OH)_2 na interface , como ocorre no concreto Portland usual, sem adições.
- Grande resistência à penetração de agentes químicos externos.
- A micro-estrutura do C-S-H é semelhante à do concreto Portland comum, porém com menor relação “Ca / Si ”.
- O tamanho e a quantidade de cristais Ca(OH)_2 são menores do que no concreto Portland comum.

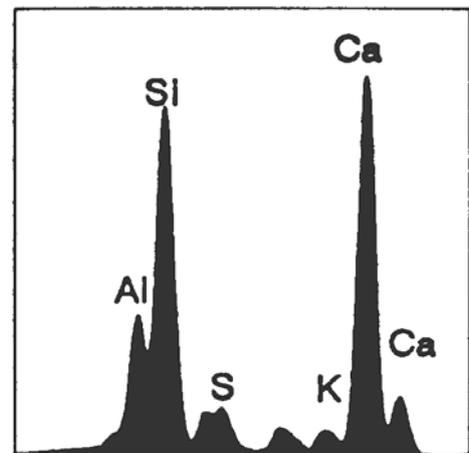


Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretos-Shondeep L. Sarkar : Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology-Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin : Noyes Publications – 2001

Cinzas volantes = “Fly Ash”



MEV- Cinza Volante Esférica – 0 a 25μm
“Fly Ash”



EDX de uma cinza volante , “fly ash”.

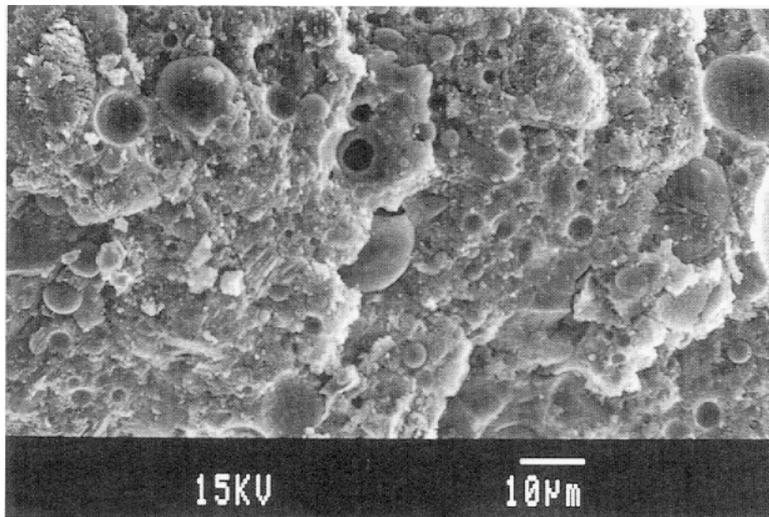
EDX = *Energy-dispersive X-ray spectroscopy*

- *Tamanho dos grãos semelhante ao do cimento Portland*
- *Partículas Vitreas esféricas*
- *Existem esferas ocas (ceno-esferas).*
- *Existem aglomerados de muitas e pequenas esferas. (plero-esferas).*
- *O EDS também mostra depósitos de Sulfatos (S) de Álcalis (K), originários do processo de fabricação.*



Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretos -Shondeep L. Sarkar
*Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology -Principles, Techniques
and Applications - V.S. Ramachandran & James J.Beaudoin-Noyes Publications – 2001*

Concreto com Cinzas volantes = “Fly Ash”



- MEV- Densa Pasta Hidratada de Cimento com Cinza Volante (“Fly Ash”)
- *Baixa relação : “Água / Ligantes” .*
- *Os poros são nitidamente menores do que no concreto Portland comum, sem adições.*
- *A microestrutura é mais densa do que a do cimento Portland.*
- *A permeabilidade da pasta é extremamente baixa.*
- *A hidratação inicial do “Fly Ash” é muito mais lenta do que a do cimento Portland depende da concentração de álcalis na água dos poros.*

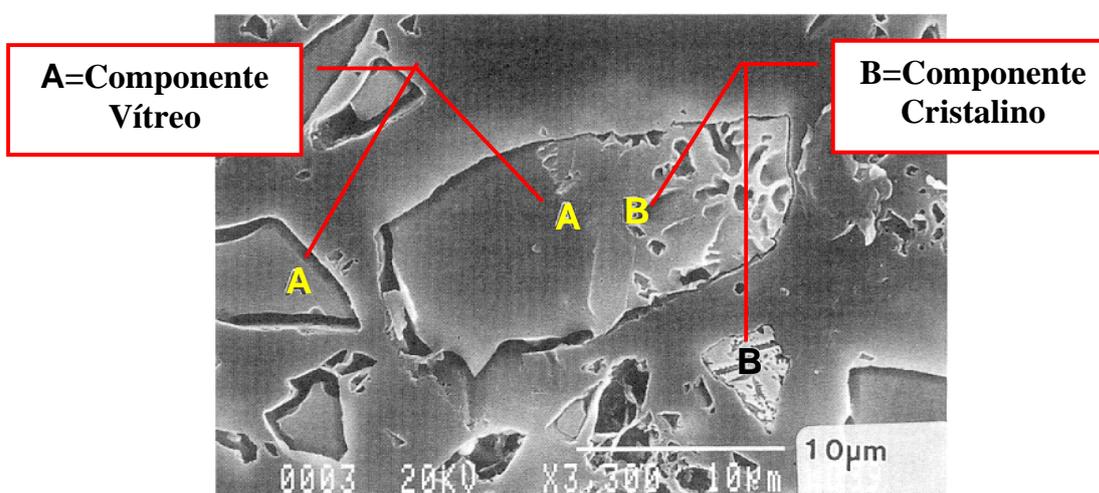


Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretos-Shondeep L. Sarkar

Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology-Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin - Noyes Publications – 2001

Escória de alto forno

GGBS = “ Ground Granulated Blast-Furnace Slag”

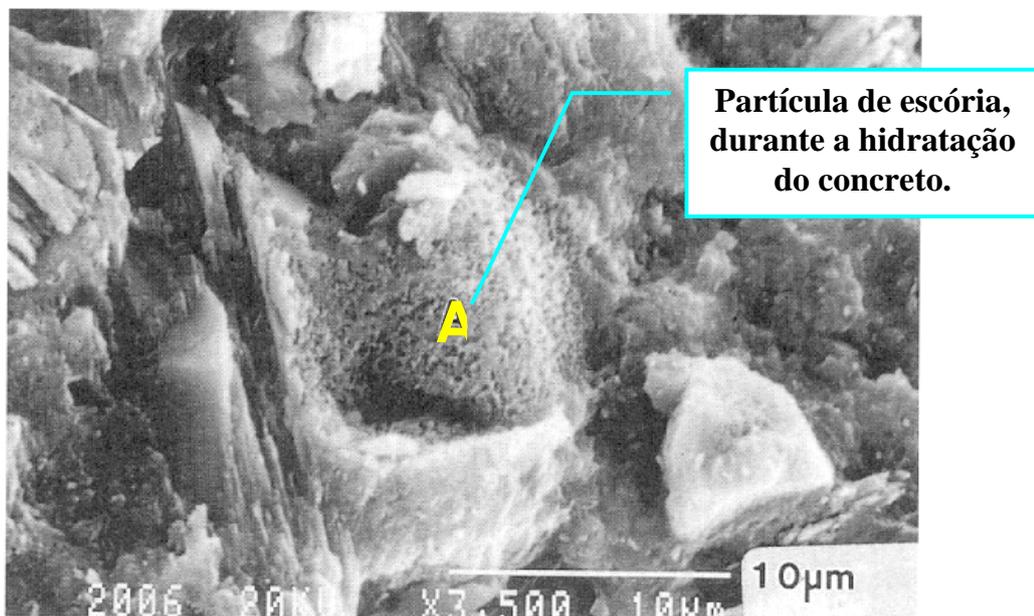


- Partículas de Escória têm forma de “Cacos de Vidro”.
- Uma parte é vítrea **A** e outra parte é Cristalina **B**.
O teor de vidro, que determina a reatividade, pode ser estimado pelo MEV.
- GGBS é uma escória não metálica.
- GGBS se forma por fusão, simultaneamente com o ferro, dentro do alto forno.
- GGBS é uma escória rapidamente resfriada.
- GGBS é uma escória de alto forno (com injeção de ar), finamente moída .
- GGBS consiste de silicatos e alumino-silicatos de cálcio e de outras bases.
- As partículas de escória GGBS têm a forma de “Cacos de vidro” e são maiores do que as de cimento Portland usual.



Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes-Shondeep L. Sarkar
Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology-Principles, Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin-Noyes Publications – 2001

Concreto com Escória de alto forno
GGBS = “ Ground Granulated Blast-Furnace Slag”

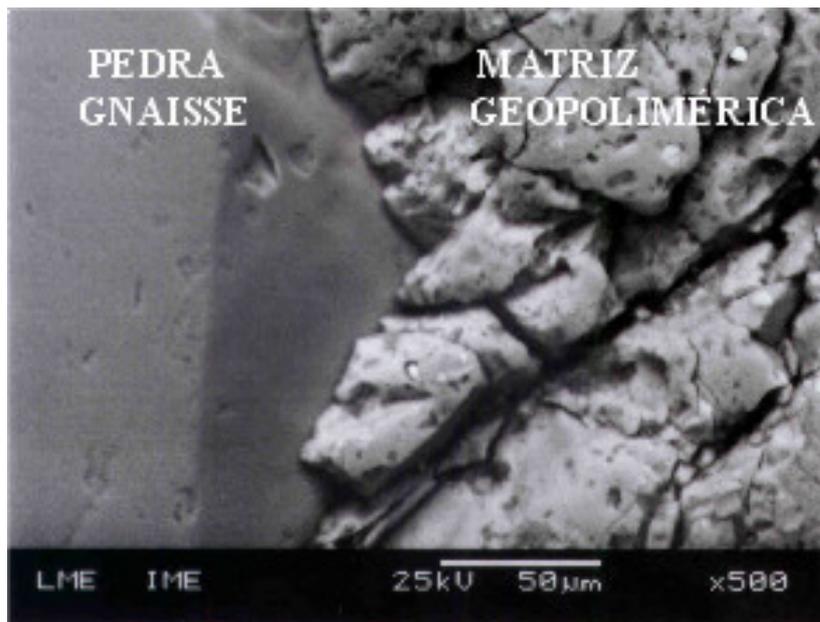


- Partícula hidratada de escória .
- *Uma reação bem marcada, ao redor da partícula de escória , se forma com a hidratação.*
- *A hidratação do GGBS produz mais gel C-S-H e menos CH , Ca(OH)₂, do que o cimento Portland comum, em qualquer fase da hidratação.*
- *A micro-estrutura da pasta, com GGBS, é mais densa que a do cimento Portland.*
- *A hidratação inicial do GGBS é muito lenta e depende da concentração de álcalis da água dos poros.*

•



Concreto Geopolimérico
Eduardo Thomaz - IME- RJ -2002



- *Imagem com elétrons retro-espalhados (BSEI - “Backscattering Eletron Image”) mostra a microestrutura do concreto geopolimérico.*
- *A interface do agregado graúdo com a matriz geopolimérica não apresenta uma zona de transição.*
- *Não existe formação de hidróxido de cálcio (Portlandite) nas interfaces com os agregados.*
- *Largura do campo 260µm .*



*Zona de Transição na Interface
da Pasta com os Agregados
Concretos com e sem adições.*

Prof. Eduardo
C. S. Thomaz
Notas de aula

20 / 20

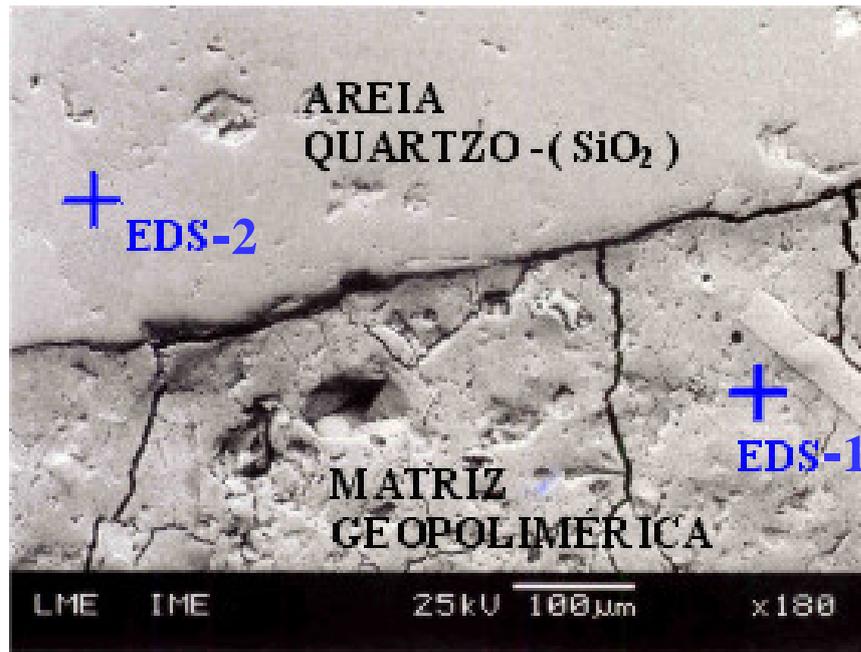
Concreto Geopolimérico
Eduardo Thomaz - IME- RJ -2002



- *Imagem com elétrons retro-espalhados (BSEI - “Backscattering Eletron Image”) mostra a microestrutura do concreto geopolimérico.*
- *A interface do agregado graúdo com a matriz geopolimérica não apresenta uma zona de transição.*
- *Não existe formação de hidróxido de cálcio (Portlandite) nas interfaces com os agregados.*
- *Largura do campo 260µm .*



Concreto Geopolimérico
Eduardo Thomaz - IME- RJ -2002



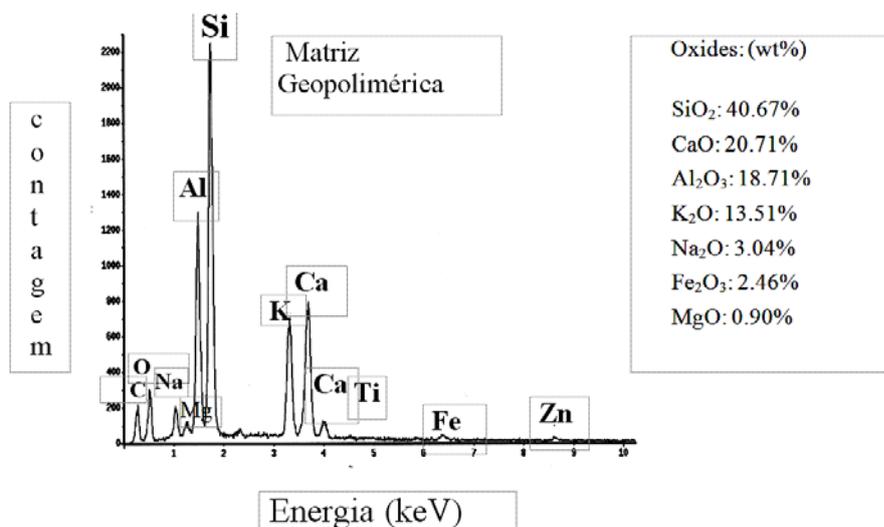
Fissuras de retração na interface.

- Nos concretos, durante a mistura, os agregados graúdos e finos são envolvidos por um filme de água. Nos concretos Portland, nesses locais, se formam núcleos de hidróxido de cálcio. Esses cristais hexagonais de hidróxido de cálcio, Portlandita, são fracos e podem limitar as propriedades mecânicas do concreto.
- No concreto geopolimérico esse fenômeno não ocorre, mas podem surgir fissuras como se vê na figura acima.
- A Figura mostra que a trinca tende a contornar os agregados, propagando-se pela interface matriz - agregado, indicando que essa é a região crítica do concreto. A aderência da matriz cimentícia com os agregados é determinante para as propriedades mecânicas dos concretos.

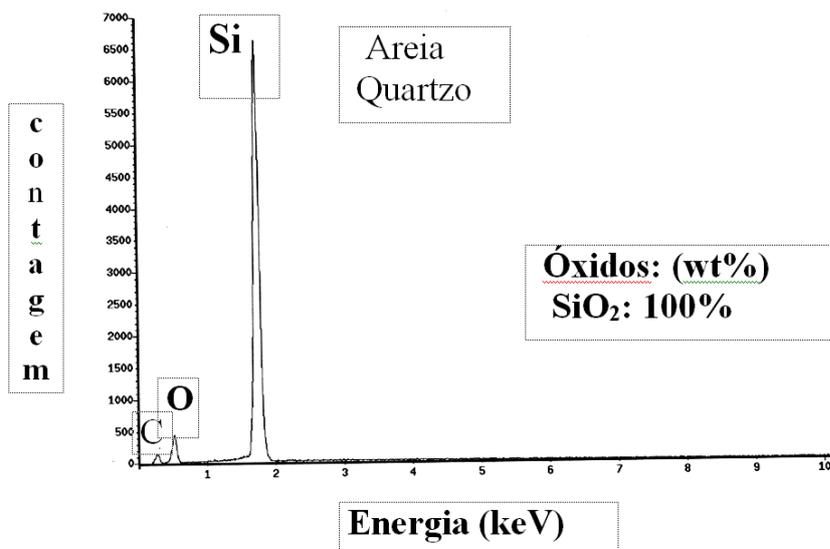


Concreto Geopolimérico
Eduardo Thomaz - IME- RJ -2002

- A Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS = “Energy Dispersion Spectroscopy”), permite identificar semi-quantitativamente os elementos químicos nas diferentes fases do concreto



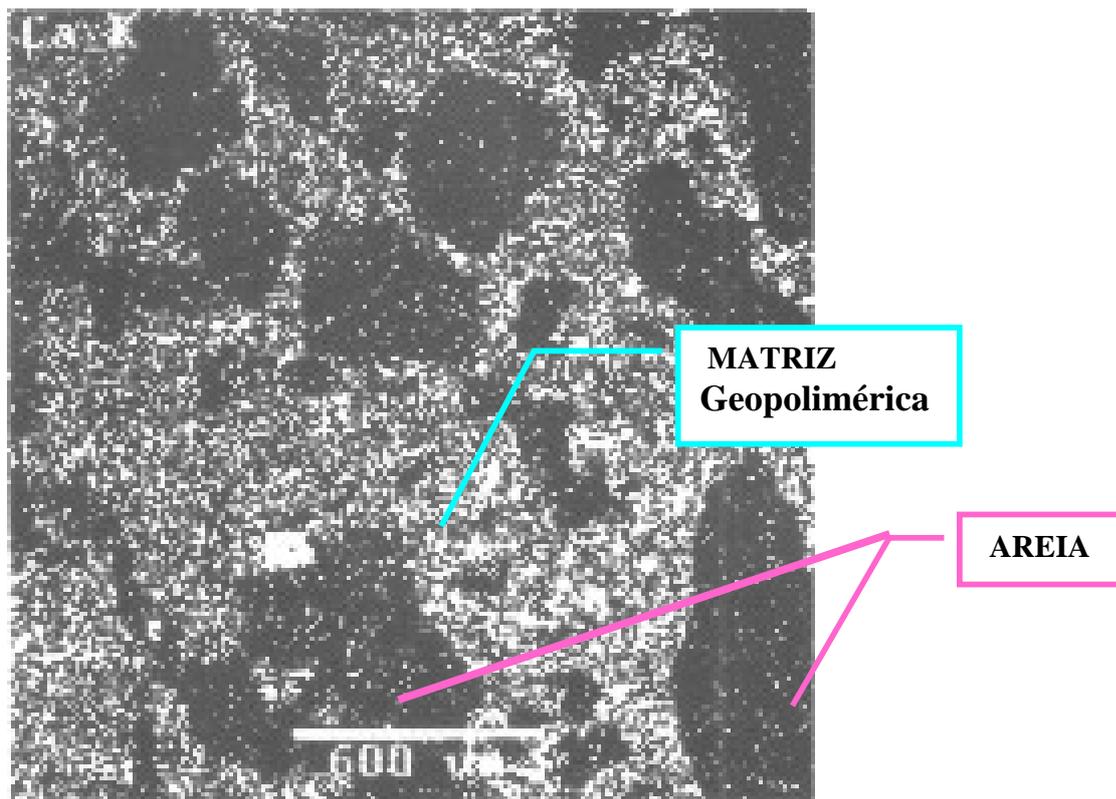
EDS-1 - Matriz geopolimérica – Muita Sílica e muita Alumina



EDS-2 - Sílica pura



Concreto Geopolimérico
Eduardo Thomaz - IME- RJ -2002



Mapeamento do elemento cálcio por meio de raio-X.

- Foi empregada a Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS = “Energy Dispersion Spectroscopy”), para identificar semi-quantitativamente os elementos químicos nas diferentes fases do concreto e o mapeamento com raio-X do elemento cálcio, para verificar o posicionamento desse elemento dentro do concreto geopolimérico.
- Não se observa concentração de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nas zonas de interface da Areia com a Matriz Geopolimérica.
- Largura do campo = 2mm.



Introdução ao artigo do Prof. Sidney Diamond.

Editora Elsevier - Cement & Concrete Composites 23 (2001) 179-188

The ITZ in concrete – a different view based on image analysis and SEM observations

Sidney Diamond *, Jingdong Huang

School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN 47907-1284, USA

1. Introduction

The concept that an interfacial transition zone (ITZ) or “aureole de transition” exists around sand and coarse aggregate particles in concrete has been one of the accepted tenets of concrete technology for many years. This generally accepted picture was based originally on optical microscopy and on experimental observations made on “model systems” rather than on concrete per se. In essence, the argument is that a region, extending about 30 μm or more from the aggregate, is deficient in content of cement particles due to the so-called wall effect, and therefore has a substantially higher porosity than the bulk paste [1].

A number of models of the ITZ exist. While some models assume that the ITZ can be viewed as a uniform shell, it is generally assumed that there is a gradation of porosity and other characteristics within the aureole. A very high porosity, ca. 30% or more, is assumed to be ..



characteristic of the innermost portion of the aureole, i.e., within 5 μm of the aggregate surface [2]. At the outer boundary, porosity and other characteristics are considered to merge into those of “bulk” cement paste. The contents of CH and of ettringite are usually considered to be higher within the aureole than in the bulk cement paste, and much of the CH is considered to be preferentially oriented [3].

For concretes in which adjacent aureoles overlap significantly, it has been claimed that a continuous easy percolation path can be established across the section, leading to high permeability and rapid diffusion of ions and other dissolved species [4].

The aureoles are perceived as weakening zones which limit the strength that would otherwise be developed in concrete. High performance concretes are thought to derive augmented strength levels partly from a filler effect, in which fine particles such as silica fume fill up the extra ITZ porosity that would otherwise exist, and by doing so eliminate the weakening effect [5].

...

...

Conclusions |

These considerations lead to the judgment that in ordinary concrete the existence of the ITZ around aggregates can have only marginal effects, if any, on both mechanical properties and on permeance.

!!!